

船舶の安全評価手法に関する 調査研究（SPF）

（2005 年度報告書）

2006 年 3 月

財団法人 日本船舶技術研究協会

はしがき

本報告書は、日本財団の2005年度助成事業「船舶関係諸基準に関する調査研究」の一環として、安全評価プロジェクト（SPF）において実施した「船舶の安全評価手法に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。なお、本調査研究は、2004年度末に解散した（社）日本造船研究協会が実施した「船舶の総合的安全性評価手法による安全性向上策の策定に関する調査研究」に引き続き、本会が実施したものである。

安全評価プロジェクト（SPF） ステアリング・グループ 委員名簿（順不同、敬称略）

プロジェクト・マネージャー 委員	松岡 猛	（海上技術安全研究所）	
	今津 隼馬	（東京海洋大学）	
	篠田 岳思	（九州大学）	
	片山 瑞穂	（片山海事技研事務所）	
	吉田 公一	（海上技術安全研究所）	
	金湖富士夫	（海上技術安全研究所）	
	福戸 淳司	（海上技術安全研究所）	
	三友 信夫	（日本原子力研究開発機構）	
	有馬 俊朗	（日本海事協会）	
	増田 正司	（日本海難防止協会）	
	宮坂 真人	（日本船主協会）	
	市川 博康	（日本船長協会）	
	原 大地	（日本海洋科学）	
	関係官庁	長谷川 峯清	（高等海難審判庁）
		上田 秀敏	（海上保安庁）
高木 正教		（国土交通省海事局船員政策課）	
事務局	新保 一彦	（国土交通省海事局安全基準課）	
	中川 直人	（日本船舶技術研究協会 IMO 担当）	
	前中 浩	（日本船舶技術研究協会）	
	山下 優一	（日本船舶技術研究協会）	

目 次

1. はじめに	1
2. FSA及びECDISに関連するIMOでの審議状況	3
2.1 MSC80、NAV50、NAV51、MEPC53の審議の様相	3
2.1.1 MSC80（2005年5月）における審議の様相	3
2.1.2 NAV50（2004年7月）における審議の様相	5
2.1.3 NAV51（2005年6月）における審議の様相	6
2.1.4 MEPC53（2005年7月）における審議の様相	11
2.2 ECDISの強制化のSOLAS改正のシナリオ	11
3. 安全評価手法の調査研究	12
3.1 ベイジアン・ネットワークおよび解析コードHUGIN	12
3.1.1 概要	12
3.1.2 確率推論	12
3.1.3 データから構造を学習するアルゴリズム	14
3.1.4 データからCPTを生成するアルゴリズム	14
3.2 ベイジアン・ネットワークとイベント・ツリーによる解析の比較	15
3.2.1 ETによる解析手順	15
3.2.2 ETの作成	15
3.2.3 解析	16
3.2.4 考察	17
3.3 経済規模を考慮した許容基準の設定	31
3.4 海上輸送リスクと海洋環境価値評価基準の策定の検討	36
3.4.1 本調査研究の目的	36
3.4.2 輸送リスクと環境価値の調査地の背景	37
3.4.2.1 調査地の背景（座礁放置船問題の事例）	37
3.4.2.2 調査地の背景（乗り上げ事故と油濁問題の事例）	40
3.4.3 調査方法の概要	41
3.4.3.1 リスク受容因子	41
3.4.3.2 リスク受容因子を考慮したアンケート調査票の作成	42
3.4.3.3 当該地域での役場水産課および漁協インタビュー調査	47
3.4.4 海上輸送リスク受容性の解析	49
3.4.4.1 輸送リスク印象調査（問2）の集計	49
3.4.4.2 事故リスク受容分析のためのコンジョイント分析の検討	54
3.4.4.3 リスク順位分析（問3分析）と項目別重要度	55
3.4.5 環境価値評価手法による検討	58
3.4.5.1 仮想的評価法	58
3.4.5.2 環境価値評価（問4）解析例	60

4. 安全評価事例「ENC」のカバレッジと「ECDIS」の有効性の評価	62
4.1 ENC に関するIHO関連規則	62
4.2 電子海図の来歴および分類	64
4.2.1 電子海図の来歴	64
4.2.2 電子海図の分類	69
4.2.3 関連システム	72
4.3 電子海図（ENC）の整備状況と使用方法	76
4.3.1 日本周辺海域の整備状況	76
4.3.2 海外へのENC整備協力	76
4.3.3 欧米における整備状況	77
4.3.4 電子海図の価格	79
4.4 海外における事例分析（ノルウェーにより実施されたFSA内容）	80
4.4.1 解析概要	80
4.4.2 解析結果の検討	89
4.5 FSA手法によるENC 有効性評価	91
4.5.1 ベイジアン・ネットワークモデルの構築	91
4.5.2 実績データによるモデルの検証および不確実さ解析	94
4.5.3 ENCのcoverageを考慮したリスク解析	99
4.6 事例解析結果について	109
5. むすび	111
5.1 安全評価法の調査検討	111
5.2 安全評価事例	112
6. 用語解説	114
7. 添付資料	117
資料 1	IMO提案文書
資料 2	IMO提案文書（和訳）
資料 3	NAV51/10（ノルウェーによるECDIS評価）
資料 4－1	FORMAL SAFETY ASSESSMENT - LARGE PASSENGER SHIPS (DNV Report)
資料 4－2	ANNEX I : SCREENING OF RISK LEVEL FOR CRUISE NAVIGATION
資料 4－3	ANNEX II : RISK ASSESSMENT - LARGE PASSENGER SHIPS -NAVIGATION

1. はじめに

船舶の安全性向上のために IMO において恒常的な安全基準の見直しが行われているが、ややもすると頻繁な基準改正、不合理な基準の強制という側面も見られる。そのため船舶関連の安全規制の提案に当たっては、効果的、合理的、科学的な事前評価が求められており、近年、評価手法の一つとしての FSA ガイドラインに沿ったリスク評価（リスクベース・アプローチ）が数多く実施されるようになってきた。欧州においては船舶の安全性向上のため、リスクベースで船舶の設計・運航・基準を検討する SAFEDOR プロジェクトが開始されている。

IMO におけるバルクキャリアの安全規制の検討や国内規則の緩和において FSA を用いた評価が実施されたのは、安全規制の評価のツールとしての具体的な適用の一例である。しかしながら、FSA の使い方によっては、その評価の透明性に課題を残す場合が少なくない。

2003 年には、IMO/DE47 において「非常時曳航システム」の義務化を 300 トン以上の全ての船舶に課すことの有効性を FSA によって評価した結果をドイツが提出してきたが、この FSA の方法論には重要な検討課題が多く残されており、ドイツの評価結果は必ずしも妥当なものとはいえなかった。そのため日本造船研究協会短期プロジェクト SP8 では、「非常時曳航システム」の有効性評価を取り上げ、FSA による解析を実施し、その評価結果を 2004 年 DE48 に報告した。この報告も効果があり「非常時曳航システム」義務化の範囲は拡大されることなく現在に至っている。

一方、IMO NAV では、ECDIS の一般外航船への搭載強制化範囲の拡大が論議されており、2004 年にはノルウェーが、大型旅客船の航海安全の FSA 研究を提示（NAV51/10 等）し ECDIS の有効性を強調した。ECDIS の有効性評価のためには FSA 実施が適切と考えられており、その実施が各国に求められている。このような状況下において、本短期プロジェクト「船舶の安全評価手法に関する調査研究（SPF）」では FSA を基礎においた安全評価手法の研究を実施するとともに、具体的な事例として ECDIS の有効性評価を FSA 手法により実施し、MSC81 への報告文書を作成した。

安全評価手法に関する調査研究では、

- (1) ベイジアン・ネットワークおよび解析コード HUGIN
- (2) ベイジアン・ネットワークとイベント・ツリーによる解析の比較
- (3) 経済規模を考慮した許容基準の設定
- (4) 海上輸送リスクと海洋環境価値評価基準の策定の検討

を実施した。即ち、(1) については、事故シーケンス評価に使用され始めているベイジアン・ネットワークについての検討を実施し、使用方法を確立した。(2) においてはベイジアン・ネットワークと従来から使われているイベント・ツリーの優劣を比較し、今後の方向性について検討した。(3) においてはリスク値を対象とする分野の経済活動の大きさを考慮して判断する必要があるというノルウェーの考え方について検討を行った。(4) においては北九州、下関地区においてアンケート調査を実施し、海上輸送リスクの受容性、および仮想的評価法による海洋環境価値の算定を実施した。

安全評価事例として取り上げた「電子海図表示システム(ECDIS)」関連では、

- (5) ENC に関する IHO 関連規則
- (6) 電子海図の来歴および分類
- (7) 電子海図 (ENC) の整備状況と使用方法
- (8) 海外における事例分析 (ノルウェーにより実施された FSA 内容)

を実施した。即ち、(5) ~ (8) においては、ECDIS をとりまく状況・実態を調査・分析し、FSA 手

法による評価実施のための種々の情報を取得した。

FSA 手法による評価実施関連では以下の項目を実施した。

(9) ベイジアン・ネットワークモデルの構築

(10) 実績データによるモデルの検証および条件付き確率の検討

(11) ENC の coverage を考慮したリスク解析

ここでは、ノルウェーにより実施された ECDIS 有効性評価の内容を分析し、本短期プロジェクトでの評価実施の参考とした。最後に、これらの情報をもとに実施した ECDIS の有効性の評価結果を IMO/MSC81 (2006 年) へ報告した。

2. FSA 及び ECDIS に関連する IMO での審議状況

2.1 MSC80、NAV50、NAV51、MEPC53 の審議の様態

2.1.1 MSC80（2005年5月）における審議の様態

議題7 フォーマル・セーフティ・アセスメント

本議題の下で、FSA に関連して以下のような審議が行われた。

(1) プレナリーでの審議

議長から、MSC 80 では MSC 79 の際に設立された FSA の CG の報告 (MSC 80/7/1) 及び MSC 79 での議論を受けて事務局が作成した FSA の専門化グループに関する文書 (MSC 80/7) に基づき審議を行うこと、また以下の事項については WG を設置して検討するとの説明があった。

- ・ FSA 専門会の設置の必要性等の検討すること。
- ・ MSC 78、MSC 79 及び MSC 80 に提出された FSA 関連の文書を参照して FSA ガイドラインの見直しを行うこと。
- ・ FSA と GBS の関係を、MSC 79/6/3、MSC 79/6/19 及び MSC 79/6/25 を参照して、検討すること。

我が国より MSC 80/7/1 を使って、FSA CG の報告が行われ、CG 報告に含まれる FSA ガイドラインの見直し提案等について審議が行われた。基本的に CG の報告は了承され、WG にガイドラインの見直しの最終化等を付託することとなった。

次に事務局が用意した MSC 80/7 に基づき、FSA 専門家グループの設立について議論が行われた。尚、主な意見は以下の通りである。

- ・ FSA 専門家グループは GESAMP のように定期的に会う必要はなく、必要に応じて設置すればよい。
- ・ FSA 専門家グループは、MSC 80/7 の annex 3 で提案されている FSA の実施は委任されるべきでない。
- ・ FSA は MSC の意思決定を助けるのに成功裡に利用されてきており、将来も意思決定に利用されるべきである。
- ・ FSA を考慮する際に過去に直面した多くの事項は、そのような評価をレビューする効果のある専門化のグループがあれば避けられたはずである。
- ・ もし、FSA 専門家グループに適切に資金が提供されなければ、幾つかのメンバー国は資金不足で参加できない。
- ・ FSA 専門家グループの設立に対して、IMO が資金を提供すべきでない。
- ・ FSA の専門家グループを設置するかどうかを明確に決める前に、第一段階として、現在の FSA ガイドライン (MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392) の問題点を特定するために見直すべきである。
- ・ 委員会の意思決定に利用される予定の FSA についてのみ、レビューを実施すべきである。

以上のような議論を受けて、委員会は FSA 専門家グループを設置すべきこと、WG にその詳細を議論し、適切な助言を委員会に報告するよう合意した。しかし、資金の問題については、WG の作業完了するまで結論を先延ばしすることを決定した。

委員会はデンマークが提出した、リスク基準による設計、操船及び船舶用規則に注力した欧州の研究プロジェクト SAFEDOR に関する文書 (MSC 80/INF.8) をノートした。

委員会はFSA CGの報告及びFSA 専門家グループに関する提案並びにそれらに関するプレナリーでの議論を受けて、以下の作業項目を付託するWGを設置した。

- ・ FSA専門家グループへの付託事項の検討
- ・ FSA専門家の選定手順及びその運営方法に関する検討
- ・ FSAガイドラインの改正草案の作成
- ・ FSA CGより提起された未解決のFSA実施上の問題点の検討
- ・ 人的要因解析過程(HEAP) 及びFSAガイドラインの見直し
- ・ FSAとGBSの関係の検討

(2) WGでの審議

WGはドイツのSecurius氏の議長の下、委員会からの付託事項を検討した。FSA 専門家グループに関する審議は、ブレインストーミング形式で行われ、活発な意見交換が行われた。特に積極的な発言が目立ったのは、バハマ、オランダ、カナダ、ノルウェー、ロシア、ドイツ、ギリシャ、米国、日本及びIACSであった。尚、WG議事録の翻訳に時間を要するため、WGに与えられた時間が短く、幾つかの付託事項については検討できなかった。

FSA 専門家グループに対する付託事項及び委員会に提出されたFSA Studyのレビュー過程については十分時間をかけて検討された。その結果、付託事項はFSA Studyのレビューを行うことと、その報告書を委員会に提出することの2つに絞られた。また、レビュー過程を示す流れ図についても当初複数案が検討されたが、最終的にMSC 80/WP.9のANNEX 1が合意された。

FSA Studyのレビューチームの構成及び選出方法については、議論が分かれた結果、3案を併記して委員会に報告することとなった。また、FSA Studyのレビューの際に行うべき検討事項についても議論が行われ、最低限行うべき事項がリストアップされた。

FSAガイドラインの見直しは、FSA CGの提案をベースに議論された。時間不足で検討できなかった事項については、次回のMSC 81までの間にCGを設置して検討することを委員会に提案することとなった。

MSC/Circ.1022の見直しについては、FSA 専門家グループの設立が決定された後に、改めて検討すべきことが合意された。

MSC 79/6/3、MSC 79/6/19及びMSC 79/6/25を参照し、FSAとGBSの関係について検討された。その結果、リスクレベルやゴールを設定する際に利用できる可能性がある等、幾つかの応用例がリストアップされ、GBSの枠組みでFSAが利用できる可能性であろうことが合意された。

(3) WGのプレナリー

委員会は、WGの報告を受けて以下をWGからの報告事項をノート或いは合意した。但し、FSA 専門化グループの構成及び選出方法に関する3つの選択肢等を検討すること(MSC 80/WP.9の36.4~36.6)については、次回MSC 81で議論することとなった。本件についてはMSC 81での議論にむけて、我が国の対応を検討されたい。

尚、WGの報告を受けて、パナマからFSAはGBSの枠組みで利用可能であろうことは間違いないという点を強調する発言が行われた。

また、FSAガイドラインの見直しを行うCGの設置が合意された。CGのコーディネータはオランダ

の Kees Metselaar 氏 (kees.metselaar@minvenw.nl) が選任された。本 CG の重要性に鑑み、我が国も参加すべきであると思われるところ、対応を検討されたい。

また、次回 MSC 81 に FSA の DG を設置することが WG 議長より提案され合意された。この際、我が国から技術的な内容の検討が必要となると予測されることから、DG でなく WG との提案を行ったところ、DG 或いは WG を設置することで合意された。本件については、MSC 81 の作業プログラムを検討する際に決定されることとなった。

2.1.2 NAV50 (2004 年 7 月) における審議の様相

議題 4 関連 航海情報表示装置上における表示及び船舶自動識別装置(AIS)情報の使用に係る要件

本議題の下で ECDIS に関連して、英国等から、AIS の情報表示について ECDIS 性能要件や INS、IBS についても調整が必要であるとの意見 (NAV50/4/3) が出された。これを踏まえ、本会合では ECDIS に関連して以下が合意された。

- (a) 用語の定義、ECDIS での AIS 情報表示については、今後も継続的に検討することとなった。
- (b) ECDIS 表示画面上における AIS 情報の表示については、ECDIS 性能要件の見直しが必要であり、CG を設置して、主にここで検討することとなった。

議題 11 関連 巨大旅客船の効果的な航海計画

本議題の下で FSA 及び ECDIS に関連して、ノルウェーが実施した FSA 解析について以下のような審議があった。

ノルウェーは、衝突座礁に関する FSA 解析から、①ECDIS、②TCS、③AIS with RADAR、④船橋設計の改善、⑤船員教育の改善、が安全性向上に有効であり、これに続く有効な手段として、⑥航海情報の自動記録と⑦BRM の向上を示した。

ノルウェーは、さらに RCO (Risk Control Option) として、①船橋配置、②タスクに特化したワークステーション、③人間工学的ワークステーションの設計、④機器配置、⑤ワークステーションからの視界および⑥物理的船橋作業環境を、検討課題として提案したが、本 WG はすでに NAV 小委員会で検討されているため、本小委員会では検討しないこととした。

さらに、ノルウェーは、船員教育について、特に、一般的な教育ではなく、先進的船舶の操縦性能や操船装置等船固有の特性についての教育訓練が必要と指摘したが、この件に関しても、この結果を STW 小委員会か MSC の人的因子グループに報告し、検討を任せることとした。さらに、WG は、上述の 2 つの件に関しては、大型旅客船に特化したものではないので、MSC/Circ.1099 に則って、MSC に提案することを勧めた。

IFSMA から、2 名の職員による当直の費用対効果が不当に低く評価されていることについて、意見が出された。この計算では職員 2 名であるが、1 名を部員による見張り監視強化とすれば、評価がもう少し良くなるものと思われる。これについて本 WG は、FSA 評価に係る議論をさらに深く進めるため、ノルウェーに FSA の詳細検討を NAV51 に提出することを勧めることとした。

議題 16 関連 作業計画及び NAV51 の仮議題

本議題の下で ECDIS に関連して、次回 NAV51 において、新たに議題 6 「ECDIS 及び ENC 開発の評価」を設置することが合意された。

議題 18 関連 その他の議題

本議題の下で ECDIS に関連して、ECDIS を RCDS で使用した場合、紙海図を不要とすることについて議論があった。本件

MSC78 からの指示を受け、豪州案 (MSC78/24/13 : ECDIS を RCDS で使用した場合、紙海図を不要とする)、仏案 (MSC78/24/18 : 豪州案に反対で、ECDIS のバックアップは従来どおり 2ndECDIS または紙海図)、ノルウェー案 (MSC78/24/17 : 豪州案に反対だが、ECDIS の利用促進を図る観点から、ENC が必要な海域と、RNC でも良いとする海域を沿岸国が評価し、その上で、ECDIS を強制化すべき) が、説明された。

これに対し、IHO を含む多くの国がノルウェー案を支持したところ、今後 CG を設け、検討することになった。

2.1.3 NAV51 (2005 年 6 月) における審議の様相

議題 6 関係 ECDIS の使用及び ENC の開発の評価

本議題の下で ECDIS に関連して、以下のような審議が行われた。

(1) プレナリーでの審議

本件に関しては、まず初めに前回設置されたノルウェーをコーディネータとするコレスポンデンスグループによる検討結果の紹介が行われ、その後各国のコメントが求められた。

CG の報告では、IHO による ENC の刊行は今後 5 年間で十分整備されることが予想されるので、SOLAS 条約第 19 規則新パラグラフ 2.8 により国際航海に従事する船舶に関して 3000GT 以上の全船舶及び、500GT 以上のタンカー、また、内航船も含めた 500GT 以上の旅客船は以下の (1) ~ (4) に沿ったスケジュールで ECDIS の搭載を義務化する旨提案されていた。

(イ) 2007 年 7 月 1 日以降に建造される船舶。

(ロ) 2010 年 7 月 1 日以前に建造された国際航海に従事する船舶。

ただし旅客船の場合、2011 年 7 月 1 日よりも早期に搭載すること、またタンカーの場合、2011 年 7 月 1 日より早期の S E の最初の検査時期より前に搭載すること、両者以外の船種の場合、2012 年 7 月 1 日より早期に搭載すること。

(ハ) 2010 年 7 月 1 日以前に建造された国際航海に従事しない旅客船については、2012 年 7 月 1 日より前に搭載すること。

(ニ) 上記 (2) と (3) に記述された実施日 (搭載期限) 後 2 年以内に航行を終える船舶については、主管庁はこの規定の適用を免除出来る。

また、同様に高速船については、100 人以上の旅客定員の旅客船及び 500GT 以上の貨物船について、2008 年 7 月 1 日以降建造された新造船及び 1996 年 1 月 1 日から 2008 年 7 月 1 日の間に建造された現存船については 2010 年 7 月 1 日から 2000 年 H S C コード第 13 章の改正により搭載を義務付けることを提案していた。

さらに、ECDIS 性能基準の改正として、ECDIS でラスター海図を利用している場合 (RCDS モード) のバックアップとして所持が要求されている「適切な最新紙海図一式 (Appropriate portfolio of up-to-date paper charts)」の定義を加えることも提案されていた。

これに対して我が国より、「ECDIS の役割並びに安全確保及び海洋環境保護に対する貢献については十分承知しており、日本沿岸において電子海図 (ENC) を既に整備済みである。他方、CG 報告に関しては、特に貨物船に対し、費用対効果の FSA (フォーマル・セーフティ・アセスメント) による評価が欠落していること、また、特定の海域で ENC が未だ整備されておらずいつまでに出来るか誰も約束でき

ない状況であり、かつ多数の国が RC (ラスター海図) DS モードでの ECDIS の使用を安全の観点から認めていない状況の下では、多くの海域で船舶が「紙海図」と「ENC なしの ECDIS」の両方の搭載を不当な負担として強いられかねない状況にあり、ECDIS 搭載強制化は時期尚早。」との意見を表明した。

CG による ECDIS 強制化提案については、フィンランド、デンマーク、豪が明確な指示を表明し、ブラジル (ENC 刊行のデッドラインが明示されれば、ECDIS 強制化に賛成)、英国 (高速船のみ ECDIS 強制化を支持、その他の船種については FSA の実施が必要) は条件付きで支持を表明した。一方、バハマ、パナマ、韓国、リベリア、ICS は、強制化は時期尚早とする日本コメントに対して、明確な支持を表明した。

CG による「適切な最新紙海図一式 (Appropriate portfolio of up-to-date paper charts)」の定義の導入提案に関しては、オランダより、ラスター海図利用時の「適切」であることを決める主体が沿岸国の場合、その権限は領海内しか及ばないこと、また旗国が決めた場合、その決定を沿岸国は受け入れることができるのかどうかといった問題点が指摘された。(注) オランダは、自国籍船に、ラスター海図利用時のバックアップとしての紙海図所持を義務付けていないことから、改正案で新たに定義されることに反対していた)

これらの意見を踏まえ、議長より、WG に対して以下の検討事項が提示された。

- (イ) SOLAS 条約第 5 章第 19 規則の改正による「適切な紙海図一式」の定義、および ECDIS 強制化の検討
- (ロ) ECDIS 導入を可能とするための適切な検討方法 (FSA の実施方法) の検討。
- (ハ) 高速船への ECDIS 搭載義務化のための規則改正の検討。
- (ニ) 「適切な最新紙海図一式」を決定するための情報源として、IHO による海図カタログ整備へ協力することの検討。
- (ホ) 「適切な最新紙海図一式」を明確にするためのサーキュラー案の検討。
- (ヘ) NAV52 へ向けた CG への付託事項の検討。

これに対しパナマより、ENC の十分な刊行が CG 提案の搭載時期である 2010 年までに完了するという根拠がないとする我が国提案文書 (NAV51/6/3) 中の記述 (パラグラフ 5) を引用したうえで、検討事項 (イ) について、具体的な期限を挙げて WG で強制化の検討をすることは無意味であると主張した。これを受け、他に発言がなかったことからプレナリー議長は、上記 (イ) に関して、ECDIS 搭載の強制要件に係る検討を WG では行なわない旨決定した。

(2) WG における審議

(イ) SOLAS 条約第 V 章第 19 規則の改正 (ECDIS 搭載強制化)

プレナリーからの指示に基づき、WG の見解として以下の事項が合意された。(ただし、レポート ANNEX には、CG 提案の第 19 規則改正案がスクウェアブラケット付でそのまま残された。)

- (i) 現時点において、NAV が ECDIS の運用要件を検討することは、指示された事項ではないこと。
- (ii) CG が提案した規則改正案のとおり、適用の優先順位を船種で分けることは適切であり、委員会が同提案に基づき、ECDIS 運用要件の検討を新規検討項目として決定することを要請する。
- (iii) 現在の増加率で ENC の刊行が続く限り、CG 提案の期限まで十分な ENC が普及することを確信していること。
- (iv) 高速船および巨大旅客船以外の船舶について、ECDIS 搭載に関する評価を FSA により実施し、その結果を運用規則に反映すべきであること。

(ロ) 高速船への搭載義務化のための高速船コード改正

2000年高速船コード（HSCコード）を以下のとおり改正することが合意された。

「2008年7月1日以降に建造される高速船、およびそれ以前に建造された高速船は遅くとも2010年7月1日までに、ECDISを搭載すること」

(ハ) FSAの実施

ノルウェーが実施した大型旅客船のECDIS搭載に関するFSA結果を拡大して、他の船舶についてもFSAを実施することが英国、ノルウェー、ロシア、スウェーデンにより表明された。

なお、FSAの要素には、原則として、次の項目が考慮されることとなった。

- (i) 性能基準の現状と分類
- (ii) ENCの刊行状況
- (iii) 乗組員の訓練と習熟

(ニ) IHOによる海図のオンライン・カタログ

「適切な最新紙海図一式」の決定を容易にするため、利用できる公式海図のオンライン・カタログをIHOが整備することに対して、各国協力することが表明された。

(ホ) 沿岸国の要求事項

領海内を通航する船舶がECDISでラスター海図を利用している場合、その沿岸国が当該船舶に対して特定の紙海図の所持を要求することが、ECDIS性能基準の改正項目として検討されたものの、EEZ外、および領海内～EEZの海域において、主権の行使に整合性がとれないこと等から、本件は次回NAV52までの検討事項とするようプレナリーに要請することとされた。

(ヘ) CGの検討事項

引き続き作業を進めるためにコレスポネンスグループを設置して、次の項目を検討することが合意された。

- (i) 提案文書で指摘された事項を含めた、ECDIS性能基準改正案の策定。
- (ii) 改正ECDIS性能基準案の草案。
- (iii) IMO規則としてのECDIS運用の検討。

(ト) WGでの検討事項に関するパナマから議長への要請（プレナリーで）

WGの審議がWGへの付託事項から外れて進められているので軌道修正が必要との抗議がパナマより小委員会の議長に対しなされたため、議長がWG議長と協議の結果、付託事項は「not supposed to go into mandatory requirement」に修正するが10分程度の予備的な議論は認める、結果としてWGではFSA、feasibility、ポートフォリオ等に議論は絞られる旨報告が行われた。

(3) 結論（最終プレナリー）

パナマより、提出された WG レポートから CG 提案である ECDIS 強制化の規則改正案が削除されていないことについて、ECDIS 強制化に係る検討は行なわれないようプレナリーより指示が出ていたはずであり、何故このような結果になるのか、明確に説明するよう強く要請がなされた。

これに対し英国より、「WG では、指示どおり強制化の検討は一切行なっておらず、したがって、CG 提案による規則改正案はそのまま残されている。そもそも ECDIS 導入に関する検討は MSC より NAV に指示された事項であるのだから、MSC へ報告される本レポートに、規則改正案が載せられていても矛盾はない」旨の説明が行なわれた。

しかし、パナマはこれに納得せず、パナマ意見を支持する国（バハマ、イラン、ホンジュラス、ブラジル、マーシャル諸島、リベリア、サイプラス、ギリシャ、南アフリカ、ツバル、アルゼンチン、ウルグアイ、ベネズエラ、ナイジェリア、エクアドル（15ヶ国））と、英国意見を支持する国（豪、米国、オランダ、加、伊、独、デンマーク、シンガポール、仏、ノルウェー（10ヶ国））に分かれ、議論は大いに紛糾した。特に、審議が紛糾する中で議長から、「WP.4 の Annex はレポートに載せない」、また、ギリシャから「小委員会が決めれば WP.4 の IMO ページ上でのリリースを止めることも可能。」といった発言があり、最終的に、「NAV51/WP.4 中の強制化に係る改正部分である「SOLAS 第 V 章 19 規則パラグラフ 2」を含む文書を IMO のホームページに載せてよいかどうか」が議論の焦点となった。この点に関し、理事会の決定に沿って、小委員会により承認されたワーキングペーパーは、通常 IMO ホームページに掲載されることとなる旨事務局よりコメントがあった。

以上の議論を踏まえ、議長提案に基づいて、パナマと英国の立場を小委員会の報告書に両論併記しつつ、WG レポートの ANNEX から強制化に係る第 19 規則パラグラフ 2 の案は未承認事項として削除するという各国合意し、その部分を除いて同 WG レポートは承認された。したがって小委員会の報告書にも同部分は現れないこととなった。他方、高速船への搭載強制化に係る 2000 年 HSC コード第 13 章の改正案及び更新された紙海図のポートフォリオの定義明確化のための SOLAS 第 V 章 19 規則パラグラフ 2.1.5 に係る脚注追加については合意された。

また、今次会合の報告書（パラグラフ 6.16C）に、「ECDIS 搭載強制化に係る件は NAV の議題及び作業計画に含まれていないということについて小委員会は合意した。更なる検討には委員会の決定が必要」と明記することで合意された。したがって、元々来年 5 月の MSC81 で承認される可能性があったのが、今回の審議により、MSC81 にはノルウェー等が FSA を提出して議題を設定、その後来年 7 月開催予定の NAV52 で審議の上、同年 12 月の MSC82 で承認となるのが最短となり、そうなった場合の改正案の採択時期は 2007 年 5 月の MSC83 となる。

議題 10 旅客船の安全：旅客船の効果的な航海計画

本議題の下で FSA 及び ECDIS に関連して、以下のとおりノルウェー提案についてノルウェーからの説明があった。

(イ) NAV 51/10（ノルウェー）：大型旅客船のための航行安全に対する FSA

今回提出した FSA は、NAV50 で提出された文書の補完的なもので、フルレポートの要約版となっている。本解析は一般的な旅客船を対象としたもので、遠隔地を想定したものではないが、その結果は遠隔地の航行にも利用できると思われると主張している。また、今回はサマリーを提出したが、詳細は WEB から取得できる旨紹介があった。（<http://research.dnv.com/skj/FSALPS/FSA-LPS-NAV.ht>）

説明では、FSA の 5 ステップの各ステップを順に概説し、結論として、ECDIS、TCS、AIS、船橋

設計改善、航海士の訓練が有効であることが示された。特徴としては、リスクモデルを作成し、過去の統計量からだけでは評価できない新しいシステムの導入による影響が評価できることが示された。

また、NAV50 において議論となった 2 名の士官当直については、通常士官 1 名、見張り要員 1 名が、A.890「PRINCIPLES OF SAFE MANNING」で義務付けられており、2 名の士官当直は、これに士官 1 名を加えた 3 名当直をコスト算定条件にしていることが示された。

さらに、この解析結果は、大型旅客船を対象に実施したものであるが、一般貨物船に適用した場合でも、大きな差は無いと考えられ、議題 6 で議論されている ECDIS の有効性を示す資料になることが述べられた。

以上の説明に対して以下の質疑があった。

英国から、ノルウェーの FSA に関しては敬意を表するが、FSA に関して以下の質問が提示された。

- (i) ECDIS 搭載による人命損失回避が平均的な船のライフタイムに対して 25 名救済できることになっているが、2 名の士官当直の 0.83 名に対して、異常に大きすぎる。これに関して、リスクモデルの説明を願いたい。
- (ii) TCS の効果についても、英国としてその有効性を支持する前に、説明願いたい。

バハマからは、安全性の適切な評価を長年待っており、FSA として示されたことに感謝するが、FSA に関して以下の質問が提示された。

- (i) 遠隔地の航行については比較的大きな安全余裕が必要であるが、これに関しては考慮されているか。
- (ii) 2 名士官当直に対する、大洋航海と輻輳海域航行の影響に違いをどのようにモデル化しているか。

ベネズエラからは、FSA におけるリスクモデル、特に、航行海域についての検討で、カリブ海での海難統計にリンクした海難解析を行なう場合に協力できる旨述べられた。

これらの質問に対して、ノルウェーは、以下の回答を行った。

英国の質問に対しては、救済者数算出の詳細は述べられないが、リスクモデルに基づいて人間がどのように救済されるかを検討されている。また、詳細は、関連文書に示されている。

- (※) 議場外で我が国から英と同様の質問を行ったところ、ノルウェーから「今次会合には FSA の専門家が参加していないので、明確に説明できない」と回答があった。このため、ミーティング後、この FSA に関するコンタクトパーソンを紹介してもらうこととした。また、ノルウェーでは巨大旅客船のフレームワークを利用して、ECDIS の有効性を説明するために一般船についての FSA を実施する予定であり、その際には、ECDIS 搭載と救済された人の状況をクリアに説明する旨が説明された)

バハマの質問に対しては、基本的にはいろいろな海域にこの手法は適用できるが、今回の解析は一般的な客船を解析することが目的なので、5 つの海域のデータから巨大旅客船の一般的な航路を仮定し解析を行った。また、輻輳海域の影響については、ワッチ体制に変化をつけて、解析を行った。

ベネズエラの意見に対しては、海難統計の重要性は理解し、一部は使用しているが、統計では、将来予測や新しく導入したシステムの影響等は評価できないため、FSA において、今後もリスクモデルによる評価を進めて行きたい。

2.1.4 MEPC53（2005年7月）における審議の様相

議題 19 関係 総合安全評価及び人的要因問題の将来における役割

本議題の下で FSA に関連して以下のような審議が行われた。

(1) 人的要因

人的要因問題については、議長からの TOR に基づき設置された WG において検討された。次のガイドラインを MSC/MEPC サーキュラーとして回章することが承認された。なお、これらは MSC 81（06年5月予定）の承認を経て回章される。

- (イ) IMO 機関及び加盟国が強制・非強制の規則等を検討する際、人的要因に対する考慮を確認するためのチェックリスト
- (ロ) 加盟国及び関係機関等に、IMO の委員会・小委員会等に対して人的要因にかかる有識者の一層の参加を求める呼びかけ
- (ハ) 加盟国や関係機関が船内における事故等の防止に向けて考慮すべき、IMO としての人間工学及び労働環境の一つの考え方とその具体的内容
- (ニ) 人的要因問題に取り組む IMO としての戦略及びその具体的項目
- (ホ) (BLG9 で作成されたものを小修正した) 「船上における健康及び安全にかかる基本的項目のガイドライン」

(2) 総合安全評価 (FSA)

総合安全評価については、我が国がコーディネートしたコレスポンドグループにおける作業状況 (MSC78 及び MSC80 に報告) を、以下のとおり今次会議に報告した。

- ・ 海洋汚染に関するリスク評価及びコストベネフィットの指数は、いまだ確立されたものがないため、早急に確立する必要がある。
- ・ FSA ガイドラインの中にある人的要因解析方法 (HEAP) を見直す必要がある。

これらについては、MSC80 が設置した FSA に関するコレスポンドグループで検討していることが確認され、その動向に注目することとなった。

2.2 ECDIS の強制化の SOLAS 改正のシナリオ

今後の予定として、MSC81（2006年5月）において ECDIS の強制化についての作業の方向性が決定する。通常の手続であれば、MSC82（2006年12月）において SOLAS 条約第 V 章の関連規則が改正され、MSC83（2006年5月）に採択、2008年1月1日に発効するスケジュールが想定されるが、それ以外のシナリオとして条約第 VIII 条の改正手続に基づいて、規則改正案が某国により事務局宛てに 2006年5月中に提出され、事務局長が5月中に各締約政府に回章した場合、MSC82 において採択、2008年7月1日発効というシナリオも想定されなくはない。

このため、改正から発効までのシナリオを見極めるためには、MSC81 における審議の動向に注意する必要がある。

3. 安全評価手法の調査研究

3.1 ベイジアン・ネットワークおよび解析コード HUGIN

以下、産業技術総合研究所の本村陽一氏によるベイジアン・ネットワークの解説文“ベイジアンネットワーク：入門からヒューマンモデリングへの応用まで”と、HUGIN の Tutorial に基づき HUGIN の概略を示す。

3.1.1 概要

ベイジアン・ネットワークとは、頂点 (あるいはノード)の集合を V 、 V に含まれる頂点を結合する有向線分の集合を E とする非周回グラフ (*directed acyclic graph (DAG)*) G とし、下記のようにして定義される条件付確率の集合を P とすると、 (G,P) の組のことを言う。

すべてのノードにおいてそのノード (ノード上で定義される変数 A)を終点とする有向線分の始点上で定義される変数を $B_i (i=1, \dots, B_n)$ とすると、 $P(A|B_1, B_2, \dots, B_n)$ は $(B_1, \dots, B_n) \rightarrow A$ への条件付確率である。

表 3.1.1 条件付確率表

B2	b21				b22				...	b2m				
B1	b11	b12	...	b1n	b11	b12	...	b1n	...	b11	b12	...	b1n	
A	a1	$P(a1|b11, b21)$	$P(a1|b12, b21)$	...	$P(a1|b1n, b21)$	$P(a1|b11, b22)$	$P(a1|b12, b22)$	...	$P(a1|b1n, b22)$	...	$P(a1|b11, b2m)$	$P(a1|b12, b2m)$	...	$P(a1|b1n, b2m)$
	a2	$P(a2|b11, b21)$	$P(a2|b12, b21)$	...	$P(a2|b1n, b21)$	$P(a2|b11, b22)$	$P(a2|b12, b22)$	...	$P(a2|b1n, b22)$	...	$P(a2|b11, b2m)$	$P(a2|b12, b2m)$	...	$P(a2|b1n, b2m)$

	ak	$P(ak|b11, b21)$	$P(ak|b12, b21)$	...	$P(ak|b1n, b21)$	$P(ak|b11, b22)$	$P(ak|b12, b22)$	...	$P(ak|b1n, b22)$	...	$P(ak|b11, b2m)$	$P(ak|b12, b2m)$	...	$P(ak|b1n, b2m)$
列の計	1	1		1	1	1		1		1	1		1	

ベイジアン・ネットワークは、個々のノードの変数空間を離散化し、それらを条件付確率表で関連づけた不連続な確率分布によるモデル化である。(HUGIN では一部のノードが正規分布による連続変数を許容している) その表現の自由度はかなり高く、線形から非線形な依存関係まで柔軟に近似することが可能である。

応用範囲として下記のもののが上げられている。

- ・ パターン認識におけるベイズ識別

- ・ 音声認識、バイオインフォマティクス等の時系列データの認識に使われる隠れマルコフモデル

このように、ベイジアン・ネットワークはその表現力の高さからこれまで有用とされてきた多くの確率モデルを包含し、統一的に理解できるものとみなさせるとのことである。

3.1.2 確率推論

ベイズの定理を応用し、ノードのいずれか (複数でも良い)の確率値がより正確に判明した場合、その値を用いてネットワークを構成する他のすべてノードの確率値を更新するアルゴリズム (確率伝播法: Belief Propagation) がある。

わかりやすさのために、HUGIN の Help にある種馬飼育場 (Stud farm)の問題を示す。

図 3.1.1 にベイジアン・ネットワーク (HUGIN)で表現した種馬の家系を、表 3.1.2 ~3.1.4 に各世代での遺伝病の劣性遺伝子 (a)の Carrier である条件付確率表を示す。

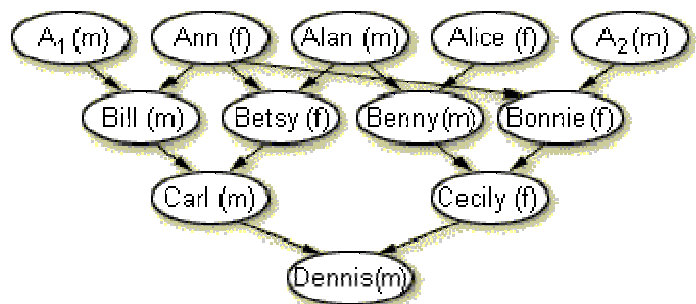


図 3.1.1 Dennis の家

表 3.1.2 上層（例として使われた Alan）におけるノードの CPT

Alan="AA"	Alan="Aa"
0.99	0.01

表 3.1.2 中間層（例として使われた Betsy）におけるノードの CPT

	Alan="AA"		Alan="Aa"	
	Ann="AA"	Ann="Aa"	Ann="AA"	Ann="Aa"
Betsy="AA"	1.00	0.50	0.50	0.33
Betsy="Aa"	0.00	0.50	0.50	0.67

表 3.1.3 ノード Dennis の CPT : P (Dennis | (Carl, Cecily))

	Cecily="AA"		Cecily="Aa"	
	Carl="AA"	Carl="Aa"	Carl="AA"	Carl="Aa"
Dennis="AA"	1.00	0.50	0.50	0.25
Dennis="Aa"	0.00	0.50	0.50	0.50

Dennis が遺伝病であることが判明した場合、親が Carrier であることの事後確率は図 3.1.3 のようになる。さらに、Alan が Carrier であることが判明した場合は図 3.1.3 のようになる。このように情報が増えていくと、各世代の馬の Carrier であるかないかが明確になっていく。

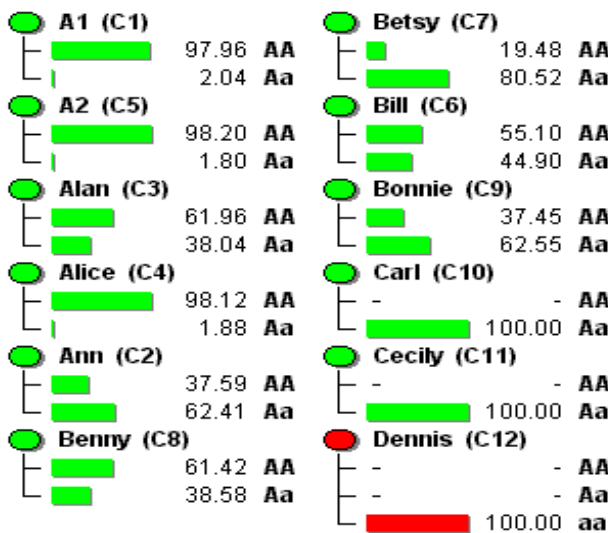


図 3.1.2 : Dennis に遺伝病が判明した場合の他の馬が Carrier である確率

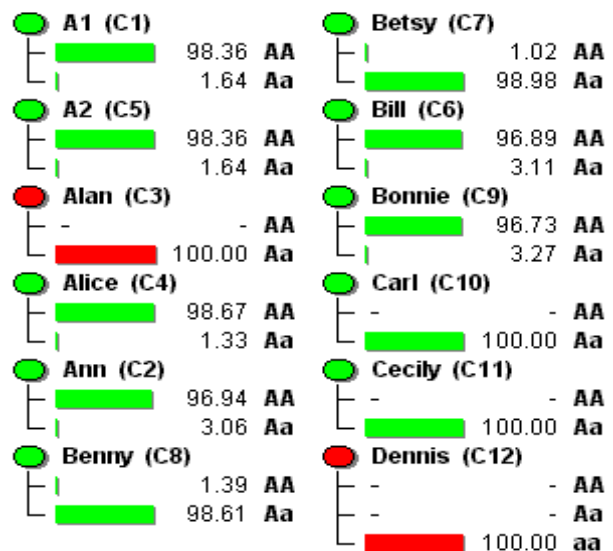


図 3.1.3 : さらに Alan が Carrier であることが判明した場合の他の馬が Carrier である確率

3.1.3 データから構造を学習するアルゴリズム

HUGIN ではデータからノード間の依存関係を構築する 2つのアルゴリズム (PC アルゴリズム、NPC アルゴリズム) が用意されている。

PC アルゴリズムはデータから直接有向線分を直接出力するが、データに数が不十分であると正確な構造が得られるとは限らない。

NPC アルゴリズムは人間による介入を可能にし、種々の調整を経て構造決定に至る。

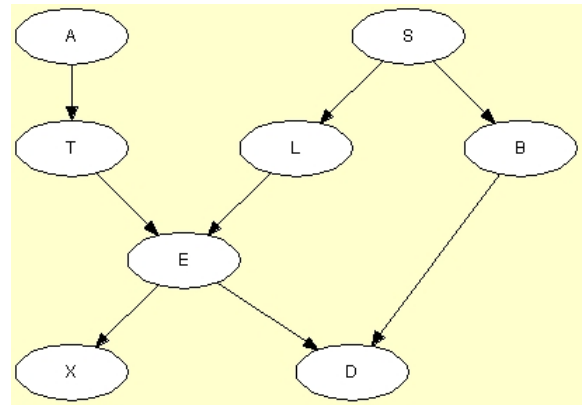


図 3.1.4 元のネットワーク

3.1.4 データから CPT を生成するアルゴリズム

HUGIN は、構造が決定されている場合、データから各ノードの条件付確率を求めるアルゴリズムとして "EM (Estimation Maximum) - Learning" といわれるものがある。

E, T, L, S, A, D, B, X
no, no, no, yes, no, yes, yes, no
no, no, no, yes, no, no, yes, no
no, N/A, no, no, no, yes, yes, no
no, no, no, no, no, no, no, no
no, no, no, no, no, yes, yes, no
no, no, no, yes, no, no, yes, no
no, no, no, no, no, no, no, no
no, no, no, yes, no, yes, no, no
no, no, no, no, no, no, no, no
no, no, no, yes, N/A, yes, yes, no
no, no, no, yes, N/A, yes, yes, no
no, no, no, yes, no, no, no, no

図 3.1.5 構造学習のためのデータ

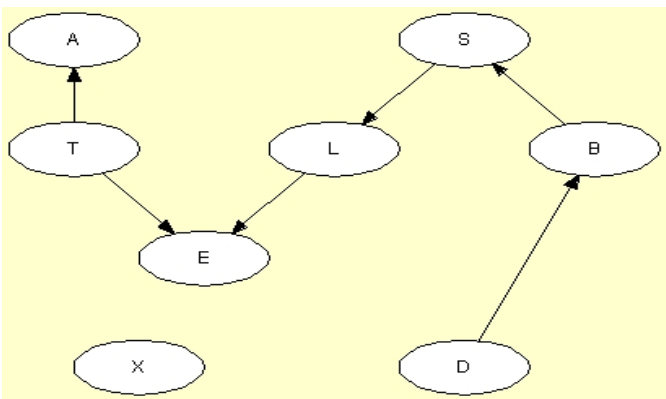


図 3.1.6 PC アルゴリズムにより得られた構造

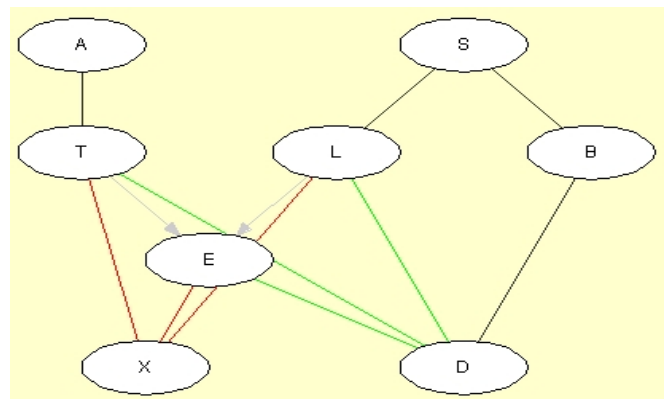


図 3.1.7 NPC アルゴリズムにより得られた中間構造

3.2 ベイジアン・ネットワークと ET による解析の比較

従来、海難事故の解析を行うにあたっては、イベント・ツリー (ET) 手法を用いてきた。今回ノルウェーから提案された事故解析では、ベイジアン・ネットワーク (BN) 手法が用いられている。そこで、本節においては両手法の比較を行う。

3.2.1 ET による解析手順

両手法の比較を行うために、まずノルウェー提案の事故解析と同様の事故について ET 手法で解析を行うこととする。そのために、以下の手順で作業を進めた。

- ① 提案された解析例の座礁事故について、事故シナリオのどのような要因がノードに設定されているか確認を行う。
- ② 事故シナリオとノードの関係について、また各ノード間の関係 (条件付確率) について整理を行う。
- ③ ②で得られた結果を元に、ノードをヘディングに“status”を分岐として ET を作成する。(表 3.2.1 参照 (P21))
- ④ ③で得られた ET に、“status”から分岐条件を検討し、また各ノード間の関係から分岐の修正、削除、ヘディングの整理等を行う。
- ⑤ ET の分岐確率の検討と設定を行う。
- ⑥ 解析。
- ⑦ ベイジアン・ネットワークの解析結果との比較

図 3.2.1 (P26) および図 3.2.2 (P27) に“Grounding”および“Collision”の場合の BN 図を示す。これらの図ではノルウェー提案の事故解析事例に加え、ノードについてはノルウェーの提出した報告書を参考にグループ分け等も行った。これらの図で示された内容を ET で表現する。

3.2.2 ET の作成

まず、図 3.2.1 の各ノードの関係について整理するために、報告書から各ノードの関係について調べ整理した。この結果を示したものが表 3.2.1 である。グループ、ノード、ノードの分岐状態、分岐条件を与えるグループ等について整理を行っている。

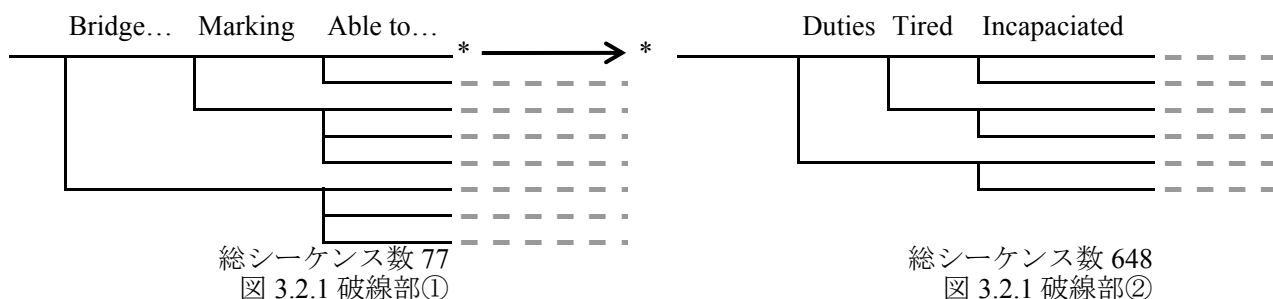
まず、図 3.2.1 および図 3.2.2 の破線部①、③について表 3.2.1 の結果を参考とし各ノードの関係を考慮しながら、ノードをヘディングに“status”を分岐として ET を作成した。

この際；

- ・ BN から ET へ変換する際、各ノードについては、BN の順番に従い ET のヘディングとして並べる。
- ・ “Grounding”および“Collision”ともに、“Visual detection”のグループから開始する。このために、図 3.2.1 (“Grounding”) 中の矢印の“Visual detection” のノードまでを ET で作成するとして、作業を実施した。

まず図 3.2.1 中の破線部①について、作成した ET を図 3.2.3 (P28) に示す。“Visual detection” のノードに入る他の信号線には、他に“Human factors”グループのノード“Attention” (図 3.2.1 破線部②)、 “Familiarisation”そして“Navigational aids in use”からの信号線が入力される。そこで、まず“Attention”からの信号線のために別の ET を作成した。この場合、図 3.2.1 破線部①の ET の各シーケンスに、後半で作成した ET がそのシーケンスに適応した条件でリンクすることになる (下図参照)。つまり、左側

の ET の“*”が右側の ET の開始事象となる。したがって、左側の ET 全てのシーケンスに対してそれに対応した ET が用意されることになる。同様に“Collision”の場合について作成した ET が、図 3.2.4 (P29) である。



しかしながら、図3.2.1破線部①のETの総シーケンス数のみでも154であるが、この各シーケンスにリンクする図3.2.1破線部②のETのシーケンスが途中の段階で総シーケンス数648となった。つまり、この段階で、シーケンス数として $77 \times 648 = 11858$ 程度が見込まれることになる。

そこで、ベイジアン・ネットワークの全てのET化は考えずに、図3.2.1破線部①の“Able to visual detect”のノードまでを対象として解析を行うこととした。つまりETとして図3.2.3を用いることとする。

これらのETの計算において必要な各分岐確率については、報告書にあるノードのCPT (Conditional Probability Table:条件付確率表)を利用することは前述したが、この一例として、表3.2.2 (P24) に“Able to visual detect”(C17)の値を示す。これに従いETの分岐確率を設定したが、表3.2.2中の灰色のセルの条件が、図3.2.3のET中に赤のシーケンスで示されたものである。

3.2.3 解析

“Able to visual detect”のノードまでを対象として作成した ET において、報告書にあるノードの CPT を分岐確率として用いて解析を行った。その結果を図 3.2.5 に示す。

図3.2.5のETによる解析結果について各シーケンスの発生確率などについてまとめたものを、表3.2.3 (P25) に示す。表中、“Seq. No.”、“Seq. Name”、“Prob.(%)”、“End State”は、それぞれ図 3.2.5 中に示されたものに相当する。従って、ベイジアン・ネットワークによる解析のノードの“Able to visual detect”の“**Yes, No**”の値は、表 3.2.1 中の“End State”の○(Yes)、×(No)の“Probability”の総和を取ればよいことになる。その結果を次に示す。

○ (Yes) 0.990614 1

× (No) 0.009386

一方、“Able to visual detect”のノードのベイジアン・ネットワークを利用した場合の結果は、

C17	Able to visual detect	Yes	0.99061356
		No	0.00938644

となり、ベイジアン・ネットワークの値と一致する。

3.2.4 考察

(社)日本造船研究協会 RR-49⁽¹⁾および RR-S7⁽²⁾において、海難事故の解析について解析者および操船経験者の判断等により事故要因の抽出等の作業、これを基にしたシナリオの設定、モデル化を行い、確率論的安全評価で用いられる ET 手法およびフォールト・ツリー (FT) 手法を用いることにより衝突、座礁等の海難事故分析が行われた。今回報告された解析では、解析手法として ET や FT 手法ではなく BN 手法を用い解析を行っている。

BN の特徴としては、事象間の依存関係を条件付き確率が付随したグラフ構造によって表現することである。また、最初は不十分な知識の下で決定しなければならなかったある事象の発生確率は、何らかの実験あるいは観察により、ベイズの定理を利用したアルゴリズムにより、その事象の発生確率をより正確に推定できるということがあげられる。例えば、ある機関がある時点で不具合（停止はしなないが正常な稼動ではない場合、故障であれば機関が停止するわけであるから検査しなくても分かる）である確率を知りたい場合、その確率はその機関の稼動時間、使用環境等により決定される数値を持つが、直接知りえない数値である。通常は機関の定期検査で不具合が確認されることになる。しかし、これでも確実に不具合を認知できるとは限らないが、定期検査をしない場合よりも知識が増えているためそうでない場合より、不具合を確認できる確率が高くなる。

機関がある時点で不具合である事象 (A1) : その確率 P(A1)

機関がある時点で正常稼動している事象 (A2) : その確率 P(A2)

$$P(A1) + P(A2) = 1 \text{ and } A1 \cap A2 = \phi, A1 \cup A2 = \Omega$$

定期検査の実施後機関が不具合があると判断する事象(B1) : その確率 P(B1)

定期検査の実施後機関が不具合がないと判断する事象(B2) : その確率 P(B2)

$$P(B1) + P(B2) = 1 \text{ and } B1 \cap B2 = \phi, B1 \cup B2 = \Omega$$

とすると

正しく不具合と判断する事象 (B1 ∩ A1) :

$$\text{その確率 } P(B1 \cap A1) = P(A1) \times P(B1|A1) = P(B1) \times P(A1|B1) \quad \text{--- (3.2.1)}$$

不具合がないのに不具合があると誤判断する事象 (B1 ∩ A2) :

$$\text{その確率 } P(B1 \cap A2) = P(A2) \times P(B1|A2)$$

となる。

この時、検査で機関を故障と判断した場合に、その判断が正しい、すなわち、実際に不具合がある確率(P(A1|B1))はベイズの定理を用いて、(3.2.1)より、

$$P(A1|B1) = P(A1) \times P(B1|A1) / P(B1)$$

となる。

ここで、 $B1 = B1 \cap A1 \oplus B1 \cap A2$ \oplus : 直和

であるため、

$$\begin{aligned} P(B1) &= P(B1 \cap A1) + P(B1 \cap A2) \\ &= P(B1|A1) \times P(A1) + P(B1|A2) \times P(A2) \end{aligned}$$

となり、

$$P(A1|B1) = P(A1) \times P(B1|A1) / (P(B1|A1) \times P(A1) + P(B1|A2) \times P(A2))$$

となる。

ここで、P(B1|A1)、P(B1|A2)は何らかの方法にて既知であるとする。すなわち、不具合がある場合に検査で不具合があるとする確率、不具合がないのに検査で不具合がある（誤判断）とする確率は事前

にわかっていると仮定する。このことについて、それまでの検査事例より得られるとすることは合理的であろう。また、 $P(A1)$ 、 $P(A2)$ は正確には判明していないが、専門家はそれについて何らかの主観的な確率（主観確率）を持っているとする。この $P(A1)$ 、 $P(A2)$ のように、正確ではないが、人間がそれまでの経験等により持っている知識から推定する確率を事前確率といい、実験、観察等に得られる知識をそれまでの知識に加えて修正することにより得られる確率($P(A1|B1)$)を事後確率という。

表 3.2.4 不具合検知確率による不具合認知確率の変化

$P(B1|A1)$	$P(B1|A2)$	$P(A1|B1)$
0.98	0.05	0.165
0.99	0.01	0.5
0.999	0.001	0.910
0.9999	0.0001	0.990

表 3.2.4 に、不具合検知確率が高まり不具合でないのに不具合と判断する（誤判断）確率が低くなることは、故障と判断した場合にその判断が正しい、すなわち実際に不具合がある確率（事後確率）に大きな影響を与えることがわかる。またこの時、不具合があると判断した場合に実際に不具合が発生していると確信する確率(主観確率)は 1 に近づくことになる。

そこで、ET 手法と BN 手法の両手法について検討してみる。

・解析可能な問題

一般的に解決できる問題については両者とも差は無いと考えられる。しかしながら、ET 手法はツリー構造をしており、すべての場合分けを表現可能であり、BN 手法はネットワーク構造でどのような影響関係も表現できる。実際、3.1 で述べた HUGIN の内部では、可全ての可能な組合せの計算を実施している。

・ユーティリティプログラム

手法としては、ET 手法の方が理解し易いものと考えられる。ET 手法では、解析対象が複雑でない場合には簡易的に手計算でも可能であり、表計算ソフト等を用いても解析が可能である。一方 BN 手法では、解析のために専用のユーティリティプログラムが必要となる。

各手法を用いる際に必要なユーティリティプログラムについては、ET 手法では、海上技術安全研究所で開発した MSET (Maritime Safety Event Tree analysis)⁽¹⁾、ET 手法も可能としたリスク解析のための統合型ユーティリティプログラムとして INEL (The Idaho National Laboratory)で開発した SAPHIRE⁽³⁾、また ABS Consulting の RISKMAN⁽⁴⁾ 等がある。これらのユーティリティプログラムでは、いずれも重要度評価と不確実性解析等が可能なのである。

BN 手法では、3.1 で述べたように HUGIN 等があげられる。HUGIN では、各ノードのデータからネットワーク構造、CPT を自動的に求めるプログラムが付属している。したがって、データがあれば、構造、CPT とも容易に求めることができる。しかしながら、出来上がったものの正当性の吟味は必要であると考えられる。また後述の「不確実性解析」で述べるように、BN 手法では重要な確率推論のアルゴリズムが完全ではないように考えられる。

- ・ 実用性

実用性という観点からは、ET 手法はノードの状態をすべて図示するため、問題が大きくなると表示が多くなり実用的な表現方法とは言えなくなる。実際 3.2.2 で述べたように、ET 手法の場合、今回の解析の一部は行うことが出来たが、全ての解析を行うことはシーケンス数が膨大な数となり、現在のソフトウェアでは、人為的には ET の作成そのものが困難となり合理的でないことが分かった。

しかしながら、ソフトウェアの対応等その表示方法等の工夫があれば実用的になる可能性はある。また、ヘディング間に確率的依存性がある場合、独立でないヘディングの条件付確率を人間が計算しなければならない。

BN 手法では、今回利用した HUGIN を例にすれば、ネットワーク図全体が表示され、ノードとノード間の関係を表示することが可能である。また、CPT（条件付確率表）と各ノードの状態の発生確率も表示可能であり、各ノードの CPT と状態の確率は必要に応じて表示される。

- ・ 推論

ET 手法では、ツリーのヘディングの確率が変化すると下流にその影響が伝播し、その変化の影響を調べられるが、上流には影響が及ぶことは無い。これに対し BN 手法では、ベイズの定理により、どの位置のノードの各状態の確率を変化させても上流、下流にその影響が伝播し、事後確率が容易に求めることが可能である。

- ・ 不確実さ解析

解析の際に用いるデータの不確実さについて検討するための、不確実さ解析については、ET 手法では故障確率の分布を仮定してモンテカルロ法で不確実さを解析可能である。

BN 手法は、ノードの取り得る各状態の確率を求める（推論する）ものであり、そもそも不確実さを含むものである。この確率推論アルゴリズムとしては、“Systematic sampling,” “Junction tree,” “Loopy BP”の 3 つの手法が有名であるが、各々の詳細は参考文献等⁽⁵⁾を参照されたい。

一例として“Systematic sampling”に関して述べる。この手法は、準モンテカルロ法を用いている。ベイジアンネットにより定義される同時確率にしたがい、全変数のとりえる状態の確率をあらかじめ求めて表にしておき、全状態空間内をあるインターバルで等間隔に効率的にサンプリングする等の特徴がある。しかしながら、十分な精度を得るためには必要なサンプル数が増大し、これに比例して計算時間も増加する等の欠点もある。また、これら 3 つのアルゴリズムいずれにも、固有の欠点が存在する⁽⁵⁾。

- ・ その他

今回は着手できなかったが、FT 手法と組み合わせることによる ET 手法の解析可能な範囲は広がる。ベイズ BN 手法の特徴である、ベイズの定理を利用したアルゴリズムによる推論は当然のことながら ET, FT 手法では出来ない。

一方、ET 手法と BN 手法共通の課題として、データベースの問題がある。解析を実施するためには、それに見合ったデータベースが必要となる。そのため、データが整備されていない現状では解析が困難な面もあり、特に適切でないデータは不確実さの増加の要因ともなり得る。機器の破損確率データ収集のためにベイズの定理を応用した報告例もあるが、現状ではこのような故障機器のデータベース等は、まだ我が国では積極的に導入されてはいない。

以上のことから、今回の解析では、ノードの状態について適切に表示可能であること等から、BN手法で評価を行うこととした。

参考文献

- (1) RR49 船舶の総合的安全評価に関する調査研究年次報告書 日本造船研究協会 平成 13 年 3 月等
- (2) RR-S7 船舶の総合的安全評価に関する調査研究 成果報告書 日本造船研究協会 平成 16 年 3 月
- (3) <http://saphire.inel.gov/>
- (4) <http://www.absconsulting.com/riskmansoftware/>
- (5) <http://www.sp.dis.titech.ac.jp/~kaba/Special4/motomura.pdf>

表 3.2.1 解析に用いられたノードの分類と関係

	Node	Status	分岐条件を 与える同じ グループの Node	分岐条件を 与える同じ グループの Node	コメント
Visual detection	Weather	Good Storm Windy Fogs			“Storm”, “Fogs” Table D.1
	Visibility	>1 nm Good <1 nm Poor	Weather		
	Daylight	Day Night			
	Bridge view	Good Standard			
	Marking	Standard Poor			
	Able to visual detect	Yes No	Visibility Daylight Bridgeview Marking		
	Familiarisation	Familiar Quite Familiar Not Familiar			
	Visual detection	Yes No	Able to visual detect Familiarisation	Navigational aids in use Attention	
Navigational aid detection	Rader function	Yes No		Maintenance routines	
	Rader tuning	Adjusted to conditions Not adjusted			
	Signal quality	Good Poor	Rader tuning	Weather	
	Able to radar detection	Yes No	Rader function Signal quality		
	Navigational aids in use	More time to detection No more time to detection	ECDIS used Navigation system detection		
	Rader detection	Yes No	Able to radar detection Navigational aids in use	Attention	
	ECDIS used	Yes No			
	GPS signal	Yes No		Maintenance routines	
	Other ECDIS failure	No failure Failure		Maintenance routines	
	Able to ECDIS detection	Yes No	ECDIS used GPS signal Other ECDIS failure	Update routines	
	Paper chart	Available Not available			
	Grounding alarm	Yes No			
	Chart detection	Yes No	Rader delection Able to ECDIS detection Paper chart Grounding alarm	Attention	
	Navigation system detection	Yes No	Rader detection Chart detection		
	Detection	Yes No			

Management factors	Safety culture	Excellent Standard cruise			
	Maintenance routines	Good Poor	Safety culture		
	Update routines	Good Poor	Safety culture		
	Passage planning	Standard Poor	Safety culture		
Human factors	Duties	Normal High Extreme		Safety culture	
	Tired	Yes No	Duties		
	Other distractions	Few Many		Safety culture	
	Non navigational tasks	Few Many		Safety culture	
	Distraction level	Low level of distractions Moderate level of distractions High level of distractions	Other distractions Non navigational tasks		
	Stress level	High Standard		Familiarisation	
	Incapacitated	Capable Reduced capability			
	Personal condition	Fit Unfit Not able to perform	Tired Incapacitated Stress level	Safety culture	
	Competence	Excellent Standard Low	Personal condition		
	Bridge design	Standard cruise Beyond standard Below standard			
	BRM	BRM system exists No BRM system			
	Attention	High attention Low attention Not able to any attention	Distraction level Personal condition Bridge design BRM		
	Performance	Excellent Standard Poor	Competence Personal condition Bridge design		
	Assessment	Correct Wrong No assessment	Performance	Detection Vigilance	
	Action	Correct action Wrong action	Performance Assessment	Vigilance Track control used	
Technical reliability	Steering failure	Function Not function		Maintenance routines	
	Track control used	Yes No			
Support	Communication level	Beyond standard Standard Substandard		BRM	
	Task responsibilities	Clear responsibilities Unclear responsibilities		BRM	
	Pilot vigilance	Able to correct Not able to correct No pilot	Task responsibilities	Familiarisation	
	Officer no.2 vigilance	Able to correct Not able to correct Not present	Communication level Task responsibilities	Distraction level	

	Internal vigilance	Yes No	Pilot vigilance Other internal vigilance Officer no.2 vigilance		
	VTS presence	Yes No			
	VTS vigilance	Yes No	VTS presence		
	Vigilance	Yes No	Internal vigilance VTS presence		
Overall	Loss of control	Loss of control No loss of control	Steering failure		
	GROUNDING	Yes No	Loss of control		
Consequences	Type of ground hit	Sand Rock			
	Vessel damage	No/minor Major Catastrophic No grounding	Type of ground hit	Weather GROUNDING	
	Vessel sink	Yes, within 30 min Yes, after 30 min No N/A	Vessel damage		
	Extreme condition	Good Moderate Difficult		Weather Daylight	
	Evacuation means	Above requirements Fulfil requirements		Safety culture	
	Drills	Above requirements Fulfil requirements		Safety culture	
	Internal conditions	Good Average	Evacuation means Drills		
	Evacuation	Not initiated Successfully Not successfully Not possible Not applicable	Extreme condition Internal condition Vessel sink		
	People location	In sea In lifeboart In liferaft Onboard N/A	Vessel sink Evacuation		
	Rescue	Within 15 min 15-30 min More than 30 min			
	Water temperature	Below 15°C 15-20°C Above 20°C			
	Evacuation fatalities	Yes No	Rescue Water temperature		
	Immediate fatalities	Yes No	Vessel damage		
	Fatalities	Yes No	Evacuation fatalities Immediate fatalities		

表 3.2.2 ノードの CPT の利用について

Able to visual detect (C17)

C14	>1nm						<1nm									
	Day			Night			Day			Night						
	Standard	Good	Poor	Standard	Good	Poor	Standard	Good	Poor	Standard	Good	Poor				
C15																
C16																
C40	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard				
Yes	1.0	0.9995	0.999	0.9985	0.999	0.9985	0.999	0.9985	0.999	0.9985	0.999	0.9985				
No	0.0	5.0E-4	0.0010	0.0015	0.0010	0.0015	0.0010	0.0015	0.0010	0.0015	0.0010	0.0015				
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	L	m	n	o	p

図 3.2.1 に示した赤線が d

表 3.2.3 計算結果

No.	Seq. No.	Seq. Name	Prob.(%)	End State	No.	Seq. No.	Seq. Name	Prob.(%)	End State
1	#1		1.08E-01	○	40	#40	W#1!VDA	3.15E-04	×
2	#2	M	1.20E-02	○	41	#41	W#1!VDM	1.40E-04	○
3	#3	MA	1.20E-05	×	42	#42	W#1!VDMA	3.50E-05	×
4	#4	B	1.08E-01	○	43	#43	W#1!VDB	1.18E-03	○
5	#5	BA	5.40E-05	×	44	#44	W#1!VDBA	3.94E-04	×
6	#6	BM	1.20E-02	○	45	#45	W#1!VDBM	1.31E-04	○
7	#7	BMA	1.80E-05	×	46	#46	W#1!VDBMA	4.38E-05	×
8	#8	D	2.52E-01	○	47	#47	W#2!	2.16E-02	○
9	#9	DA	2.52E-04	×	48	#48	W#2!M	2.40E-03	○
10	#10	DM	2.66E-02	○	49	#49	W#2!MA	2.40E-06	×
11	#11	DMA	1.40E-03	×	50	#50	W#2!B	2.16E-02	○
12	#12	DB	2.52E-01	○	51	#51	W#2!BA	1.08E-05	×
13	#13	DBA	3.78E-04	×	52	#52	W#2!BM	2.40E-03	○
14	#14	DBM	2.63E-02	○	53	#53	W#2!BMA	3.60E-06	×
15	#15	DBMA	1.68E-03	×	54	#54	W#2!D	5.04E-02	○
16	#16	W#1!	2.03E-03	○	55	#55	W#2!DA	5.04E-05	×
17	#17	W#1!M	2.25E-04	○	56	#56	W#2!DM	5.32E-03	○
18	#18	W#1!MA	2.25E-07	×	57	#57	W#2!DMA	2.80E-04	×
19	#19	W#1!B	2.02E-03	○	58	#58	W#2!DB	5.03E-02	○
20	#20	W#1!BA	1.01E-06	×	59	#59	W#2!DBA	7.56E-05	×
21	#21	W#1!BM	2.25E-04	○	60	#60	W#2!DBM	5.26E-03	○
22	#22	W#1!BMA	3.38E-07	×	61	#61	W#2!DBMA	3.36E-04	×
23	#23	W#1!D	4.72E-03	○	62	#62	W#3!	2.43E-03	○
24	#24	W#1!DA	4.73E-06	×	63	#63	W#3!A	2.70E-04	×
25	#25	W#1!DM	4.99E-04	○	64	#64	W#3!M	2.70E-04	○
26	#26	W#1!DMA	2.63E-05	×	65	#65	W#3!MA	3.00E-05	×
27	#27	W#1!DB	4.72E-03	○	66	#66	W#3!B	2.38E-03	○
28	#28	W#1!DBA	7.09E-06	×	67	#67	W#3!BA	3.24E-04	×
29	#29	W#1!DBM	4.94E-04	○	68	#68	W#3!BM	2.64E-04	○
30	#30	W#1!DBMA	3.15E-05	×	69	#69	W#3!BMA	3.60E-05	×
31	#31	W#1!V	6.08E-04	○	70	#70	W#3!D	5.04E-03	○
32	#32	W#1!VA	6.75E-05	×	71	#71	W#3!DA	1.26E-03	×
33	#33	W#1!VM	6.75E-05	○	72	#72	W#3!DM	5.60E-04	○
34	#34	W#1!VMA	7.50E-06	×	73	#73	W#3!DMA	1.40E-04	×
35	#35	W#1!VB	5.94E-04	○	74	#74	W#3!DB	4.73E-03	○
36	#36	W#1!VBA	8.10E-05	×	75	#75	W#3!DBA	1.58E-03	×
37	#37	W#1!VBM	6.60E-05	○	76	#76	W#3!DBM	5.25E-04	○
38	#38	W#1!VBMA	9.00E-06	×	77	#77	W#3!DBMA	1.75E-04	×
39	#39	W#1!VD	1.26E-03	○					

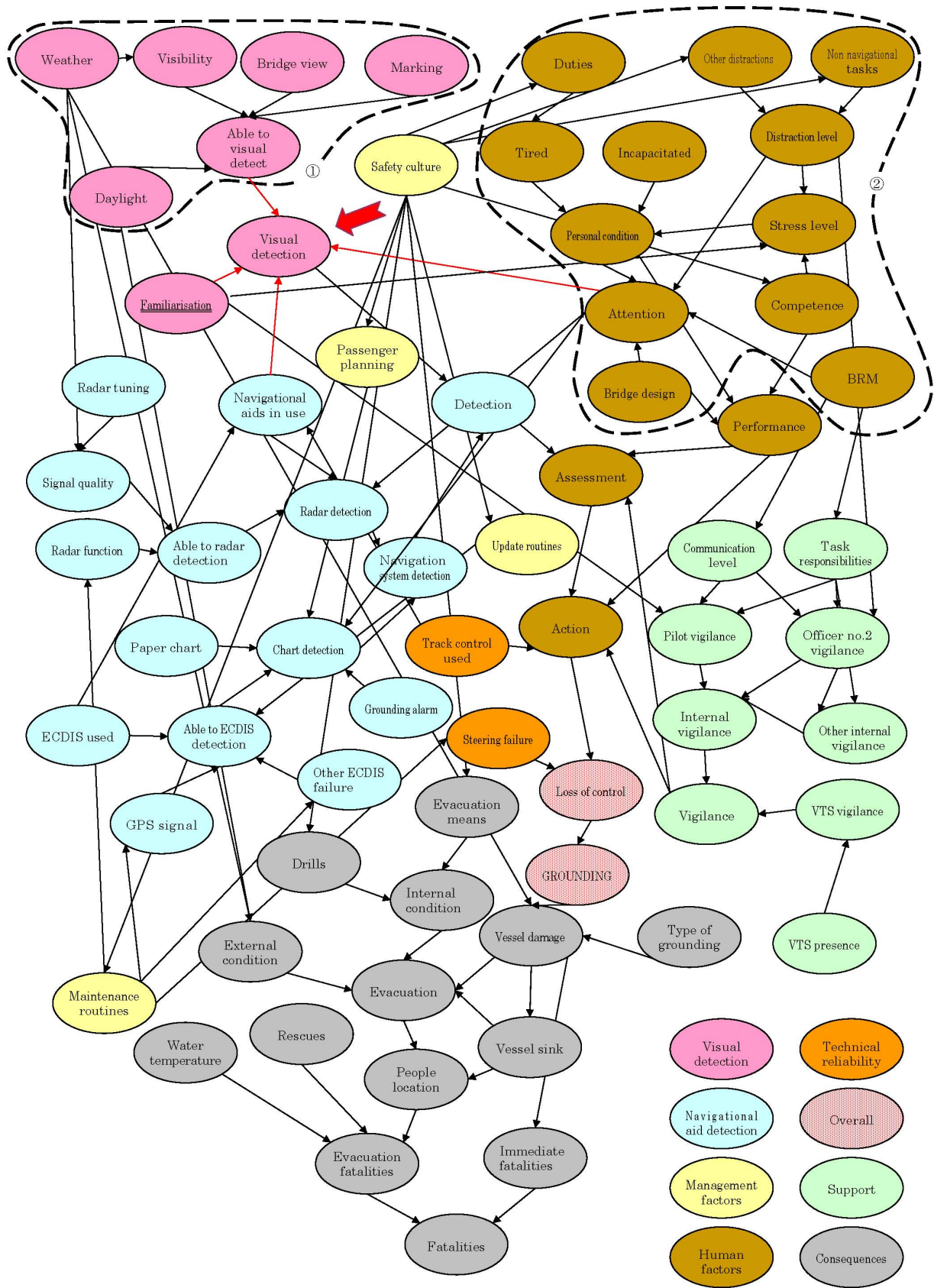


図 3.2.1 Grounding のベイジアン・ネットワーク図

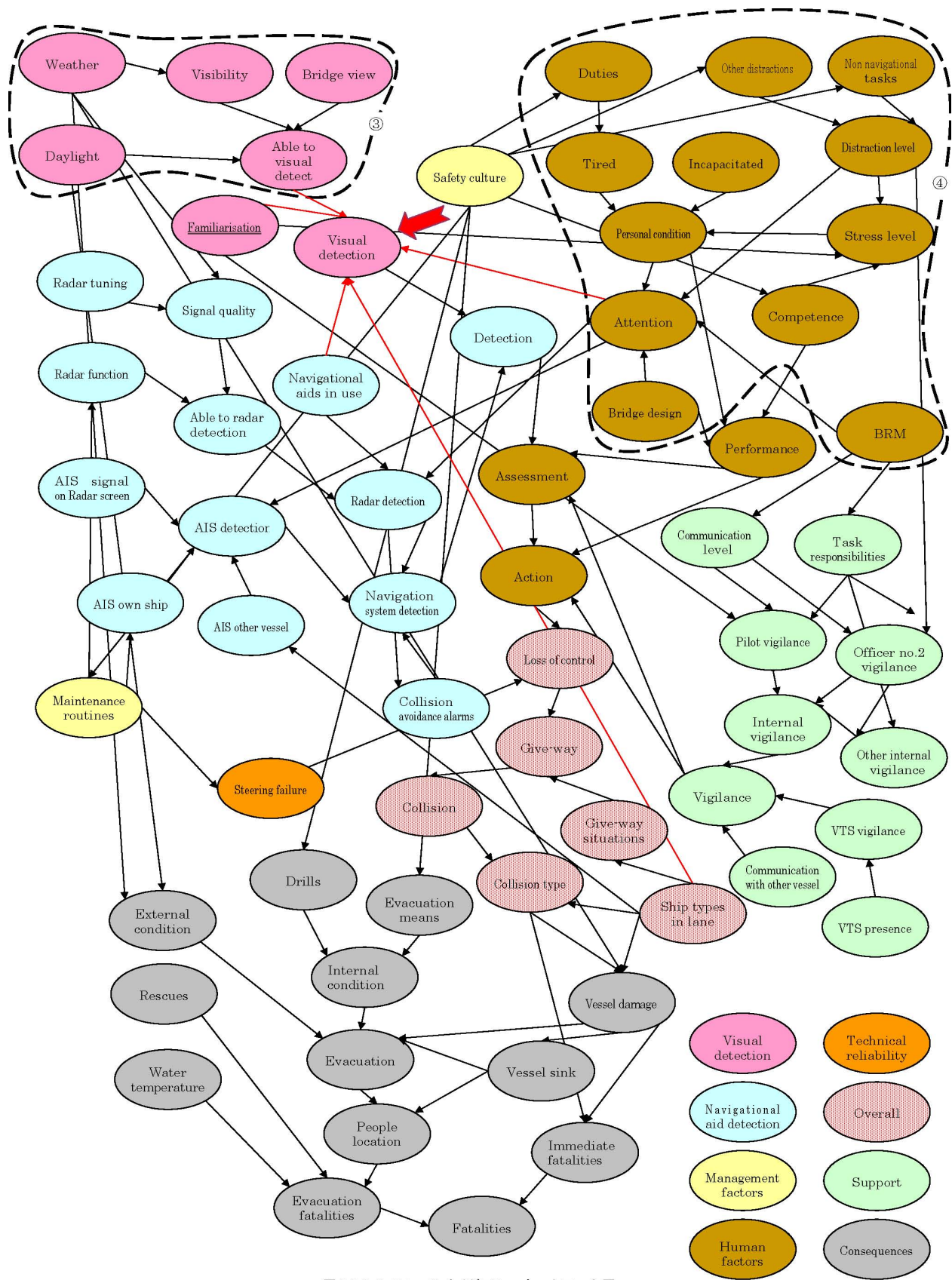


図 3.2.2 Collision のベイジアン・ネットワーク図

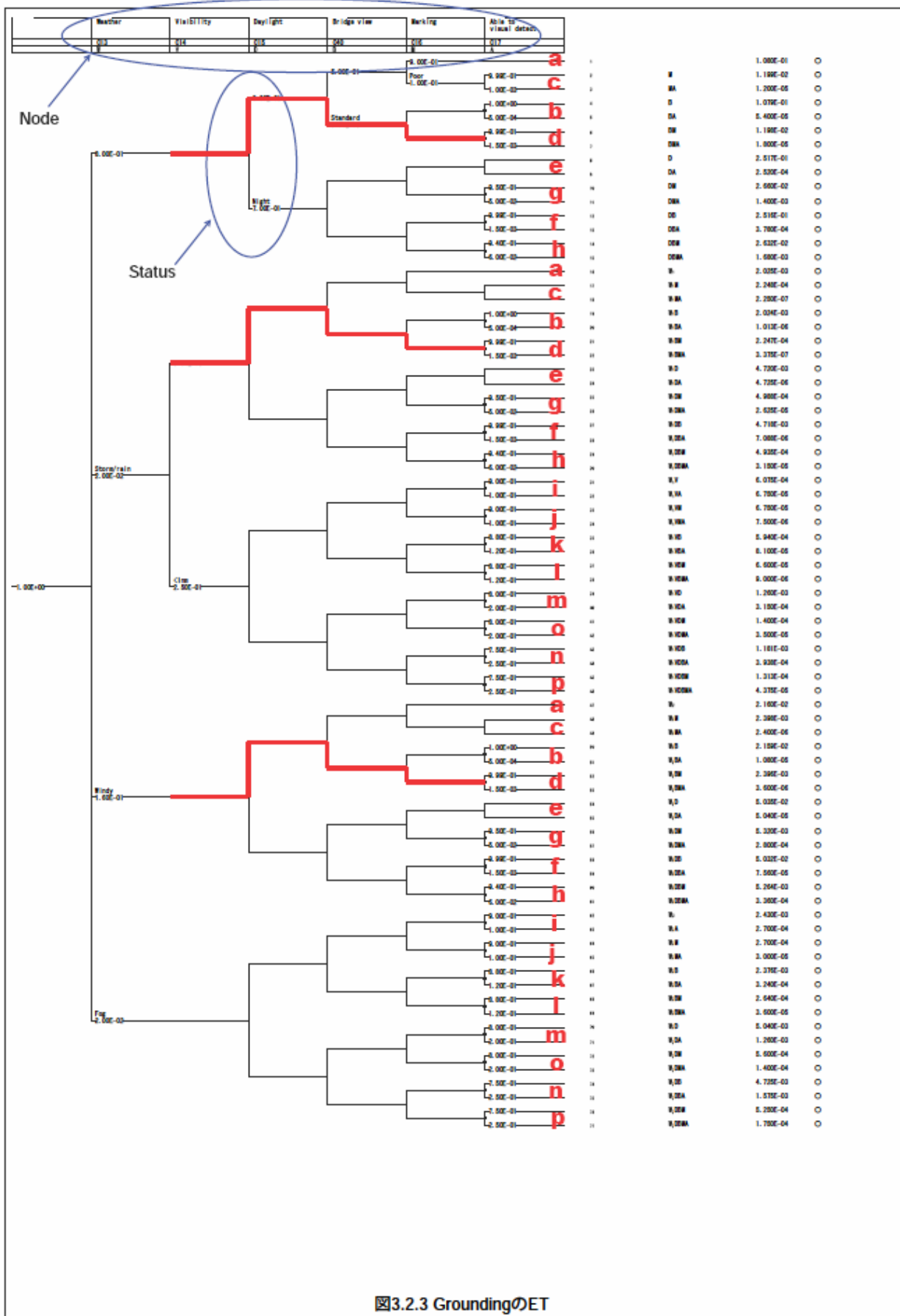
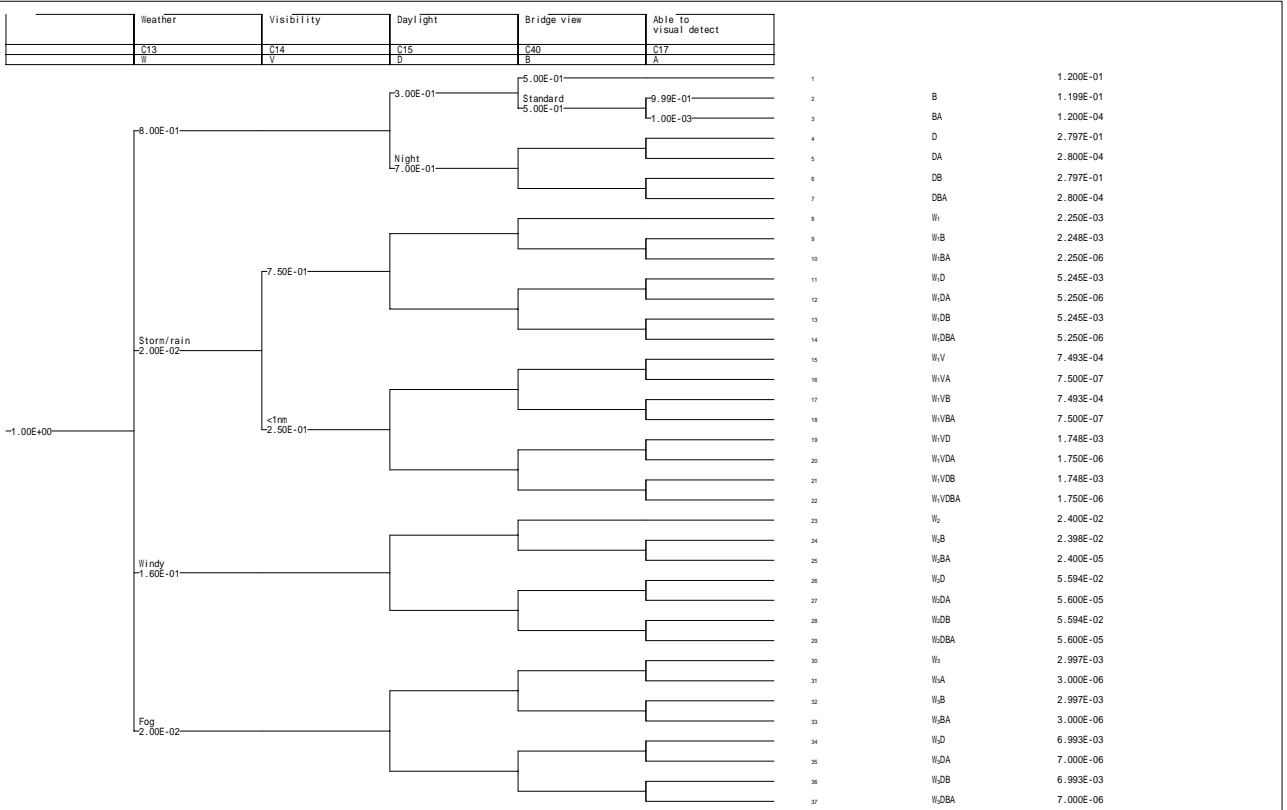
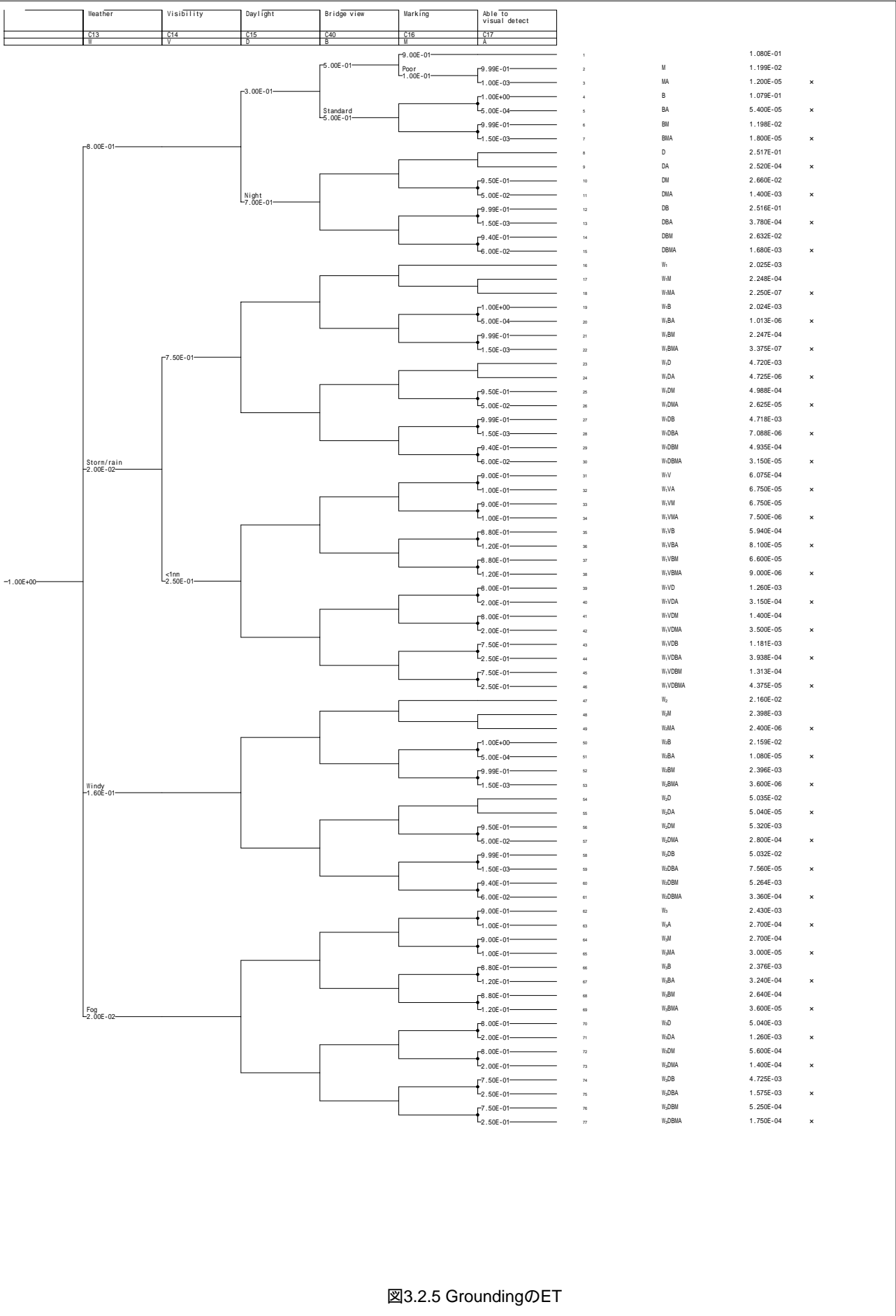


図3.2.3 GroundingのET



☒3.2.4 CollisionのET



☒3.2.5 GroundingのET

3.3 経済規模を考慮した許容基準の設定

MSC72/16 (Norway) では、リスク許容基準は考慮対象の経済活動における重要性と関連しているべきであり、単位経済的生産量あたりの平均死者数に対して調整されるべきとの考えが述べられている。これは、社会リスクは考慮対象の経済活動の重要性に応じて受け入れられる大きさが変化するという考え方である。経済活動の重要性は経済活動の総計的指標である GNP への寄与で最も適切に計られるとする。

この考え方により、労働災害に関する指標 q は、単位 GNP あたりの平均死者数によって定義する。交通機関に関しては、下記のような指標 r の定義が適当としている。

$$q = \frac{\text{Number of occupational fatalities}}{\text{GNP}}$$

$$r = \frac{\text{Number of fatalities due to transportation}}{\text{Contribution to GNP from transportation}}$$

旅客船以外の船舶の乗務員の許容限界の設定の際には q を用い、旅客船の乗客の許容限界の設定の際には r を用いるのは合理的と思われる。米国とノルウェーのデータより、 $q=1.5$ (人/10 億 £)、また、ICAO のデータを用いて、 $r=8.6$ (人/10 億 £) としている。

この考え方より、ある特定の船舶 (A) の乗務員に対する許容可能な年間死者数の平均値 (すなわち PLL_A : Potential Loss of Lives) とその船の経済価値 (EV) は以下のような関係になる。

$$q = \frac{PLL_A}{EV_A}$$

ここで、 PLL_A はその定義より下記のように定義される。

$$PLL_A = \sum_{N=1}^{N_u} N \cdot f_N$$

N は死者であり、 f_N は N 人の死者の許容発生頻度である。

ここで、FN 曲線は N のべき乗 (b) に反比例すると仮定 (死者数が 10 倍になると、それ以上の死者数を出す事故の頻度が 10^{-b} で以下でない) と許容されない) とすると、 N 人以上の死者が出る許容発生頻度 F_N は、

$$F_N = \sum_{i=N}^{N_u} f_i \text{ より、 } f_N = F_N - F_{N+1}, \quad F_N = \frac{C}{N^b}$$

したがって、下記のようになる。

$$PLL_A = \sum_{N=1}^{N_u} N f_N = \sum_{N=1}^{N_u-1} N (F_N - F_{N+1}) + N_u F_{N_u} = \sum_{N=1}^{N_u} N \left(\frac{C}{N^b} - \frac{C}{(N+1)^b} \right) + N_u \frac{C}{N_u^b}$$

ここで

$$F_1 = \frac{C}{1^b} = C$$

であるため、

$$\begin{aligned} PLL_A &= \sum_{N=1}^{N_u-1} N F_1 \left(\frac{1}{N^b} - \frac{1}{(N+1)^b} \right) + F_1 \frac{1}{N_u^{b-1}} = F_1 \left(\frac{1}{N_u^{b-1}} + \sum_{N=1}^{N_u-1} \left(\frac{1}{N^{b-1}} - \frac{N}{(N+1)^b} \right) \right) \\ &= F_1 \left(\frac{1}{N_u^{b-1}} + \sum_{N=1}^{N_u-1} \left(\frac{(N+1)^b - N^b}{N^{b-1}(N+1)^b} \right) \right) \end{aligned}$$

となる。

種々の文献は、 $b=1$ としている。 $b=1$ とするのはリスク嫌悪 (risk averse) ではないとの見方をしている人がいるが、それは誤りである。人間の心理面での特性より、死者数が多い事故によるリスクへの寄与 (すなわち死者数とその死者数の事故の発生頻度) が死者数が少ない事故からの寄与より小さくなくてはならないが、

$$Risk(N) = N \cdot f_N = N \cdot (F_N - F_{N+1}) = \frac{F_1}{N+1}$$

となり、死者数が多ければ多いほどリスクへの寄与が小さくなるため $b=1$ はリスク嫌悪 (risk averse) である。

よって、

$$PLL_A = \sum_{N=1}^{N_u} F_1 \cdot N^{-1}$$

となる。これより、 F_1 は以下のように求められる。

$$F_1 = \frac{PLL_A}{\sum_{N=1}^{N_u} \frac{1}{N}} = \frac{q \cdot EV}{\sum_{N=1}^{N_u} \frac{1}{N}} \quad \dots (1)$$

ノルウェーはこのようにして F_1 を求め、超過頻度と死者数との図上で (死者数 1、1 人以上の死者を出す事故の発生頻度 F_1) の点を通り、傾き -1 の直線を引いて、それより 1 桁上の平行線を上回る領域は Intolerable の領域、1 桁下の平行線を下回る領域は Negligible の領域とし、その間を ALARP (As Low As Reasonably Practicable) 領域としている。

文献 (MSC72/16) では GNP 等は米国とノルウェーの値を使用しているが、同様に日本のものを用いれば内航船の安全性の基準となる。

対象船種の F_1 を求めるためには、EV すなわち対象船種が経済活動により 1 年に得る収入と、対象船種の平均乗組員の数、旅客船であれば乗客数が必要となる。

ここで、表 3.3.1 に示す日本の労働災害による死者数と GDP の値より q を試算する。使用する値は平成 14 年のものとする。

$$q = 1658 / 511400.9 \times 10^9 \text{ 人/円}$$

となる。

ここで、1 £ = 196 円とすると、

$$\begin{aligned} q &= 1658 \times 196 / 511400.9 \times 10^9 \text{ (人/£)} \\ &= 0.635 \text{ (人/10 億£)} \end{aligned}$$

となり、US とノルウェーのデータより求めた値の半分以下となる。これより日本の生産額当りの死者数はノルウェーの値より少ないことがわかる。

一方、平成 15 年 2 月発表の農林水産統計によると、2002 年の漁船の生産高 (内水面および養殖による生産高を除く) は 1134.276×10 億円であり、その年の 7 海難の死者数は 63 人であるため、同年の漁船の生産高あたりの死者数は以下ようになる。

$$\begin{aligned} q_s &= 63 / 1134.276 \times 10^9 \text{ (人/円)} \\ &= 63 \times 196 / 1134.276 \times 10^9 \text{ (人/£)} \\ &= 10.88 \text{ (人/10 億£)} \end{aligned}$$

となり、日本全体の GDP 当りの労働災害による死者数の 17 倍も大きく、現在の値の 1 桁上を許容限界としても、許容できない数値と言えよう。

表 3.3.1 日本の労働災害による死者数および GDP
(厚生労働省労働基準局および内閣府経済社会総合研究所のウェブページより)

平成	西暦	死亡者数 (人)	GDP (10億円)
6	1994	2301	470,849.1
7	1995	2414	480,327.7
8	1996	2363	496,824.7
9	1997	2078	505,832.2
10	1998	1844	500,595.5
11	1999	1992	499,910.4
12	2000	1889	511,866.6
13	2001	1790	512,942.0
14	2002	1658	511,400.9

次に、日本漁船の社会リスクの限界を式(1)より試算する。使用するデータは第11次漁船センサス(平成15年)の資料である。それらから(1)を用いてF1を求め、表3.3.2に示す。

表 3.3.2 漁船の大きさ別カテゴリーの F1

大きさ別カテゴリー	隻数 (隻)	乗船人数最大数 (人)	1隻平均年間漁獲高 (万円)	F1
20GT未満	143971	2.5	¥462	3.99E-06
20GT以上	9189	20.9	¥23,990	6.76E-05
100GT以上	3273	20.9	¥56,639	1.50E-04

F1はFN曲線の横軸1の際の縦軸の値である。

b=1として、上限、下限の線を表3.3.2のカテゴリーのFN曲線の図に入れた。

20GT未満の漁船の前後半のFN曲線の図は、図3.3.1に、20GT以上の漁船の前後半のFN曲線の図は、図3.3.2に、そして、100GT以上の漁船の前後半のFN曲線の図は、ロイド統計の漁船(100G以上)とともに図3.3.3に示す。

図3.3.1より、20GT未満の漁船は人命損失数1以上および2以上の発生頻度は上限を超え、許容できない領域にある。また、図3.3.2より20GT以上の漁船は前後半とも上限を超え、図3.3.3より、100GT以上の漁船では、前半は人命損失数5人以上の発生頻度は上限を超えていたが、後半ではほぼ上限の線ぎりぎりとなっている。

この方法では、漁船の漁獲高がGDPに入っていると仮定を置いているが、この方法によりリスク許容基準を設定するためには、GDPに算入されている数値を確認する必要がある。

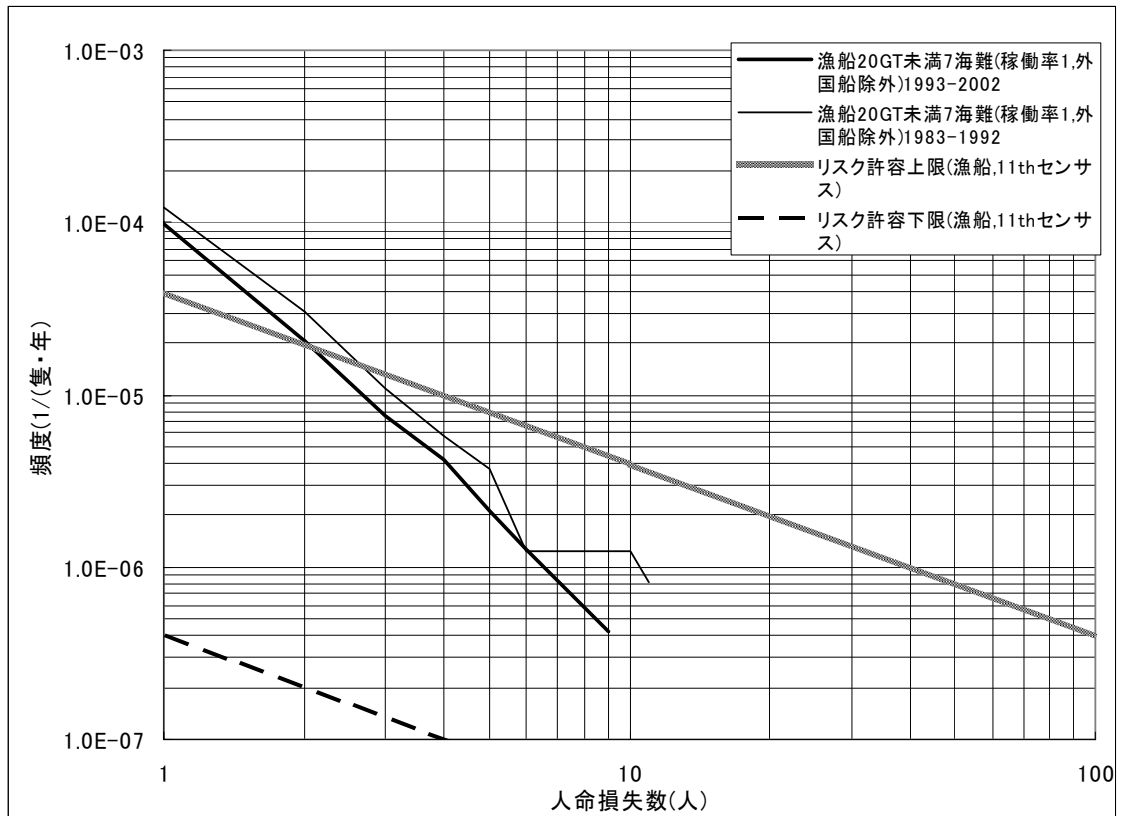


図 3.3.1 20G T未満日本籍漁船の FN 曲線と ALARP 領域

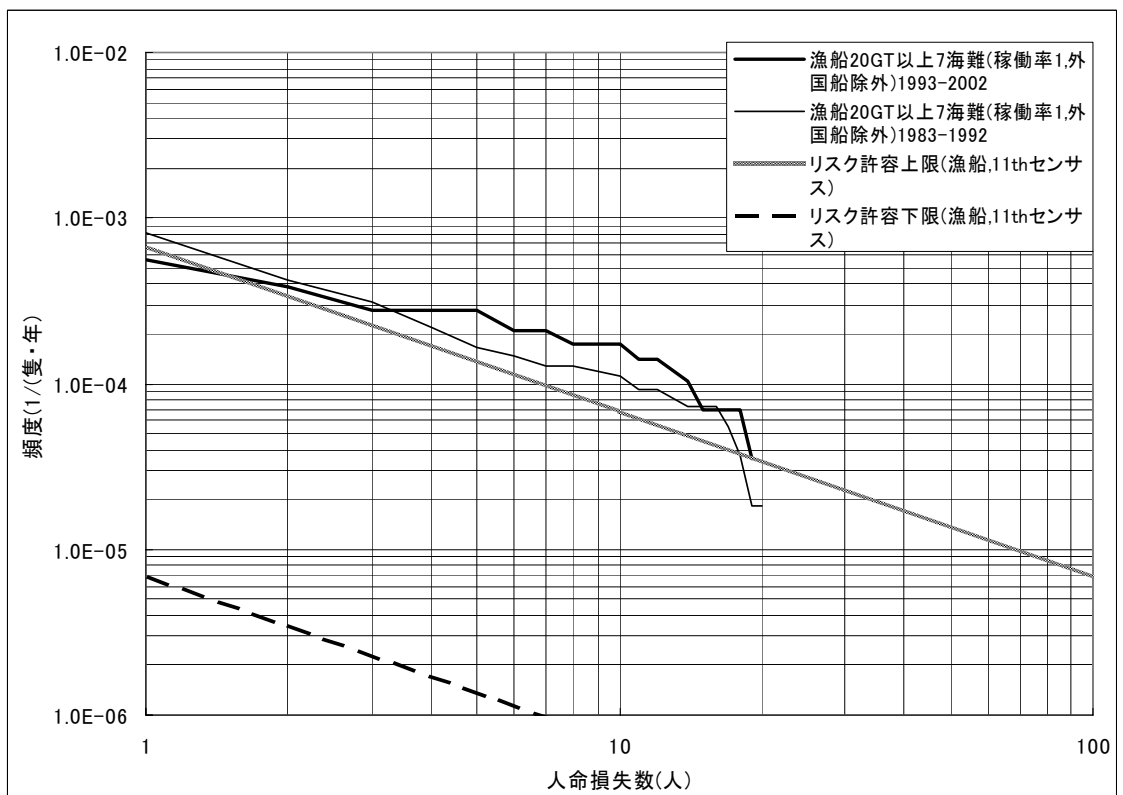


図 3.3.2 20G T以上日本籍漁船の FN 曲線と ALARP 領域

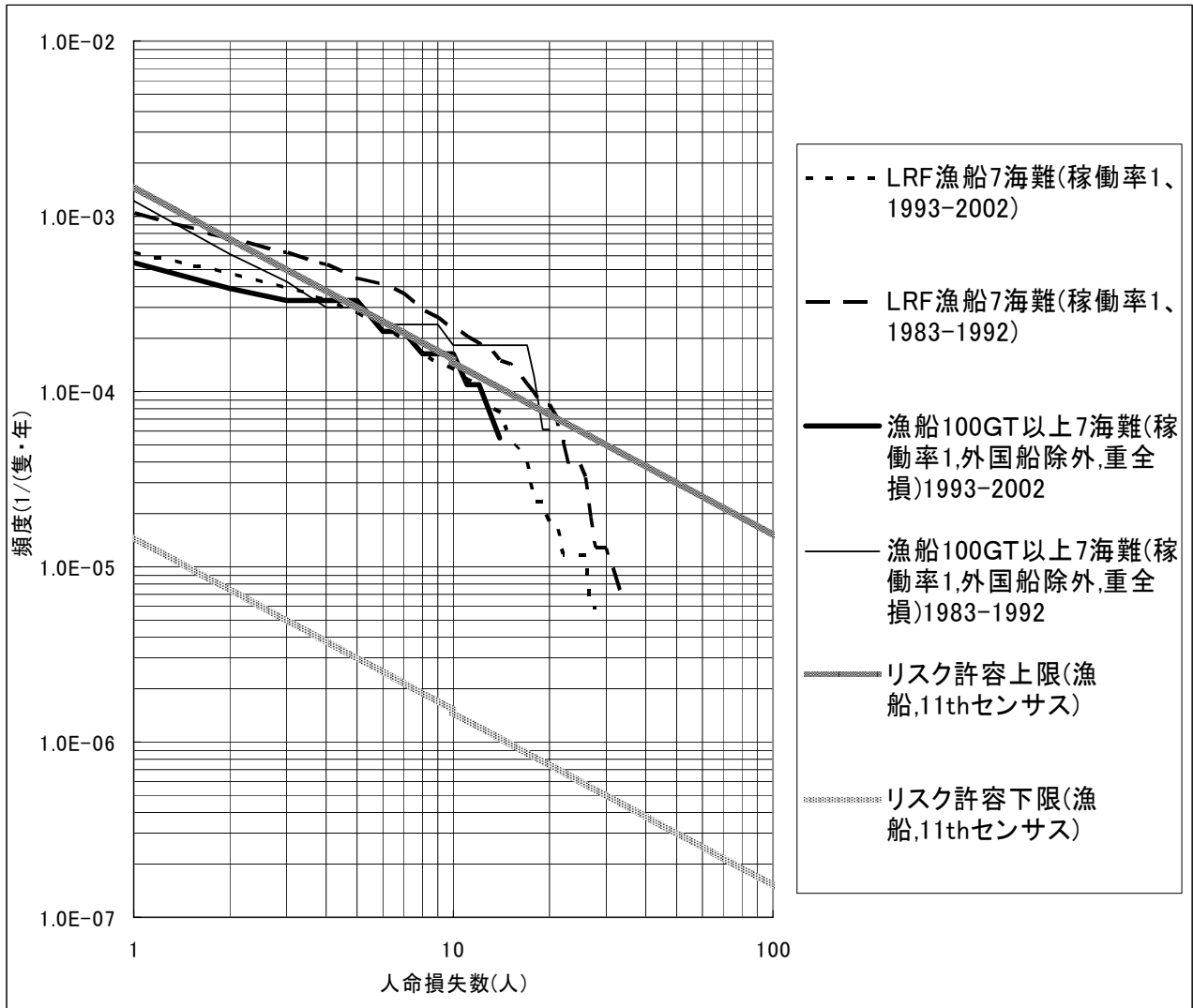


図 3.3.3 ロイド統計の漁船と 1000G T以上日本籍漁船の FN 曲線と ALARP 領域

3.4 海上輸送リスクと海洋環境価値評価基準の策定の検討

ECDIS の一般外航船への強制化範囲の拡大の IMO での議論に関連して、ここでは海上輸送に際して座礁等の海難事故を起因とした輸送事故による海洋汚染等のリスクについて検討を行う。市民のもつリスク意識と価値観を視点にして、人々の輸送リスク受容度と海洋環境価値の評価について、インタビューやアンケートを通してフィールド調査を行い、統計的解析により分析を行う。

3.4.1 本調査研究の目的

本調査の目的として、FSA についての補完的調査研究として、船を起因としたリスク解析の際のリスクの受容性と海洋環境損害について次の大きく 2 点について調査研究を行った。

(1) 海上輸送リスク受容性の調査

資源・エネルギーの海上輸送は人々の生活を維持することに必要不可欠であるが、これには輸送リスクが伴う。人々は利便性を得る代わりにリスクを受容することになるが、このリスク受容の程度がどの程度であるかを算定するために、ここでは乗上げ放置船による環境被害を受けた地域や油濁による環境災害を受けた地域での現地インタビューとアンケート調査を行い統計的手法により個人のリスク受容の程度を算定する。

輸送リスクの評価項目として、自分あるいは環境等に対しての損害の規模、災害発生の頻度、リスクを受け入れることによる利益の大きさ、リスクを受け入れないことによる不利益の大きさの項目のように、トレードオフ関係にある項目について、相対的な重要をコンジョイント分析により解析を行う。

また、評価対象として原油輸送を起因とした油濁事故と資源輸送に伴う燃料油の漏洩による油濁事故等について人々のリスク受容の程度を、評価比較対象として例えば自動車による旅客輸送、原子力発電等に伴うリスクについて相対的な比較からリスク受容性を推定する。

(2) 海洋環境価値評価の調査

海上、特に沿岸部で事故が発生すると事故の損害や海洋環境被害への請求も高額上るが、現状では国際油濁補償基金では清掃等の修復・回復まで合理的かつ費用効果の明らかな処置のみを補償対象としている。汚染と損失に近因関係が成立しない場合には補償対象とならないため、汚染による生態的影響等を含めた海洋環境被害については、この基金ではカバーしていない。また、この基金では石油産業と石油運送業の業界が拠出金を負担することになっているため、石油以外の船舶の事故による油濁被害については補償の対象外である。今後は米国内でのスーパーファンド法のように自然資源損害規定等による汚染者への厳しい責任を課している現状を考えると海洋環境被害の算定について検討を行う必要があると考える。ここでは、アラスカでのエクソンバルデス号事故で用いられた仮想的評価法 (CVM) を適用することにより海洋環境価値の算定を試み、この算定値から海洋環境被害の算定を試みる。

なお、リスク受容度の調査および CVM 調査では市民へのアンケート調査が基となるため、ここでは座礁船や流出油事故被害のあった現地赴き調査を行う。アンケートおよび取材場所としては、乗上げ放置船問題や漁協、役場職員、ボランティア等 1,100 人を動員した流出油事故が発生した下関市（市内関門海峡付近および豊北町角島）および北九州の沿岸一帯を調査地域とした。

3.4.2 輸送リスクと環境価値の調査地の背景

関門海峡を挟み、北部九州および山口県では国境に近いこと等の地政的位置や船の交通量の多さから海難事故も多発している。図 3.4.1 に国内での内航・外国船籍の船舶の海難発生状況について平成5年から14年の発生件数の推移を示す。この図によると発生件数は、多少上下はあるもののほぼ横ばいであり、また北部九州および山口県を管轄する第7管区海上保安本部の取り纏め資料によるとこの地域での事故件数は全国の約20%を占める。

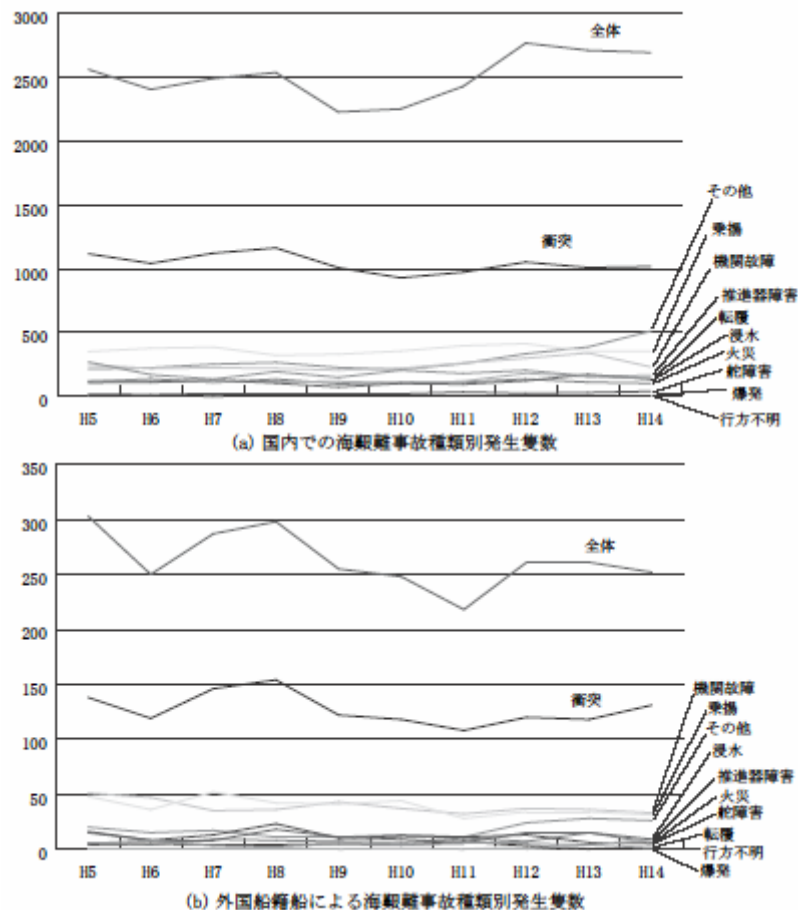


図 3.4.1 海難事故統計（保安庁資料より）

3.4.2.1 調査地の背景（座礁放置船問題の事例）

放置船事件の事例について、下関豊北町角島での座礁事故から放置船撤去までの経緯について概略を述べる。（地図にて位置説明）座礁場所は北長門海岸国定公園内に位置しており、「一般海域」と「自然公園法での普通地域」が関わる。

なお、「一般海域」とは所有権が国にあり、管理は地方公共団体とされており、船主に対して所有権のある地域からの撤去要求は所有者である国の判断に委ねられる。また、「自然公園法での普通地域」とは、海岸汀線から沖合 1km 以内の海域であり、海面に工作物を設営するかどうかの届け出規定はあるが、座礁船についての制度は無い。

(1) 座礁事故に至るまでの経緯

北朝鮮船籍貨物船チョンリュウ2号（CHONG LYU2, 427ton, 船長 49.9m, 幅 8m, ハンスーナム船長, 旧日本遠洋鮪延縄漁船, 船主責任保険未加入）は日朝間貿易に就航しており、平成 13 年 9 月末北朝鮮を出航して京都府舞鶴港にてシジミを荷揚げ後、中古自転車および中古冷蔵庫の荷積みを行い、平成 13 年 10

月 4 日に機関故障により下関に錨泊中の僚船（チョンリ्यू 1 号）を曳航救助するために、山口県下関市六連島沖合に向けて出港した。同年 10 月 6 日午前 2 時 30 分頃に角島沿岸海域を漫然と航行していたが、前方に数隻の漁船を発見して陸岸より舵をきったため山口県豊浦郡豊北町所在の角島灯台から北北西約 800m の浅瀬に座礁した。座礁時には若干の油流出が確認されたが以降は確認されず被害はなかった。その後、波浪により約 250m 移動して陸地から約 300m 地点に定置した。

(2) 座礁後の主な出来事

(a) 座礁船の離礁作業及び油抜き取り作業

座礁時当初、門司海上保安部から船主に対してサルベージ船による離礁を要請した。しかし高額な費用を必要とするため、北朝鮮船が現場に来てロープでの曳航作業を試みたが失敗した。台風や波浪等の影響による燃料油流出が懸念され、座礁現場周辺の国定公園、好漁場の環境保全のため、豊北町では、同年 10 月 16 日に座礁船船体からの油抜き取り作業を業者に依頼した。A 重油と軽油 15 キロリットル分としてドラム缶 83 本を回収したが、回収した油の陸上での処理費用が 15,000 円に上るため、60 本は他の北朝鮮船舶に引き取らせ、その他はチョンリ्यू 2 号の当面の船内での生活に使用されることとなった。油抜き取り経費 420 万円は最終的には豊北町で負担することとなった。

燃料油抜き取り作業後に、再び北朝鮮側船舶および海上保安庁巡視船による離礁作業を試みたが失敗に終わった。船主責任保険に未加入のため同船の離礁作業は対応策が見出せないまま置き去りになり、乗組員 15 人は座礁船船内にとどまることとなった。日本側は安全上の問題と人道的な立場から乗組員の角島など陸上施設への上陸を打診したが、北朝鮮本国からの上陸許可が出ないということで上陸を拒否して引き続き座礁船船内にとどまった。座礁から 47 日目の同年 11 月 22 日に、座礁船に残された乗組員 15 人の健康状態の理由から、別の北朝鮮船舶が来て、満載されていた約 1,600 台の中古自転車を積み替えて、北朝鮮へ全員帰国した。

(3) 座礁放置船交渉の経緯

当初は船体の救助として交渉を開始していたが、数度にわたる離礁作業が失敗し、また船体は浅海の上に船体中央から船尾まで船底が海底に埋まっていることが判明し、離礁作業は技術的に困難と見込まれたことから、以後は解体撤去を求める交渉内容に移行した。

さらに、平成 13 年 11 月 22 日「チョンリ्यू 2 号」の乗組員全員が僚船により帰国するまでの間は、門司海上保安部、山口県、旧豊北町及び角島漁業協同組合から船主および関連会社である朝鮮オンリ्यू貿易会社に対して、再三にわたる船体撤去作業実施について要請したが、先方からは、乗組員の帰国と貨物の移し替えに関する事に終始した回答があるのみで、船体撤去に関する具体的な方策の回答はなかった。

乗組員帰国後も、繰り返し定期的な要請を行ったが、具体的な回答はなかったが、平成 14 年 1 月に船主に対し電話で船体の撤去要請指導を行ったところ「天候が良くなる 3 月以降、撤去に向けて専門の技術者を派遣する」旨の話があったが、それ以後は船主とは連絡が取れない状況となった。

4 月以降も、朝鮮オンリ्यू貿易会社とは電話接続が出来るが、船主とは連絡が取れない状態が続き撤去要請も定期的に行ったが回答がない状態が続いた。

座礁後概ね 1 年間が経過する 8 月に今後の冬季波浪により船体破損や横転すれば現場に積荷が散乱して更なる被害拡大も懸念されることから、山口県では、外務省に対し何らかの打開策の糸口がないのか打診を行った。北朝鮮とは国交がないため両国の在中国（北京）大使館を経由することによって、山口県の意向が北朝鮮外務省に伝えられることになり、10 月になりこの外交ルートを通じ「日本側において座礁船舶を処理することに同意することになった」旨の連絡があり、外務省に対して先方からの文書提出について交渉を要請したところ、12 月 29 日に、「所有権を放棄し、船体撤去に同意する」旨の船主文書を山口

県が受領した。またこの交渉過程において北朝鮮側から日本側に対し、チョンリュウ船舶会社は既に解散し現在同社は存在せず、日本側にて適宜船体及び積み荷を処分していただいて結構との、発言があった。今後の被害拡大を防止するための緊急措置として、山口県及び豊北町は、この所有権放棄の通知をもって、日本国側での撤去もやむを得ないものとして、撤去に向けて本格的に検討を行うこととなった。

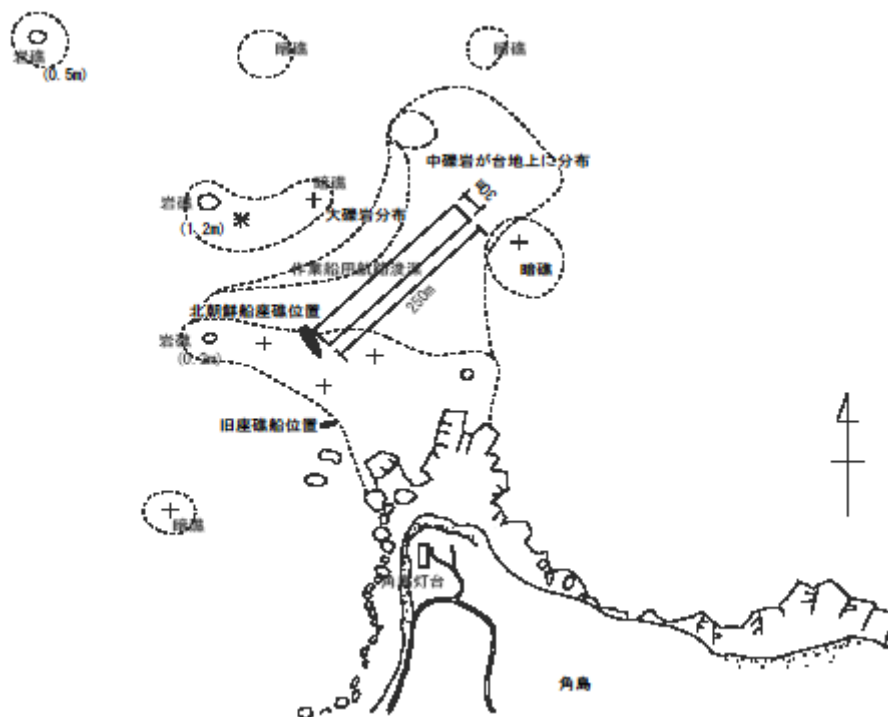


図 3.4.2 放置撤去工事の概図

(4) 座礁放置船撤去工事

山口県からは、船主責任保険に未加入など無責任船舶の航行制限と放置船舶の国の責任による撤去制度の創設の要望と制度創設までの間の座礁事故についての国の財政支援措置の適用を要望していた。現行の国の制度では、座礁船自体の撤去を目的とするものはないが、座礁船の船舶所有権の放棄、工法と概算工事費等を決定した段階で、水産庁漁場資源課に「漁場環境保全創造事業」の適用申請を行い事業が決定した。

座礁船撤去方法は海岸から仮設道 300m を敷設し船体にアプローチする「陸上ルート」（工費約 2 億円）と作業船による工事用航路を浚渫する「海上ルート」（工費約 1 億円）が想定されたが、経費および自然公園内での工事という観点から、海上ルートにより検討が進められた。漁業被害等の拡大を防止する趣旨から豊北町を事業主体として撤去工事を実施することとなり、財政負担を軽減するために、山口県として 50% の補助を行うとの決定をし、県・豊北町とも平成 15 年度当初予算を編成した。

(5) 事故による被害・問題点の整理

(a) 漁場被害

座礁後の干満の差により船体が移動し約 250m にわたり海底が削られ、この地の地質的特徴である海底の粘土・砂礫層が露出して、波浪により粘土が漁場を被覆することによる漁場荒廃が起り、アワビ・サザエ・ウニ・海藻類に被害が現れた。また、波浪が船体にぶつかり巻き上げる濁りにより漁業操業に支障が現れた。また、座礁直後に薄い油膜が確認されたが、船体から燃料油を事前に抜き取ったため、周辺海域への油濁汚染は回避された。

ところが、積荷には自転車と中古冷蔵庫があったが、放置され続けることにより船体が腐食してこれら

が周囲に飛散して、海洋環境に影響が現れることが懸念され撤去工事に踏み切らざるを得なかった。

(b) 関連法制度との関連

座礁位置が「一般海域」および「北長門海岸国定公園」内であったため、一般海域では港湾法で定められるような座礁船撤去の代執行が難しく、自然公園法の適用は考えられるが、座礁船処理する規定や撤去費用に関わる財政処置は無い。船舶の海洋投棄の禁止を定める「海洋汚染および海上災害防止に関する法律」にも船体が放棄された場合の撤去処理規程も無い。

その他の法律についても例えばゴミ処理に関する廃掃法についても環境省見解では該当させることは難しいと判断された。また漏油の際の、油濁補償制度には国際油濁基金があるが、これはタンカーからの漏油に関連して創設された物であり、今回の輸送船についての措置は無い。なお、漁場については油濁被害救済基金があるが、これは原因不明の事故に関する場合に限定されていることと、撤去費用は対象にはならないことなど、現状の関連法制度等による解決は難しいとされた。

(c) 事故と海洋保全

座礁事故と海洋保全と関連した問題点としては、漏油、撤去作業、監視等の殆ど全てが、事故被害の遭った現場の手に委ねられていることがあり、漁業従事者の高齢化傾向を考えると、新たな対策も考えられる必要がある。また交渉の経緯にあるように補償、撤去交渉も殆ど全てが交渉担当された現場の方々にかかり、しかも今回の事件の経緯にあるように事故発生から撤去までの期間が極めて長いことが上げられる。今回の事件では外交が無い北朝鮮船籍船であったことも長期化の原因の一つであるが、仮に別の船籍船であった場合でも会社を倒産させるなどあれば、問題は同様に展開しうることが考えられ、小さな町では対応するにも限界があるように考える。

3.4.2.2 調査地の背景（乗り上げ事故と油濁問題の事例）

(1) 事故概況

平成10年2月5日11時に韓国仁川港を関門港小倉区に向け出航したベトナム船籍貨物船H号（積荷無、総トン数1,442 ton、ベトナム人21名乗員、PI保険および船体保険共加入あり）は同年2月8日午前5時頃に六連島灯台から85度、約2.25海里（33-58N,130-54E）にてベトナム船籍のH号が乗り上げ座礁との報告を関門海峡海上交通センターより受けた。

当該船は、韓国仁川港から関門港小倉区に向かう途中、入港時間待ちのため2月7日17時頃から山口県下関市の距岸約1700m付近の六連錨地に左舷錨5節を使用し錨泊中に翌8日午前4時頃に、突風を伴う西の風約20(m/秒)および風浪等により、下関市陸岸方向に走錨を始めたため、右舷錨5節を投入したが効果がなく、さらに主機関を使用して走錨を止めようとしたが既に遅く、同日午前6時頃に、下関武久町沖合海岸に乗り揚げ、この際の船底の損傷部から燃料油のAおよびC重油が流出（流出量不明）した。

(2) 事故対応

保安庁では事故情報入手後直ちに20m型巡視艇を出動したが、現地到着時の気象・海象が西の風20m風浪およびうねり波高5mと大時化状態であったため当該船に接近することができず浮流油の調査もできない状態であった。陸上班からの情報では当該船と陸岸の間に300m×50mの範囲内の20%に浮流油があり、海上模様から防除作業はできないことから、午前10時頃に山口県消防防災課に本件が通報された。乗組員は同日17時頃までに全員救助された。なお船主・PI保険手配のサルベージ業者により3月5日に船内の燃料油等残油の抜取作業が終了された。

2月9日～13日までの間に、巡視艇としてFL（Fire Fighting Boat Medium）1隻、CL（Craft Large）のべ10隻による流出油の防除作業が実施され、さららにこの間に山口県・下関市職員、漁協、ボランティア等

延べ1,100名による手作業及びブルドーザー等重機を使用しての海岸漂着油の防除が実施された。さらに、2月13日には、船主・PI保険手配の民間防除業者の防除船2隻により回収作業が実施され浮流油が回収された。

3.4.3 調査方法の概要

3.4.3.1 リスク受容因子

海上輸送リスク受容性に検討を行う際に、はじめにリスク受容の因子について述べる。アメリカリスク学会やハーバードリスク解析センターによると、リスク受容の因子については以下に示す大きく10項目が上げられている。

- 1) 恐怖心： 多くの人の死に至る過程をイメージした際に、恐怖感の違いにより差が生じることがある。例えば、鮫に食べられる恐怖と心臓発作で死ぬ恐怖の違いのように、一般には鮫に食べられる恐怖を過大に評価する傾向にある。保険での慰謝料の算定においても、例えば航空機事故や炭坑事故のように死に至る過程により査定の違いが生じることもある。
- 2) 制御可能性： 眼前のリスクに対して自分自身に制御が可能であるのか、それとも他人の手に委ねられているのかによりリスクへの受容性は異なる。この場合の例として、自動車の運転の際に、自動車を自分で運転するか、それとも他人の運転する車に同乗するのかによりリスク受容性は大きく異なる。
- 3) 自然か人工か： 原子力発電所の放射能、携帯電話や送電線の電磁波、太陽からの紫外線のように自然なものから発生する物なのか、人工物から発生するものなのかにより、リスク受容性は大きく異なる。
- 4) 選択可能性： 自分で選んだリスクなのか、あるいは他人から押しつけられたリスクなのかによりリスク受容性は異なる。例えば、自分が運転する車で携帯電話を取る場合と、他人が車を運転しながら携帯電話を取る場合とでは、車内での携帯電話の利用のリスクは異なる。
- 5) 子供の関与： 小学校でのアスベスト問題、子供の誘拐のように子供が関与するリスクと会社経営者の誘拐のようにそうでない場合とではリスクの受容性が異なる。
- 6) 新しいリスクについて： 例えば病気についても、BSE、SARS、鳥インフルエンザのように新たに表れたリスクについては敏感になる。
- 7) 意識と関心： JR福知山線脱線転覆事故のような大事故のように社会的に大きな関心を引き、事故等に意識が高い状態となった場合のリスクについては受容性に影響があり得る。
- 8) 自分に起こるか： 自分に起こりうるのか否かによってリスクの受容性は大きく異なる。例えば、中東でのテロ事件は他国のことであったものが、9.11テロ事件を境として、テロ事件以後のアメリカ人のテロに対しては自分に起こりうるものという意識が高くなったとも考えられる。
- 9) リスクとベネフィット： 行動や選択からベネフィットを得られるならば、それに伴うリスクは小さいと感じられるが、一方、ベネフィットが感じられないならリスクは大きく感じられる。
- 10) 信頼： 砂漠でのがれたいときに、2つのグラスが渡され「一つはローマ法王から、もう一つはたばこ会社から」と言われたときどちらを選ぶかというように、信頼性の低い物には物に対してはリスクを高く感じることもあり得る。

これらのように対象とするリスクについて属性因子が付加するにつれて、リスク受容性が大きく異なる場合があり、海上輸送について人々が意識するリスク因子としてもこれらの点を踏まえて検討の必要がある。

3.4.3.2 リスク受容因子を考慮したアンケート調査票の作成

前節でのリスク因子を考慮して次に示す輸送リスクに関するアンケート票を作成した。

輸送リスクに関するアンケート調査

アンケートの目的

日本は資源や食料の大部分を輸入に頼っており、その輸送は主に船により行われています。船による輸送には、事故の可能性というリスクが伴います。船の性能や悪天候、人為的ミスなどによる海難事故が発生すると、燃料油や積荷の流出が起これば環境などへの被害をもたらすこともあります。この輸送リスクについて調べることを、本アンケートの目的としています。ご協力をお願いします。

この調査により得られたデータは責任を持って管理し、研究以外の目的に使用することはありません。また、データは統計的に処理されるため、個人が特定されることはありませんので、安心してお答えください。不明な点がありましたら、お問い合わせください。

問1 パーソナルデータ

問1-1 あなたの性別と年齢を教えてください。

性別（男性，女性），年齢（10代，20代，30代，40代，50代，60代，70代以上）

問1-2 お住まいはどちらですか。（ ）， 在住年数：（ ）年

問1-3 仕事（職種）

輸送リスクについての用語の説明

・ **事故が起きた場合の被害の大きさ**：事故が起こった場合の人的・物的損失や環境被害などの被害の大きさ。

・ **自分への影響の大きさ**：事故が起こった場合の自分への影響の大きさ。直接的な影響と間接的な影響の両方を含みます。

・ **事故の発生頻度**：事故の発生する頻度

・ **事故の可能性を受け入れることによる利益**：事故の起こる可能性を受け入れた場合に得ることのできる便益の大きさ。

（例えば、飛行機の利用には事故の可能性が伴いますが、それを受け入れて飛行機を利用すれば、早く快適に移動できるという便益を享受できます。）

・ **事故の可能性を受け入れないことによる損失**：事故の起こる可能性を受け入れない場合に受ける損失の大きさ。

（例えば、飛行機を利用する場合の事故の可能性を過大に評価して、これを利用しない場合は他の交通機関を利用することになり時間が余計にかかるという損失を受けることになります。）

問2 輸送リスクについての印象調査

次の図に示すような事故が起こった場合について「被害の大きさ」「自分への影響の大きさ」「事故の発生頻度」「享受できる利益」を、当てはまると思う番号に○をつけてください。

予想される事故 鉄道による移動中の事故				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	鉄道による移動が出来る	鉄道による移動が出来ない
				燃料ガスを利用できない
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1) 2～3年に1回 (2) 10～15年に1回 (3) 30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

予想される事故 自家用車による移動中の事故				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			クルマによる移動が出来る	クルマによる移動が出来ない
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1) 2～3年に1回 (2) 10～15年に1回 (3) 30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

図 3.4.3 輸送リスクについての印象調査のための回答シート（1）

予想される事故 航空機による移動				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			高速に移動出来る海外、長距離移動	移動に非常に時間がかかる
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)2～3年に1回 (2)10～15年に1回 (3)30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

予想される事故 原子力発電における放射能漏れ				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			電力供給の安定	電力利用の制限
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)2～3年に1回 (2)10～15年に1回 (3)30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

予想される事故 タンカーによる原油流出				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			原油、ガソリンを輸入出来る	原油、ガソリンを輸入出来ない
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)2～3年に1回 (2)10～15年に1回 (3)30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

予想される事故 船舶による物資・資源輸送の際の燃料油流出				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			鉄、石炭、食料等の物資・資源を輸入出来る	鉄、石炭、食料等の物資・資源を輸入出来ない
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)2～3年に1回 (2)10～15年に1回 (3)30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

予想される事故 燃料ガスの輸送中のガス漏れ事故				
リスクについて			リスク受け入れについて	
事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	事故を受け入れないことによる損失
			プロパンガス・都市ガスを利用できる	燃料ガスを利用できない
(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)2～3年に1回 (2)10～15年に1回 (3)30～50年に1回	(1)大きい (2)中位 (3)小さい	(1)大きい (2)中位 (3)小さい

図 3.4.3 輸送リスクについての印象調査のための回答シート (2)

問3 事故リスクの順位

下表の設定のような事故（または災害）があったと仮定します。それぞれの事故は一般的な事故についてであり、具体的な事故を想定したものではありません。それぞれについて、その設定でその事故を受け入れられる（受容できる）度合いを 10 段階で評点をつけてください。記入方法は別紙の説明を参照してください。

受け入れられない・・・・・・・・・・どちらともいえない・・・・・・・・・・受け入れられる
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

回答順序 ① ② ③

	事故が起きた場合の被害の大きさ	自分への影響の大きさ	事故の発生頻度	事故を受け入れることによる利益	評点	個別順位	評定順位
1)	小さい	中くらい	2～3年に1回	小さい			
2)	中くらい	中くらい	30～50年に1回	大きい			
3)	小さい	大きい	30～50年に1回	ない			
4)	大きい	小さい	30～50年に1回	小さい			
5)	中くらい	小さい	2～3年に1回	ない			
6)	大きい	大きい	2～3年に1回	大きい			
7)	大きい	中くらい	10～15年に1回	ない			
8)	小さい	小さい	10～15年に1回	大きい			
9)	中くらい	大きい	10～15年に1回	小さい			
10)	中くらい	小さい	2～3年に1回	小さい			
11)	中くらい	大きい	30～50年に1回	小さい			

- ① 評点：受け入れられる度合いを 10 点満点で評価。
- ② 個別順位：評点が同点となった項目について、同点の項目同士を比較して受け入れられない項目から 1.2.3 ... と順位をつける。
- ③ 評定順位：評点と個別順位に従って、受け入れられない項目から順に 1・2・3...と 1～11 までの順位をつけて下さい。
 つまり 11 位の項目が最も受け入れられる項目になります。

図 3.4.4 事故リスクの順位調査票

注) この問いでは 11 の設問の組み合わせから順位を設定しているが、これは本来では組み合わせ総数が 81 通り存在するが、実験計画法によると直行表によると少なくともこの組み合わせを設定すれば、この問題での様相が確定できるものとされている。

問4 環境回復のための支払い意志額

海難事故が発生した場合に、油の流出による環境破壊や、事故に遭った船を放置することによる環境破壊があります。国や自治体はこの対策として入港を拒否するなど準備を進めていますが、海難事故が起こればこの対策も万全ではありません。そこで環境被害を回復させるための基金の設立が考えられます。あなたはこの基金のために年間〇〇〇円支払うことに賛成ですか。それとも反対ですか。この金額は座礁船の撤去や環境の回復のために使われます。この支払により、あなたが普段購入している商品などに使える金額が減ることを十分念頭においてお答えください。

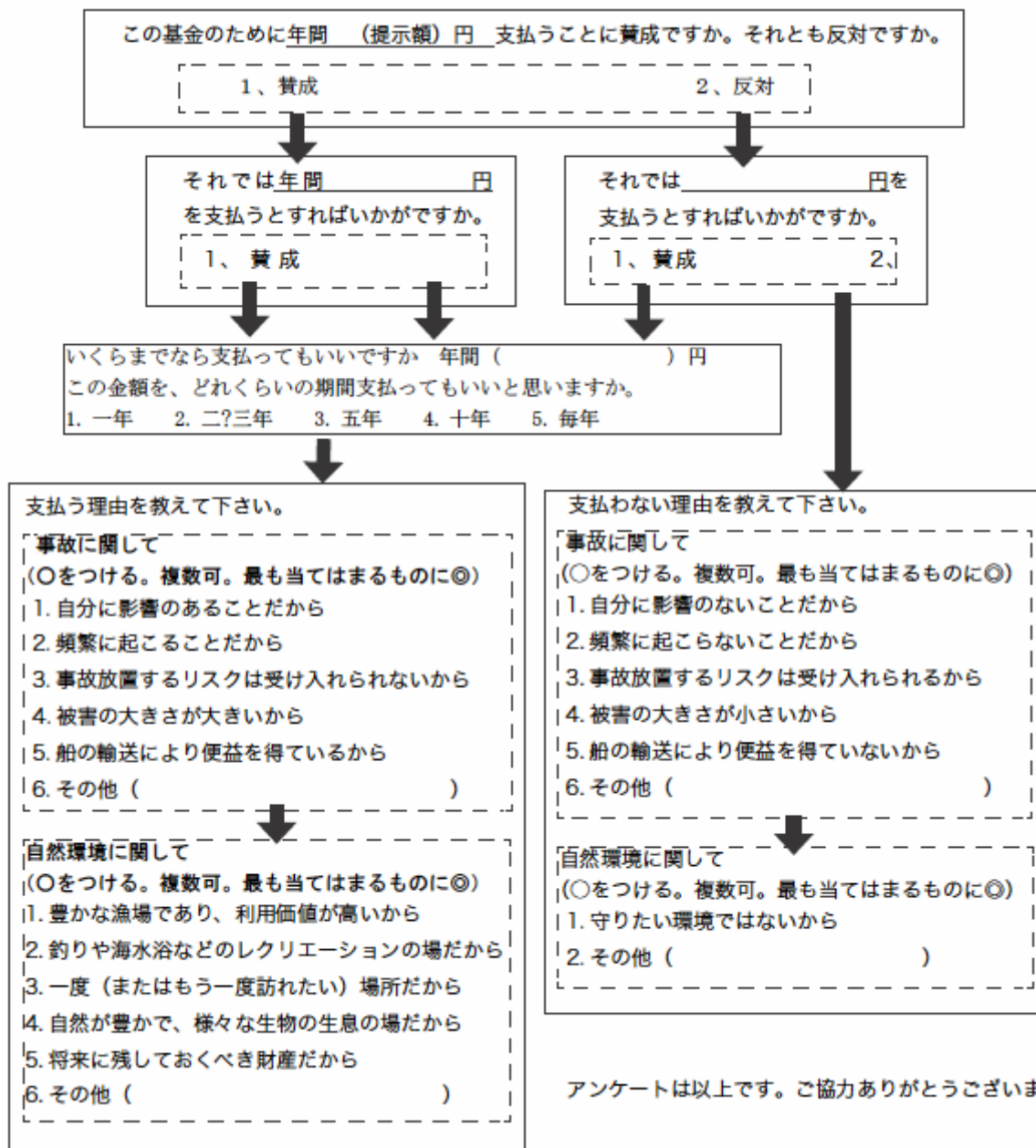


図 3.4.5 支払意志額の調査票

注) 問4の設問では提示額を示すことが重要である。これは、漠然と支払い意志を聞くのではなく、こちらが想定したとされる相場を提示することにより、被験者の意見を集めることができるためである。今回の提示額の設定では事前にアンケートの動向を調べるためにプレアンケートを取り、提示額を500円、1,000円、2,000円、4,000円、8,000円、15,000円、30,000円の6段階に設定した。

3.4.3.3 当該地域での役場水産課および漁協インタビュー調査

図 3.4.6 に示すように、山口県西岸部や福岡県北部に所在する漁港を訪問して、漁協での環境保全活動や問題点、海難や油濁被害時の緊急対応体制や問題点について、代表者にインタビュー調査を行った結果の取り纏めの一部を示す。

(1) 山口県漁業協同組合豊浦統括支店（旧豊北町島戸漁協）でのインタビュー

(a) 漁協での海洋環境保全の取組

漁協の活動として7, 9月にかけて休漁日の早朝に旧豊北町南部の二見から北部の栗野にかけて周辺8地区の漁協組合員が1地区当たり120名程度を動員した海浜清掃を行っている。清掃ゴミの処理費用が問題になるが、これは処理費・輸送費は自治体負担としてもらっている。

(b) 県下漁協の抱える問題

旧豊北町の漁協の構成員は1,250名、平均年齢が70歳を超え、多くが零細である。実際に水揚げで生活している組合員は100人程度である。二見・矢玉・和久・特牛・肥中・阿川・島戸・栗野の各漁協は合併して島戸に本所を置いた。角島漁協は合併には参加しなかった。

また、山口県は信用事業等の組織強化のため県下漁協58組合を大きな組織として一本化を目指しているが、瀬戸内海と外海を対照とする水面の組合により、意見が異なっており組織統一で漁協・漁協組合員がもめている。

(c) 海難・油濁等の緊急時対応

日本水難救済会に所属しており、一般船舶、漁船、ヨット、モーターボート、ボードセーリング、磯釣り等、海上での人や船の遭難、海浜や岸壁での人の事故等が生じた時には、組合員が水難救援

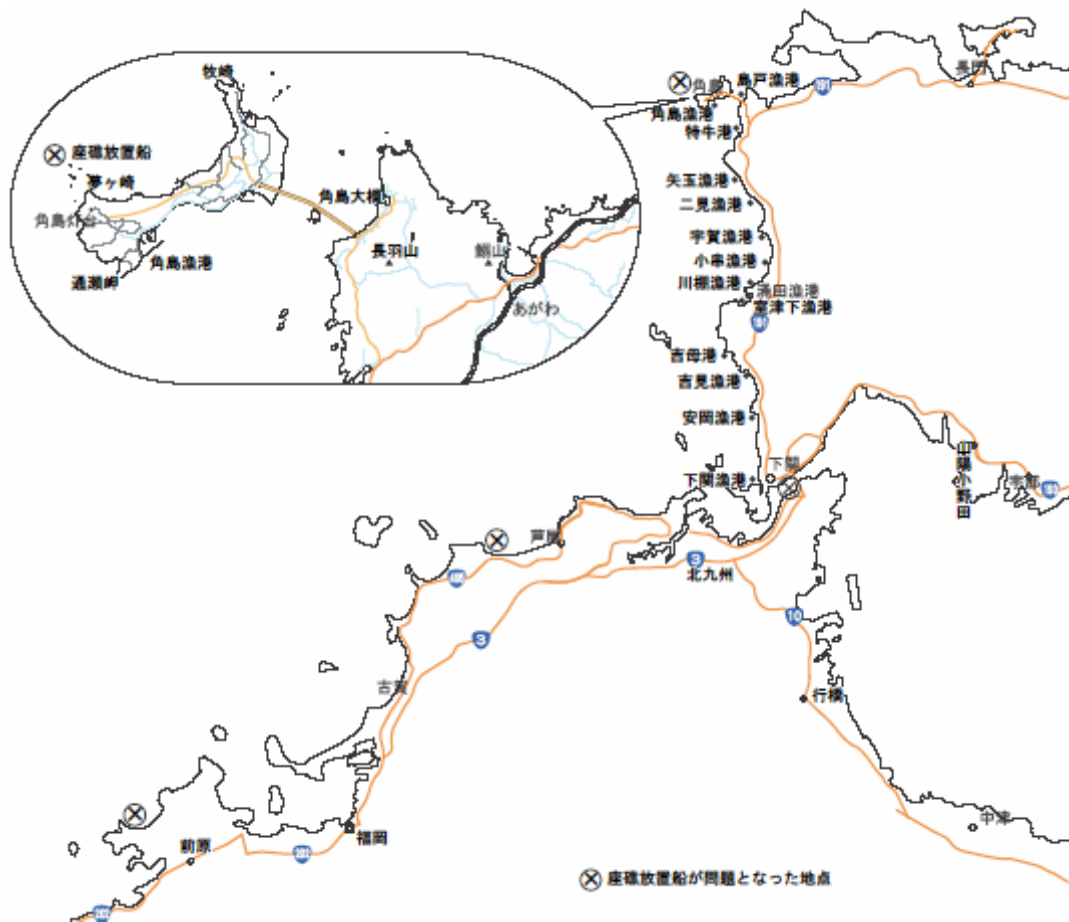


図 3.4.6 インタビューおよびアンケート調査地域

活動に向かうことになっている。

油濁防止についての活動としては、漁場への油濁事故の(財)漁場油濁被害救済基金による対応があり、上限を1500万円とした漁業被害者の救済が行われる。この場合の対応も水難救助と同様である。また、中和剤、フェンス等の備蓄、山口県北部沿岸海域排出油防除協議会(海上保安庁指導のもと全国に展開されている組織)として下部を支える組織として参加している。また、油濁事故や自損事故について漁船保険(漁船保険中央会を本部として各県に組合支部がある)があり船主責任が制限された対人・物損事故・修理(撤去費用、釣り客への賠償を除く)にも対応ができる。

(d) アンケート調査についての意見

組合員個々の回答により異なると考えられるが、上記(2)では組合員が零細であること、(3)では既に自らで対応可能と認識されているとの理由から、CVMアンケートに見られる基金を制定したとしても漁協組合委員各自の拠出は難しいと推測される。

(2) 山口県下関市(旧豊北町)角島漁協でのインタビュー

(a) 油流出事故について

座礁船から直ぐに燃料油を抜いたので付近の環境や漁場への油濁被害は出ずにすんだ。

(b) アンケート調査についての意見

漁協に勤める以上、海は生活の場であり、仮にアンケートに提示されているような基金が設立されたとしたら提示された金額だけでなく払うと考える。ただし、漁協をやめていたらたぶん払わないと思う。今回の基金では事故が起きることを前提にしているが、事故が起きないように対策をしっかりと国や船主が取らねばならない。そこが軽視されているような印象を持つ。

(3) 山口県下関市(旧豊北町)豊北総合支所・水産振興課でのインタビュー

角島放置船の事故についてのインタビュー

環境保全事業とした経緯と事故の沿革について

- (a) 事故当初、国との相談をしたが船主が対応すべき問題であり国費で執行できる理由が無いと判断された。
- (b) 燃料油の漏洩が多少あり、抜き取り作業を急いだ。町での処理とすると処理費用が高いため、燃料油を事故当事者に引き取ってもらった。また事故が10月にあったが、その後冬を迎え、冬季風浪による船体損傷が拡大して船倉内の積荷の中古冷蔵庫100個余りが海底に散乱してサザエ、アワビに重大な被害の可能性が生じた。
- (c) 座礁船周囲の海底地質の特徴から、座礁船の漂流に伴い、海底の被覆岩石が挟られ海底粘土層が露出した。この粘土層からの濁流が漁場一帯を濁らせ、漁業資源に影響を与えた。
- (d) バス会社が観光バスを仕立てた平成12年に開通した角島大橋と座礁船を巡る観光バスツアーもあった。
- (e) 山口県と(旧)豊北町とが1/2を拠出して撤去代執行を行うと考えられていたが、水産庁の「漁環境創成事業」が創設されて、最終的には、国費1/2、山口県と(旧)豊北町とがそれぞれ1/4を拠出して撤去が行われた。全国で初めて適用であった。
- (f) 水産振興課で担当をしていたが、撤去まで1年半もかかり、この間船主から所有権放棄の手続きや撤去の際のほとんどゴミのような積荷について保税管理地の確保等、手続に関する数々の仕事があり、大変苦労した。

(4) 下関市役所・豊浦総合支所・水産振興課でのインタビュー

- (a) 豊浦付近の海域では漁師が操業中に大型船と遭遇する事故がまれにある。多くは漁業権の無い船舶航行域での操業である。
- (b) 平成10年に旧豊浦町沿岸2.4kmに渡り船舶の座礁事故による漏油事故があり役場職員、漁協組合員が総出で防除作業に当たった。

3.4.4 海上輸送リスク受容性の解析

3.4.4.1 輸送リスク印象調査（問2）の集計

アンケート票の問3について集計を行ったものを図 3.4.7 に示す。また、本調査では市民へのインタビュー調査を主としてアンケート調査を試みたが、その際に被験者の印象について聞き取ったものの傾向として、述べられている理由を中心にピックアップすると以下のように纏めることができる。

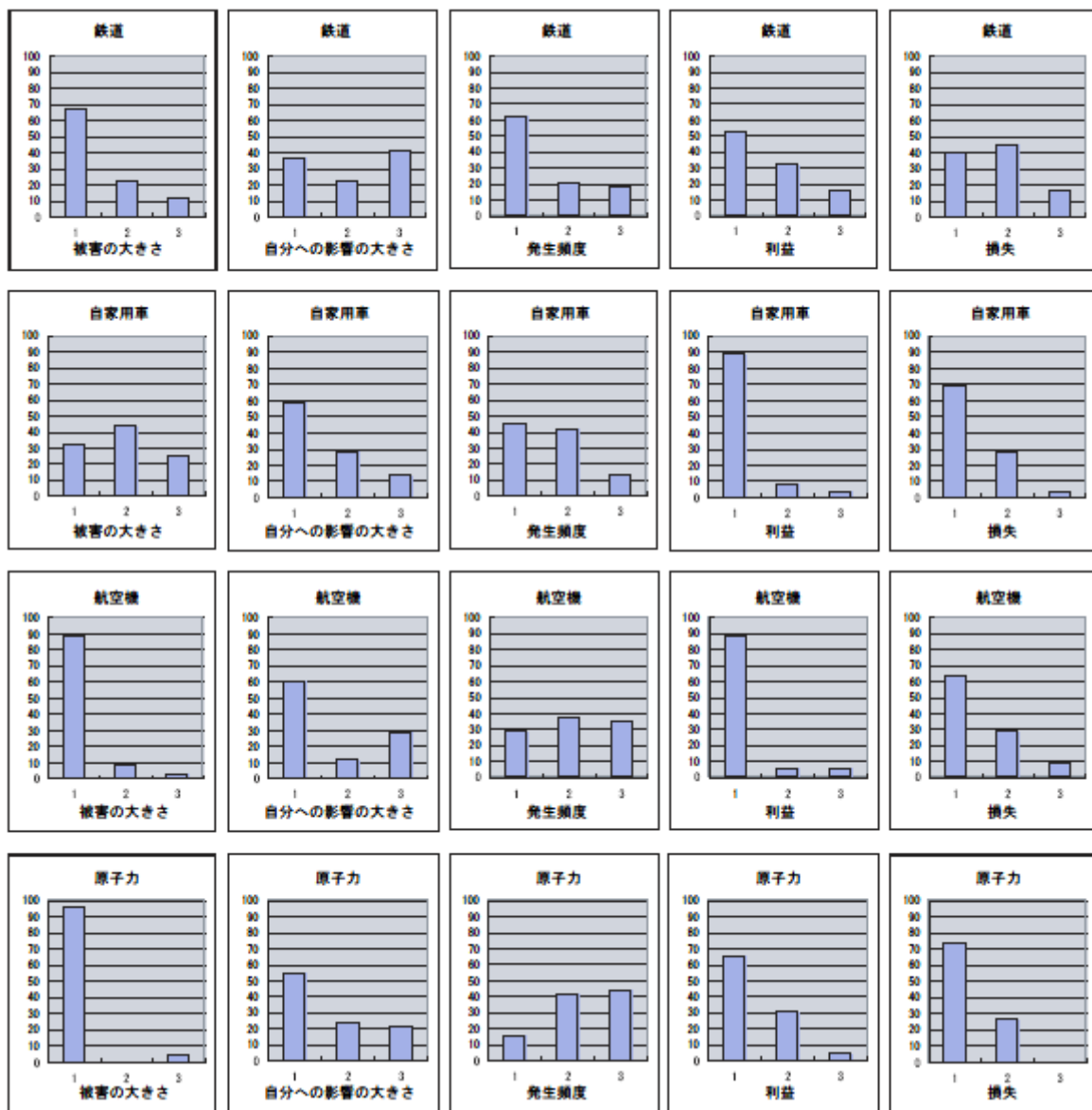


図 3.4.7 輸送リスクの印象調査の集計（1）

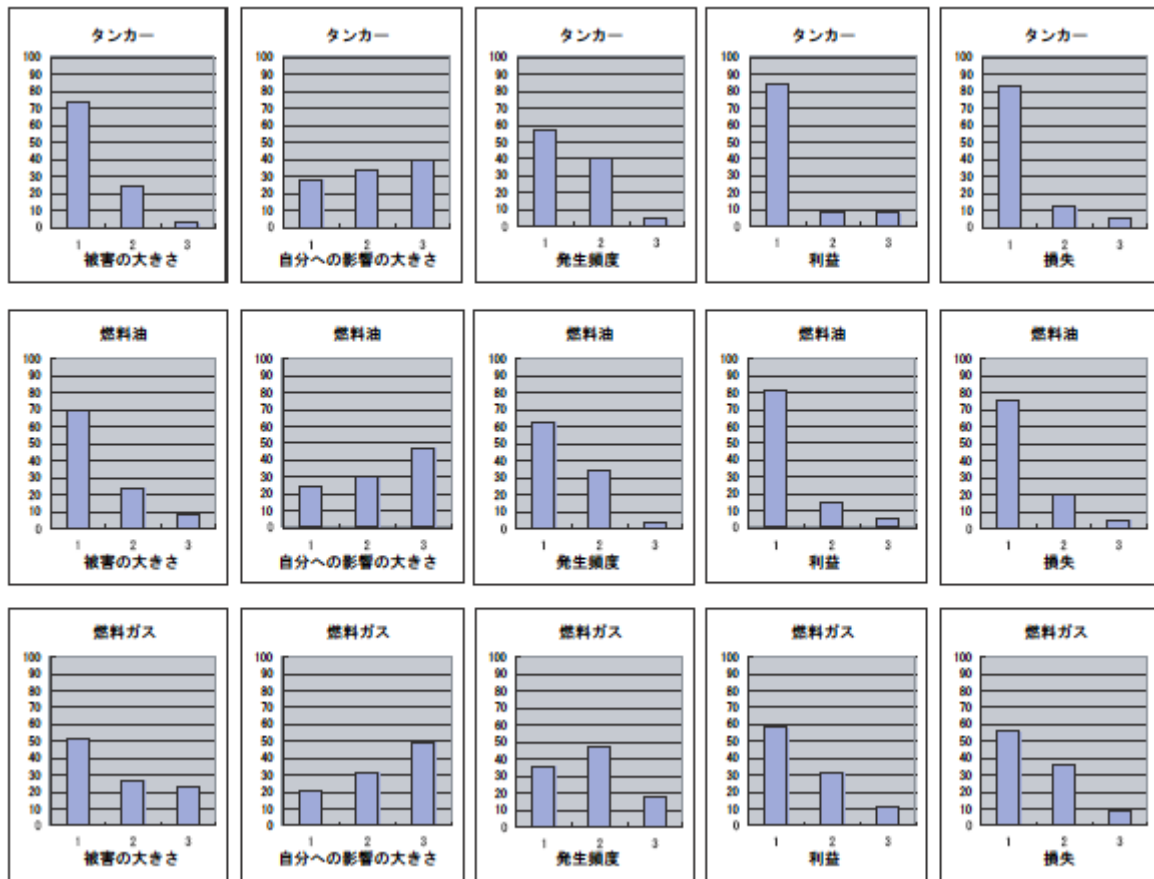


図 3.4.7 輸送リスクの印象調査の集計（2）

(1) 鉄道

(a) 被害の大きさ：

被害の大きさについては、2005年に起きたJR福知山線の事故が記憶に新しい。また鉄道事故では死傷者数が多数のものが多いため気になる。昨年起きたJR福知山線の脱線事故のイメージが出ていると考えられるが、人的・物的損失が大きいとの意見があった。このことより鉄道事故のようにリスク因子7のように社会的に意識と関心を引く事件については被害の大きさへの関心の度合いが強いことが分かった。

(b) 自分への影響の大きさ：

調査を主に行った下関豊北・豊浦地域では普段の生活では電車の利用頻度が低く、印象に無いと意見や、北九州地域での調査では日常的に利用する交通手段であるとの意見もあり、鉄道の利用頻度により自分への影響が大きく変わることがあり得、社会的関心の大きな事件であることは理解できるが、自分の関わりとしてはリスク因子8のように自分の問題として意識するか否かについて大きく意見が分かれた。

(c) 発生頻度：

最近の鉄道事故が多いため発生頻度の印象に顕著に表れる傾向にある。

(d) 利益：

リスクを受容するとした場合の利益については、古くから国内交通の重要な手段であることや、主に国内の長距離移動には欠かせない交通機関であることや、日常的に利用する交通手段であることが挙げられ、鉄道の便益は大きいと考えられているが、リスク因子9にあるように、日常的に電車を利用して便益を得ているか否かに影響される部分もある。

(e) 損失：

利益と同様の理由があるが、古くから代表的な交通機関と考えられるが、現在では代替の交通手段があるため、利益が大きいので損失も大きい反面、バスや自家用車などの代替の交通手段があるため損失は利益に比べ大きくないと考える人もいることが分かった。要因 4,9 に関連して意見に違いが見られた。

(2) 自家用車

(a) 被害の大きさ：

自家用車による事故は場合によっては人命に関わってくる等事故として大きいと考えられるとの意見もあるが、これとは反対に小さい事故のほうが多いのでそれほど重要視しないとの意見、事故が発生したとしても関わる人数が少ないことから事故の程度にもよるが大きい影響ではないとの意見もある。またこの意見と同様に事故 1 回当たりの事故については個人としては大きいと考えるが、全体として見た場合には一つの交通事故は被害人数が他の事故と比較して小さいという理由も大勢を占めた。自家用車の事故の場合には人身事故を想像するから社会全体に広げられないことや、仮に事故に遭遇しても死亡事故は少ない気がする事が述べられ、要因 7, 8 のような関心はなく要因 2 のようにこの事故については個人の注意により抑止が可能であるとの印象を受けた。

(b) 自分への影響の大きさ：

事故を起こした場合に出費があることは重大であることや車の利用頻度が高いから重大であるという理由のように要因 9 への影響がある反面、生活の必需品であり、日常的に利用する交通手段であり、しかもリスク負担が本人であることや、あるいは他者に拘わらず直接的であるケースが多いが、事故を起こしたとしても小さいと思いついでいるため、要因 2, 9 に関連する項目が表れた。

(c) 発生頻度：

日常的に利用する交通手段なので、事故に遭う確率が高いとは考えられるものの、自身が今までに大きな事故には遭っていないことから、要因 2 のようにリスク制御可能な側面があることによる意見が表れた。

(d) 利益：

安く移動できることや車による移動は時間と労力を省けること、また日常的に利用する利用頻度の高い交通手段であり、生活の必需品であることから利益を重要視する意見が大勢を占めた。

(e) 損失：

安く移動できることや車による移動は時間と労力を省けること、また日常的に利用する利用頻度の高い交通手段であり、生活の必需品であることから利益を重要視する反面、鉄道やバスのように代替の交通手段があることから、利便性についてそれほど重視するまでも無いとの少数の意見もあった。

(3) 航空機

(a) 被害の大きさ：

搭乗人数が多いため。被害の規模も大きく感じられる傾向が強い。事故が起きたときの社会への衝撃が強く、例えば 2001 年に起きたアメリカ同時多発テロを連想する。一度事故が起きたら大事故につながる可能性が高いため。事故が起きた場合に助かる確率が低く、事故の際の大量の死者と物的損失が発生するため、事故＝死と考える傾向にある。

(b) 自分への影響の大きさ：

遠距離の移動を考えると航空機を利用する割合が高い人は影響が大きいと言う意見があるが、利用頻度が小さい人はそれほど強いとは感じず、事故が起きたときの衝撃は強いと考えるものの、影響は限定的である。

(c) 発生頻度：

航空機は事故が起きにくい交通手段であると考える人が多い反面、ニュースでの小トラブルと大トラブルを連想する人も多い。

(d) 利益：

長距離をしかも移動時間を短縮できる利益は大きいと考える人が多い。

(e) 損失：

利益が大きいので損失も大きいと考える人が多いが、航空機の利用頻度が低い人では、損失がさほど無く、また国内移動なら、鉄道でほぼ代替可能と回答する人も多い。

(4) 原子力

(a) 被害の大きさ：

過去に事故を見ると被害は大きく、一度の事故で多額の損失を伴い、死者が出るかもしれないという意見と同時に生命の危険を感じ、生死に直結していると考える傾向が強い。また、放射能を浴びただけで死亡の可能性が高いと考えられており、地球的規模で見ても事故の被害は大きいと考えられている。

(b) 自分への影響の大きさ：

九州電力の玄海原子力発電所が近いと感じる場合と、原子力発電所が近くにない場合とでは意見に差が見られる。たとえ起こったとしても、自分が住んでいる場所は直接的には影響がないと考える人も多い。多くは発電所と自分の居住地の距離を考えている。また、放射能の影響が大きいことは理解できるが、放射能が目に見えないものだから認識しづらいとの意見もある。

(c) 発生頻度：

技術を信頼していると答える人も多い反面、事故が表面化していないだけあり、テレビでの報道では数える程しか無いが、実際はそれ以上にあるのではないかという疑いを持つ人も多い。

(d) 利益：

電気は生活するうえで欠かせないが、原子力発電を利用してまで利益を得ようと思わないという意見も多い。

(e) 損失：

損失が大きいと答える人は、電気は生活するうえで欠かせないと考えている人が多い。

(5) タンカー輸送

(a) 被害の大きさ：

生態系の変化と生物の死。油は一度流出すると全て回収するのは不可能だと考えられており、流出してしまった油は、必ず沿岸国や生物に被害を及ぼし、事故の環境に大きな影響は極めて大きいと考えられている。ナホトカ号の事故のイメージも強くあり、事故による環境への影響を考えると、他の事故で肩を並べるものはない（比較にならないほど大きい）と考えられている。

(b) 自分への影響の大きさ：

居住地が海に近いから自分への影響は大きいと考える人がいる一方、海の近くに住んでいないか

ら身近に感じない人や海上で起こるので自分への影響は少ない、一度の事故では影響は少ない、また魚を食べなければ回避できるから別に影響は無いとの意見もあった。

(c) 発生頻度：

よく映像で見るので、頻度が高いと思われる場合もあった。

(d) 利益：

日常生活においてガソリン・灯油は不可欠であり、日本は産油国ではないため、原油の輸入はタンカー以外に代替の輸送手段がないと考える人が多かった。

(e) 損失：

利益と同じ理由が多数であるため、利益と損失に差は無かった。

(6) 商船による輸送（燃料油の漏油）

(a) 被害の大きさ：

一度起こると大惨事になり、環境汚染が大きく、海洋資源が汚染されてしまい海洋生物に影響が大きいことや回復が遅いと考えている人が多い。また、事故が発生した海域により、自然と清掃の浄化作用でゆるやかではあるが回復可能と考える人もいた。

(b) 自分への影響の大きさ：

海のそばでないから。影響が直接的でない。自分の子供などに影響がある。一個人としてはなかなか影響を感じることはない。身近に感じない。

(c) 発生頻度：

特に意見無し。

(d) 利益：

食料や資源は輸入に依存しているので、輸入による利益は大きいこと、大量輸送できる代替手段はないこと、生活の根底を支える輸送であり船舶は最も重要な輸送手段であるとの意見が多かった。

(e) 損失：

利益と同様な意見が多く、船が停船すると物流が止まること、食料や資源は輸入に依存しているので、船舶による輸送は必須の条件であると意見が多かった。

(7) 燃料ガス

(a) 被害の大きさ：

事故が起きた場合、陸上より被害が大きくなる可能性があり、ガスの拡散により多くの人に迷惑がかかる心配がある意見が多かった。

(b) 自分への影響の大きさ：

事故発生現場と居住地が近ければ影響は大きいと思うが、身近に感じなく、事態が深刻でも自分に生じる影響は少しと考えられ、あまり実感がないという意見が多かった。

(c) 発生頻度：

特に無し。

(d) 利益：

燃料ガスが生活に直結していること、ガス・燃料がない場合は生活に大変な影響を及ぼすことという意見がある反面、ガスがなくても電気で補え、他のもので代用できるという意見が多かった。

3.4.4.2 事故リスク受容分析のためのコンジョイント分析の検討

コンジョイント分析は従来ではマーケット分析、商品の需要分析として用いられてきた方法であるが、ここでは事故リスクの受容度について適用の検討を行う。

コンジョイント分析の考え方の背景について述べる。表垂対象 i の効用を U_i として、さらにその対象のある j 項目の属性に対する部分効用を u_{ij} とすると U_i は次式の効用関数 U として表せる。

$$U_i = U(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij}, \dots, u_{iN}) \quad (3.4.1)$$

一般に効用関数 U は加法的であり、さらに属性 j についての属性評価値（部分効用）が離散的に属性に定めた水準値 k に対する重要度（水準重要度） w_{jk} と水準支持値 x_{ijk} の積で表せるものとする、効用関数は次式のように表せる。

$$U_i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M w_{jk} x_{ijk} + b \quad (3.4.2)$$

ここに b は定数項である。

さらに、選好度を P_i 、選択順位を S_i またそのときの効用を U_i とすると、評価対象 i, i' について次に示す選好関係がある。

$$P_i > P_{i'}, S_i > S_{i'}, U_i \geq U_{i'} \quad (3.4.3)$$

この式を満たす部分効用 u_{ij} あるいは効用関数を求めることがコンジョイント分析の考え方である。

この関数を定めるには、幾つかの方法が提案されているが、ここでは、実験計画法に基づき、効用の持つ各属性について離散的にカテゴリデータとして定められた水準支持値 x_{ijk} について 11 の組合せ（アンケート図 3.4.4）に対して、被験者により定められた順位付け評価値 U_i を外的基準とした重回帰分析を用いて w_{jk} を求め、これを SPSS を用いて計算を行う。

このため計算される効用を評価することにより事故リスク受容度を算定するためには、ここでは、事故リスクを受け入れる背景となる利益と受け入れを拒否する事故の被害や頻度に関わる事故リスクとのバランスを算定することになる。

3.4.4.3 リスク順位分析（問3分析）と項目別重要度

問3での事故リスクの印象順位付けに関するアンケート調査からコンジョイント分析を行い、事故リスクにおける各属性項目の水準重要度 w_{jk} 等をまとめたものを表3.4.1に示す。この表を基に受容性についての検討を行う。

図3.4.8に輸送リスクの属性についての重要度を示す。図中には、水準重要度の最大値、最小値を示すが、これらの水準重要度の最大差のレンジが属性項目がリスク順位に与える影響の強さを示すことになる。ここでは属性項目の内、事故リスクに対する自分への被害が最も大きく、次に利益、被害の大きさ、頻度の順となることが分かり、利益を感じられないリスクについては、自分への被害が感じられる事故リスクほど、受け入れがたいという傾向にあることが分かった。

図3.4.9には各事故リスクについての属性評価値と全体受容性評価値を示す。属性項目の被害の大きさについては船舶関連の事故の内、タンカー事故については原子力発電や航空機事故のように壊滅的な印象が強く高位を示す。その反面、自分への影響については船舶関連の事故については、船舶が輻輳する航行域であるが、自分への印象はそれほど強くないことが分かる。

原子力発電の事故印象はこの地域から西に離れているが玄海発電所があることと、相次いだ発電所のトラブルから自分への影響についてリスクを感じる傾向がある。このため、一度タンカー事故のように規模の大きな災害が発生すると、被害の大きさに対する印象から大きく大きい側に振れる可能性があると考えられる。また利益についての属性項目は電力を得るために原子力発電に対しての代替的手段として石油火力発電を意識することから、船舶輸送に関する評価値が高いことが分かる。これらに、利益に対する属性項目を加え、総和を取ると、全体の事故リスクの受容性に関する評価値 U_i が得られるが、船舶のリスク受容度は高いことが分かった。

図3.4.10に事故リスクの印象順位調査から全ての組合せについて評価値を求め、アンケート項目および受容性の評価値のプロットを示す。事故リスクに対する受容性の組合せが小さい物ほど上位にあるが、初めに事故リスクも低く利益に優位性が高い組合せから、利益と自分に災禍が及ぶ可能性と考える事故リスクのバランスにより考慮される対象にシフトして、その後、被害の大きさ、頻度への事故リスク印象へと続くことが分かった。なお、今回の対象とした事故リスクはほぼ利益と事故リスクのバランスにより決まる領域に位置しており、船舶輸送に伴う事故リスクはほぼ中位に位置することが分かった。

表 3.4.1 コンジョイント分析による事故リスクの属性項目の水準重要度表

事故リスク項目	属性水準	被害の大きさ			自分への影響			発生頻度			利益			全体受容性評価 U_i
		大きい	中位	小さい	大きい	中位	小さい	2-3年	10-15年	30-50年	大きい	小さい	ない	
鉄道	水準重要度 w_{jk}	0.975	-0.148	-0.828	1.631	0.026	-1.657	0.610	0.044	-0.654	-0.942	-0.038	0.980	0.365
	水準支持頻度 (%) x_{ijk}	66.7	22.2	11.1	36.5	22.2	41.3	61.9	20.6	17.5	52.4	31.7	15.9	
	水準支持評価値 u_{ijk}	0.650	-0.033	-0.092	0.595	0.006	-0.684	0.378	0.009	-0.114	-0.493	-0.012	0.156	
	属性評価値 u_{ij}	0.525			-0.083			0.273			-0.350			
自家用車		0.392	-0.051	-0.212	0.895	0.007	-0.303	0.312	0.017	-0.072	-0.804	-0.004	0.048	0.226
		40.3	34.1	25.6	54.9	26.8	18.3	51.2	37.8	11.0	85.4	9.7	4.9	
		0.130			0.599			0.257			-0.760			
航空機		0.873	-0.007	-0.049	0.706	0.005	-0.643	0.237	0.014	-0.185	-0.759	-0.005	0.059	0.245
		89.5	4.5	6.0	43.3	17.9	38.8	38.8	32.8	28.4	80.6	13.4	6.0	
		0.817			0.068			0.066			-0.706			
原子力		0.909	-0.004	-0.034	0.904	0.006	-0.381	0.165	0.015	-0.247	-0.624	-0.011	0.053	0.751
		93.2	2.7	4.1	55.4	21.6	23.0	27.0	35.1	37.9	66.2	28.4	5.4	
		0.872			0.529			-0.067			-0.582			
タンカー		0.752	-0.029	-0.025	0.461	0.008	-0.658	0.326	0.016	-0.060	-0.798	-0.004	0.052	0.041
		77.1	19.8	3.1	28.2	32.1	39.7	53.4	37.4	9.2	84.7	9.9	5.4	
		0.697			-0.189			0.283			-0.750			
燃料油		0.650	-0.038	-0.064	0.474	0.008	-0.680	0.344	0.015	-0.056	-0.789	-0.005	0.042	-0.098
		66.7	25.6	7.7	29.1	29.9	41.0	56.4	35.1	8.5	83.7	12.0	4.3	
		0.548			-0.198			0.304			-0.752			
燃料ガス		0.561	-0.036	-0.151	0.362	0.007	-0.820	0.203	0.022	-0.106	-0.599	-0.011	0.069	-0.497
		57.6	24.2	18.2	22.2	28.3	49.5	33.3	50.5	16.2	63.6	29.3	7.1	
		0.375			-0.450			0.120			-0.541			

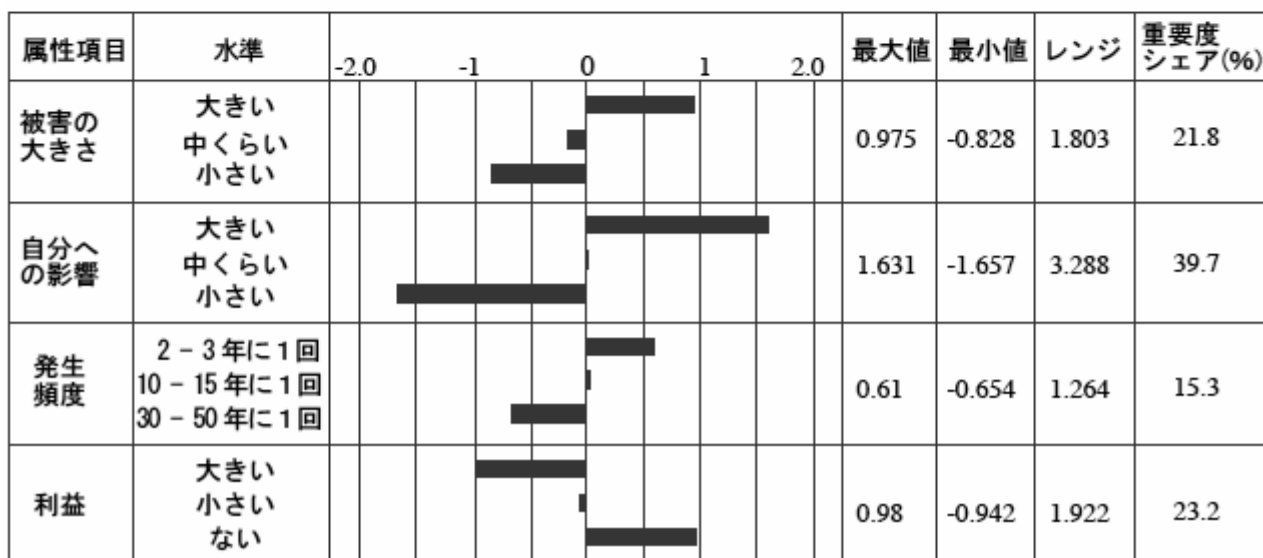


図 3.4.8 輸送リスクに関する属性の重要度

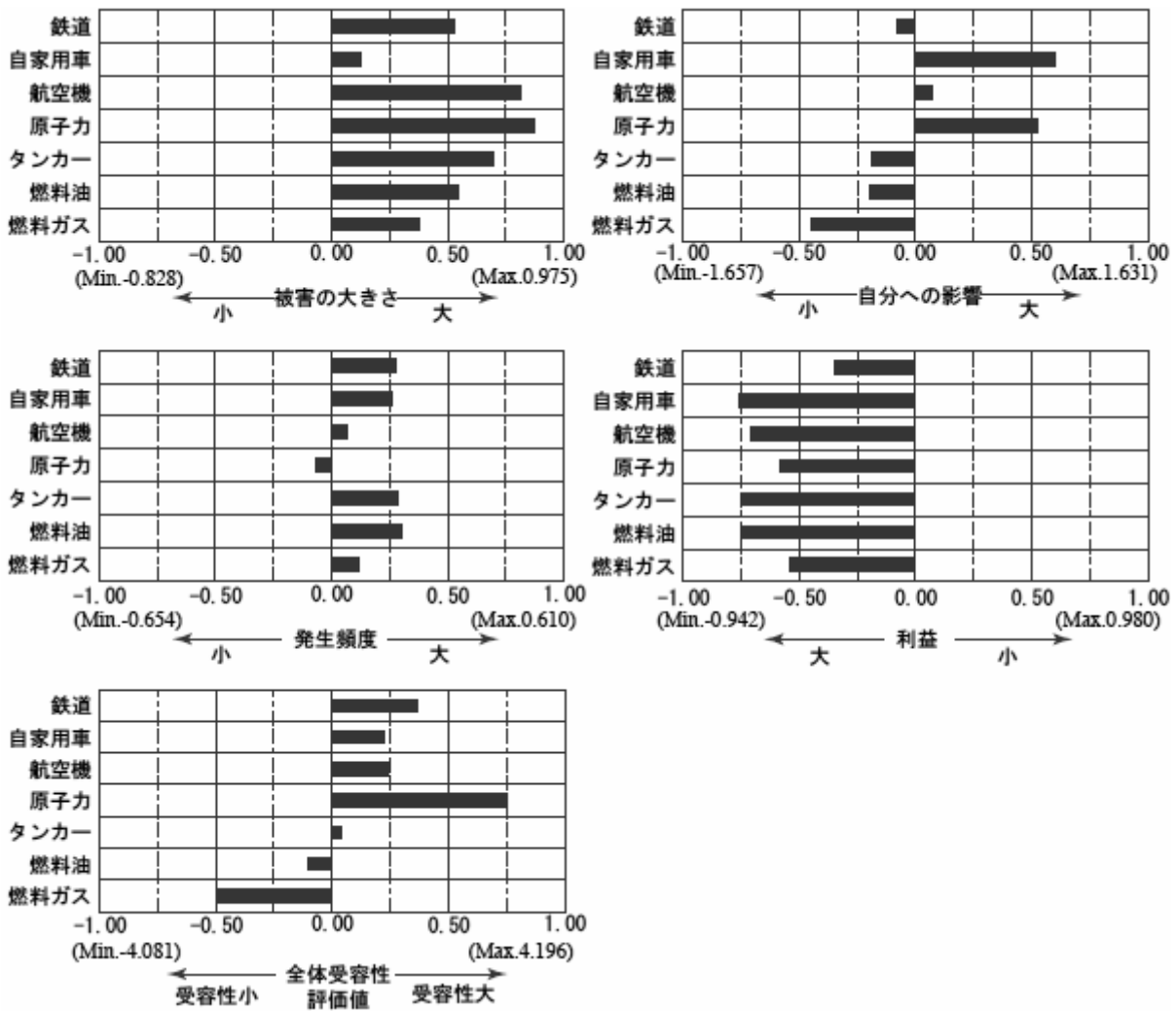


図 3.4.9 事故リスクにおける各属性評価値

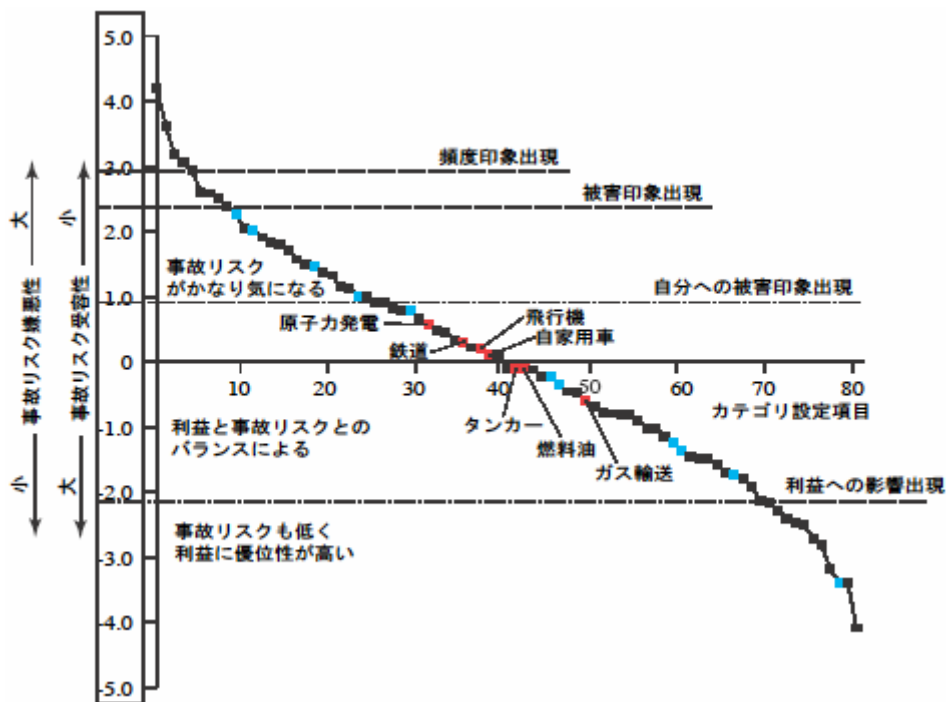


図 3.4.10 事故リスク受容性評価値

3.4.5 環境価値評価手法による検討

3.4.5.1 仮想的評価法

沿岸部で座礁、衝突乗り上げ等の船舶の海難事故が発生し、その際に漏油が発生した場合には、漏油による漁業被害だけでなく、生態系を含めた海洋環境被害への請求も高額に上る。しかし、現状では国際油濁補償基金では清掃等の修復・回復まで合理的かつ費用効果の明らかな処置のみを補償対象としており、汚染による生態的影響等を含めた海洋環境被害についてはこの基金ではカバーしていない。アメリカは国際油濁基金加盟していないが、アラスカで起きたエクソンバルデス号の座礁による漏油事故では、エクソン社に対して環境損害に対しても損害の請求がなされた。ここでは、この事故で補償額の算定の際に考えられた、環境を貨幣価値で換算するための方法である仮想的評価法（CVM）を適用することにより海洋環境価値の算定を試みる。

自然環境は経済学的基本概念である「市場」や「取引」にそぐわない性質を持っているため、環境価値を経済指標で表すためには貨幣価値で換算する必要がある。環境価値を表**に示すように分類して考えると、環境価値のうち貨幣価値等の経済指標によって算定が可能なものは主に利用価値であるが、自然を対象とした価値のように遺産価値や存在価値といった非利用価値は経済指標による価値評価が難しい。このため、自然環境のように財・サービスに関連する市場がないような場合には、次に述べる仮想評価法(CVM)を用いることが考えられる。

CVM (Contingent Valuation Method : 仮想評価法) は環境が改善（あるいは破壊）されたときを想定し、それに対する支払意志額や受入補償額を、アンケート調査を用いて回答者から直接聞き出し、環境価値を貨幣価値として評価する方法である。ただし、これには環境の価値として支払う代わりに自分の収入から使える金額が減ることを前提としている。

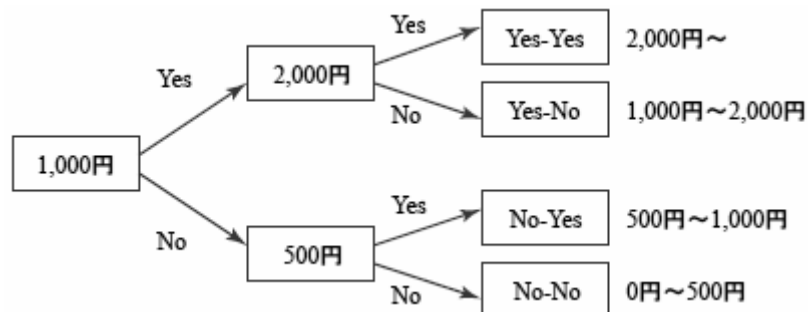


図 3.4.11 ダブルバウンド法による評価値選択の流れ

表 3.4.2 環境価値の分類

価値		分類基準	例
利用価値	直接利用価値	消費可能な生産物 (資源享受)	水産資源 食物生産 木材生産 鉱物資源
	間接利用価値	消費的な利用はされないが、 間接的に利用されることで得られる価値	航路、レクリエーション 水源涵養 自然の浄化機能
	オプション価値	現在は利用されていないが、将来的に利用 される可能性があるため、その時まで自然 環境を残すことで得られる価値	将来の利用可能資源 将来のレクリエーション 将来の遺伝子資源
非利用価値	遺産価値	現在利用することはないが、将来世代に 自然環境を残すことで得られる価値	将来世代のための原生自然 生物多様性
	存在価値	利用することはないが、そこに存在 することによって得られる価値	野生動物 原生資源

今回支払意志額をたずねる回答方式にはいくつかあるが、ここでは回答者へのバイアスが比較的少なく、またアンケートサンプル数も少なくても良好な推定結果が得られるダブルバウンド方式 [3] を採用した。図 3.4.11 にダブルバウンド方式の概要を示す。ダブルバウンド方式では二肢選択形式の質問を 2 回尋ね、支払い意志額を推定するものであるが、例えば、支払い意志額として初めに 1,000 円を提示したときに支払い意志が「Yes」と回答を得た場合には金額を上げて 2,000 円とし再度支払い意志を尋ねる方法である。回答の組合せは Yes-Yes, Yes-No, No-yes, No-No の 4 種類となり、またアンケートでの提示額の種類は予めサンプリング調査を行い **5 種類用意した。

このダブルバウンド方式により得られるアンケート調査から支払い意志額を推定するには最尤法を用いた。ダブルバウンド方式での初めの提示額を x_i とし、この提示額に対して 2 回目の高額の提示額を x_i^U 、低い提示額を x_i^L と表す。提示額について 4 種の回答確率は、例えばある提示額 x_i に対して Yes と答え、次のより高い提示額 x_i^U に対しても Yes と答える確率をサフィックスを用いて $\pi_{yy}(x_i)$ とする。その他も同様に $\pi_{yn}(x_i)$, $\pi_{ny}(x_i)$, $\pi_{nn}(x_i)$ として表すものとする、これらの確率は図 3.4.12 で表されるような回答確率の累積分布関数 $F(x)$ の差分として表され次式となる。

$$\pi_{yy}(x) = 1 - F(x^U), \pi_{yn}(x) = F(x^U) - F(x), \pi_{ny}(x) = F(x) - F(x^L), \pi_{nn}(x) = F(x^L) \quad (3.4.4)$$

なお、ダブルバウンド法では Yes-No 回答で支払い意志を問うため、提示額に対して被験者から得られる意志回答の累積分布関数 $F(x)$ には、生存確率で用いられるワイブル (Weibull) 分布と仮定して次式を用いる。

$$F(x) = 1 - \exp[-(x/\alpha)^\beta] \quad (3.4.5)$$

ここで α , β は分布関数の形状を決めるパラメータであり、これを最尤法により求める。

最尤法では回答確率の尤度関数 L を次式により定義して、アンケートで得られている事象は確率的に尤も表れやすい確率が得られるものとして、この関数が最大となる累積分布関数 $F(x)$ を推定する方法である。

$$\begin{aligned} L &= \sum_{i=1}^N \pi_{yy}(x_i)^{y_i} \cdot \pi_{yn}(x_i)^{n_i} \cdot \pi_{ny}(x_i)^{y_i} \cdot \pi_{nn}(x_i)^{n_i} \\ &= \sum_{i=1}^N (1 - F(x_i^U))^{y_i} \cdot (F(x_i^U) - F(x_i))^{n_i} \cdot (F(x_i) - F(x_i^L))^{y_i} \cdot (F(x_i^L))^{n_i} \end{aligned} \quad (3.4.6)$$

ここで y_i, n_i, y_i, n_i はダミー関数であり回答者が答えたものを 1 とする。この式に (3) 式を用いて、累積分布関数の形状パラメータ α , β を求め支払意志額を推定する。

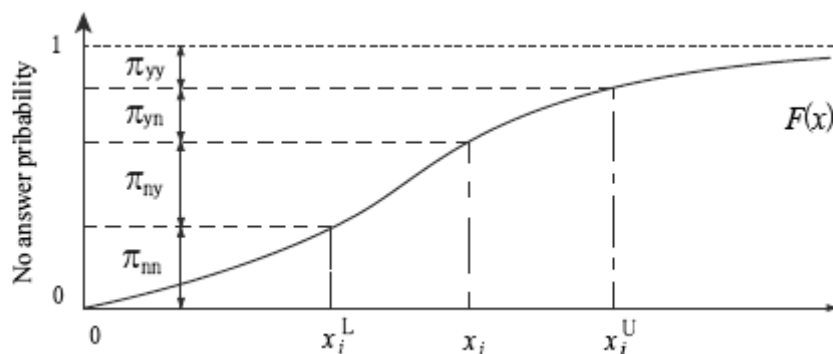


図 3.4.12 ダブルバウンド法での回答確率の累積分布関数

3.4.5.2 環境価値評価（問4）解析例

図 3.4.13 に CVM による評価解析例を示す。この図は最尤法により求めた (3) 式による分布図を示しており、アンケートデータの分類としては、地域による分析と水産業のように海に生活の拠り所を求める職業のように海との関連による分析を試みた。現段階での分析では双方の分析でも大きな差は見られないため、ここでは地域による分析について報告する。地域による分析では、大きく角島・豊北町・豊浦町の様に座礁船放置問題が報道により話題になり、乗り上げに伴う油濁被害を受けた地域と、下関や北九州の関門地域のように船舶の輻輳地域に当たり、また海難事故も比較的多く発生する地域、との比較を行った。また、全てのデータでの解析結果も併せて標記している。

さらに、図中に示す表には分布関数から得られる中央値と平均値を示している。ここで中央値とは、提示額に対して Yes-No の割合が五分五分である点である $F(\text{median})=0.5$ の値を示し、また平均値としては、関数を無限大を含め全体積分して求めたものと最大提示額により裾切りを行っている計算例を示す。

中央値と平均値の金額には大きな差が見られるが、これは分布関数が支払い意志額の低い側を支持しているためである。双方のどちらの金額を採用するかにより考え方が異なるが、中央値では支払いの意志が半分に分かれる点であることと、米国商務省大気管理局（NOAA）で検討が行われた CVM ガイドラインにある「控えめな評価」に合致することが中央値を支持の理由であるが、一方で平均値の支持の考え方には CVM を便益評価として用いるのであれば、潜在的補償基準といわれるプロジェクトの実施により利益を得る人から損失を被る人へ補償がなされた場合でもなお利益が残る場合にはプロジェクトは社会的に望ましいと判断されても問題ないというように、支払い意志額の Yes, No の解釈や実施する対象によりに分布関数の解釈が異なる。

	中央値	平均値		件数
		裾切りなし	最大提示額で裾切り	
全データ	2,058	5,476	5,361	460
角島・豊北・豊浦	2,112	5,479	5,375	112
下関	2,211	5,649	5,536	232
北九州	1,678	4,413	4,382	75

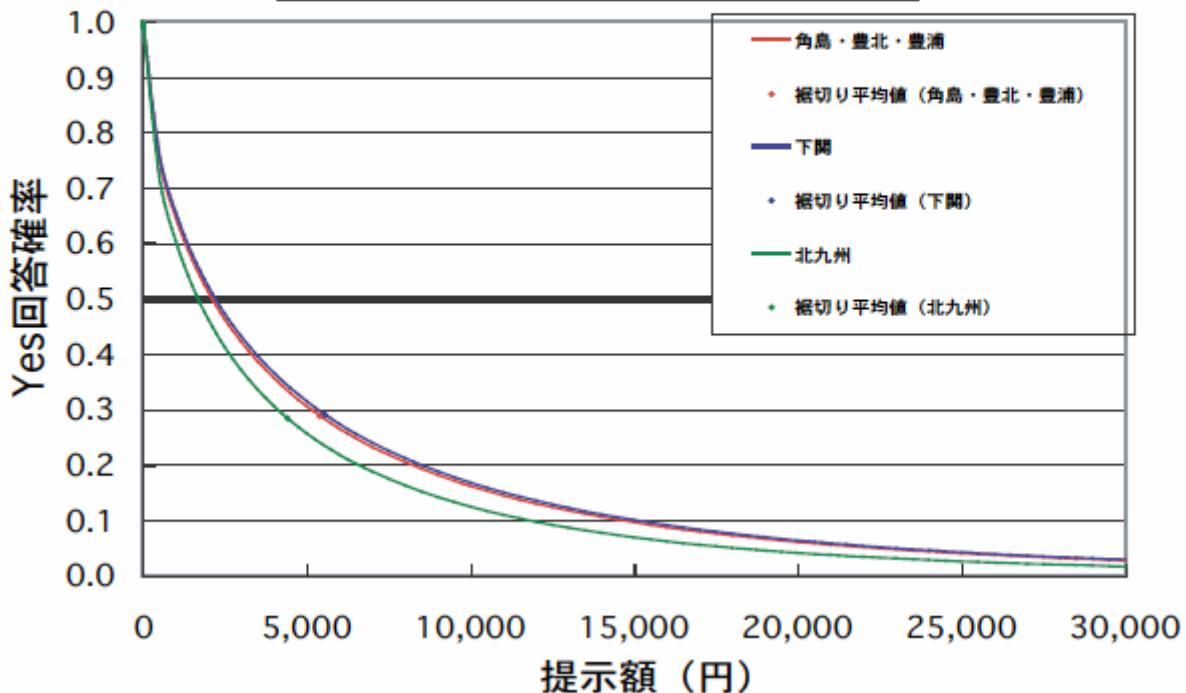


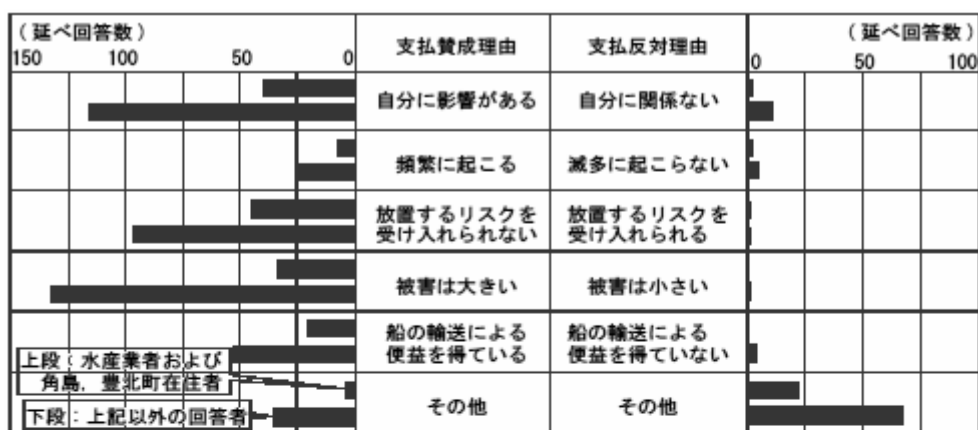
図 3.4.13 支払い意志額の推定

今回のケースではプロジェクトの便益評価を求めるものとは異なり、また設問での基金の創設に対する支払い意志を尋ねていることから中央値を採用する方が解釈を容易と考えられる。

また、支払いの理由と支払いに反対する理由について整理したものを図 3.4.14 に示す。ここでは複数の回答を集計して、のべ数で整理した場合について示す。支払いの反対の主な理由は、海洋汚濁の問題原因者がすべきであり、またそれが出来ない場合には、税金を投入することや国や地方自治体が必要である意見が大勢であった。

また、賛成の理由について事故に関する理由としては、事故による環境被害を甚大ととらえていることが大きな理由であり、自然環境に関する理由としては漁業や水産業による直接利用価値に重きがあると同時に将来へ残したい資産と感じていることが分かった。

なお、アンケートではこれらの項目については選択による回答であり理由が唯一でないこともあり、複数への回答を認め、さらに複数の場合には中でも最も支持する理由を求めたが、この場合でも分布での違いがなかった。



(a) 事故に関する意見集計



(b) 環境に関する意見集計

図 3.4.14 支払い賛成・反対理由の集計

参考文献

- (1) 座礁・沈没船による漁場油濁等実態調査事業，平成 14 年度－16 年度，海洋水産システム協会
- (2) 第 7 管区定例記者懇談会資料，平成 18 年
- (3) 安全のためのリスク学入門，菅原努著，昭和堂
- (4) AHPとコンジョイント分析，木下栄蔵，現代数学社
- (5) 環境経済評価の実務，大野栄治，勁草書房

4. 安全評価事例「ENC」のカバレッジと「ECDIS」の有効性の評価

4.1 ENCに関する IHO 関連規則

国際水路機関 (IHO) では、CHRIS (電子情報システムに関する水路学的要求委員会) によって電子海図の開発に必要な共通仕様を提案し、効率的な開発に寄与している。また、国際海事機関 (IMO) とも連絡を密にするために IHO の HGE (電子海図に関する調和グループ) により相互調整がされている。

(1) S-52

Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS (電子海図表示システムの表示と海図の内容に関する仕様)

IHO の CHRIS が準備するもので、ECDIS、ENC 及びその最新維持に関する一般的な仕様書及びガイダンスで、以下の構成になっている。ECDIS のための IMO の Performance Standard (動作基準) と並行して開発されている。1990 年 5 に第 1 版が暫定版として刊行され、1993 年の第 3 版から正規版として刊行している。最新版 第 5 版 (1996.12)

S-52 Appendix 1 最新版 第 3 版 (1996.12)

Guidance on Update the Electronic Navigational Chart (ENC の最新維持に関するガイダンス)
S-52 Appendix 2 最新版 第 4.2 版 (2004.3)

Colour & Symbols Specifications for ECDIS (ECDIS に ENC を表示するときの色と記号に関する仕様書)

Annex A 最新版 第 3.3 版 (2004.3)

IHO ECDIS Presentation Library (PL) (IHO による ECDIS での ENC 表示のためのライブラリ)
S-52 Appendix 3 最新版 第 3 版 (1997.12)

Glossary of ECDIS-Related Terms (ECDIS に関係する用語辞典)

(2) S-57

IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (IHO のデジタル水路データの転送基準)

デジタル化された水路学的データの IHO 転送基準、コード化、ECDIS を目標としたデジタルデータの交換基準。以下の構成になっている。1991 年 6 月に初版が刊行されている。

最新版 第 3.1 版 (2000.11)

Part 1 概要

Part 2 理論的なデータモデル

Part 3 データ構造 (使用される実際のデータフォーマット)

Appendix A オブジェクトカタログ (物標の特徴をコード化するためのコード一覧)

Appendix B 製品仕様 (ENC における S-57 に基づき製品化するための仕様)

(3) S-58

IHO Recommended ENC Validation Checks (IHO が推薦する ENC の品質検査)

ENC を作成する上での最小のチェックリストの仕様。本仕様書は当分の間凍結されている。
最新版 第 1 版 (1996.11)

(4) S-61

Product Specification for Raster Navigational Charts (RNC の作成仕様)

IMO の動作基準に示されている ECDIS のためのラスターチャートディスプレイシステム (RCDS) モードの必須要件を定義している。最新版 第 1 版 (1999.1)

(5) S-62

ENC Product Codes (ENC の生産者コード表)

ENC の生産者コード表で常時維持されている。日本国は、「JP」でコード化されている。初版は S-57 Appendix A として刊行されていた。最新版 第 2.1 版 (2005.6)

(6) S-63

IHO Data Protection Scheme (デジタルデータの暗号化及びデジタル署名に関する仕様)

ENC データのための暗号化、デジタル署名の仕様で、Primar Stavanger の ENC ディストリビューション・システムを土台にして作成されたものであり、IHO 加盟国により承認され、公式に採用された。最新版 第 1 版 (2003.10)

(6) S-64

IHO Test Data sets for ECDIS (ECDIS のためのテスト用データセット)

ECDIS のための試験、型式承認のための ENC テストデータで IEC61174 とともに使用される。最新版 第 1 版 (2003.12)

(7) S-65

ENC Production Guidance (ENC の生産のためのガイダンス)

ENC の生産、メンテナンス及び提供のためのガイダンス 最新版 第 1 版 (2005.3)

(8) S-57 の今後

S-57 は従来から ENC 作成のための基準であり、S-57 を改訂することは ENC や ECDIS の普及に影響を与えると誤解されてきた。本来は、これまでの S-57 には各国間のデジタル水路情報の転送基準と ECDIS を目的としたデジタルデータの交換基準で構成されていた。今後はこれを、明確にするため、ENC に係る仕様を分離し、デジタル水路情報の転送基準を S-100、次世代型 ENC の製品仕様を S-101 として公表することとなった。このことから、S-57 のバージョンは現在の Ed.3.1 で終了となる。また、次世代仕様は、ISO19100 シリーズと完全互換を図ることとしている。

4.2 電子海図の来歴および分類

本項では、当プロジェクトの目的である評価手法に関連する対象物としての、電子海図 (ECDIS/ENC) の諸データの根拠となる来歴と、比較対照とされる電子海図 (RCDS など) 及び関連システムについての調査結果を報告する。

4.2.1 電子海図の来歴

(背景)

海図のデジタル化、すなわち航海用電子海図として国際的に認知されるものは、IHO (国際水路機関) と IMO (国際海事機関) の基準によるものになる。

IHO では、海図データのデジタル化の委員会 (CEDD) が、従来の一般のものから航海用電子海図化に重点をおいて、1985 年にデジタルデータ交換委員会として活動を継続し、海図データ交換システムの特別刊行物 (S-57) を作成することになった。また、1986 年には電子海図表示システム委員会 (IHO Committee on ECDIS:COE) を設置して、ECDIS の表示内容に関する検討を開始した。翌年に、後に述べる ECDIS の国際仕様となる特別刊行物 (S-52) を作成することになる。

この両者は、後に合体して CHRIS (Committee on Hydrographic Requirements for Information Systems) と改組し今日に至っている。

IHO は 1985 年 5 月に開催された IMO 第 51 回海上安全委員会 (MSC51) に、電子海図を航海の安全問題として採り上げるよう提案した。IMO は同年 7 月に IMO の第 31 回航行安全小委員会 (NAV31) で ECDIS の検討を開始した。

電子海図の問題は、IHO と IMO で協調して作業を進めるために、1987 年に IMO と IHO 間で ECDIS に関する調和グループ (Harmonization Group on ECDIS:HE) が結成され、IMO 傘下の関連委員会と IHO 傘下の関連委員会の関係を保つ意見調整の機関ができ、ここを通して多くの専門的な協議が行われた。上記の COE と NAV の対応窓口でもある。

その後、国際的なこれらの機関と呼応して、海運主要国 (あるいは地域) では市場調査や研究・実証実験などを行い、上記の関連委員会を支援している。

例えば、1987 年からの North Sea Project、1990 年からノルウェーを主体とした Seatrans Project、1992 年からの ECC (Electronic Chart Centre) の稼動開始と、1996 年からの ECHO Project (European Chart Hub Operation Project) の支援、また、ドイツには SUSAN Project というのがあり、BANET (Baltic and North sea ECDIS Test bed) を実施し、データ変換などの実証実験を行なっている。

1997 年には英国とノルウェーで RENC (Regional Electronic Navigational Chart Coordination Centre) を立ち上げている。これが PRIMAR Stavanger となる。2002 年からは IC-ENC (The International Centre for ENC) が稼動に入っている。

このような組織活動の結果、IHO 関連では、1990 年 5 月に特別刊行物 S-52 (Specification for Chart Content and Display Aspects of ECDIS) を作成し、また、特別刊行物 S-57 (Transfer Standard for Digital Hydrographic Data) については、第 2 版を 1993 年 11 月に作成し、翌年、1994 年 3 月に配布した。

ENC/ECDIS の取り組みが早いところでは、この第 2 版で製品の開発・製作を行ったが、1996 年 3 月に S-57 第 3 版をリリースし、6 ヶ月の試行期間を経て 1996 年 10 月に正式適用となった。

このため第 2 版で生産された ENC は第 3 版に変更せざるを得ず、若干の市場での混乱を生じたが、普及度がそれほど多くなかったため、特別に制度を覆すような問題にはならなかった。しかし、このような変更が度々起こるようでは、電子海図制度全体に不信感が持たれるため、第 3 版は以降“4 年間 は変更をせず、凍結”と言う約束をした。これも 1996 年のことであり、現在 S-57 の改正の話題が出ている。

IMO では、1989 年の第 57 回 MSC で電子海図暫定性能基準を承認し、1993 年に第 39 回 NAV 小委員会で ECDIS の性能基準を決定し、1994 年 5 月の第 63 回 MSC で承認し MSC.Circ.637 として IMO 総会に承認のために送ることを採択し、1995 年 11 月の第 19 回 IMO 総会で ECDIS の性能基準 A.817(19) を正式決定した。

一方、これを受けて、IEC (International Electrotechnical Commission) では、1993 年に NWI (New Work Item) として新規格化作業が提案され、IEC/TC80 (Technical Committee: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems) に WG7 (ECDIS) を設置し、IMO と併行して検討を続けた。

1998 年 8 月に ECDIS に関する機器の技術要件および試験規格として、ECDIS 機器規格 IEC 61174 を発効した。現在この規格は 5 年毎の定期見直し期間に入っている。

ちなみに、日本の海上保安庁水路部 (当時) は、1994 年 10 月に、その時点での基準による陸上試験用実機を導入、実船装備としては、翌年 1995 年 3 月に、同庁の測量船“海洋”に ECDIS の日本の一号機を搭載している。

IMO の話題に戻すが、その後、“RCDS”を、“ECDIS”と同様に認めろとの英米の強い要求が起こり、1997 年の IMO 第 43 回 NAV 小委員会で賛否二分した論争を行い、結論に至らず、次年の第 44 回 NAV に持ち越され、NAV44 で修正案が加えられ、条件付で ECDIS を RCDS モードで使用できることを認める ECDIS の性能基準の改正案を採択し、1998 年 12 月の第 86 回 MSC で認められ、MSC.86(70) Annex 4 (すなわち A.817(19) の Appendix 7) として RCDS の条項を加える案が採択された。

この論議は、ECDIS が航行安全に寄与することは明白であり、これを否定する国はないが、RCDS が ECDIS と同じではありえないので ECDIS 一本で推進させるべきとする反対国 (日本も反対派) の理由と、実態として広く普及している便利性と、無規制で任意に利用する危険性を防ぐ目的で規制 (標準) 枠の中に入れることが安全につながるとの論争であった。

この論議の背景には、RCDS の使用を認めろと言うだけでなく、SOLAS V 章 27 規則 (当時 25 規則) に要求する紙海図と同等扱いにせよとするものと、紙の海図を併用する条件で認めろとするものと、ECDIS を優先させる条件を加えた上で認めろとの意見の相違はあったが、後者が賛成多数を得て、ECDIS 一本槍は否決された。

NAV43 の論議の中で、IHO の見解は、ECDIS に使用する ENC が完全に世界中を網羅するには数年 (several years) かかるだろうと発言したが、約 8 年を経た今日、未だにこの問題は残っている。

(ECDIS 普及論議)

2004 年 5 月に開催された、第 78 回 MSC でオーストラリアから、「船舶が紙海図の搭載の必要条件なしで、ECDIS の RCDS モードを使うことを許す検討をする」という主旨の提案があり、その論拠は、水路業務の基準、IMO 決議 A.958(23) の承認は、SOLAS 第 V 章第 9 規則の規程に含まれる既存の義務に加えて、締約国政府に ECDIS を奨励する関連決議であるが、実効されていない。その理由に、ECDIS 性能基準の A.817(19) の改正決議 MSC.86(70) Annex4 (Appendix 7: ラスター海図の使用) の、「バックアップ措置」と「適切な最新の紙海図集」を搭載する要件の決議が、ECDIS の現実的な採用に与っての重大な障害であると考えられる一としてこれらの改正を提案した。

ノルウェーは、この、オーストラリアの提案に対して、提案の主な目的は明らかに ECDIS のより広範な使用を促進することであり、ノルウェーはこの狙いを完全に支持するとして、さらに ECDIS の使用の増加から生じる航海の安全に関する別の文書 (MSC 78/4/2) を引用して、大型旅客船の航海安全の最近の FSA (Formal Safety Assessment) 研究を提示した。この研究は、ECDIS の装備と使用は効率

的なコストで明らかに示すとした。

しかし、オーストラリアが、MSC.86 (70) Appendix 7 の 1.2 項を削除して、紙海図をさらに搭載しないで RCDS モードでの ECDIS の使用を許すとする提案をしたことに対しては、RCDS のいくつかの問題点を指摘して懸念を示し、支持できないとした。

フランスも同様なコメントをしたが、いずれも RCDS について SN/Circ.207 を引用して問題点を指摘している。

SN/Circ.207 では、航海者が注意すべき事項は以下のような RCDS モードの能力限界を列記している。

- 「(1) ECDIS とは異なり、RCDS は紙海図集に類似した海図ベースのシステムである
- (2) ラスター航海用海図 (RNC) データ (それ自身) は、自動警報 (例えば座礁予防) の起動をしない。しかし、若干の警報は、使用者が挿入した情報から RCDS で発生させることができる。
- － 線
 - － 船舶安全等深線
 - － 孤立した危険物
 - － 危険海域など
- (3) 平面測地系と図法は RNC 毎に異なることがある。航海者は、海図平面測地系が測位装置の測地系にどのように関連するかについて理解しなければならない。いくつかの例では、位置が変位して現れることがある。この違いは、航路監視中に、座標上で最も目立つであろう。
- (4) 海図機能は、特定の航海状況または手元の作業に見合うために、簡略化あるいは取除くことはできない。これは、レーダー/ARPA の重畳に影響を及ぼす。
- (5) 異なる縮尺の海図を選ぶことなく、先の航路を見取る能力は、いくぶん制限されるかもしれない。これは、距離と方位を決めるとき、あるいは遠距離の物標識別するとき、若干の不都合を生じるかもしれない。
- (6) RCDS の向きは、上が北向きの海図使用以外は、海図の文字とシンボルの見易さに影響を及ぼすかもしれない (例えば course-up、route-up) 。
- (7) 海図に描かれた物標に関して、付加的な情報を得るために RNC 機能に問い合わせることが不可能であろう。
- (8) 表示上で、船舶安全等深線または安全水深とそれを強調することが、これらの機能を手で入られない限り不可能である。
- (9) RNC の源次第で、異なる色が同じ海図情報を示すために用いられるかもしれない。また、日中と夜間で使用される色に違いがあるかもしれない。
- (10) RNC は、紙海図の縮尺のままに表示されなければならない。過度な拡大と縮小は、RCDS 能力 (例えば、海図の画像の読みやすさ) を低下させることになる。
- (11) 航海者は、ある海域では、海図データ (すなわち紙海図、ENC または RNC データ) の正確さは使用中に測位装置の精度より劣る事があることを判っていなければならない。これは DGNSS を使用するケースにあり得る。

ECDIS は ENC で、データの質の判断ができる指示を備える。」

といった内容である。

これらの論議に対して IMO NAV50 では ECDIS の CG (Correspondence Group) を設定し、CG は下記の検討結果を NAV51 に報告をした。

(ECDIS CG での検討結果)

NAV 50 (2004 年 7 月) では、ECDIS と RCDS に関する対応グループ (CG) を準備することが決定され、ノルウェーがコーディネータを引き受け、オーストラリア、デンマーク、カナダ、フィンランド、フランス、ドイツ、オランダ、ポーランド、ロシア連邦、英国、米国、IHO、ICS、IEC/TC80、および CIRM がメンバーとして電子メールによる審議に加わった。

CG 会議は、IHB の主催で 2005 年 1 月 27 日から 28 日までモナコで開催され、オーストラリア、デンマーク、カナダ、フィンランド、フランス、ドイツ、オランダ、ノルウェー、ロシア連邦、英国、米国、IHO、および CIRM が参加した。

協議の結果、相互のコンセンサスが得られ、NAV 51 での継続検討のために、与えられた課題に対し、以下の答申を立案した。

CG は、前記のオーストラリア、ノルウェー、フランスの文書を考慮して、下記の諸問題に関する事前の意見交換をするための作業を課され検討した結果を報告した。CG は、委任された 6 項目が相互依存していることが判ったが、報告の明瞭性と容易さのために、議論の結果は、課題の各々に対して報告された。(NAV51/6)

課題 1：ECDIS 搭載要件の可能な導入の条件

- ・ 特定の船種のために、ECDIS の段階的な義務的な搭載要件を実施するための十分な根拠があると考えた。
- ・ ECDIS の使用の増大は、直接、航海の安全と環境の保護に貢献する。
- ・ ECDIS 搭載の段階的導入計画は、また、航海者、データ販売業者、機器製造業者、及び水路部に確実性と方向付けを提供する。
- ・ それらの処置は、ECDIS の使用と支援を加速して、航海者のためになり、同時に、ENC 生産の率を増やすことに貢献する。
- ・ CG は、SOLAS V 章 19 規則および高速船 (HSC) コード第 13 章の改正を提案する。
- ・ CG は、義務的な搭載要件の実施のためのタイムテーブルは、海上安全委員会 (MSC) によって採択された後、およそ 3 年で始めなければならないと考えた。
- ・ 最優先事項は、高速船 (HSC) でなければならない。そして、期間をおいて他の船種が続く。
- ・ このような実施のタイムテーブルは、船舶に、要件の十分な通知を提供して、装備、訓練、および他の関連する準備のための十分な時間を与える。
- ・ 実施タイムテーブルは、電子航海海図 (ENC) の迅速な生産率の増加を考慮に入れる。IHO は、ENC の利用可能範囲が最初の実施日付の時間までに、かなり進められると CG に報告した。

課題 2：紙海図を持たない、RCDS モードでの ECDIS の使用可能な認可

- ・ CG は、主題に関する最も広範囲な見解が、それによって、結論に達する、あるいは、決定的な推薦を提供することを難しくしていることが判った。
- ・ CG は、主題に関する IHO 加盟国の見解に関する報告を考慮に入れた。
- ・ さらに、課題 4 と、「適切な紙海図集」の改善された指針の開発の考慮の後に、CG の議論を通し、NAV 小委員会の前の会合で、若干の加盟国によって以前に表明されたいろいろな立場を、課題 4 の提案された新しい指針の下で、調停され収められることができることが分かった。
- ・ その結果、CG は、それ以上課題 2 に言及する必要はないと決定した。

課題 3：IHO によって実施される調査に基づく個々の沿岸国による RNC の容認の指示

- IHO は、IHO 加盟国と IMO 加盟国の調査結果を報告した。35 の加盟国が IHO の調査に応じた。
 - － 16 ヶ国は、それらの司法権下の海域で、ENC が利用できない場合の運用で、RCDS モードでの ECDIS の使用を認めた。これらの国は、船に適切な紙海図集を持つべきで、ECDIS の RCDS モードにあるときに使用することを示した。
 - － 19 ヶ国は、RCDS モードでの ECDIS の使用を認めず、ECDIS のためのバックアップ設備として紙海図を持つ ENC を使う ECDIS を認めると報告した。
これらの結果は、CG の作業を通して、特に課題 2 と課題 4 に関して、考慮に入れられた。
- IHO も、別途その知るところを NAV 51 に報告する。

課題 4：用語「適切な紙海図集」の定義あるいは基準

- CG は、提供された特定の主管庁（オーストラリア、デンマーク、ドイツ、ロシア連邦、英国と米国）によって、すでに広められている 6 つの異なる実施モデルで提供される指針を検討した。これが、指針を修正するためと ECDIS 性能基準及び付随する文書に含まれる定義の根拠として使われた。
- CG は、ECDIS 性能基準によれば、航海者が、ENC が利用できない地域のために RCDS モードで ECDIS を使いたい所で、最新の適切な紙海図集（APC）を持たなければならない点に注意した。
この要件をはっきりさせるために、CG は、次のような特定の説明と定義がいろいろな IMO 規定に含まれるよう推奨する：
 1. 最新の適切な紙海図集の定義を、ECDIS 性能基準の Appendix 7 に新項目 2.7 を加える。
 2. 明確化のために ECDIS 性能基準 Appendix 7 の 1.2 項を言い換える。
 3. 明確化のために SOLAS V 章 19 規則、2.1.5 項の脚注を言い換える。

課題 5：公式のデジタル海図と紙海図の発布を監視することを要求される規定は、ECDIS 運用に関連があつて、関係する機関はこの情報を提供する

- IHO は加盟国が利用できる公式海図（ENC、RNC、および関連した紙海図）の包括的なオンライン・カタログの制定を支援することを示した、と報告した。
- このカタログは、航海用電子海図（ENC）の有効性のあるデータベースの改善と拡張で、すでに IH ウェブサイトに掲示されている。
- CG は、課題 5 の要求された結果を達成する最も適切な方法であるとして、この先制を支援した。
- IHO は、また、別途 NAV 51 にこの提案を報告する。
- このカタログは、課題 4 で言及した「適切な紙海図集」の決定を支援する。

課題 6：考慮される IMO 規定への係わり合い

- CG の作業結果として、いろいろな IMO 規定への特定の改正のための多くの提案が成された。
以下は概要である：
 - － SOLAS V 章 19 規則
 - － HSC 規約（13 章）
 - － 改正決議 A.817(19)Appendix 7（ECDIS 性能基準）（14.1 と 14.2 項で提案）
- その他の IMO 規定への係わり合いは確認されなかった。
上記報告には若干の添付改正案があるが、過渡期の文書であり紙面の都合上省略するが、このあと

の NAV51 の審議事項となる。

(我が国の意見と今後の展開)

CG の結論に対して、わが国は、国内対応委員会で検討した結果、下記の主旨のコメントをした。

ECDIS を搭載することを義務付ける強制要件の導入は、現状では安全上の必然性が説明できず、単に船舶の所有者や運航者にとって常に負荷を課すものである一方で、彼らにとって十分なメリットが提示できるものではないため、強制化を進めることは時期尚早であると考ええる。

特に、以下に示す論点が全てクリアにならない限り、ECDIS の強制化を推進するとする CG の報告に我が国が賛成することは難しいと考えている。

- ・ RCDS モードを利用する場合は、紙海図を用意することが要求されるならば、単に船舶所有者又は運航者に対して負担を強いるのみであり、強制要件の導入としては極めて非合理的である
- ・ ENC の整備状況が十分であること、
- ・ 強制要件を導入するならば、少なくとも国際航海船舶に従事する船舶が航行する海域の ENC が既に全て整備されていなければならない。さらに、ENC が整備されていない場合、RCDS モードで船舶が航行することにより、安全が確保できるのか疑問がある。
- ・ 導入時期の決定に関しては、ENC が十分に整備されていると客観的に予測される時期を選ぶべきである。
- ・ 現在のところ当該位置情報は GPS のみから提供されており、冗長性が確保されていない。自船位置が GPS 衛星と同程度の精度で画面海図上に表示されるバックアップシステムが確保される必要がある。
- ・ ECDIS という機器の信頼性が確実であること。予備機器を搭載する等で冗長性を確保することは船舶所有者や船舶運航者の負担のみを増やすことであり、これは避けなければならない。ECDIS の信頼性に関して客観的な評価が行われている必要がある。
- ・ ECDIS 強制化に係る Formal Safety Assessment が適切に実施されていること
- ・ Economic impact が評価されていること
- ・ ECDIS を使用するための船員の資格要件が明確に規定されること
- ・ ECDIS 搭載の強制要件の導入する場合、それを扱う乗組員訓練、教育および資格についても同時に検討すべきである

これらの論議の結果、ECDIS 搭載強制化に関する FSA を行なうこととなった。

4.2.2 電子海図の分類

ここ 20 年余の間に、海図の電子化開発によって、用語や特殊用語の使い分けについて多方面で混乱が生じた。電子海図は、海図のデジタル化システムのデータ構成要素を記述するのに使用される非常に幅が広い言葉である。現時点ではほぼ一般的な解釈と思われる定義で分類・整理してみることとする。

電子海図データベースの分類の仕方も色々な切り口があるが、“発行の責任の所在の面”、“製法技術の面”、それに“表示装置との関連の面”、と大きく三種類で整理できるのではないかとと思われる。

(1) 発行責任の面では、公式 (Official) と非公式 (Non-official) の言葉が良く使われる。

① 公式の電子海図は、完全に最新の状態が維持されていて、なおかつ、国の水路部当局の管理下による電子海図データベースを言う。

② 非公式の電子海図とは、国の水路部の保証はないが、国の水路部当局が所有するデータから、民間企業が製作する電子海図データベースを言う。

これは、水路部が所有する海図情報に関する著作権は関与するが、多くの商用概念で生産される電子海図製品には水路部はそれらの製品の生産に関与しないし、品質の保証もしないものを言う。

(2) 製法技術の面では、ラスター (RASTER) データとベクトル (VECTOR) データのいずれかで作られる。

① ベクトルデータ(ベクタデータとも言う)

ベクトルデータは、個々の海図オブジェクト及び属性のデジタル化によって地理的な位置を基本に作られる。これらのオブジェクトは、データベースに格納される。

例えば、データベースは、特定の座標上で、オブジェクトの色や形、灯台、標識などの特性や、ブイなどの照合、水深の識別などを含むことができる。

このデータの本質は、表示をカスタマイズする事もできる。(例えば、ブイの名の表示をオンにしたりオフにしたりすることができる)。

一般的に知的(Intelligent)なデータとなされている。

② ラスターデータ

ラスターデータは、紙海図の走査 (スキャニング) によって、あるいは、紙海図を正本として印刷して作られる。結果として生じるイメージは多くの線から成り立つ。そして、それは走査順に多数の着色された点またはピクセルから成り立つ。

このようは製法では、個々のオブジェクト (例えば水深) がコンピュータでは水深と認識されないことであるため、利用段階になってコンピュータに何かの判断をさせようとしても不可能なことになる。

このように、ラスターデータは知的とは言えないと考えられているが、ベクトルデータを重畳して組み合わせると、ECDIS に類似した機能を提供することもできる。

(3) 電子海図システムの装置との関連

これには、大きく分けて三種類が現存していると言える。

① 電子海図システム(ECS: Electronic Chart System)

電子海図システム (ECS) は、電子海図を表示する機器の一般的な用語でもあるが、海図を搭載する SOLAS 要件を満たせないか満たさないもの。したがって、ECS は紙海図と一緒に使われなければならない。

尚、ECS に使用する ECS データベース(ECS-DB)は ISO 19379 標準では、「ECS-DB は ECS で使用するために発行される内容、構造、及び更新が標準化されたデータベースである。」と定義されていて、同じく、ECS 装置は、「ECS は、船位と、ECS データベースからの関連する航海情報を表示画面上に電子的に表示する航海情報システムである。しかし、IMO の ECDIS 要件の全てには合致せず、SOLAS 第 V 章の航海用海図要件を満足するものではない。」と定義され、IEC の 62376 (ECS 規格：審議中) でも同じ表現を使用している。

② ラスター海図表示装置 (RCDS: Raster Chart Display System)

公式のラスター海図を表示することができるシステム、そして、RCDS 性能基準の最小要件に適合するもの。

RCDS は IMO に提案され認知されたが、RCDS に備わる機能性が ECDIS の機能より洗練されていないが、紙海図の法的同等物と考えられる。

ラスター海図の紙海図との同等性については、多くの論議があったが、筆者の感覚ではラスター海図は紙海図を正直にコピーしたものであるから、原寸で使用する限りにおいては、海図として同等と言えるが、一方の SOLAS 搭載要件の目的から考えれば、航海の安全目的から必要な条件を加えて行くとベクタ海図にならざるを得ないところが、安全目的の船舶搭載要件のレベルで考えるとラスター海図が紙海図との同等性を否定される意見になっているものと思う。双方の論旨は一理あり間違っているとは言い難いが、目的・立場の違いがある。

データベースの RNC の定義は、「RNC は、政府が認めた水路部当局が発行、あるいは刊行する紙海図の模写のことである。RNC は、単一の海図か一つの海図の収集品の意味としてこれらの基準で使用される」と IMO で定義され、一方の装置としての RCDS は、「RCDS とは、航海者の航路計画立案時や航路監視時に支援するため、航海センサーからの位置情報と共に RNC を表示し、必要あれば、航海関連情報の追加表示で、支援をするための航海情報システムのことである。」と定義されている。

③ 電子海図情報表示システム (ECDIS)

ECDIS は、公式のベクトル海図を使う航海情報システム、表示ソフトウェア、及び各々特定の ECDIS 性能基準に応ずるハードウェアである。

これらの性能基準は、海図データ構造、最小限の表示要件、最小限の機器仕様、及び他の状況を管理し、ECDIS の使用は、SOLAS の海図搭載の要件を満たすことを想定する。

ECDIS 上で使われる公式のベクトル海図は、航海用電子海図 (ENC) として定義される。と言った装置である。

IMO の性能基準では、「ECDIS とは、適切バックアップ機能を持ち、航海用センサーから位置情報を得る SENC (ECDIS を使うことによって ENC の変換から生まれるデータベース、更新や航海者の追加データなどが含まれる) からの選択された情報を表示することにより、そして必要に応じて航海に関する追加情報を表示することによって、航海者の航路計画立案時や航路監視時に支援をするための、1974 年 SOLAS 条約 V/20 に規定された最新の海図に適合すると認めることができる航海情報システムのことである。」と定義されている。

また、ENC の定義は、「ENC とは、主管庁が認めた水路部当局の管理の下に、ECDIS 上で使用するために発行される、内容、構造、及びフォーマットが標準化されているデータベースである。ENC には、安全航海に必要なすべての海図情報を含み、そして、紙海図の内容に追加して安全航海に必要と考え得る補助的な情報 (例えば、水路誌) を含むことがある。」と IMO で定義されている。

以上大まかな分類をしたが、これらの分類で日本の ERCS は何に属するか考えると、ECDIS でもなし、RCDS でもないとすると、ECS の類いとなるであろう。同様に、この三つの大分類がマトリックス状に入り混じるので話が複雑になるが、国際法規上の位置付けとしては、IMO の性能基準、IEC の規格、ISO の規格、に限定されると思われる。

4.2.3 関連システム

(ECDIS とトラックコントロールシステム)

ECDIS に関するベイジアン・ネットワークでの検討過程で、ECDIS とトラックコントロールシステム (TCS) が、評価上、あるいは安全航海上非常に密接に関係することが判り、ECDIS に従属すべきかどうかの論議もあったので、以下に TCS の概要を報告する。

ECDIS と TCS との関係は、実態面では、TCS は ECDIS の中に包含されて共に使われているケースが多いが、法体系や製品分類上別々のシステムとなっている。

本プロジェクトの元々の論議は、ECDIS の搭載要件のための評価であるが、ECDIS に不可欠な ENC のカバレッジの論議となり、さらに代案の RCDS/RNC や、民間の ENC と互換性のある海図製品などの実用面での効用が話題となった。ECDIS 単体を中心として、座礁防止の観点から、ECDIS が持つ機能に影響を与える、あるいは ECDIS を採用することによって影響を受けるものが相乗効果を上げる役割をしている関連機器があることが判る。

ECDIS は、海図利用方として、航海者に多くの海図関連情報を与える便宜性と、TCS における安全航路保持のための、航路設定時の安全確保と航路監視の自動化の効果を与える役割も備えている。特に TCS は、ECDIS の画面上で航路設定や航路監視を行なうことで、自船の位置対海底地形の関係を判断する上で大きな効果を発揮するものである。

添付図に、ECDIS を使用することと座礁に至る過程の関連を示す。(図 4.2.1 参照)

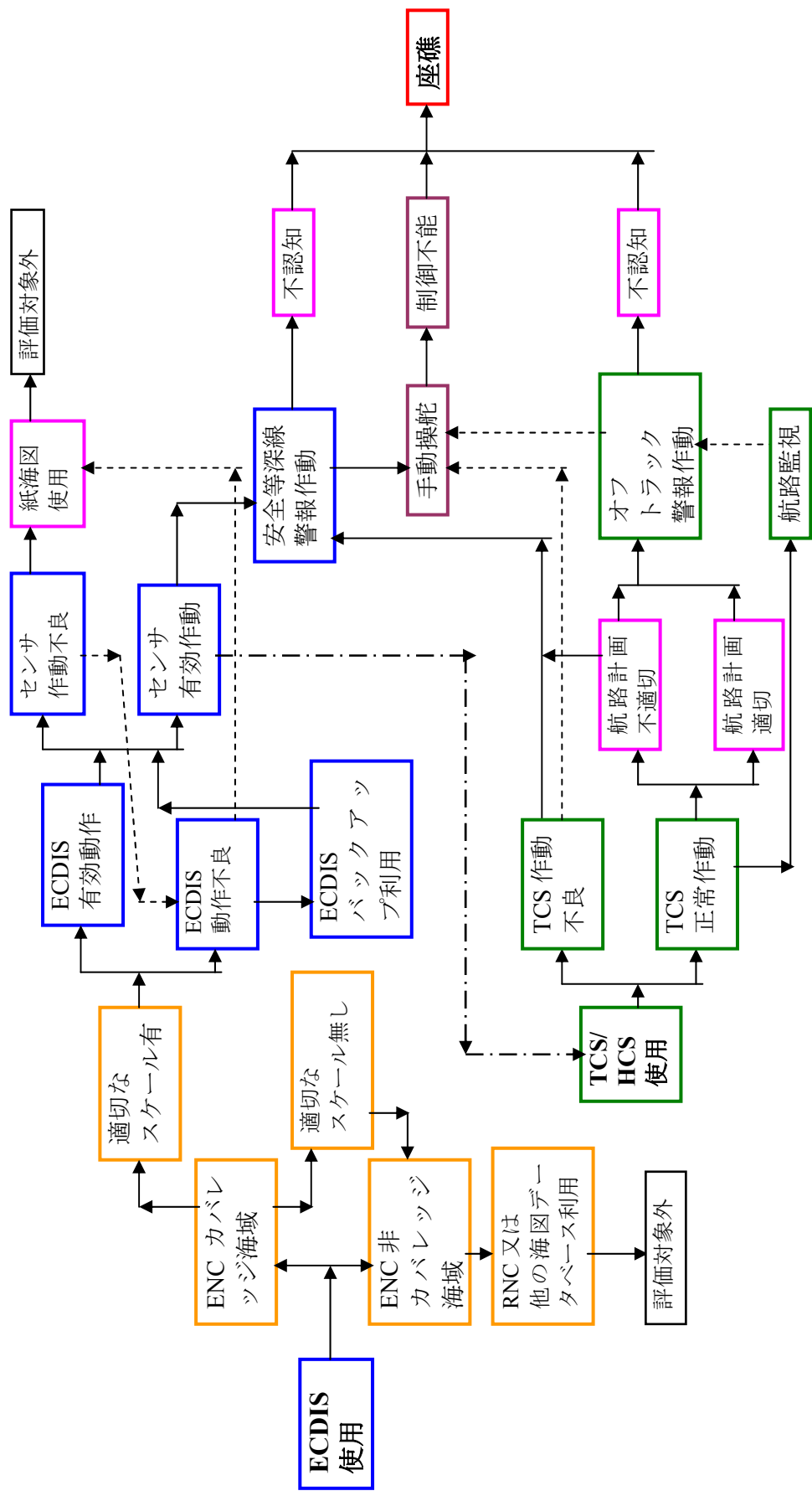


図 4.2.1 ECDIS 使用の条件の下での座礁に至るプロセス

(TCS の機能と基本動作)

TCS の機能に関する技術的な要件は細かく多々あり、警告や警報あるいは禁止がかかる項目もあるので、運用上緊急の場面で影響があると思われる点のいくつかを拾い挙げて説明する。

このシステムは、変針点 (way point) 設定方式により、変針点と変針点を結ぶ計画航路レグ (Leg : 二つの変針点間の線) 上の位置を保持しながら航行するシステムで、実際には複数のレグのつながりが、航海者が意図する区間の計画航路となり、この航路をたどるものであるが、前記の理由でカテゴリーを A、B、C の 3 種類に分けてある。

- ・ A は、単純な直線のレグ上のシステム。又は、旋回がない複数の直線のシステム
- ・ B は、レグ間を旋回でつながれた複数の直線のシステム
- ・ C は、直線及び曲線を含む完全なシステム

システムの基本条件は、

- ・ 船を現在位置から一つの変針点まで、あるいは、一連の変針点を含む航路に沿って、漸長緯度航法または大圏航法で操舵できること。
- ・ 旋回を持ってレグからレグへの接続は、設定された旋回半径か旋回角速度と計画船速に基づく旋回条件で航行すること。本船の旋回能力の範囲内であること。

システムは、これらの自動航路保持機能と、航路離脱警報と各種の操作上の警報が主な骨子となっている。

システムは当直航海士によって開始したり再開したりできるが、下記の場合に限っている。

- ・ 前もって計画された航路は、幾何学的かつ船に依存した限界値の確実性と妥当性に対してチェックされていること。さらに、
- ・ 選択された航路に対する船の相対的な位置
- ・ トラックコースと実際の船首方位との偏差
- ・ 船の操縦特性 ……などのチェックが成されていること、となっている。

操作モードの切替えに関して、ヘディングコントロールシステムからこのシステムへの切替え、及びその逆、あるいは手動からこのシステムへの切替え、及びその逆、あるいは故障時の手動への切替えについて規定している。そして、作動中はどの操舵方法が使用されているかを示す適切な表示が提供されることとなっている。

手動への切替えの場合は、いかなる舵角においても、システムの故障を含むいかなる条件においても可能であり、手動に切替えられてから自動に戻すためには操作者の介入がなければできないことになっている。同様に、システムは装備されたオーバーライド装置からの信号を受けてトラックコントロールを終了させ、かつオーバーライド装置に切替えることができること。オーバーライドに切り替わってから、自動に戻すためには操作者の介入操作を必要とすることとなっている。

(TCS の警報機能と確認操作)

航路離脱警報 (クロストラックエラー) は、実際の位置が前もって設定された航路幅 (クロストラックリミット) を超えて変位したときに警報を発すること。となっており、曲線を持つシステムは回頭半径か旋回角速度を基に監視すること。となっている。又、あらかじめ設定される航路偏差限界は不必要な警報を防ぐに十分大きな値とすべきとしている。

設定航路の終端においては、“航路終了警報”が発せられ、当直者が切替えるまでは、システムは最

終レグのトラックコースに追従すること。最低限、システムは実際の船首方位を維持すること。実際に稼動している航路の最後の変針点を通過する前 1 分から 5 分の間で警報が発せられること。この警報が 30 秒以内に確認されない場合には、待機航海士に転送警報が発せられること。などが骨子である。

又、システムが自動的にヘディングコントロールに切り替わった時、又は正常動作が維持できなくなった時、などの場合にはトラックコントロール中止警報が発せられること。このアラームが 30 秒以内に確認されない場合には、待機航海士に転送警報が発せられること。としている。

変針点での操作は、前項で説明したように、変針点到達前に十分な警告、警報を当直者に与えて、確認手続きを取って自動転針する方式となっている。若干複雑であるが、下記のような変針点接近警報と確認動作が要求されている。

- ・ 一連の変針点によるトラックコントロールの場合、確認することのできるメッセージ表示が、転舵ライン手前 5 分から遅くとも 1 分間に発せられること
- ・ システムは、旋回に至る前に、当直中の航海士が確認できる手段を持つこと
- ・ 一連の変針点によるトラックコントロールの場合で表示が確認された場合には、転舵ライン手前、最も早い場合で 1 分から 30 秒の間に、確認することが可能な変針メッセージ表示が発せられること
- ・ 表示が確認されなかった場合、転舵ライン手前 1 分から遅くとも手前 30 秒の間に、航路変針警報が発せられること
- ・ システムは旋回に至る前または旋回開始点で、当直の航海士が表示と警報を認識し、確認できる手段を持つこと
- ・ 確認のあるなしに関わらず、船は自動的にトラックに追従すること
- ・ 転舵ラインの近くまたはその地点で、確認されなかった場合、警報が発せられること。当直中の航海士によって、転舵ラインの前後 30 秒以内に表示と警報が確認されなかった場合には、待機航海士への警報が転送されること

さらに、トラックコントロール中の船の前後方向の対水速度が、操舵に必要な前もって定義された限界（トラックコントロール可能最低船速）より小さくなった場合、警報が発せられることや、トラックコントロールが故障、第 2 の測位センサーとの突き合せ、使用中の測位センサー、船首方位センサー、速度センサーからの故障も当然ながら警報を発することとなっている。

参考資料：

1. 文中記載の各基準、規格類、及び会議文書
2. 片山瑞穂：日本水路協会機関誌「水路（電子海図をめぐる国際的動向）」
3. 片山瑞穂：日本船長協会機関誌「Captain（トラックコントロールシステム）」

4.3 電子海図（ENC）の整備状況と使用法

4.3.1 日本沿岸の整備状況(2006年2月末)

1995年3月に世界で初めて IHO S-57 Ver.2 による電子海図「東京湾至足摺岬」を刊行した。その後、S-57 のバージョンアップを経て、概ね航海目的 1 から 3 までの範囲の刊行を終えている。

表 4.3.1 電子海図（ENC）の整備状況 (2006年2月現在)

航海目的	編集縮尺	セル幅	セル数 (4分割セルを含む)
1	150 万分の 1 より小縮尺	8 度以上	33
2	30 万分の 1 ～	4 度	38
3	8 万分の 1 ～	1 度	181
4	2.5 万分の 1 ～	30 分	128
5	7.5 千分の 1 ～	15 分	215
6	7.5 千分の 1 より大縮尺	15 分	0

(1) 航海目的

海図の使用目的と同様に電子海図にも編集縮尺に基づく最適な使用例がある。6段階に分割されていて、1から順に Overview、General navigation、Coastal navigation、Approach、Harbour、Berthing に分類されている。これは、それぞれ紙海図の航海計画用、遠洋航海用、沿岸航海用、入港接近用、入港用及び着岸用に対応している。

(2) 編集縮尺

ENC を編集する上で、基になる紙海図の縮尺又は編集上の縮尺をいう。この縮尺を航海目的のいずれに対応させるのは作成国に任されている。（上記は日本の例）

(3) セル幅

セル幅は、概ね 1 枚の海図が含まれるようなサイズを作成国が適宜定めている。作成国により、日本のようにグリッドによる国と海図のフルサイズ単位のものがある。

(4) 4分割セル

1つのセルに含まれる情報量は S-57 の電子海図製品仕様により 5MB 以内と制限されている。このため、日本では 1つのセルに全ての情報を収録すると、この制限を超える場合はセルを 4つに均等分割して収録している。

4.3.2 海外への ENC 整備協力

(1) 南シナ海

日本の提案により 2004 年から東アジア水路委員会加盟 8 カ国（日本、中国、韓国、フィリピン、マレーシア、シンガポール、インドネシア、タイ）により共同編集され、2005 年 3 月に南シナ海電子海図が刊行された。台湾海峡からシンガポール海峡に至る間を包含する 100 万分の 1 クラスの紙海図から編集されているもので、航海目的 2 で 4セルにより包含されている。これは、IHO の定めた仕様に合致して、SOLAS 条約（第 V 章 19 規則）の搭載要件を満たす紙海図と同等品として認知されるもの。適宜関係国からの情報により、香港が調整・編集した補正情報が提供されている。なお、この航海用電子海図は、東アジア水路委員会が設けた専用のウェブ

サイト (<http://www.scenc.org.hk/main.htm>) から無料でダウンロードできる。

(2) マラッカ・シンガポール海峡

日本は 1969 年からインドネシア、マレーシア及びシンガポールのマラッカ・シンガポール海峡沿岸 3 カ国と協力して同海峡における船舶航行の安全、海洋環境の汚染防止等のため水路測量、海図作製、潮流潮汐調査に関し、技術的な援助を行ってきた。この成果の 1 つとして 1995 年から同海峡の電子海図作成に協力し 2005 年 12 月に刊行された。

シンガポール海峡の東口からインドネシアのリアウ水域を経由し、マレーシアのポートケランの西方に至る間を 6 つのセルにより包含している。日本で刊行している同区域の 6 図の紙海図を基に作成されている。縮尺 20 万分の 1 クラスを航海目的 3 で 3 つのセル、7.5 万分の 1 及び 5 万分の 1 により航海目的 4 で 3 つのセルで編集されている。これも、IHO の定めた仕様と合致して、SOLAS 条約 (第 V 章 19 規則) の搭載要件を満たす紙海図と同等品として認知される。これらの電子海図は関係国でそれぞれ購入が可能である。補正情報は毎月初めに関係国からの情報により、シンガポールが調整・編集したものが提供されている。

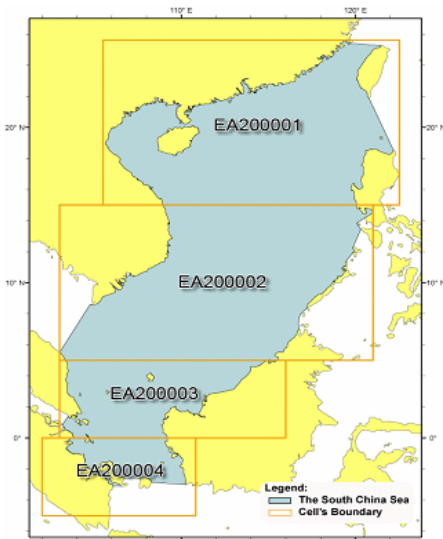


図4.3.1 南シナ海

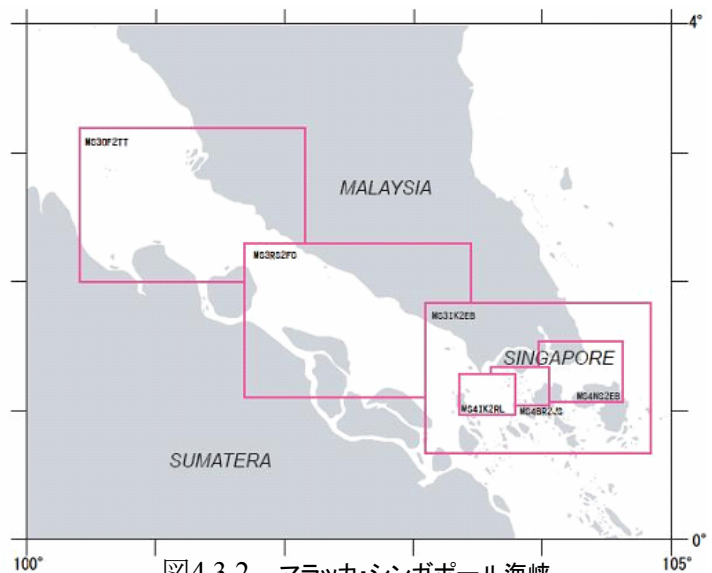


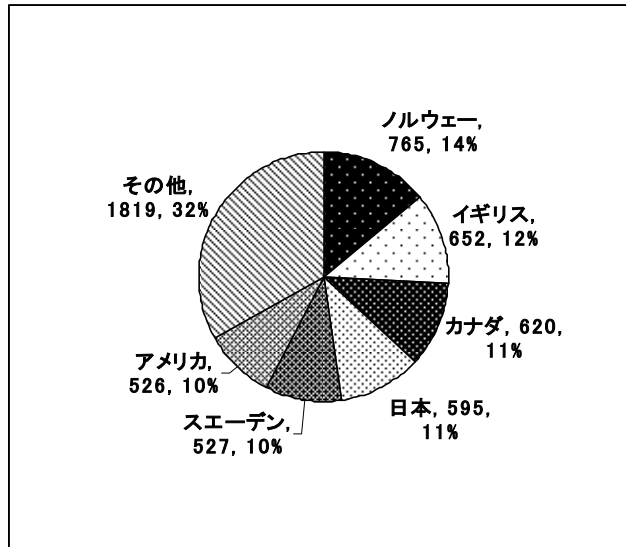
図4.3.2 マラッカ・シンガポール海峡

4.3.3 各国の電子海図整備状況 (国際水路機関ホームページから抜粋)

(1) 刊行状況(数字はセル数)

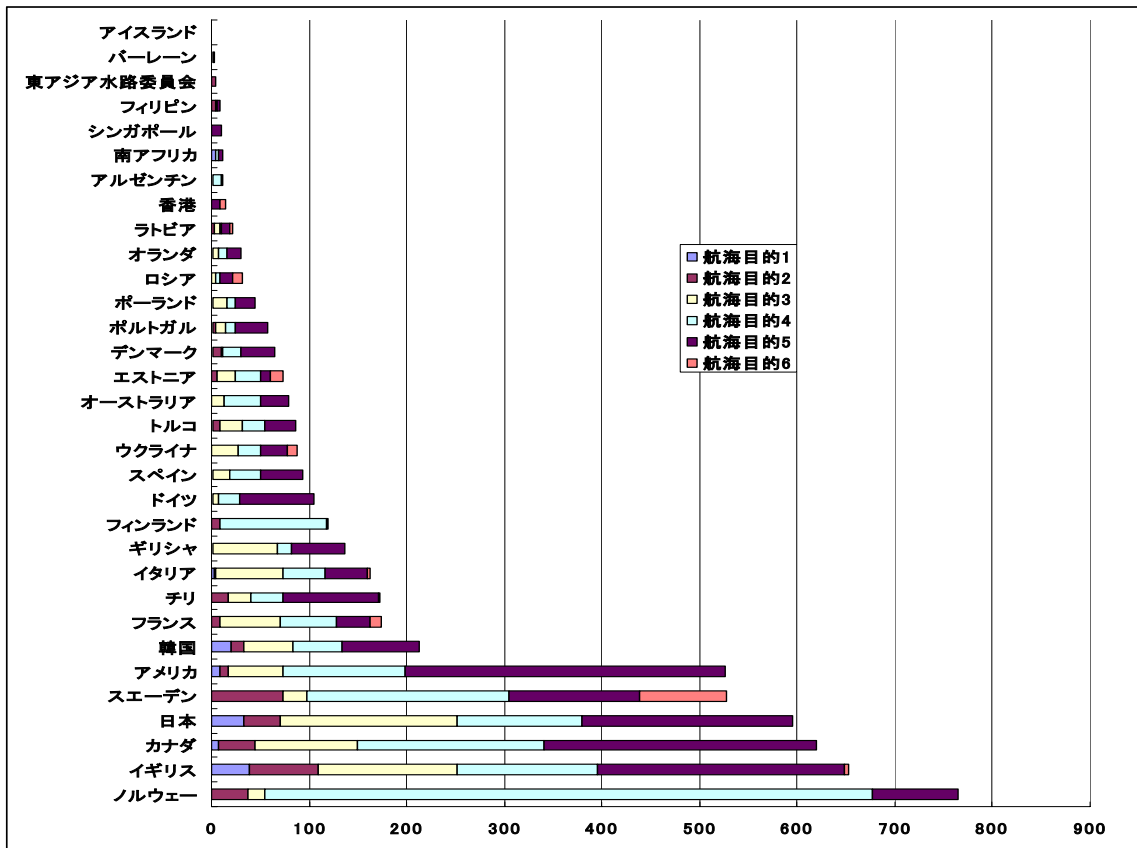
2006 年 2 月現在、世界中 32 カ国で電子海図を刊行していることが報告されている。しかし、全体で 5,510 セルが刊行されているが、ノルウェー、英国、カナダ、日本、スウェーデン、米国の 6 カ国で全体の 68 パーセントを刊行しているという現状にある。これは、特定地域の刊行率が高く、カバレッジが偏向していると言える。現在、インド、エクアドル、ペルーなどの未刊行の国が大量の刊行準備を進めているという報告がある。

表 4.3.2 世界各国の刊行状況 1



国名の後ろの数字はセル数と刊行比率 (%)

表 4.3.3 世界各国の刊行状況 2



(2) 航海目的別刊行状況(刊行セル数上位3か国)

各国とも紙の海図が全て電子海図(ENC)に編集された状況ではないが、各国の編集縮尺に該当する紙海図の数及び比率とは必ずしも一致していない。

表 4.3.4 航海目的別刊行状況

航海目的	作成国	セル数	作成国	セル数	作成国	セル数
1	イギリス	39	日本	33	韓国	20
2	スウェーデン	73	イギリス	70	日本	38
3	日本	181	イギリス	142	カナダ	105
4	ノルウェー	623	スウェーデン	207	カナダ	192
5	アメリカ	328	カナダ	279	イギリス	252
6	スウェーデン	88	ギリシャ	54	エストニア	13

なお、世界中の刊行状況、計画状況等については、国際水路機関のホームページ(http://www.iho.shom.fr/ECDIS/ENC_coverage_catalogue.htm)により逐次アップデートされたものを確認することが出来る。

4.3.4 電子海図の価格(各国水路部のホームページから抜粋)

電子海図の提供は、各国の水路機関の認知した組織及び契約された国の電子海図の販売を総合的に扱っている Primar Stavanger(ノルウェー)と IC-ENC(イギリス)のような組織(RENC)がある。この中で電子海図の価格は各国様々な提供形態(1セット及び1ユニットは各国の海域により組み合わせは異なる)を取っている。このため、一様な比較は困難である。以下にその例を示す。(RENC内では例外を除いて、価格が一定に調整されている。)

- (1) 日本 1年契約で1セル 577円
- (2) イギリス 1年契約で1ユニット 24USD~8USD等
(ライセンス料、契約期間等によって細かな料金体系が決められている)
- (3) 韓国 1年契約で1セル 2,000円(日本で購入した場合)
- (4) スウェーデン イギリスと同様
- (5) ノルウェー イギリスと同様
- (6) 香港 1年契約で1セット(15セル) 860HKD(ライセンス料を含む)
- (7) シンガポール 1年契約で1セット 80SPD(ライセンス料を含む)
- (8) 米国 米国海洋大気庁及び海洋測量業務部のホームページより無料でダウンロードすることが出来る(<http://www.nauticalcharts.noaa.gov/mcd/enc/download.htm>)

4.4 海外における事例分析（ノルウェーにより実施された FSA 内容）

ノルウェーは、NAV 51/10 “Passenger Ship Safety: Effective Voyage Planning for Passenger Ships FSA – Large Passenger Ships – Navigational Safety”で、大型旅客船の幾つかの費用対効果の高い RCO を FSA により提案している。また、その基となった文献は DNV の“FORMAL SAFETY ASSESSMENT - LARGE PASSENGER SHIPS”である。

ここでは、NAV51/10 の概要を示し、問題点について検討する。

4.4.1 解析概要

以下、NAV51/10 の章立てに従い概要を示す。図表は NAV51/10 の該当図表を参照されたい。

また、NAV51/10 には APPENDIX I、II、III があるが、同文書の理解に必要なリスクモデルを扱った APPENDIX I のみを考慮する。

A Summary

提案の基礎となる事項

- 1) GCAF (Gross Cost of Averting a Fatality) 300 万ドル未満の RCO は Cost-Effective とみなされる。
この基準は MSC 72/16 で触れられており、バルクキャリアの FSA による安全性評価にも使用された。
- 2) 運航時の誤りによる結果は破滅的 (Catastrophic) であるため、事故発生防止が重要である。
- 3) たった一つの破滅的事故により、クルーズ産業全体の評判が損なわれる。
- 4) 事故発生頻度および事故時の結果の制御は共に重要であるが、この報告は事故時の結果の低減ではなく、事故発生防止の方策に焦点を当てている。
- 5) 費用効率 (cost effectiveness) は決定時の基準として用いられるが、大型旅客船のリスクは ALARP (As Low As Reasonably Practicable) 領域内にあるとの暗黙の仮定をしている。全体のリスクはこの報告では推定されていないので、この仮定は検証されていない。
- 6) HARDER プロジェクトより大型旅客船はより小さい旅客船に比べて損傷時生存率があまり良くないことが示された。SLF 6/INF.5 より損傷時生存率の要求値が 0.9 であることが示唆されている。この値は、浸水を伴う衝突時の生存確率を表現している。この解析ではこの要求値が強化されることを仮定している。もしそれほど厳しくない値が強制される場合はさらに多くの予防的対策の費用効率が高くなる。
- 7) 最近の IMO における進展は、損傷時生存率の要求値 0.8 が強化されることが最も有り得そうである。費用効率解析においてこの影響が考慮され、新しい計算は実施されてはいないが、本報告の結論すなわち提案はいくらか修正される。

費用効率が高いとされた RCO

- 1) ECDIS
- 2) Track control
- 3) レーダーと統合された AIS(AIS integration with radar)
- 4) 船橋配置の改善(Improved bridge design)
- 5) 運航者の改善された訓練(Improved navigator training)

これら 5 つの RCO は人命損失数を大幅に減らす可能性があり、IMO により強く推奨されるべきである。費用対効果解析は、1 度に 1 つの RCO について実施された。

他の RCO も費用効率が良いとされたが、費用面でも人命損失数の低減面でもかなり小さい。

- 6) 情報の自動記入 (Automatic logging of information)
- 7) BRM ガイドラインの搭載 (Implementation of guidelines for BRM)
- 8) 運航システムの信頼性向上 (Improved navigation system reliability)
他に評価された RCO
- 9) 船橋内安全センター (Onboard Safety and Security Centre)
- 10) 船橋内に二人の航海士 (Two officers on the bridge)

これら 2 つは損傷時生存率の要求値が 0.9 の場合は費用効率が悪いが、より低い損傷時生存率の場合は計算し直す必要がある。

B Background information

事故統計、経験は、衝突、接触、乗揚は事故発生頻度、結果の重大さ、コスト面で重要な事故シナリオであることを示している。クルーズ客船が関係する重大事故の 50%は航海中に発生している。この背景の基に、DNV、NMDKM、NSA が FSA 手法により共同プロジェクトを立ち上げた。LRF 海難データベースによると、1990～2001 で、4000GT 以上のクルーズ客船の重大事故は 86 件発生している。

B.1 Objective and scope of work

この FSA 報告の目的は以下のとおり。

安全航行に関連して、大型旅客船に搭載されるべき RCO を特定する。

本プロジェクトの活動

STEP1 : HAZARD IDENTIFICATION (ハザード同定)

- ・ 既に実施された (NAV49/INF.2)

STEP2 : RISK ANALYSIS (リスク解析)

- ・ リスクスクリーニング：使用可能な統計および事故を選定する。この情報はリスクモデル作成の際の入力となる。幾つかの関連する事故も更なる検討および事故原因を暴くために使用された。
- ・ リスク評価：衝突、乗揚の失敗確率および結果の定量化のためのリスクモデルを設計する。そのモデルは、ヒューマンファクター、技術要素、地形的、および他の外的要因を含んでいる。それらの要素は、重要なリスク寄与要因を反映させ、RCO の効果を評価できることを目的に選定された。モデルはベイジアン・ネットワークを使用して設計された。

STEP3 : RISK CONTROL OPTIONS

- ・ HAZID、リスクモデル作成、専門家意見に基づき、11 個の RCO を特定した。

STEP4 : COST BENEFIT ASSESSMENT(費用対効果解析)

- ・ GrossCAF および NetCAF の形で費用効率を評価した。

STEP5 : RECOMMENDATIONS FOR DECISION MAKING(意思決定のための推奨)

B.2 Limitations

個人に対するリスクを扱っている。(人命損失リスク)

大型旅客船(2000 人以上の乗客を運送する)のみを対象としてモデル化した。

事故が生じた際の結果の重大性の低減ではなく、事故発生防止に焦点を当てている。

クルーズ客船はこれまでわずかの事故しか発生していない。ここで考慮しているタイプの旅客船の事故は皆無であるが、事故が今後も生じないということを意味していない。したがって、モデル化はクルーズ客船の最適な評価である。

個人のリスクとして自船の死者のみが含まれる。

B.3 Abbreviations

AIS,ARPA,ECDIS 等の略語の定義を示している。

C Method of work

主な作業はリスク解析である。リスク解析と費用対効果解析が実施された。この方法は費用効率解析が実施される時にリスクモデルが詳細に検討されているという利点を持つ。

リスクモデルはベイズの理論とネットワークモデルに基づくもので、衝突と powered grounding の事故シナリオのために作成された。モデルはリスク解析の専門家により開発され航海の専門家により吟味された。

コストの推定は主に、サプライヤー、航海機器メーカー、訓練センター、ヤード、船主に聞くことにより実施された。

HAZID ミーティングを含む 4 回の会合が開かれた。

このプロジェクトは 2003 年 1 月から 2003 年 10 月にかけて実施された。

D Description of the results achieved in each step

D.1 Step1 – Hazard Identification

See NAV49/INF.2

D.2 Step2 – Risk Analysis

まず、クルーズ客船の包括的なリスクレベルの調査を実施した。実績データからできるだけの情報を得て、クルーズ客船の運航に関連する全体的リスクを提示するためである。

リスクの定量化には二つの方法がある。一つは統計データを用いるもの、もう一つはモデルによるものである。統計データを使用する方法の欠点は、過去を表現するのみで最近の開発や新たな要求を考慮にいれてないことである。リスクのモデル化は proactive な方法であり、事故が生じる前にリスクを評価できる。最近の船舶は過去に建造された船舶に比べて、技術的問題により乗揚や衝突を起こすことはより少なくなった。これは、より人間的な、また組織的な要素に焦点を当てることになると思われる。ヒューマンエレメントの重要性は、モデルによく反映することが可能であり、統計データから引き出すことは困難である。より詳細は Full FSA レポートの ANNEX II を参照。

リスクモデルからのもっとも価値ある出力はモデルから得られる全体的なリスクレベルではなく、構造そのものであり、また、失敗のメカニズムの理解を可能とするすべての要素、また、入力パラメータを変更した場合の定量的な結果を与えることである。ベイズによる信頼性理論とベイジアン・ネットワークはこの目的に理想的である。

リスク解析では意見を提出することは簡単であるが、リスクの定量化とリスクの予測のための文書化は挑戦である。モデルへの確率の入力値の確定のための過程に、モデルに入れられる依存性と数値のためのしっかりした基礎を確立するため様々な専門家とデータソースが使用された。統計データは

使用できるところで使用し、使用できないところは専門家にインタビューするかモデル化の過程に入ってもらった。

乗揚と衝突の失敗のメカニズムはよく似ており、事故のモデルは大部分の構造と要素は共通である。Table2 と Table3 に国際航海の大型旅客船に代表的な入力をした場合の乗揚と衝突モデルの結果を示す。表中の[pr nm]は[per person nautical mile]を意味し、航行した距離に乗客数を乗じたもので発生頻度あるいは死者数を除することを意味する。いわゆる個人リスクの単位である。

予測された事故発生頻度は、事故統計による数値より幾分小さい。この結果は、事故統計は徐々に値が減る傾向を示しているため、合理的である。この主な理由は、船舶の操縦性の改善と現代的な航海機器である。しかしながら、旅客船は貧弱な損傷時復元性のため船体損傷時に弱くなっている。したがって、衝突と乗揚の結果は厳しいものとなっている。これはリスクモデルで考慮すべきである。

モデルの結果は、Powered grounding が衝突より 40%ほど人命損失リスクが高くなっている。これは、衝突より乗揚の方が発生頻度が高いためである。乗揚の場合は重大でない事故の割合が高いため、乗客にとっては衝突の方が乗揚より 9 倍も危険である。(Table 2 と Table 3 の 3 番目の行)

[pr nm: person nautical mile]から[person year]あるいは[ship year]への変換のために、75,000 [pr nm]は 1 [person year]に相当し、また、1.5E8[pr nm]は 1[ship year]に相当する。これは、典型的な航海は 1 回あたり 1500nm 航行し、1 年に 50 回の航海があり、また、各航海では 2000 人が乗船するとしている。([pr nm],[person year]は個人リスクの単位であり、[ship year]は社会リスクの単位である。)

使用可能な統計からはクルーズ客船では乗揚で 1 人の死者も出ていない。しかしながら、このモデルによると個人リスクは 2.2E-5 人[person year]であり、これは、4.4E-2 人[ship year]=2.2E-5×2000 で、クルーズ客船 1 隻あたり、23 年に 1 人の死者ということの意味する。また、このモデルは、100 人以上の死者がでる乗揚事故の発生頻度は、2.4E-4[ship year]、すなわち、3900 年に 1 回の事故であることを示す。

衝突の個人リスクは 1.6E-5[person year]=2.0E-10×75,000 で、これは統計値と同じオーダーである。これは、2000 人の乗客のクルーズ客船は 1 人の死者を出す事故発生頻度が 3.1E-2[ship year]であることを示す。これは 32 年につき 1 人の死者ということになる。また、100 人以上の死者を出す事故の発生頻度は 3.9E-5[ship year]、すなわち 25,000 年に 1 回の事故であることを示す。

このプロジェクトの最も重要な知見は乗揚と衝突に寄与する要素間の関係の理解にある。このモデルのもっとも重要な用途は RCO あるいは新たな規則の影響を評価するツールとしての用途である。このモデルは FSA の引き続く段階（特定された RCO の費用対効果解析）で使用される。

D.3 Step 3-Identification of Risk Control Options(詳しくは Appendix II 参照)

主要なハザードおよび Step1 と Step2 からのそれらに対応する RCO の記述が FSA プロジェクトのステアリングコミッティー、オペレータだけでなく、航海の専門家に提出された。下記の RCO が討議され、優先度付けされた。

RCOs to reduce the distraction level for navigators(航海士の不注意の程度を減らす)

- Onboard Safety and Security Center (RCO1)
- Automatic logging of information (RCO2)
- Two officers on the bridge (RCO3)

RCOs to liberate more time to observations(観測のためにより多くの時間を解放する)

- ECDIS (RCO4)

- AIS (RCO5)
 - Integration with ARPA radar
- Track Control (RCO6)

RCOs for improved human performance

- Improved bridge design (RCO7)
 - user interface
 - the design of work station(ergonomic conditions)
 - bridge layout
- Improved navigator training (RCO8)
 - Simulator training
- Implementation of guidelines for Bridge Resource Management(BRM) (RCO9)

RCOs for improved technical performance

- Navigation system reliability (RCO10)

今日の旅客船より大きい将来のクルーズ客船のための RCO の同定に焦点を当てた。RCO は費用対効果解析にかかる。

D.4 Step 4 – Cost Benefit Assessment

コスト効率を評価することが目的。航行時のエラーの結果として発現する事故発生頻度を減少させる効果的 RCO のリスクを作成する。詳細は appendix III を参照。

仮定

- 乗客数 5,000 人
- 寿命 30 年

GrossCAF と NetCAF は Table 4 にある。

(GrossCAF、NetCAF について・・・FSA Guideline (RR49 H13 報告書別冊の和訳) より)

$$\text{GrossCAF} = \Delta C / \Delta R$$

$$\text{NetCAF} = (\Delta C - \Delta B) / \Delta R$$

ΔC : 1 隻当りの RCO の費用

ΔB : RCO の実施よりもたらされる船 1 隻当りの経済的恩恵 (この中には防止された汚染も含むことがある)

ΔR : RCO によってもたらされる、船 1 隻当りのリスク削減量 (人/隻・年)

NetCAF が負の場合は、RCO 導入に伴う経済的な利益が RCO のコストより上回っていることを意味する。したがって、そのような RCO は導入すべきである。本解析では、経済的利益は事故時のコストの低下で評価された。事業活動へのより少ない妨害等の経済的利益等は考慮しなかったが (要するに逸失利益の減少)、それらが考慮されればさらに費用対効果が向上するため、この結果はロバストである。

幾つかの RCO は既にクルーズ客船に搭載されている。ECDIS がそうである。しかしながら、これは

SOLAS の要求ではない。

また、R (損傷時生存率の要求値) を 0.8 とすれば RCO10(Navigation System Reliability)は cost effective となる可能性が高い。そうであれば、RCO1(Onboard Safety and Security Center と RCO3(Two officers on the bridge)の GrossCAF と NetCAF はかなり改善される。

D.5 Step 5 - Recommendations

Recommendation の基礎として下記が遵守された。

- RCO の GrossCAF が 3M ドル未満であれば、cost-effective とみなされる。これは MSC76 におけるバルクキャリアの安全性の F S A 評価の議事で採用された。この基準は MSC72/16 の中で提案されている。
- 航行の失敗は破壊的なものとなるため、事故発生防止は重要である。
- 事故発生頻度および事故時の結果の制御は共に重要であるが、この報告は事故時の結果の低減にではなく、事故発生防止の方策に焦点を当てている。
- 費用効率(cost effectiveness)は決定時の基準として用いられるが、大型旅客船のリスクは ALARP (As Low As Reasonably Practicable)領域内にあるとの暗黙の仮定をしている。全体のリスクはこの報告では推定されていないので、この仮定は検証されていない。
- HARDER プロジェクトより大型旅客船はより小さい旅客船に比べて損傷時生存率があまり良くないことが示された。SLF 6/INF.5 より損傷時生存率の要求値が 0.9 であることが示唆されている。この値は、浸水を伴う衝突時の生存確率を表現している。この解析ではこの要求値が強制化されることを仮定している。もしそれほど厳しくない値が強制される場合はさらに多くの予防的対策が費用効率が高くなる。
- 最近の IMO における進展は、損傷時生存率の要求値 0.8 が強制化されることが最も有り得そうである。費用効率解析においてこの影響が考慮され、新しい計算は実施されてはいないが、本報告の結論すなわち提案はいくらか修正される。

下記の RCO が衝突、乗揚発生防止において cost-effective であることが判明した。

- ECDIS
- Track control
- AIS integration with radar
- Improved bridge design
- Improved navigator training

これら 5 つの RCO は人命損失をかなり減らす可能性があるため、IMO の要件として強力に勧告される。

下記の RCO も cost-effective であるが、コストも人命救助への貢献もかなり小さい。

- Automatic logging of information
- Implementation of guidelines for BRM
- Improved navigation system reliability

さらに、下記の RCO も評価された。

- Onboard Safety and Security Centre
- Two officers on the bridge

R=0.9 という要求されている指標値ではこれらの RCO は cost-effective ではないが、SLF 小委員会の勧告に従い、大型旅客船に対する R の新たな要求値は 0.9 より低くされるであろうから、それらの R

COが cost-effective かどうか結論するためにさらに精査すべきである。

これら2つの cost-effectiveness の欠落は多大な設置費用による。しかし、安全性向上のための寄与は大きい。とくに Onboard Safety and Security Centre はそのようなセンターの運用のためには追加の空間ともう1人の航海士が必要であるため高コストである。これは高価ではあるが、すでに security center の設置を計画しているならば、このRCOのための追加コストはかなり小さくなると思われる。

APPENDIX I – The risk models

以下、Figure *は NAV51/10 APPENDIX I 内の図番号である。

1.1 General

衝突と乗揚の事故シナリオがモデル化された。クルーズ客船では使用可能な統計的な基礎が弱いいため、事故統計に頼ることは不可能である。統計は過去の出来事を表現するが未だ生じていない重大なシナリオを排除するかも知れない。特に、データの基礎が貧弱な場合には、さらに、結果の質と感度はデータの程度に全く依存する。もし、事故統計が1つの事故シナリオでわずかのケースしか含んでいない場合、1つの更なる重大な事故が生じた場合は結果を大幅に変更することになる。クルーズ客船の場合統計的基礎はその数が比較的少ないため、他の大部分の船種に比較して制限されている。事故シナリオをモデル化するには、同様の事故の発生の有無に関わらず事故の発生頻度と結果に影響するすべての重要なパラメータが含まれる。この原因解析は、RCOの導入の効果的評価を可能とする。

1.2 Trade and waters sailed by cruise ships

クルーズ産業は幾つかの特定の商いが卓越している。乗揚と衝突への暴露という危機的な状況の発生頻度を推定するために、ジェネリックなクルーズ客船の特徴と交通密度が特定された。ジェネリックルートはその商いの他の異なるクルーズルートを表すものである。

クルーズの商いは市場の情報と専門化判断に基づき、5つの主な商いに分けられた。さらに、通航は3つの海域のタイプに分けられた。それらは、Open waters、Coastal waters、Narrow waters である。この区分けは専門家判断によりなされた。この結果は Table 5 にある。

Open waters: どの方向にも5海里内には障害物が存在しない海域

Coastal waters: どの方向にも2海里内には障害物が存在しない海域

Narrow waters: どの方向にも0.5海里内には障害物が存在しない海域

1.3 The grounding scenario

下記の定義を行う。

Powered grounding – ヒューマンエラーあるいは技術的誤りのために安全なルートを通航可能であるにもかかわらず安全でないルートを航行したために生じる乗揚

Drift grounding – 機器故障、不利な環境条件、錨の故障、支援ミスのために安全なルート航行することが不可能なために生じる乗揚

航海に関係するのは Powered grounding のみである。したがって Drift grounding はこの調査では考慮しない。そのため、本調査では、乗揚といえば Powered grounding のことである。

Figure 2 にベイジアン・ネットワークによって開発された乗揚のリスクモデルの概要を示す。モデル全体の詳細は full FSA 報告(DNV 報告)の ANNEX II の Appendix A にある。

Figure2 の左側は危険な状況の発生をモデル化し、右側は船舶がリスクにどのように対処するかをモデル化し、下部は結果を示している。Figure 2 の左側にある”Course towards shore”は LOC(loss of Control) は危機的であって乗揚危険が生じる頻度を示している。”Course towards shore”の発生数は EXCEL でモデル化されている。乗揚の 5 つのシナリオが定義されている。

1. 海岸へのコースとなり、コースを変えるはずであるが変えない。
2. 海岸に沿ったコースで、コースを変えるはずではないが海岸の方へ変える。
3. 海岸に沿ったコースで、海岸へ流されており、そのコースを変えるべきであるが変えない。
4. 誤った位置にあり、障害物を避けるため舵を切る必要があるが、舵を切らない。
5. 他船と遭遇し、避航操船を行っている最中に海岸へ舵を切る。

これらのシナリオは Figure3 に示されている。

それら 5 つのシナリオにおける”Course towards shore”の発生頻度は、専門家判断に基づいて推定された。この Appendix の 1.2 節の trade はジェネリック trade の全体の発生頻度を推定するための基礎として使用された。

Figure2 の右側には、船舶の LOC に影響する多くの要素が示されている。経験と統計によると、ヒューマンファクターは技術的性能より乗揚(Powered grounding)にとって重要である。事故に至る誤りのヒューマンエラーと技術的エラーの割合は 80%対 20%である。

航海士の主要なタスクは下記のとおりである。

- ・ Perceive(認知) 状況を正しく認知し、必要な情報を集める。
- ・ Assess(判断) 認知された状況を判断し、decision(決定)を下し、命令を出す。
- ・ Act(行動) 進行方向の変化あるいは速度変化という形で行動する。
- ・ Quality assure(結果の確認) 正確な決定を下し、実行したかを確認する。

高い緊張下での、かつ、受け入れ可能なストレスレベルでの任務遂行能力は幾つかの要因に影響される。

- ・ Management factors(管理要素) — 訓練、計画、チェックリスト、脱出の練習、他
- ・ Working conditions(作業環境) :
 - Internal(内部) : 監視の時間、責任、船橋設計、注意散漫のレベル、他
 - External(外部) : 天候、視程、航行レーンのマーク、昼/夜、他
- ・ Personal factors(人的要素) : 監視中の航海士の肉体的、精神的状態 (疲れ、ストレスレベル、酔い、他)

OOW(監視中の航海士)が反応できない、あるいは、危険なコースを発見できないならば、船舶内の警戒 (2 番目の OOW かパイロット) あるいは外部(VTS)の警戒があると思われることをモデル内で考慮する。乗揚回避のためには船舶の性能も重要であるが、このプロジェクトでは drift grounding に至る推力の喪失は考慮しない。しかし、舵の故障はモデル化した。人間のおよび技術的性能は会社の安全文化 (Safety Culture) により影響される。すなわち、どれだけ良く運航会社は安全の事項を扱うか、そして、会社はどれだけよく従業員に良い安全マインドを喚起しているかは人間のおよび技術的性能に影響を与える。

危険なコースと回避行動を取らないことの組合せは、船舶が制御を失ったことを表現している。乗揚はその結果である。船舶へのダメージの重大さの程度、そして内のおよび外的な環境は 1 人当りの死亡確率、すなわち個人リスクに影響を与える。

モデルの複雑さと大きさのために、モデルは Figure2 には全体が記述されていない。完全なモデルは full FSA 報告の Annex II の Appendix A にある。そこには確率の入力値も含まれている。乗揚のネットワーク

からのノードは Appendix C に、危険への暴露を記述している Excel モデルは Appendix D に含まれている。

1.4 The collision scenario

この調査では衝突は、1 隻の船舶が他の 1 隻の船舶と衝突することと定義されている。Figure4 にベイジアン・ネットワークで開発されたリスクモデルの概要が示されている。衝突は乗揚と同じモデルに基づいている。下記の違いは考慮されている。

- ・ 動いている船舶との衝突
- ・ 船舶の正確な位置は事前には計画できない
- ・ 状況に反応できる船舶との衝突
- ・ 他船からの予測できない反応はあり得る。

船舶の制御の喪失のモデル化は、他船との interaction(give-way の規則と慣習、communication、他)が含まれている以外は、多かれ少なかれ乗揚と同じである。

衝突コースの数は Excel でモデル化された。幾何学的な衝突コースの発生頻度は海域の種類、交通密度、船舶の大きさとスピードを考慮にいれて計算された。3 つの衝突シナリオがモデルに含まれている。

- ・ 反航船との衝突
- ・ 横切り船との衝突
- ・ 追い越しに伴う同航船との衝突

クルーズ客船が自船、他船はクルーズ客船、漁船を含む他の種類の船舶である。プレジャーボートはモデル化しなかった。プレジャーボートとの衝突による船体および人体へのダメージは無視できると仮定した。

モデルの複雑さと大きさのために、モデルは Figure4 には全体が記述されていない。完全なモデルは full FSA 報告の Annex II の Appendix B にある。そこには確率の入力値も含まれている。衝突のネットワークからのノードは Appendix C に、危険への暴露を記述している Excel モデルは Appendix D に含まれている。

1.5 Results – Grounding

大型旅客船の乗揚モデルの結果は Table6 に示されている。

事故統計と直接的な比較を行うと、モデルによる事故発生頻度は 3.5 倍高い。これは、モデルではすべての乗揚が含まれているのに対して、LRF の海難データベースには重大な事故のみ報告されていることによる。リスクモデルによると、乗揚の 89%の結果は”NO/minor”であり、10%は”Major”、1%は”Catastrophic”である。”NO/minor”事故の大部分はデータベースへ報告すべき程度の重大事故ではない。カリブ海では砂浜への乗揚は一般的な問題であるが、めったに船舶に損傷をもたらさない。

(以下の記述は Page 8 とほぼ同じ)

1.6 Results – Collision

大型旅客船の衝突モデルの結果は Table7 に示されている。

事故統計と比較すると、モデルによる衝突頻度は 30%ほど低い。リスクモデルによると、衝突の 60%は”NO/minor”で、39%は”Major”で、1%は”Catastrophic”である。モデルではすべての衝突が含まれているのに対して、LRF の海難データベースには重大な事故のみ報告されている。

4.4.2 解析結果の検討

今回対処するのは ECDIS の部分のみであるので、乗揚だけを考慮する。

NAV51/1 では、Bayesian Network で条件付確率を追って衝突あるいは乗揚の発生頻度、衝突、乗揚時の人命損失数を求めているが以下の問題がある。

- 1) 各ノードの CPT (Conditional Probability Table: 条件付確率表) および独立ノードの状態の確率はノルウェーの専門家のみで作成されており、妥当性が確認されていない。
- 2) 不確実性の幅 (信頼区間) が明示されていない。

ノード C48 および C65 では、危険な状況が生じた場合の、乗揚確率、死亡確率がそれぞれ求められているが、平均値のみであり、それらの値の分散が考慮されていない。リスク評価では平均値の絶対値と比較して標準偏差が非常に大きくなる場合があるため不確実さの考慮は重要である。

- 3) 実績データによるモデルの検証がなされていない。

この点に関して、B.2 Limitation には次のようなことが記述してある。

“Historically, few accidents have occurred with cruise vessels. Statistics have been used to coarsely calibrate the results from the modeling, however, statistics are not considered to be the correct answer. The observation that there is no record of a certain type of accidents in the database does not mean that the certain event can not happen. The result from the modeling is therefore the best estimate on what is the actual risk level for collision and grounding of cruise vessels.”

要するに、2000 人以上の乗客を運ぶ旅客船の事故はこれまで発生していないため、このモデルによる推定が最適値であるということを主張している。検証のための適切な統計値がないためにモデルが最適であるとの主張は非論理的である。検証されていないモデルによる推定は参考値とするというのが適当と思われる。考慮している旅客船のタイプの事故はないとは言え、それ以外の旅客船の事故は存在し、実際に多数の死者が出ている。したがって、Bayesian Network によるモデル化が妥当であるかどうかは、すでに事故が発生し、死者が出ている船舶のタイプに適用することにより検証可能と思われる。

- 4) RCO の効果の推定

- (a) 比較基準値の妥当性に疑問

検討対象の RCO の効果の推定は、それらのうち 1 つが導入された場合とそれが導入されていない場合とのリスクの差および比を求めている。RCO1(Onboard Safety and Security Centre)の場合は、現在のリスクレベルと、導入以降の推定リスクレベルとの比較を実施しているが、RCO4(ECDIS)の場合は、次のような説明がある。(RCO4 ECDIS is already implemented on most vessels, but not required by IMO. This RCO is then tested with investigating the effect of ECDIS compared to a risk level where the measure is not implemented, i.e. use of paper charts.) この文章では、ECDIS を搭載している船舶が全く存在せず、すべて紙海図を使用していた時点と、ECDIS を搭載した場合の比較ということを意味していることになるが、ECDIS が全く搭載されていなかった時代のリスクレベルとはいつのことを言っているか不明である。おそらく 1-4)より、ECDIS が搭載されていない場合のリスクレベルを同モデルを使用して推定した値を用いているものと思われる。そうであれば、RCO を導入した場合の効果の推定のために用いられる基準値はこのモデルから推定しているため、基準値そのものもいい加減な値であるということになる。

RCO1(Onboard Safety and Security Centre)と RCO4(ECDIS)の場合の基準値は Table 8 から推定すると、RCO1 の場合は 1 事故当りの死者数の平均値は 5.8 人、RCO4 場合は 30.5 人となり、基

準値が RCO 毎に大幅に異なっている。これでは意図的に RCO4(ECDIS)の人命救助数を増やしているとの批判が生じて当然と思われる。

(b) ENC が未整備の海域が存在するが、それを考慮に入れていない

ENC に関するノードは NAV51/10 の基となった DNV 報告の乗揚モデルには組入れられていないため、現実的な評価になっていない。

4.5 FSA 手法による ECDIS の有効性評価

4.5.1 ベイジアン・ネットワークモデルの構築

DNV 報告にある乗揚モデルを HUGIN 上に再現し、再現モデルによる、危険な状況が出現した場合の乗揚確率と死亡確率が、同報告の値と一致した。

ここでの想定を下記に示す。NAV51/10 および DNV report の RCO 解析におけると同様である。

- 乗船者数：5000 人
- 年間航海数：50 回
- 運航期間：30 年
- 1 航海当りの Critical Course の発生回数：53.7 回

DNV レポートにある Grounding の Bayesian Network によるモデルの C23 (Navigational aids in use)は ECDIS と Track Control がレーダーおよび目視による観測により多くの時間を配分する影響をモデル化したもので、どちらかがあればより多くの時間が解放されることを示すものである。しかし、その条件付確率は表 4.5.1.1 のようであるべきであるが、表 4.5.1.2 のようになっている。(ANNEX II : APPENDIX A)

表 4.5.1.1 修正後のノード C23 の CPT (Conditional Probability Table : 条件付確率表)

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	1.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	0.0	0.0	1.0

表 4.5.1.2 NAV51/10 で使用されているノード C23 の CPT

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	0.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	1.0	0.0	1.0

Track control と ECDIS を独立にした場合、Track control が有れば結果（乗揚確率、死亡確率、個人リスク、PLL、運航期間全体の死者数）にほとんど差がないことが表 4.5.1.3 からわかる。また、表 4.5.1.3 より、ECDIS が無い場合は、Track control がかなり効果があることがわかる。しかしながら、表 4.5.1.4 より、ECDIS と Track control が従属の場合は、ECDIS が無い場合は Track control はほとんど効果がないことになる。また、表 4.5.1.3 と表 4.5.1.4 でどちらも使用されている場合の結果が異なる理由は、Track control の使用が ECDIS の使用に従属の場合は、ECDIS を使用した場合の 85%のみ Track control を使用するという設定になっているからである。

ECDIS の使用の有無は、航路設定の容易さ等、Track control の使用の有無に大きな影響を与える。しかし、基本的に異なる機能である ECDIS と Track control は独立に評価すべきであり、そのようにすれば、ECDIS 無の場合の Track control のリスク削減値は 25.8 人となって、ECDIS と同等の効果があることになる。また、Track control が有れば、さらに ECDIS を使用することによる効果はほとんどないということになる。ECDIS が有れば Track control がなくてもかなり効果があるが、Track control ほどではないと言える。

以上より、ECDIS の使用の有無は、Track control の使用の有無に影響がなければ、ECDIS よりは Track

control を推奨すべきと思われる。NAV51/10 の Table1 9 より、コスト的にも Track control の方が優れている。しかしながら、ECDIS 無の場合の Track control は設定の誤りの確率を考慮すべきであり、そのためのノードを Bayesian Network 中に入れるべきである。

運航時の ECDIS の影響は主に海図認知の成功率にあると思われる。この効果を確認するために、C26 : Chart detection ノードにおいて ECDIS の有無による Chart 認知の成功率を調査した。表 4.5.1.7, 4.5.1.8 より ECDIS の使用の有無と Track control の使用の有無が独立と仮定した場合、Track control がある場合は海図認知の成功率のみから ECDIS の影響を無くした場合と ECDIS を全く使用しない場合の乗揚確率、死亡確率は共に一致する。しかし、従属と仮定した場合は、Track control がある場合は、海図認知の成功率から ECDIS の影響を除いた場合の乗揚および死亡確率は、ECDIS を全く使用しない場合と比べて桁違いに小さい。(表 4.5.1.9, 4.5.1.10)

表 4.5.1.3 ECDIS の使用と Track Control の使用が互いに独立な場合 (修正されたノード C23 を使用)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL (Potential Loss of Lives) (Persons/ Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.84×10^{-9}	1.57×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	0.994×10^{-5}	0.0267	6.00×10^{-9}	1.61×10^{-5}	0.0806	2.42	-25.8
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2(A0)	0

表 4.5.1.4 Track Control の使用と ECDIS の使用が独立な場合 (修正されたノード C23 を使用)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL (Potential Loss of Lives) (Persons/ Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.30×10^{-5}	0.0349	7.92×10^{-9}	2.13×10^{-5}	0.106	3.19	-25.0
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

表 4.5.1.5 ECDIS の使用と Track Control の使用が互いに独立な場合 (NAV51/10 のノード C23 を使用)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL (Potential Loss of Lives) (Persons/ Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.84×10^{-9}	1.57×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	1.04×10^{-5}	0.0278	6.27×10^{-9}	1.68×10^{-5}	0.0842	2.53	-25.7
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

表 4.5.1.6 Track Control の使用と ECDIS の使用が独立な場合 (NAV51/10 のノード C23 を使用)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL (Potential Loss of Lives) (Persons/ Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.30×10^{-5}	0.0349	7.92×10^{-9}	2.13×10^{-5}	0.106	3.19	-25.0
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

表 4.5.1.7 乗揚危険が生じた場合の乗揚確率 (ECDIS の使用と Track Control の使用が互いに独立な場合 (修正されたノード C23 を使用))

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	0.975×10^{-5}	3.126×10^{-5}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	0.994×10^{-5}	5.332×10^{-5}
ECDIS is not used	0.994×10^{-5}	10.19×10^{-5}

表 4.5.1.8 乗揚危険が生じた場合の死亡確率 (ECDIS の使用と Track Control の使用が互いに独立な場合(修正されたノード C23 を使用))

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	5.84×10^{-9}	19.7×10^{-9}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	6.00×10^{-9}	39.6×10^{-9}
ECDIS is not used	6.00×10^{-9}	7.01×10^{-9}

表 4.5.1.9 乗揚危険が生じた場合の乗揚確率 (ECDIS の使用と Track Control の使用が独立でない場合, 修正されたノード C23 を使用)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	1.30×10^{-5}	3.13×10^{-5}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	1.65×10^{-5}	5.33×10^{-5}
ECDIS is not used	10.2×10^{-5}	10.2×10^{-5}

表 4.5.1.10 乗揚危険が生じた場合の死亡確率 (ECDIS の使用と Track Control の使用が独立でない場合, 修正されたノード C23 を使用)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	7.92×10^{-9}	19.7×10^{-9}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	10.8×10^{-9}	38.2×10^{-9}
ECDIS is not used	70.1×10^{-9}	70.1×10^{-9}

4.5.2 実績データによるモデルの検証および不確実さ解析

実績データとして、LRFP(Lloyds Register /Fairplay)のデータを考慮する。LRFP が保持している船舶データベースおよび海難データベースに採録されている船舶は 100GT 以上の国際航行船舶である。表 4.5.2.2 に 1983 年から 1992 年の 10 年間、表 4.5.2.3 に 1993 年から 2002 年の 10 年間のデータを示す。

また、表 4.5.2.1 に MSC72/16 にある乗員および旅客の個人リスクの許容基準を示す。表 4.5.1.3～4.5.1.11 より、Passenger の個人リスクで許容範囲を超えているのは、

- 1) ECDIS 無、Track Control 無 (Track Control と ECDIS が独立の場合)
- 2) ECDIS 無、Track Control 無 (Track Control と ECDIS が従属の場合)
- 3) ECDIS 無、Track Control 有 (Track Control と ECDIS が従属の場合)

の 3 ケースである。

他の場合は、ALARP (As Low As Reasonably Practicable) で費用対効果が良ければできる限りリスクを減らす努力をすべき範囲内ということになる。

表 4.5.2.2 および表 4.5.2.3 の LRF 船舶の乗揚頻度との比較により、NAV51/10 の旅客船の Grounding のモデルによる乗揚頻度は、ECDIS と Track control が共に使用された場合で、統計データ(10000GT 以上の旅客船)の 2 倍～4 倍となる。両方とも無の場合は、20 倍～40 倍ということになる。モデルによる結果は実績値よりかなり大きいですが、この意味について、NAV51/10 では、このモデルではすべての乗揚が算入されているが LRFP の海難データには重大な事故のみ報告されているという理由を上げており、このモデルによると、89%が No/minor、10%は Major、1%が Catastrophic となる。

表 4.5.2.1 乗員および旅客の個人リスクの許容基準 (MSC72/16)

Maximum tolerable risk for crew members	10^{-3} annually
Maximum tolerable risk for passengers	10^{-4} annually
Maximum tolerable risk for public ashore	10^{-4} annually
Negligible risk	10^{-6} annually

表 4.5.2.2 LRFPL(Lloyds Register /Fairplay)船舶の船種、大きさ毎の海難発生数、母集団、乗揚頻度、PLL (1983-1992)

Type and size of ships	1983-1987										1988-1992										
	Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)			PLL(Potential Loss of Lives)	Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)			PLL(Potential Loss of Lives)	
			Number	Frequency	Number	Loss of lives/accident	FI(Freq. Index)	SI(Severity Index)	RI(Risk Index)				Number	Frequency	Number	Loss of lives/accident	FI(Freq. Index)	SI(Severity Index)	RI(Risk Index)		
Cargo ship	100~500GT	29240	1	323	0.0110	30	0.0929	4	1	5	1.026E-03	30421	1	161	0.0053	23	0.1429	3	2	5	7.561E-04
	500~1000GT	8440	1	105	0.0124	12	0.1143	4	2	6	1.422E-03	8327	1	54	0.0065	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	1000~3000GT	16874	1	156	0.0092	6	0.0385	3	1	4	3.556E-04	17456	1	101	0.0058	6	0.0594	3	1	4	3.437E-04
	3000~10000GT	23028	1	239	0.0104	8	0.0335	4	1	5	3.474E-04	20723	1	147	0.0071	22	0.1497	3	2	5	1.062E-03
	10000~30000GT	17042	1	230	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	16572	1	146	0.0088	26	0.1781	3	2	5	1.569E-03
	30000GT~	4173	1	53	0.0127	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	5847	1	48	0.0082	1	0.0208	3	1	4	1.710E-04
	Total	98797	1	1106	0.0112	56	0.0506	4	1	5	5.668E-04	99346	1	657	0.0066	78	0.1187	3	2	5	7.851E-04
Tanker	100~500GT	8005	1	29	0.0036	1	0.0345	3	1	4	1.249E-04	8685	1	29	0.0033	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	500~1000GT	4929	1	11	0.0022	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5259	1	24	0.0046	3	0.1250	3	2	5	5.705E-04
	1000~3000GT	4128	1	19	0.0046	12	0.6316	3	2	5	2.907E-03	4648	1	25	0.0054	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2746	1	27	0.0098	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3158	1	23	0.0073	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	1738	1	34	0.0196	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	2148	1	40	0.0186	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	30000GT~	1513	1	37	0.0245	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	1921	1	38	0.0198	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	Total	23059	1	157	0.0068	13	0.0828	3	1	4	5.638E-04	25819	1	179	0.0069	3	0.0168	3	1	4	1.162E-04
Passenger ships	100~500GT	11497	1	13	0.0011	2	0.1538	3	2	5	1.740E-04	13603	1	12	0.0009	35	2.9167	2	3	5	2.573E-03
	500~1000GT	2718	1	14	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3085	1	8	0.0026	1	0.1250	3	2	5	3.241E-04
	1000~3000GT	2457	1	17	0.0069	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2820	1	14	0.0050	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2230	1	21	0.0094	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2454	1	16	0.0065	464	29.0000	3	4	7	1.891E-01
	10000~30000GT	851	1	11	0.0129	1	0.0909	4	1	5	1.175E-03	1048	1	9	0.0086	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	66	1	1	0.0152	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	148	1	2	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	Total	19819	1	77	0.0039	3	0.0390	3	1	4	1.514E-04	23158	1	61	0.0026	500	8.1967	3	3	6	2.159E-02
Others	100~500GT	52504	1	66	0.0013	9	0.1364	3	2	5	1.714E-04	57698	1	31	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	12081	1	17	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12749	1	10	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	7899	1	13	0.0016	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9014	1	9	0.0010	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	3000~10000GT	2629	1	8	0.0030	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2924	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	579	1	3	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	639	1	2	0.0031	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	56	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	59	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	75748	1	107	0.0014	9	0.0841	3	1	4	1.188E-04	83083	1	58	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
Fishing ship	100~500GT	86979	1	123	0.0014	30	0.2439	3	2	5	3.449E-04	97777	1	101	0.0010	13	0.1287	3	2	5	1.330E-04
	500~1000GT	10545	1	12	0.0011	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12180	1	11	0.0009	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	7641	1	8	0.0010	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	8277	1	10	0.0012	8	0.8000	3	2	5	9.665E-04
	3000~10000GT	2483	1	3	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2841	1	4	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	644	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	669	1	1	0.0015	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	5	1	0	0.0000	0	0.2055	1	2	3	0.000E+00	18	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	108297	1	146	0.0013	30	0.2055	3	2	5	2.770E-04	121762	1	127	0.0010	21	0.1654	3	2	5	1.725E-04

表 4.5.2.3 LRF(P(Lloyds Register /Fairplay)船舶の船種、大きさ毎の海難発生数、母集団、乗揚頻度、PLL (1993-2002)

Type and size of ships	1993-1997										1998-2002										
	Popula-tion	Rate of	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				Popula-tion	Rate of	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				
			Number	Freq-uecy	Number	Loss of lives/ acci-dent	FI(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	RI(Risk Index)	PLL(Poten-tial Loss of Lives)			Number	Freq-uecy	Number	Loss of lives/ acci-dent	FI(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	RI(Risk Index)	PLL(Poten-tial Loss of Lives)	
Cargo ship	100~500GT	33328	1	59	0.0018	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	33717	1	26	0.0008	49	1.8846	2	3	5	1.453E-03
	500~1000GT	8786	1	38	0.0043	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9037	1	30	0.0033	2	0.0667	3	1	4	2.213E-04
	1000~3000GT	19252	1	94	0.0049	5	0.0532	3	1	4	2.597E-04	20632	1	154	0.0075	2	0.0130	3	1	4	9.694E-05
	3000~10000GT	22354	1	101	0.0045	2	0.0198	3	1	4	8.947E-05	23944	1	128	0.0053	56	0.4375	3	2	5	2.339E-03
	10000~30000GT	18874	1	100	0.0053	5	0.0500	3	1	4	2.649E-04	22334	1	148	0.0066	5	0.0338	3	1	4	2.239E-04
	30000GT~	8406	1	33	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12375	1	64	0.0052	4	0.0625	3	1	4	3.232E-04
	Total	111000	1	425	0.0038	12	0.0282	3	1	4	1.081E-04	1E+05	1	550	0.0045	118	0.2145	3	2	5	9.669E-04
Tanker	100~500GT	10104	1	12	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	10182	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	5954	1	15	0.0025	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6207	1	20	0.0032	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	1000~3000GT	5576	1	22	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6164	1	29	0.0047	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	4137	1	17	0.0041	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5784	1	26	0.0045	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	2773	1	22	0.0079	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	4089	1	39	0.0095	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	3270	1	24	0.0073	1	0.0417	3	1	4	3.058E-04	5112	1	19	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	Total	31814	1	112	0.0035	1	0.0089	3	1	4	3.143E-05	37538	1	138	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
Passenger ships	100~500GT	15869	1	10	0.0006	342	34.2000	2	4	6	2.155E-02	17366	1	16	0.0009	1	0.0625	2	1	3	5.758E-05
	500~1000GT	3567	1	7	0.0020	16	2.2857	3	3	6	4.486E-03	3990	1	9	0.0023	16	1.7778	3	3	6	4.010E-03
	1000~3000GT	3171	1	6	0.0019	7	1.1667	3	3	6	2.208E-03	3578	1	7	0.0020	58	8.2857	3	3	6	1.621E-02
	3000~10000GT	2739	1	15	0.0055	1	0.0667	3	1	4	3.651E-04	2943	1	17	0.0058	83	4.8824	3	3	6	2.820E-02
	10000~30000GT	1379	1	11	0.0080	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	1685	1	9	0.0053	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	280	1	5	0.0179	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	535	1	7	0.0131	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	Total	27005	1	54	0.0020	366	6.7778	3	3	6	1.355E-02	30097	1	65	0.0022	158	2.4308	3	3	6	5.250E-03
Others	100~500GT	64216	1	21	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	71062	1	18	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	13127	1	5	0.0004	1	0.2000	2	2	4	7.618E-05	13488	1	5	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	9702	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	11029	1	4	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	3000~10000GT	3173	1	6	0.0019	6	1.0000	3	3	6	1.891E-03	3675	1	2	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000~30000GT	698	1	1	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	802	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	30000GT~	63	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	116	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	90979	1	38	0.0004	7	0.1842	2	2	4	7.694E-05	1E+05	1	29	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
Fishing ship	100~500GT	101524	1	68	0.0007	38	0.5588	2	2	4	3.743E-04	1E+05	1	50	0.0005	23	0.4600	2	2	4	2.238E-04
	500~1000GT	12850	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	12941	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	8131	1	11	0.0014	10	0.9091	3	2	5	1.230E-03	7338	1	9	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2867	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2354	1	2	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000~30000GT	588	1	1	0.0017	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	350	1	1	0.0029	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	20	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	16	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	125980	1	95	0.0008	48	0.5053	2	2	4	3.810E-04	1E+05	1	71	0.0006	23	0.3239	2	2	4	1.828E-04

C63 (Evacuation fatality) と C60 (Immediate fatality) のノードで、NAV51/10 では 1 critical course において乗船者一人が避難に失敗して死亡する確率および即死の確率が定義され、それらの和をとって死亡確率としているが、ここでは、C63 と C60 のノードに、死亡する要因の組合せ毎に、元のノードにおける死亡確率を中心としてその前後に適当な間隔内に死亡確率が分布すると仮定して、不確実さ解析を実施した。その際の C63 と C60 の CPT を図 4.5.2.4、図 4.5.2.5 に示す。

その結果 C65 は広い範囲の死亡確率を出力することが分かった(図 4.5.2.1)。その平均値は 7.77×10^{-9} でほぼ、NAV51/10 の死亡確率(7.92×10^{-9})に一致する。若干異なる理由は、表 4.5.2.4 の最左列の死亡確率の分布が一部非対称であるからである。しかし、標準偏差は 10^{-5} オーダーで平均値の絶対値に比較すると、かなり大きく無視できない値と言える。C63 および C60 に設定した不確実さの幅は死亡する要因の組合せ毎に絶対値の 50%に満たないが、結果としてかなり大きくなるため、不確実さを十分に考慮する必要があることがわかる。

表 4.5.2.4 ノード C23(避難中の死亡確率)の CPT(その 1)

C64: People location	In sea									In lifeboat								
	Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree			Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree		
C62: Water temperature	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.
C61: Rescues	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.44	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.4	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.36	0	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.25	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.14	0	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.12	0	0	0	0.25	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.1	0	0.25	0	0	0.5	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.08	0	0.5	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.06	0	0.25	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.04	1	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.25
	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5
	0.0008	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0
	0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4.5.2.4 ノード C23(避難中の死亡確率)の CPT(その 2)

C64: People location	In liferaft									Onboard								
	Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree			Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree		
	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.
0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0028	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.002	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0012	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.001	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0008	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表 4.5.2.5 ノード C60(即死)の CPT

C49: Vessel damage	No/minor	Major	Catastrophic	NA
0.0012	0	0	0.25	0
0.001	0	0	0.5	0
0.0008	0	0	0.25	0
0.0002	0	1	0	0
0.00001	1	0	0	0
0	0	0	0	1

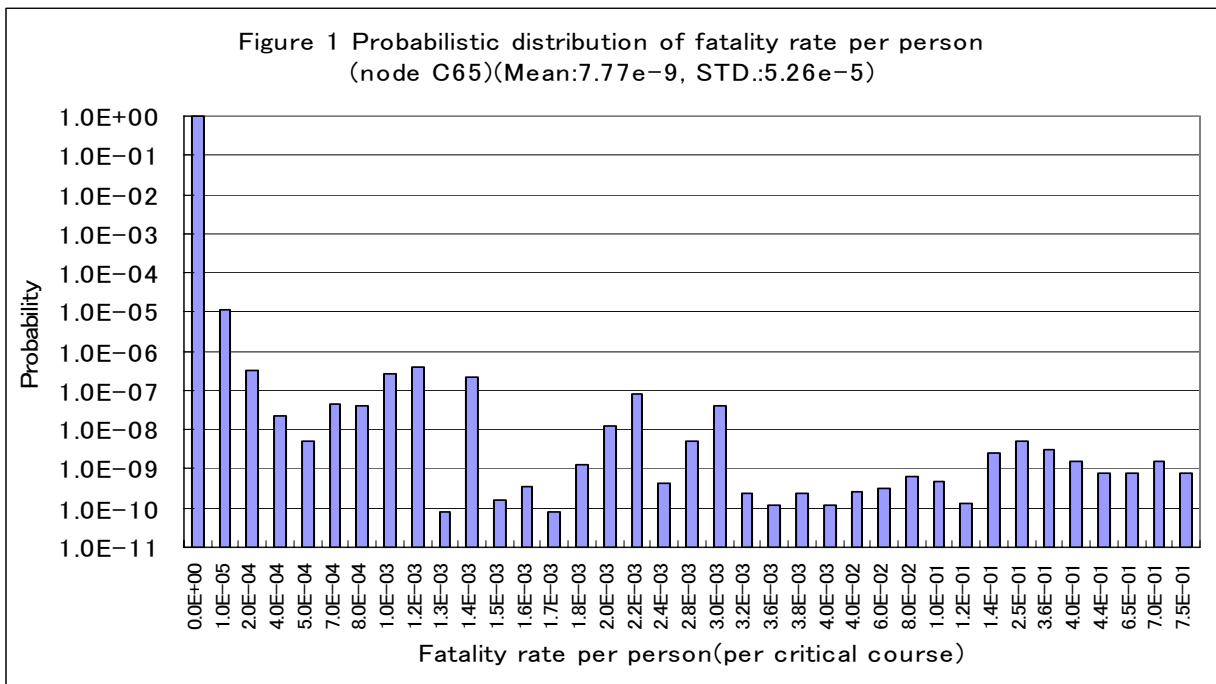


図 4.5.2.1 死亡確率の確率分布(平均 : 7.77×10^{-9} , 標準偏差 : 5.26×10^{-5})

4.5.3 ENC の coverage を考慮したリスク解析

(1) ENC のベイジアン・ネットワークによるモデル化

ノルウェーによる ECDIS の FSA 評価では、Grounding のモデルは座礁危険が発生した場合(すなわち 5 つの座礁シナリオの各々について)の失敗確率を求めるものとなっている。座礁危険が発生した後の事態の進展がベイジアン・ネットワークでモデル化されているが、座礁シナリオが異なることによるノードの条件付確率の変化はないようである。したがって、ENC のカバレッジをモデル化する場合は 5 つの座礁シナリオに共通のモデル化が求められる事になる。すなわち、一航海中にどれほどカバレッジがあるかという見方ではなく、座礁危険が発生する場所におけるカバレッジはどうかという見方が必要である。

ENC の種類は 5 つ (Harbour、Approaches、Coastal、General、Overview) あるため、座礁危険が発生する場所においてそれらの種類の ENC が提供される割合が重要となる。ここで、”Harbour”が提供されていればそれより縮尺が大きい”Approaches”等の粗い ENC が提供される等、ある縮尺の ENC が提供される場合はそれより縮尺の大きい ENC はすべて提供されるとの仮定が成り立つものとすれば、”Kind of ENC”なるノードを作成し、最小の縮尺の ENC が提供される確率 (割合) を定義することができる。しかし、航法毎に必要な縮尺は異なるため、この違いをモデルに反映する必要がある。そのために座礁危険が発生する場所がどの航法での航行時かという条件も必要となる。航法は港からの距離で変化すると考えられるため、海域を図のように分割することが可能と思われる。ノルウェーによる ECDIS の FSA では海域をクルーズ客船が航行する 5 種類 (Caribbean, Alaska/Canada, Europe, Asia, Other) に分け、さらにそれらの各々で、Open, Coastal, Narrow と 3 種類の海域の割合を出している。解析にはそれらを総合して、Open:60%, Coastal:25%, Narrow:15%としている。Open は座礁危険を 0%すなわち発生しないとしている。座礁シナリオは Coastal、Narrow でそれぞれの発生頻度が異なり、それらの海域毎に 5 つの座礁シナリオでモデルを走らせ、各海域、各座礁シナリオの 1 年当りの発生頻度を加えることにより、最終的な座礁の発生頻度を求めていると思われる。

これに対応するために、Coastal, Narrow 毎に各航法のエリアの割合を推定し、エリア毎に ENC の最小縮尺の提供割合を推定することにより、ENC が座礁防止に与える影響をモデル化可能と思われる。ここで注意すべきは、航法エリアは最小縮尺 ENC の提供確率に影響を与えるだけでなく、最小縮尺の ENC が座礁防止に与える影響 (満足度 (by 片山委員) と関連すると思われる) にも影響を与えるということである。ENC に関しては、以上を考慮し、図 4.5.3.1 のようにモデル化した。また、新たに作成するノードは Able to ECDIS detection (ECDIS による検知)に影響を与えるとする。

ノルウェーの ECDIS の FSA に対応させるために、下記の各欄の確率 (a_{ij} , b_{ij}) (表 4.5.3.1,4.5.3.2) が必要となる。それらの定量化のために、ここで考慮した航路毎に得られる表 4.5.3.18 および表 4.5.3.19 を使用した。表 4.5.3.3 ~ 4.5.3.16 にかけて、ノード”Type of ENC”、およびノード”Type of navigation area”の CPT を示す。また、表 4.5.3.17 にノード C29 (Able to ECDIS detection) の CPT を示す。

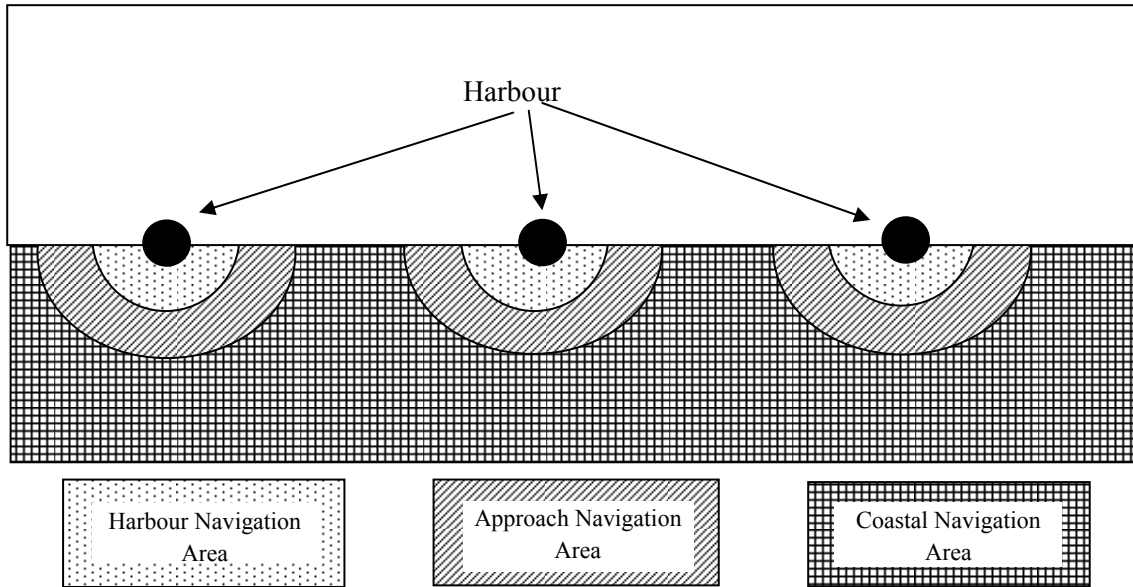


図 4.5.3.1 航法モードによるによる海域のモデル化

表 4.5.3.1 航法エリアの出現確率
(ノード“Type of navigation area”)

Type of navigation area	Type of water	
	Coastal Waters	Narrow Waters
Harbour	a11	a12
Approach	a21	a22
Coastal	a31	a32
Total	1	1

表 4.5.3.2 航法エリア毎の最小縮尺 ENC の
入手確率(ノード”Type of ENC”)

(2) 想定航路、

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coastal
Harbour	b11	b12	b13
Approaches	b21	b22	b23
Coastal	b31	b32	b33
General	b41	b42	b43
Overview	b51	b52	b53
Total	1	1	1

貨物船および航海数

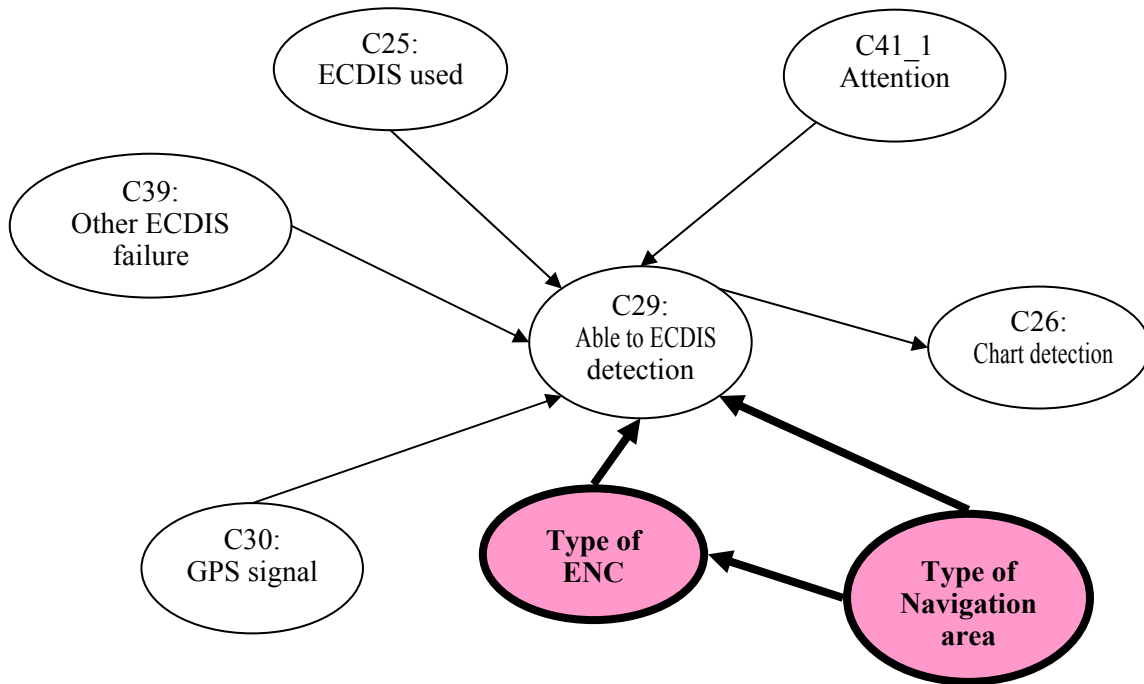


図 4.5.3.1 ENC 関連ノード

以下の 4 つの貨物船の航路を考慮する。

- 1) Route 1 : 横浜～マ・シ海峡～ラスターヌラ (サウジアラビア)
タンカー (乗船者 22 人) 年間 7 航海
- 2) Route 2 : 大分～アローストレート～ポートヘッドランド (豪州西岸)
Ore Carrier (乗船者 22 人) 年間 11 航海
- 3) Route 3 : 神戸～マ・シ海峡～スエズ運河～ロッテルダム
コンテナ船(乗船者 22 人) 年間 5 航海
- 4) Route 4 : 名古屋～パナマ運河～ニューヨーク
Car Carrier(乗船者 22 人) 年間 5 航海

それらの航路の Coastal Water および Narrow Water における 1nm 当りの乗揚危険の発生は、DNV 報告の ANNEX II の APPENDIX D にある FigureD-2 より、下記のように求めた。

- Coastal Water (CW) : 0.0382 (1/nm)
- Narrow Water (NW) : 0.176 (1/nm)

(3) 解析結果

以下の解析では、Bayesian Network の ENC のカバレッジ関連以外のノードは Norway の方式と同じにし、ECDIS 有、Track control 有として計算した。表 4.5.3.20 に結果を示す。

航路によって ENC のカバレッジの影響は異なるが、表 4.5.1.9 との比較により Route 3 は海図認知の成功率から ECDIS の影響を除いた場合と乗揚確率、死亡確率ともほとんど同じであることがわかる。このことは、ENC のカバレッジの影響は海図認知の成功率に大きな影響を及ぼすことを示していると思われる。また、個人リスクはどのコースとも ALARP 領域にあることがわかる。

コース毎に ECDIS および Track control 無の場合 (ECDIS と Track control の使用の有無は従属と仮定) の GrossCAF は、Route 1～3 は 3M\$ 未満であるため、cost effective とみなされるが、Route4 は 3M\$ 以上であり、cost effective とは言えない。

Route 1

a) Coastal Water (CW)

表 4.5.3.3 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	0
Approach	0.0818
Coast	0.918

表 4.5.3.4 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0.327	0.0548
Coastal	0	0	0.517
General	0	0	0
Overview	1	0.673	0.344

b) Narrow Water (NW)

表 4.5.3.5 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

表 4.5.3.6 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.502	0	0
Approach	0.428	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.0704	1	1

2) Route 2

a) Coastal Water (CW)

表 4.5.3.7 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	0
Approach	0.05
Coast	0.95

表 4.5.3.8 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0.269	0.269
General	0	0	0
Overview	1	0.731	0.731

b) Narrow Water (NW)

表 4.5.3.9 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

表 4.5.3.10 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.769	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.231	1	1

3) Route 3

a) Coastal Water (CW)

表 4.5.3.11 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	0.00829
Approach	0.0716
Coast	0.920

表 4.5.3.12 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

b) Narrow Water (NW)

表 4.5.3.13 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

表 4.5.3.14 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.312	0	0
Approach	0.688	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0	1	1

4) Route 4

b) Narrow Water (NW)

表 4.5.3.15 ノード ”Type of navigation area”の CPT

Harbour	0.832
Approach	0.168
Coast	0

表 4.5.3.16 ノード”Type of ENC”の CPT

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

表 4.5.3.17 ENC 関連ノードの影響を加えたノード C29 (Able to ECDIS detection) の CPT

ECDIS used	GPS signal	Other ECDIS failure	Update routine	Type of nav. area	Type of ENC	Able to ECDIS detection	
						Yes	No
YES	YES	No failure	Good	Harbour	Harbour	1	0
					Approches	0.1	0.9
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	1	0
					Approches	1	0
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Coast	Harbour	0	1
					Approches	0.1	0.9
			Coastal		1	0	
			Gneral		0	1	
			Overview		0	1	
			Poor	Harbour	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.05	0.95
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.5	0.5
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
Overview	0	1					
Coast	Harbour	0		1			
	Approches	0.05		0.95			
	Coastal	1	0				
	Gneral	0	1				
	Overview	0	1				

表 4.5.3.18 ノード Kind of Navigation area の CPT の根拠 (その 1)

(1) Route 1: 横浜～マシ海峡～ラスタヌラ(サウジアラビア)

WP	距離(マイル)	海域	航法エリア(単独)の出現割合		対応距離		CWの対応距離	
			入港時	アブローチ	沿岸	沿岸	入港時	アブローチ	沿岸
横浜	-							
第2海保	7	NW	1	0	0	7	0	0
浦賀NO.1	7	NW	1	0	0	7	0	0
観音崎	7	NW	1	0	0	7	0	0
神子元島	65	CW	0	0.2	0.8	0	13	52
奄美大島	586	OP						
沖縄東	188	OP						
台湾	441	OP						
南シナ海10N	960	OP						
南シナ海03N	491	OP						
シンガポール海峡入口	123	CW	0	0.1	0.9	0	12.3	110.7
OFB	243	NW	1	0	0	243	0	0
ロンド島	396	CW	0	0.04	0.96	0	15.84	380.16
ドンドラヘッド	911	OP						
コモリン岬	289	OP						
オマーン沖	1,260	OP						
リトルコイ	302	OP						
イラン沖	188	CW	0	0.1	0.9	0	18.8	169.2
アブローチチャンネル	175	CW	0	0.1	0.9	0	17.5	157.5
ラスタヌラ	20	NW	1	0	0	20	0	0
	6,659					284	77.44	869.56

CW合計距離 947
NW合計距離 0
OP合計距離 5,428

CWの対応距離	
入港時	アブローチ
0	77.44
CWへの出現割合	
入港時	アブローチ
0	0.081774
0	0.918226

NWの対応距離	
入港時	アブローチ
284	0
NWへの出現割合	
入港時	アブローチ
1	0
0	0

(2) Route 2: 大分～アローストレート～ポートヘッドランド(豪州西岸)

WP	距離(マイル)	海域	航法エリア(単独)の出現割合		対応距離		CWの対応距離	
			入港時	アブローチ	沿岸	沿岸	入港時	アブローチ	沿岸
大分	-							
豊後水道	40	NW	1	0	0	40	0	0
奄美大島	294	CW	0	0.05	0.95	0	14.7	279.3
ミンダナオ島東	1,356	OP						
ハルマハラ島	266	OP						
アロース海峡	800	CW	0	0.05	0.95	0	40	760
ポートヘッドランド	597	OP						
ポートヘッドランド入口	12	NW	1	0	0	12	0	0
	3,365					52	54.7	1039.3

CW合計距離 1,094
NW合計距離 0
OP合計距離 2,219

CWの対応距離	
入港時	アブローチ
0	54.7
CWへの出現割合	
入港時	アブローチ
0.00000	0.05000
0.95000	0.95000

NWの対応距離	
入港時	アブローチ
52	0
NWへの出現割合	
入港時	アブローチ
1	0
0	0

表 4.5.3.18 ノード Kind of Navigation area の CPT の根拠 (その 2)

(3) Route 3: 神戸～マニラ海峡～スエズ運河～ロケットダム

WP	距離(マイル)		海域	航法エリア(単独)の出現割合		対応距離	
	入港時	アブローチ		沿岸	沿岸	アブローチ	沿岸
神戸	-	-					
紀伊水道	54	NW		1	0	54	0
室戸岬	53	CW		0	1	0	53
奄美大島	359	OP					
沖縄	188	OP					
台湾	441	OP					
南シナ海10N	960	OP					
南シナ海03N	491	OP					
シンガポール海峡入口	123	CW		0	0.1	0	12.3
OEB	243	NW		1	0	243	0
インド島	396	CW		0	0.04	0	15.84
インドラヘッド	911	OP					
モルジブ諸島	449	OP					
ラサアシル	1,302	OP					
アデン	474	OP					
スエズ運河入口	1,043	CW		0	0.02	0	20.86
ポートセイド	266	NW		1	0	266	0
クレタ島	480	OP					
シシリー島	641	OP					
シアラタル海峡	829	OP					
フェニステロ岬	544	OP					
プレスト	373	OP					
ブリクスタム	135	CW		0	0.1	0	13.5
ロケットダム	348	CW		0.05	0.1	17.4	34.8
						580.4	150.3
							1930.3
							11,103

CW合計距離	2,098
NW合計距離	563
OP合計距離	8,442
CWへの出現割合	0.008294
NWへの出現割合	0.07164
OPへの出現割合	0.920067

NWの対応距離		
入港時	アブローチ	沿岸
	563	0
NWへの出現割合		
入港時	アブローチ	沿岸
	1	0

(4) Route 4: 名古屋～パナマ運河～ニューヨーク

WP	距離(マイル)		海域	航法エリア(単独)の出現割合		対応距離	
	入港時	アブローチ		沿岸	沿岸	アブローチ	沿岸
名古屋	-	-					
伊良湖岬	33	NW		0.5	0.5	16.5	16.5
御前崎	62	OP		0			
野島崎	99	OP					
マンザニーロ沖	5,766	OP					
ハルボア	1,882	OP		1	0	45	0
クリスタバル	45	NW					
キューバ沖	767	OP					
ハママ	210	OP					
ロングアイランド	932	OP					
ニューヨーク	20	NW		1	0	20	0
						81.5	16.5
							0
							9,866

CW合計距離	0
NW合計距離	98
OP合計距離	9,768
CWへの出現割合	0
NWへの出現割合	0
OPへの出現割合	0

NWの対応距離		
入港時	アブローチ	沿岸
	81.5	16.5
NWへの出現割合		
入港時	アブローチ	沿岸
	0.831633	0.168367

表 4.5.3.20 ENC の coverage を考慮した貨物船航路における乗揚リスク

	Grounding Probability (per critical course)	Fatality rate per person (per critical course)	Number of critical courses (1 round trip)	Individual Risk (1/year)	PLL (Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (Persons/Ship) (A)	PLL (ECDIS and Track control are not used) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (ECDIS and Track control are not used) (Persons/Ship)(B)	Improvement of number of Saved persons (per lifetime) (A-B)	Gross CAF (\$)
Route 1 CW	1.46×10^{-5}	9.23×10^{-9}	72.2	0.467×10^{-5}	1.17×10^{-4}	3.52×10^{-3}				
NW	1.47×10^{-5}	9.32×10^{-9}	100	0.653×10^{-5}	1.64×10^{-4}	4.93×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.12×10^{-5}	2.46×10^{-4}	7.39×10^{-3}	1.86×10^{-3}	5.58×10^{-2}	-4.84×10^{-2}	1.24×10^6
Route 2 CW	1.56×10^{-5}	9.32×10^{-9}	83.5	0.856×10^{-5}	1.88×10^{-4}	5.65×10^{-3}				
NW	1.39×10^{-5}	8.70×10^{-9}	18.3	0.176×10^{-5}	0.227×10^{-4}	1.16×10^{-3}				
Total	---	-----	---	1.03×10^{-5}	2.48×10^{-4}	6.81×10^{-3}	1.73×10^{-3}	5.18×10^{-2}	-4.50×10^{-2}	1.33×10^6
Route 3 CW	1.60×10^{-5}	10.5×10^{-9}	160	0.839×10^{-5}	1.85×10^{-4}	5.54×10^{-3}				
NW	1.52×10^{-5}	9.77×10^{-9}	199	0.970×10^{-5}	2.13×10^{-4}	6.40×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.81×10^{-5}	3.98×10^{-4}	11.9×10^{-3}	2.76×10^{-3}	8.29×10^{-2}	-7.10×10^{-2}	0.845×10^6
Route 4 CW	---	---	---	---	---	---				
NW	1.47×10^{-5}	9.33×10^{-9}	34.6	0.162×10^{-5}	0.355×10^{-4}	1.06×10^{-3}	0.266×10^{-3}	0.799×10^{-2}	-0.693×10^{-2}	8.66×10^6

4.6 事例解析結果

安全評価事例として取り上げた「電子海図表示システム (ECDIS)」の FSA 手法による評価実施に先立ち、ENC に関連する IHO の規則、ENC の開発・整備・普及の経緯、ENC の価格、ECDIS、TCS との関連等、現状の実態を調査・分析し、FSA 手法による評価実施のための種々の情報を取得した。さらに、大型旅客船について費用対効果の高い RCO を提案しているノルウェーの FSA 報告 (NAV 51/10) を検討し種々の問題点を摘出した。

これらの情報をもとに、ノルウェーの評価 (NAV 51/10 及び DNV レポート) を参照して「電子海図表示システム (ECDIS)」の有効性評価を実施した。

ノルウェーの評価結果 (NAV51/10 等) を同一手法 (ベイジアン・ネットワーク) により再現してみた結果、同一の解析結果を得た。このことはノルウェーにより報告された数値は正しいこと及び本短期プロジェクトでの解析が手法的に正しく実施されていることが相補的に確認されたと言える。ただし、ノルウェーの解析では、ECDIS and/or TCS の使用による「余裕時間の獲得の条件付き確率表」に明らかな誤りが見られたため、本解析ではこの誤りを修正した解析も実施し、そちらの結果を評価結果の判断に用いた。

また、ノルウェーの評価では ECDIS と TCS が従属関係にある、つまり ECDIS が存在しない時は TCS は有効に使用できないとの仮定で評価が行われている。TCS 単独でも安全確保上の機能が期待できるため、本解析では ECDIS と TCS とが独立であるとした解析も実施した。その結果、リスク減少効果は、ECDIS のみ、あるいは TCS のみを設置した場合、いずれもほぼ同等であるが、どちらか一方を設置した場合に、更にもう一方を設置してもリスク減少効果はほとんどない結果となった。ECDIS と TCS とが独立の場合は、そのどちらかがあれば、客船の個人リスクは許容限界内 (ALARP : As Low As Reasonably Practicable) であった。

実績データとモデルによる解析結果の比較も実施した。LRF 船舶の乗揚頻度との比較の結果、旅客船の乗揚頻度は、ECDIS と TCS が共に使用された場合で、統計データ (10000GT 以上の旅客船) の 2 倍～4 倍、両方とも無しの場合は、20 倍～40 倍という結果とになった。モデルによる結果は実績値よりかなり大きい。解析のモデルではすべての乗揚が算入されているが LRFP の海難データには重大な事故のみ報告されているのが理由と思われる。本モデルでは、89%が No/minor、10%は Major、1%が Catastrophic となる。

不確実さ解析の実施により、評価結果の判断にとり重要な情報が得られる。本解析では、「避難に失敗して死亡する確率」および「即死の確率」の 2 要素に不確実さ幅を与えて不確実さ解析を実施した。その結果、死亡確率の確率分布において標準偏差が平均値に比較して大きな値となった。今後の解析においては不確実さ解析を実施することが評価結果の判断に必要不可欠と言える。

ENC の整備状況は、現状では全ての海域をカバーしているわけではない。しかし、ノルウェーの評価ではこのことを無視している。そこで、本解析では、貨物船の航路として下記の 4 航路を取り上げ、ECDIS 搭載効果の評価を実施した。

- ① Tanker (横浜 - マ・シ海峡 - ラスターヌラ)
- ② Ore Carrier (大分 - アローストレート - ポートヘッドランド)
- ③ Container (神戸 - マ・シ海峡 - スエズ運河 - ロッテルダム)
- ④ Car Carrier (名古屋 - パナマ運河 - ニューヨーク)

その結果、

- ・ 航路によって ENC のカバレッジの影響は異なり、カバレッジの影響は海図認知の成功率に大きな影響を及ぼす。
- ・ 個人リスクはどの航路とも ALARP 領域内である。
- ・ Gross CAF (Gross Cost to Avert a Fatality) ①から③までは 3MS 未満で Cost effective といえるが④航路は

3M\$を大きく上回るので Cost effective といえない。
といった事が判明した。

RCO の採用にあたっては、RCO のコストの絶対値でなくリスク評価基準に照らしてその必要性を考慮すべきである。つまり、既に十分に安全（ALARP 領域の下の Negligible 領域）であれば追加の機器は必要ないので、RCO を採用する必要はない。逆に、ALARP 領域にあれば cost effective である限りいかに RCO のコストが高くても追加の安全対策を取るべきであることになる。

5. むすび

本年度の調査研究では安全評価手法の構築を目的とする調査研究と具体的な評価事例としての電子海図表示システム（ECDIS）の有効性評価を取上げた解析を実施した。後者の解析は、IMO NAV51 においてノルウェーが大型旅客船の航海安全の FSA 研究を提示（NAV51/10 等）し ECDIS の有効性を強調したことに対応して実施し、解析結果は MSC81 への提案文書としてまとめた。

17年度のほぼ後半のみという短期プロジェクトであったが、主目的として、具体的事例評価実施とその結果に基づいた IMO への提案文書作成を設定して検討を効率的に進め、当初予定していた成果を得ることができた。また、FSA における基礎的な要素技術の検討も精力的に実施し有用な知見が得られた。本短期プロジェクト委員の皆様のご尽力に感謝する。

5.1 安全評価法の調査研究

安全評価法の調査研究においては、ベイジアン・ネットワークおよび解析コード HUGIN、ベイジアン・ネットワークとイベント・ツリーによる解析の比較、経済効果を考慮したリスク評価基準の設定、海上輸送リスクと海洋環境価値評価基準の策定について検討した。

(1) ベイジアン・ネットワークおよび解析コード HUGIN

ノルウェーの解析をはじめ事故シーケンス評価に使用され始めているベイジアン・ネットワークについて、その原理を簡単な事例を用いて解説するとともに、SPF 委員会においての使用方法を確立した。

(2) ベイジアン・ネットワークとイベント・ツリーによる解析の比較

今回のノルウェーの解析においてはベイジアン・ネットワーク（BN）が使用されている。昨年 SP8 まではもっぱらイベント・ツリー（ET）手法を用いて解析を実施してきた。そこで、BN と ET による解析の比較により優劣を検討し、今後の使用の方向性を出すことを試みた。

ノルウェーが解析に用いている座礁事故の BM モデルを ET に表現することを試みたが、ET のヘディング数が多くなり BN モデルの全てを ET に表現することは不可能であった。BN の一部分のみを ET に表現し定量的評価を行った結果、両方法での結果が一致して両方法とも正しい解析が行われていることが推察された。

評価対象にもよるが、ET はわずかなヘディング数の増加によって、分岐数（シーケンス数）が簡単に増大してしまい、場合によっては現実的に処理できない量になってしまう。これに対して BN では頭わに全てのシーケンスを記述する必要がなく、計算プログラム内部で処理しているため大規模なモデルも容易に取り扱い可能である。また、BN では、ベイズの定理により、どの位置のノードの各状態の確率が新規知見により変化しても上流、下流にその影響が伝播し、事後確率が容易に求めることが可能である。しかし、BN を扱う既存のソフトでは不確実な解析に種々の制約が見られた。

(3) 経済効果を考慮したリスク評価基準の設定

ノルウェーの解析においては、リスク許容基準は考慮対象の経済活動における重要性と関連しているべきであり、単位経済的生産量あたりの平均死者数に対して調整されるべきとの考えが述べられている。これは、社会リスクは考慮対象の経済活動の重要性に応じて受け入れられる大きさが変化するという考え方である。

この考え方にに基づき、日本の労働災害のリスクを評価すると $q=0.635$ (人/10 億 $\text{\$}$) となった。これは米国およびノルウェーのデータより求めた値の約半分となっており日本の経済活動は安全に実施されていると言える。ところが、漁船の生産高あたりの死者数は $q=10.88$ (人/10 億 $\text{\$}$) となり、かなり効率の悪い経済活動であることがわかり、労働災害の平均リスクより一桁以上大きく許容できない値になっていると言える。この辺の事情を FN 曲線を用いて論じた結果、漁船のリスクは ALARP 領域には収まりきらず、改善の必要があるという結論が得られた。

(4) 海上輸送リスクと海洋環境価値評価基準の策定の検討

輸送船の座礁・放置による海洋環境汚染およびその除去に多大な労力、経済的損失を被った経験を持っている山口県西岸部、福岡県北部においてアンケート調査を実施し、海上輸送リスクの受容性、および仮想的評価法による海洋環境価値の算定を実施した。

海上輸送リスクの受容性の調査においては環境回復のための基金を作った場合、その基金への支払い可能金額の調査も実施した。事故リスク受容度についてはコンジョイント分析を実施し海上輸送リスクについてのこの地域住民の意識を浮き彫りにした。

仮想的評価法を用いた環境価値の算出では、エクソンバルデス号の座礁による漏油事故での補償額の算定の際に使われた環境を貨幣価値で換算するための方法を、この地域の住民へのアンケート調査へ適用した。山口県西岸部と福岡県北部では環境価値についての住民の意識にかなりの差があるという興味ある結果が得られている。

事故時のリスクを算出する FSA の枠組みにおいて、費用対効果判断における被害額の判定にとり環境への影響を考慮する必要が大きくなっていくと予想される。その観点からも、アンケート調査を実施したことにより得られた貴重なデータは、今後の FSA 評価においては十分活用できるものと期待される。

5.2 安全評価事例

安全評価事例として「電子海図表示システム(ECDIS)」を取り上げその有効性評価を FSA 手法により実施した。FSA 実施においては、いかに評価対象となるシステムや取り巻く状況、起こり得る事象・事故を深く理解するかが、評価結果の質に大きく影響する。

本プロジェクトにおいては、まず電子海図(ENC)に関する国際水路機関(IHO)の関連規則を調べた。この規則は電子海図の開発に必要な世界共通仕様を規定し、効率的な開発に寄与している。また、IHOは国際海事機関(IMO)とも連絡を密にし相互調整を行っている。

ENCの来歴の節では、ENCがいかなる経緯で開発・整備・普及されてきているかが明瞭に示されており貴重な資料となっている。また、一口にENCと言っても、公式/非公式、ラスター(RASTER)データ/ベクトル(VECTOR)データ、表示システムとの関連で性能面においても種々の違いがあることがわかる。

ENCの整備状況を調べたところ、2006年2月現在、世界32カ国、全体で5,510セルの電子海図が刊行されているが、ノルウェー、英国、カナダ、日本、スウェーデン、米国の6カ国で全体の68パーセントが刊行されている。特定地域の刊行率が高く、カバレッジが偏向している現状であることがわかった。

ENCの価格は各国毎に違いがある。例えば日本は525円/1セル・年間であり、米国ではホームページ上から無料でダウンロードが可能となっている。ENCそのものの費用はそれほど負担にはならないと言える。

ノルウェーがFSAを実施し、大型旅客船について費用対効果の高いRCOを提案しているが、その報告NAV 51/10 "Passenger Ship Safety: Effective Voyage Planning for Passenger Ships FSA – Large Passenger Ships – Navigational Safety"の内容を検討した。提案されたRCOの中にECDISが含まれており、ECDISの関与する

座礁事故について検討した結果、シナリオ進展を定量化する条件付確率が専門家判断による主観的評価値に頼らざるを得ないこと、不確実さ解析が実施されておらず評価結果の信頼度幅が不明確であり判断にどのように使用できるかに疑問が残ること、実績データによる検証がなされていないこと、ECDIS 導入の効果を比較する対象に疑問があること、ENC が未整備の海域の存在を無視していること、などの問題点があることが判明した。

最後に、収集した情報をもとに FSA 手法により「電子海図表示システム(ECDIS)」有効性の評価を実施し、4.6 節に示した解析結果を得た。この成果は IMO/MSC81(2006 年)への提案文書 (IMO/MSC81/ /) として報告した。その中での要望事項としては、1. FSA においては適切な解析ツール、例えばベイジアン・ネットワークを使用すること、2. FSA ガイドラインの用語の修正、を挙げた。この提案文書を考慮して、MSC81 では、ECDIS の評価方法が完全に合意され得るには、更なる論議が必要であり、NAV52 にて検討することを提案することとする。

6. 用語解説

ALARP (As Low As Reasonably Practicable) ;

リスクは高いがリスク削減戦略を注意深く実行すれば許容されるという意味。"Practicable"という言葉の意味は何らかの形で費用対効果分析が必要であることを示す。リスクがこの範囲に入っていて、費用対効果が合理的である安全対策 (RCO: Risk Control Option) が1つもなければ何もする必要はないが、あればそれを実施してリスクを下げる努力をすべき領域である。

CHRIS (Committee on Hydrographic Requirements for Information System) ;

電子情報システムに関する水路学的要求委員会) 国際水路機関に組織された委員会で、電子水路情報の取り扱いについて検討し、仕様書等の作成管理を行っている。

CPT (Conditional Probability Table) ;

ベイジアン・ネットワークの各ノードに定義される、条件付確率表で、そのノードに影響を与える幾つかの親ノードからの影響の様子(確率の伝播)を示す。

CVM (Contingent valuation method ; 仮想的評価法) ;

人間が対象に対して考える価値を価格に換算する手法の一つであり、仮想的に設定された対象に対して、人々のもつ支払い意志額(WPT, Willingness to pay)を統計的に推定する方法。

DAG (directed acyclic graph) ;

有向線分を辿っていくことによりできる閉路が1つも存在しないグラフ(グラフとは点の集合とそれらを結ぶ線分で構成される)。

ECDIS (Electronic Chart Display and Information System ; 電子海図表示システム) ;

航海用センサーより得られる船位情報と航海用電子海図情報を表示し、航海計画と航行監視などの航海関係情報により航海者を支援するシステム。SOLAS 条約の海図搭載要件を満たす。

ENC (Electronic Navigational Chart ; 航海用電子海図) ;

各国水路機関の認可のもとに、IHO の転送基準に従って編集し、ECDIS とともに用いられるものとして発行されたベクトル形式の海図情報データベース。

FN 線図 ;

Number of Fatalities (死者数) を横軸に、横軸の値以上の死者数を出す事故の発生頻度を縦軸に取ったグラフのことを言う。

Gross CAF (Gross Cost of Averting Fatality) ;

GCAF とも略記され、下記の定義により得られる数値で、費用対効果の程度を示す指標の1つであり、リスク1単位を削減するために支出されるコストという意味がある。したがって、Gross CAF が小さければ小さいほどそのRCOは費用対効果が高いことになる。また、Gross CAF でリスク許容基準を論議することがあり、IMO では、Gross CAF < \$ 3M/Fatality がこれまで暗黙の基準として考慮されている。

$$Gross\ CAF = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

ΔC : RCO を導入する際のコスト

ΔR : RCO を導入することによるリスク低減値

IHO (International Hydrographic Organization ; 国際水路機関) ;

海図は国際性を持っているため、これらの国々のお互いの連絡を緊密に取り、海図その他の水路図誌等の刊行物の統一を図る政府間組織。

Net CAF (Net Cost of Averting Fatality) ;

NCAF とも略記され、下記の定義により得られる数値で、費用対効果の程度を示す指標の 1 つである。FSA の費用対効果解析では、まず GCAF が使用されるべきであるが、Gross CAF が同等である場合は Net CAF が使用されることがある。経済的利益がコストを上回れば Net CAF は負となり、その場合はその RCO はリスク低減効果と同時に経済的にも有効であるため望ましい RCO ということになるが、経済的利益の推定にはかなりの不確実さがあり恣意的になされる可能性もあるので、Net CAF を使用する場合には注意が必要である。

$$\text{Net CAF} = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

ΔB : RCO を導入することによって得られる経済的利益

PLL (Potential Loss of Lives) ;

社会リスクを示す指標で、1 年に 1 隻の船舶当たり何人死ぬかを表す。

RCDS (Raster Chart Display System ; ラスター海図表示システム) ;

航海用センサーより得られる船位情報とラスター海図情報を表示し、航海計画と航行監視などの航海関係情報により航海者を支援するシステム。単独使用では、SOLAS 条約の海図搭載要件を満たさない。

RCO (Risk Control Option) ;

ECDIS 等の、安全向上のため、すわわちリスクを低減するために導入する機器、訓練等の安全対策の総称で、FSA ガイドライン(MSC circ.1023 – MEPC circ.392)に説明されている。

RENC (Regional Electronic Navigational Chart Coordinating Centre ; 地域電子海図調整センター) ;

各国で作成された ENC をどの地域からも入手出来るように、各国の電子海図の品質を管理し販売する地域センター。現存する組織として Primar Stavanger (ノルウェー) と IC-ENC (イギリス) がある。

RNC (Raster Navigational Chart ; ラスター海図) ;

各国の水路機関が発行している最新の紙海図を電子的に複製したそのままの走査イメージ (ラスターイメージ) を、IHO の転送基準に従って編集した海図情報。

イベント・ツリー (Event Tree) 手法 ;

ある起因事象から出発し、種々の対応の成否により分岐させていき論理的に起こり得る全ての可能な状態 (シーケンス) をツリー構造で表現する手法。各対応の成功/失敗確率を与えるることにより、各シーケンスの出現頻度を定量的に評価できる。

確率推論 ;

ベイズの定理を応用し、幾つかのノードの状態の確率値が新規知見により正確に判明した場合に、他のノードの状態の確率値を再計算し、それらのより確からしい状態を推定すること。

コンジョイント分析 (Conjoint Analysis) ;

多属性の部分価値効用評価法と言われ各種の方法が提唱されている。その中で、全体効用は部分効用が線型和として結合 (conjoint) されているものとしたときに、選択の好みは序列化されることから、部分効用を例えば統計的に算出する分析方法全体を指す。部分効用の算出から、どこに効用の重みがあるか等の価値構造を把握できる。

重要度評価 ;

事故に至るシーケンスの中でどの項目 (イベント・ツリー中での分岐) が大きな影響を持っているかを評価する指標。特定の機器の故障や人的過誤の発生確率を低減することにより、どれほどの安全性の向上が望めるかを示す Fussel-Vesely 指標等、目的に応じて幾つかの種類がある。

セル；

ENC 上で地理的区域を分割するため、2つの経線と緯線により囲まれる最小単位をいう。この編集内容は各作成国で異なるが、1つのセル幅があまり大きくなったり、小さくなったりしないように設定することが要求されている。また、容量は5MBを超えてはならないとしている。

フォールト・ツリー (Fault Tree) 手法；

システム信頼性解析の一つの方法で広く使われている。システムの機能にとり不都合な状況を「頂上事象」として定義し、順次より具体的な事象に分解して表現する。形が樹木の形となるので故障木（フォールト・ツリー）と呼ばれている。上位事象は下位事象の積（AND）あるいは和（OR）で発生するという論理的なつながりとなっている。これ以上分解できない事象を基事象と呼び、基事象に発生確率値を与えることにより定量的な評価ができる。

不確実さ解析；

要素データの不確実さにより最終結果（シーケンス発生頻度あるいは頂上事象発生確率）がどれだけの不確実さを持つかを求めること。各要素事象（分岐あるいは基事象）の発生確率値に分布を与え、乱数を用いて各要素の値の組み合わせを作り全体の値を計算することを多数回繰り返すモンテカルロ法を用いて最終結果の確率分布を求める。

ベイズ(Bayes)の定理；

$P(A)$ を事前確率、 $P(A|B)$ を事後確率としたとき、不十分な知識の基での事象 A の主観確率が実験、観察等により得られる新たな知識(B)により改善される関係を次式で表現し、整合性を持って取り扱う定理。

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

7. 添付資料

- 資料 1 IMO 提案文書

- 資料 2 IMO 提案文書 (和訳)

- 資料 3 NAV51/10 (ノルウェーによる ECDIS 評価)

- 資料 4-1 FORMAL SAFETY ASSESSMENT
 – LARGE PASSENGER SHIPS (DNV Report)

- 資料 4-2 ANNEX I : SCREENING OF RISK LEVEL FOR CRUISE NAVIGATION

- 資料 4-3 ANNEX II : RISK ASSESSMENT
 – LARGE PASSENGER SHIPS -NAVIGATION



MARITIME SAFETY COMMITTEE
81 st session
Agenda item 18

MSC 81/XX/XX
Date
Original: ENGLISH

FORMAL SAFETY ASSESSMENT

Consideration on utilization of Bayesian network at step 3 of FSA

Evaluation of the effect of ECDIS, ENC and Track control by using Bayesian network

Submitted by Japan

SUMMARY

Executive summary: This document investigates the effectiveness of Bayesian network when being used as RCT(Risk Contribution Tree), the term is used in the guidelines for FSA(MSC/circ.829-MEPC/circ.335), by examining effects of ECDIS, Track control and ENC coverage using Bayesian network. Basic reports are NAV51/10 and related document by DNV. In this document uncertainty analysis by using Bayesian network is introduced and the importance of uncertainty analysis to risk analysis is pointed out.

Action to be taken: Paragraph 16

Related documents: MSC/Circ.928-MEPC/Circ.335, MSC76/5/12, MSC72/16, NAV51/10, DE47/24/1, DE47/INF.3, DE48/14/1

Introduction

1 After FSA was used for the discussion of the bulk carrier safety, FSA became being used for the proposal of various RCOs(Risk Control Options). (ex. DE47/24/1, DE47/INF.3, DE48/14/1, NAV51/10, etc.) However, when it is difficult to use available data, expert judgments cannot be avoidable. Therefore arbitrariness would be entered to the results, and uncertainty would be larger in the process of risk assessment when proposing new RCOs by FSA. Moreover, it is also regarded as the problem to estimate the risk reduction by combinations of multiple RCOs when the risk reduction effect by each RCO is estimated. (MSC76/5/12)

2 On the other hand, at NAV51 meeting major part of delegations agreed that the risk assessment of several RCOs applied to large passenger ships by using Bayesian network was reliable and the FSA study aimed at expanding mandatory installation of ECDIS that was regard as highly cost effective in NAV51/10 to various types of ships should be carried out. After NAV51 meeting, Japan reproduced the Bayesian network of grounding which was reported in DNV document, titled "FORMAL SAFETY ASSESSMENT - LARGE PASSENGER SHIPS", on which NAV51/10 was based and reconfirmed the result by the software HUGIN.

3 In this process, Japan recognized that Bayesian network and HUGIN are effective for estimation of occurrence probability and fatality rate per person and so on when grounding or collision are occurred. Furthermore the Bayesian network is regard as an effective tool for construction of RCT(Risk Contribution Tree) of grounding and collision.

Moreover, these models suggest that Bayesian network would be a useful tool when developing RCTs of other types of casualties and estimating risk reductions by combinations of multiple RCOs.

4 This report treats the following matters.

1) The estimation of the risk reduction effects by use of ECDIS and/or track control was carried out using Bayesian network, and the effect of improving success probability of chart recognition, which is regard as main effect of ECDIS, was estimated quantitatively.

2) Uncertainty analysis was carried out using the node status of HUGIN.

3) The influence of the coverage of ENC to grounding and fatality rate was estimated using Bayesian network of grounding. In this case 4 cargo ships' routes that originate from 4 international harbors in Japan are assumed, and the Bayesian network model of the large passenger ships in the DNV report was used.

Examination of ECDIS and track control

5 Whether track control is used or not depends on whether ECDIS is used or not in the grounding model in the DNV report. Route setting of track control becomes easier by using ECDIS because planned route can be easily set on the CRT of ECDIS and water depth along the route is checked automatically. Therefore use of track control comes to depend on use of ECDIS, however track control and ECDIS have so different functions that their effects should be assessed ~~as~~ independently.

6 When considering the effectiveness of ECDIS and track control independently compared with the base case that none of them are used, the risk reduction effect of the case that only track control is used is about 25% higher than that of the case that only ECDIS is used. The improvement of risk reduction effect between the case that only track control used and the case that track control and ECDIS are used, is 0.1 persons saved in 30 years lifetime, the effect is negligible comparing the absolute value of the risk reduction in the case that only track control is used. On the other hand the improvement of risk reduction effect between the case that only ECDIS control used and the case that track control and ECDIS are used is 5.6 persons saved in 30 years. However as stated in paragraph 5 easiness of setting planned route with ECDIS cannot be ignored, therefore when examining risk reduction effect by use of track control the node that expresses functional degradation of track control in case of no ECDIS should be introduced in the model. The estimated risk reduction effect of the case that only track control is used would indicate that if ECDIS is not used a method that enables easy route setting of track control is effective for risk reduction.

7 Improvement of chart recognition success rate seems to be one of the main effects of ECDIS. However, when deleting only this effect of ECDIS from the model, the risk reduction effect seems not to be largely declined compared with the case to have the effect on chart recognition success. This seems to indicate that the influence over the success rate improvement of the chart recognition through the node 6_1"Action" by way of track control and through the node 24 "Radar detection" means fairly big.

8 It is possible to say that ECDIS or track control would be cost-effective when even few risk reduction effects is caused by the use of them as the cost is not so high. However, the necessity of ECDIS and track control should be considered, by comparing with the risk acceptance criteria. After investigating this, when ECDIS and Track control are independent, the individual risk of a passenger is inside the ALARP(As Low As Reasonably Practicable) area with the use of one of them. However, the individual risk is not inside the ALARP area if ECDIS is not used when the use of track control is dependent on the use of ECDIS. However, it becomes more safety measures should be applied if they are cost effective, even if ECDIS and Track control are used because the individual risk is in ALARP area.

9 By the comparison with the grounding frequency of the LRFP(Lloyd's Register/Fairplay) passenger ships, the grounding frequency by the grounding model of the passenger ship in NAV51/10 becomes from twice to fourth higher than that of the statistical data of passenger ships above 10,000GT even if ECDIS and Track control is used. When both of them are not used, the grounding frequency of the model becomes from 20 times to 40 times higher than that of the statistical data. As for this meaning, in NAV51/10, it was given as the reason that only severe accidents are reported in the LRFP casualty data, according to this model, 89% becomes No/minor, 10% becomes Major and 1% becomes Catastrophic.

Uncertainty analysis

10 Uncertainty analysis of fatality rate per person was carried out. By the analysis the standard deviation of the fatality rate per person is higher by 4 digits than the mean value of the fatality rate per person. Therefore the uncertainty of the grounding model in the DNV report is proved to be very large.

Evaluation of ENC coverage to risk reduction effect by use of ECDIS in case of cargo ships

11 Influence of ENC coverage to grounding and fatality rate per person differs by the routes. In the worst case of the examined cases grounding and fatality rate per person becomes near to that of the case that the ECDIS effect to chart recognition success rate is deleted.

Conclusion

12 It was proved that Bayesian network was an excellent tool to examine the influence of a complicatedly related various kinds of elements in detail when estimating grounding probability and fatality rate per person.

13 One of the advantages of using Bayesian network is to estimate the effect of multiple RCOs.

14 It cannot be avoidable that uncertainty of the estimation by using Bayesian network becomes large because in many case statistical data cannot be available when deciding the conditional probabilities of various elements so that the use of experts' judgments are inevitable. However the situation is common to event tree or fault tree analysis. Therefore uncertainty analysis should be carried out and the investigation should be done fully considering width of uncertainty at risk analysis by using experts' judgments.

15 The effect of ENC was examined by applying the model of grounding of the passenger ship in the DNV report to the 4 cargo ships' routes the places of departure of which are 4 international harbors in Japan and adding the nodes which modelled the coverage and the scale of ENC to the Bayesian network model. As a result, for the improvement of the chart recognition

success rate by ECDIS, ENC was important and it became clear that the coverage of ENC should be considered when examining the effect of ECDIS.

Action requested of the committee

16 The Committee is requested as follows.

- 1) To take note of the consideration in the document and to consider proper treatment of a risk analysis tool such as Bayesian network in a FSA study.
- 2) To modify the guidelines for FSA(MSC/Circ. 829-MEPC/Circ.335) as follows.

“RCT” in the guidelines for FSA should be substituted for to “RCD(Risk Contribution Diagram)” which is considered as more holistic expression.

Also the word “RCT” and the explanation in “2.BASIC TERMINOLOGY” of the guidelines should be substituted for to the explanation such as "Risk contribution diagrams : Diagrams being used for developing risk model, by using Bayesian networks, event trees, fault trees and combination of them."

(Reason)

It seems not to be suitable that the diagram used as a RCT, constructed by using Bayesian network is called as “RCT” because Bayesian network is a not tree but a network.

* * *

ANNEX I*

Examination of ECDIS and track control

1 The assumption used in the examination is as follows, which is the same assumption as used in the assessment of RCOs in NAV51 and the DNV report.

- The total number of persons on board: 5,000
- The average lifetime of the cruise vessel: 30 years
- Number of trades in a year: 50
- Number of critical courses caused in a trade: 53.7(Figure D-2 in the APPENDIX of ANNEX II of the DNV report)

2 The node C23(Navigational aids in use) in the grounding model in the DNV report is intended to model the effect that ECDIS and track control liberate more time to Visual and Radar detection(node C19 and C24). The CPT(Conditional Probability Table) of the node is like table 2 in the report. (ANNEXII - APPENDIX A) However for the intention of node C23 the CPT should be like Table 1. In this analysis the CPT of the Table 1 is used mainly especially in the case that the use of ECDIS and the use of track control are mutually independent. In the case that the use of track control is dependent on the use of ECDIS the result by using table 2 is the same as that by using Table 2, which is confirmed from Table 4 and Table 6.

Table 1 CPT of node C23(modified)

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	1.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	0.0	0.0	1.0

Table 2 CPT of node C23(in ANNEX 2 of the DNV report)

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	0.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	1.0	0.0	1.0

3 It is easily recognized that in the independent case when using track control the results, grounding probability, fatality rate per person, individual risk, PLL(Potential Loss of Lives) that shows a number of fatalities per ship*year, and a number of fatalities in lifetime, are almost same between the case that ECDIS is used and the case that ECDIS is not used from Table 3. However from Table 4 in case that the use of track control is dependent on the use of ECDIS, if ECDIS is not used the result without track control is same as that of the case with track control. In Table 3 and Table 4 the corresponding grounding probabilities and fatality rates in case that ECDIS and track control are used are different. The reason is that in the dependent case the conditional probability of track control being used is set to 0.85 in case that ECDIS is used.

* The annex was developed by the National Maritime Research Institute (NMRI), based on the discussion of Research panel SPF of the Japan Ship Technology Research Association. For detailed information, please contact to the following persons:
 F. Kaneko: kaneko@nmri.go.jp, T. Matsuoka: mats@nmri.go.jp

4 The use of ECDIS affects the easiness of route setting and the effectiveness of track control. However the ECDIS and track control are so different functionally that the use of ECDIS and the use of track control should be assessed independently. If so, in the case without ECDIS the risk reduction by the use of track control is 25.8 lives per ship*lifetime, that is almost the same as the risk reduction, 25.9 lives per ship*lifetime, of the case that ECDIS and track control are used. The improvement of the risk reduction is only 0.1 lives per ship*lifetime.

This means that if track control is used there is only small risk reduction by the use of ECDIS. On the contrary the improvement of the risk reduction of the case that additional use of track control after introduction of ECDIS is 5.6 per ship*lifetime.

5 From the above if the use of ECDIS and the use of track control can be assessed independently the use of track control should be recommended rather than the use of ECDIS. Table 19 of NAV51/10 shows that track control is cheaper than ECDIS. However the error probability when route setting by use of track control should be considered depending on the existence of ECDIS. So the node that reflects such error should be introduced into the grounding model by Bayesian network.

6 The main effect of the use of ECDIS in trade is considered to be improvement of chart recognition success rate. To verify the effect, the probability of chart recognition success in the CPT of the node C26(Chart detection) is modified not to reflect the effect by the use of ECDIS.

Table 7 and Table 8 indicate that when assuming independency between the use of ECDIS and the use of track control if track control is used the result of the case that only the effect to chart recognition success probability is deleted is the same as the result that ECDIS is not used. However when assuming dependency between the use of ECDIS and the use of track control, if track control is used, the grounding and fatality rate per person of the case that only the effect to chart recognition success probability is deleted is much smaller than that of the case that ECDIS is not used.(Table 9 and Table 10)

7 From Table 3 to Table 6 and Table 11 that shows risk acceptance criteria introduced in MSC72/16 , the excess in individual risk of passenger is perceived in the following cases.

1) ECDIS is not used and track control is not used(the use of ECDIS and the use of track control are independent)

2) ECDIS is not used and track control is not used(the use of ECDIS and the use of track control are dependent)

3) ECDIS is not used and track control is used(the use of ECDIS and the use of track control are dependent)

The other cases are inside ALARP area, which means that if cost effective, the efforts for risk reduction should be made as hard as possible.

8 By the comparison with the grounding frequency of LRFP ships in the Table 32, the grounding frequency of the large passenger ship model in NAV51/10 and the DNV report becomes from twice to fourth higher than that of the LRF passenger ships of 10,000GT and above in case that ECDIS and track control are used. In case that none of them are used, the excess ratio becomes form 20th to 40th higher than that of the ships. As to this matter, the explanation of the DNV report is “this is due to the fact that only serious accidents are reported to Lloyd’s/Fairplay’s accident database, while the risk model includes all grounding events. The risk model shows that 89% of the events have consequences ‘No/minor’, 10% is ‘Major’ and 1% is ‘Catastrophic’. Many of the ‘No/minor’ accidents are not severe enough to be reported to the database.”

Table 3 Use of ECDIS and use of track control are mutually independent(use modified node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.84×10^{-9}	1.57×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	0.994×10^{-5}	0.0267	6.00×10^{-9}	1.61×10^{-5}	0.0806	2.42	-25.8
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2(A0)	0

Table 4 Use of track control is dependent on use of ECDIS (use modified node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.30×10^{-5}	0.0349	7.92×10^{-9}	2.13×10^{-5}	0.106	3.19	-25.0
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

Table 5 Use of ECDIS and use of track control are mutually independent(use original node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.84×10^{-9}	1.57×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	1.04×10^{-5}	0.0278	6.27×10^{-9}	1.68×10^{-5}	0.0842	2.53	-25.7
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

Table 6 Use of track control is dependent on use of ECDIS (use original node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.30×10^{-5}	0.0349	7.92×10^{-9}	2.13×10^{-5}	0.106	3.19	-25.0
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

Table 7 Grounding probability per critical course (Use of ECDIS and use of track control are mutually independent, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	0.975×10^{-5}	3.126×10^{-5}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	0.994×10^{-5}	5.332×10^{-5}
ECDIS is not used	0.994×10^{-5}	10.19×10^{-5}

Table 8 Fatality rate per person per critical course (Use of ECDIS and use of track control are mutually independent, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	5.84×10^{-9}	19.7×10^{-9}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	6.00×10^{-9}	39.6×10^{-9}
ECDIS is not used	6.00×10^{-9}	7.01×10^{-9}

Table 9 Grounding probability per critical course (Use of track control is dependent on use of ECDIS, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	1.30×10^{-5}	3.13×10^{-5}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	1.65×10^{-5}	5.33×10^{-5}
ECDIS is not used	10.2×10^{-5}	10.2×10^{-5}

Table 10 Fatality rate per person per critical course (Use of track control is dependent on use of ECDIS, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	7.92×10^{-9}	19.7×10^{-9}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	10.8×10^{-9}	38.2×10^{-9}
ECDIS is not used	70.1×10^{-9}	70.1×10^{-9}

Table 11 Individual risk criteria (MSC72/16)

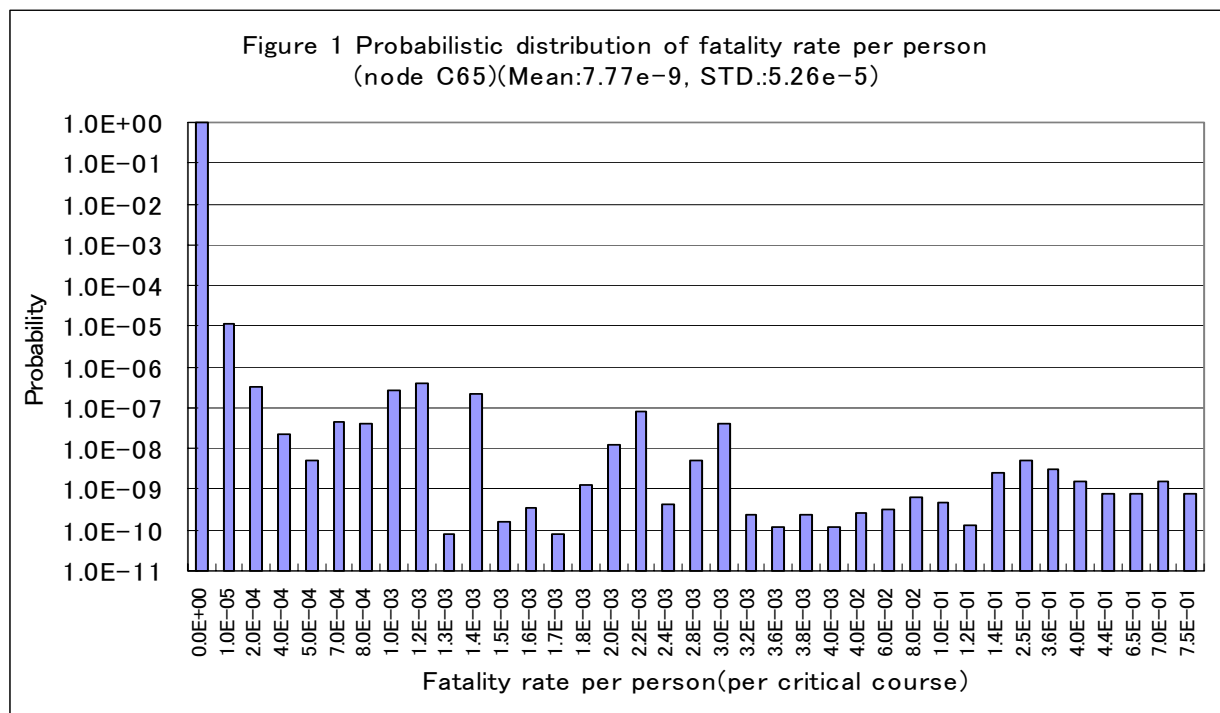
Maximum tolerable risk for crew members	10^{-3} annually
Maximum tolerable risk for passengers	10^{-4} annually
Maximum tolerable risk for public ashore	10^{-4} annually
Negligible risk	10^{-6} annually

Table 12-2 Probabilistic distribution of node C63(Evacuation fatality) part 2

C64:People location	In liferaft									Onboard								
	Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree			Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree		
C62:Water temperature	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.
0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0028	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.002	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0012	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.001	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0008	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 13 Probabilistic distribution of node C60(Immediate fatality)

C49: Vessel damage	No/minor	Major	Catastrophic	NA
0.0012	0	0	0.25	0
0.001	0	0	0.5	0
0.0008	0	0	0.25	0
0.0002	0	1	0	0
0.00001	1	0	0	0
0	0	0	0	1



ANNEX III

Examination of ENC coverage's effect by adapting the grounding model to cargo ships' routes

Modeling of ENC

- 1 Definition of types of ENC and navigation areas
 - Type of ENC: 1) Harbor, 2) Approach, 3) Coastal, 4) General, 5) Overview
 - Navigation mode and corresponding area(Figure 2):
 - 1) Harbor navigation mode(harbor navigation area)
 - 2) Approach navigation mode(approach navigation area)
 - 3) Coastal navigation mode(Coastal navigation area)

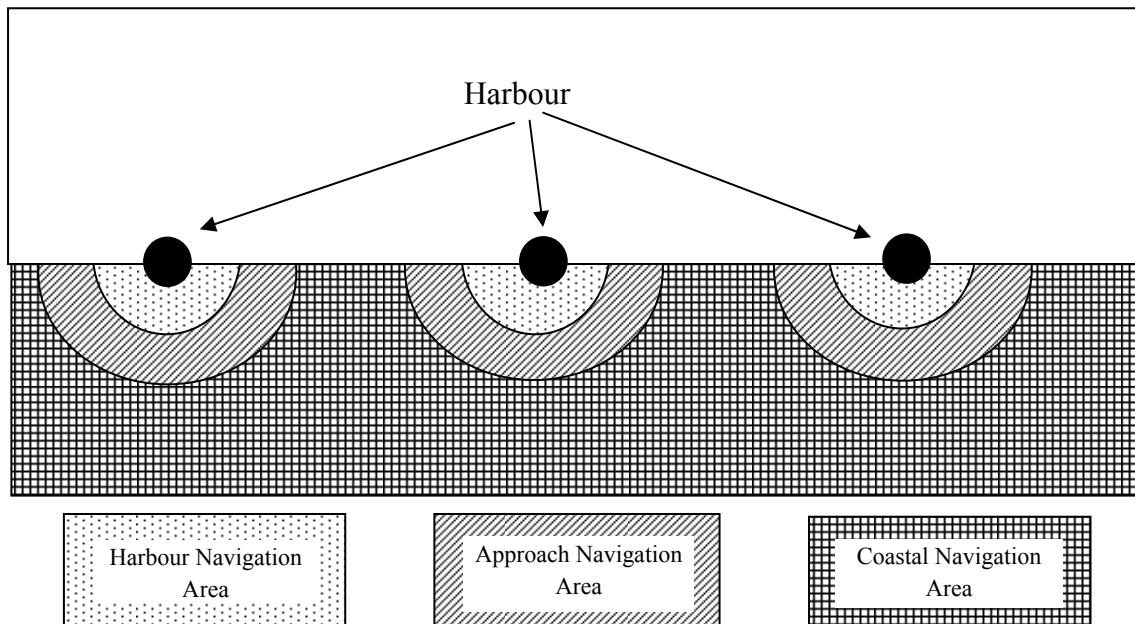


Figure 2 Definition of navigation areas

2 Assumption

Followings are assumed in the examination.

- Minimum scaled ENC is defined in every navigation area.
- Larger scaled ENC and minimum scaled ENC can be obtained in every navigation area.

3 Nodes for examining ENC coverage

Two nodes defined for examination of ENC coverage is shown in Figure 3. CPT of them is defined in Table 14 and Table 15 respectively.

MSC 81/**/**

ANNEX III

Page 2

Table 14 Appearing ratios of types of navigation area in every type of water(node “Type of navigation area”)

Type of navigation area	Type of water	
	Coastal Waters	Narrow Waters
Harbour	a11	a12
Approach	a21	a22
Coastal	a31	a32
Total	1	1

Table 15 Appearing ratios of types of ENC in every type of navigation area(node “Type of ENC”)

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coastal
Harbour	b11	b12	b13
Approaches	b21	b22	b23
Coastal	b31	b32	b33
General	b41	b42	b43
Overview	b51	b52	b53
Total	1	1	1

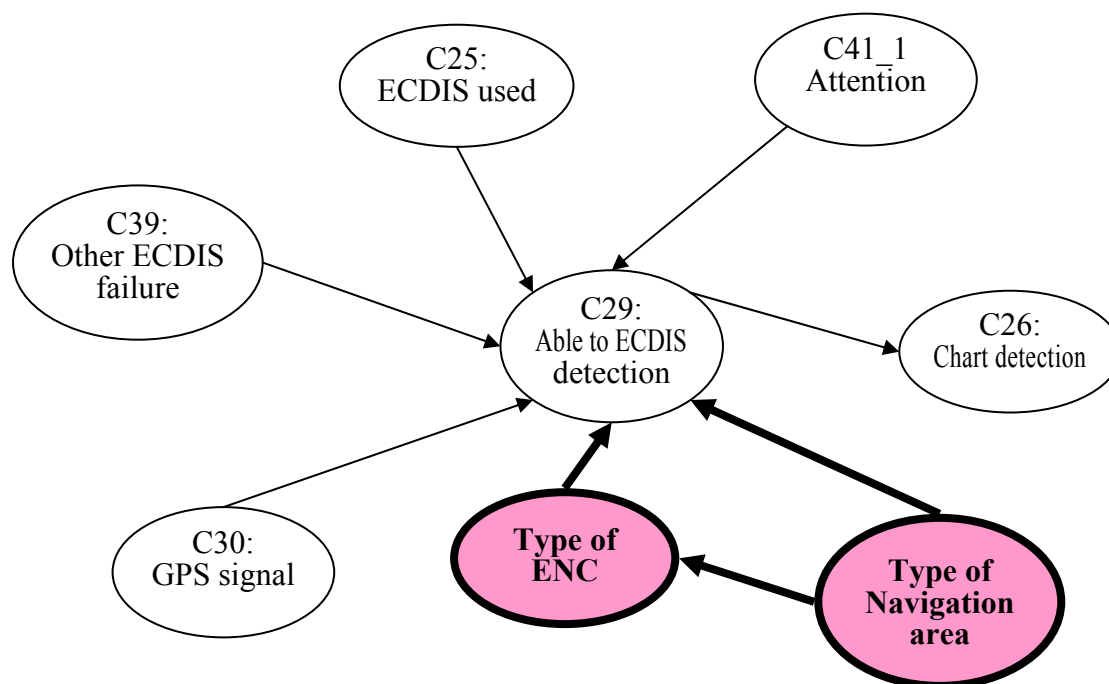


Figure 3 Network configuration of ENC related nodes

Analysis Condition

- 4 Assumed routes, types of cargo ships and number of trade.
- 1) Route 1:Yokohama - Strait of Malacca & Singapore – Ras Tanura, Tanker(Number of crew is 22), Number of trades is 7/year.
- 2) Route 2:Oita – Alor Strait – Port Hedland , Ore carrier(Number of crew is 22), Number of trades is 11/year.

3) Route 3:Kobe – Strait of Malacca & Singapore - Suez Canal - Rotterdam ,
Container carrier(Number of crew is 22), Number of trades is 5/year.

4) Route 4:Nagoya – Panama Canal – New York ,
Car Carrier(Number of crew is 22), Number of trades is 5/year.

5 CPT of the node “Type of ENC” , of the node “Type of navigation area” and of the C29(Able to ECDIS detection)

Tables from Table 16 to Table 30 shows the CPT of the node “Types of ENC” and of the node “Type of navigation area” respectively in every assumed route.

Table 31 shows the related part of the CPT of C29.

6 Number of critical courses toward shore (from Figure D – 2 in ANNEX II - APPENDIX D of the DNV report)

- Coastal Water(CW) : 0.0382(1/nm)
- Narrow Water(NW) : 0.176(1/nm)

Result of the analysis

In the analysis the nodes other than the newly determined nodes are same as the nodes in the DNV report, ECDIS and track control are assumed to be used. The results are shown in Table 31.

7 The effect of the ENC coverage differs as the route differs. In case of route 3 the grounding probability and fatality rate per person are almost same as the results of the case that the effects by ECDIS to chart recognition success rate is deleted and the use of track control is dependent on the use of ECDIS.(See Table 8 and Table 9)

This suggests that the ENC coverage largely affects chart recognition success rate.

8 Individual risk of every route is within ALARP area.

9 Gross CAF of every route from route 1 to route 3 is below 3M\$, therefore use of ECDIS and track control is cost effective. However Gross CAF of route 4 is over 3M\$ then use of ECDIS and track control is not cost effective.

CPT(Conditional Probability Table)

1) Route 1

a) Coastal Water(CW)

Table 16 CPT of node “Type of navigation area”

Harbour	0
Approach	0.0818
Coast	0.918

Table 17 CPT of node “Type of ENC”

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0.327	0.0548
Coastal	0	0	0.517
General	0	0	0
Overview	1	0.673	0.344

b) Narrow Water(NW)

Table 18 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 19 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.502	0	0
Approach	0.428	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.0704	1	1

2) Route 2

a) Coastal Water(CW)

Table 20 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0
Approach	0.05
Coast	0.95

Table 21 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0.269	0.269
General	0	0	0
Overview	1	0.731	0.731

b) Narrow Water(NW)

Table 22 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 23 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.769	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.231	1	1

3) Route 3

a) Coastal Water(CW)

Table 24 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0.00829
Approach	0.0716
Coast	0.920

Table 25 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

b) Narrow Water(NW)

Table 26 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 27 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.312	0	0
Approach	0.688	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0	1	1

4) Route 4

a) Coastal Water(CW)

There is no CW area.

b) Narrow Water(NW)

Table 28 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0.832
Approach	0.168
Coast	0

Table 29 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

Table 30 CPT of node C29(Able to ECDIS detection) modified for consideration of ENC coverage

ECDIS used	GPS signal	Other ECDIS failure	Update routine	Type of nav. area	Type of ENC	Able to ECDIS detection	
						Yes	No
YES	YES	No failure	Good	Harbour	Harbour	1	0
					Approches	0.1	0.9
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	1	0
					Approches	1	0
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Coast	Harbour	0	1
					Approches	0.1	0.9
			Coastal		1	0	
			Gneral		0	1	
			Overview		0	1	
			Poor	Harbour	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.05	0.95
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.5	0.5
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
Overview	0	1					
Coast	Harbour	0		1			
	Approches	0.05		0.95			
	Coastal	1	0				
	Gneral	0	1				
	Overview	0	1				

Table 31 Grounding risk analysis of cargo ships considering ENC coverage

	Grounding Probability (per critical course)	Fatality rate per person (per critical course)	Number of critical courses (1 round trip)	Individual Risk (1/year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (Persons/Ship) (A)	PLL (ECDIS and Track control are not used) (Persons /Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (ECDIS and Track control are not used) (Persons /Ship)(B)	Improvement of number of saved persons (per lifetime) (A-B)	Gross CAF(\$)
Route 1 CW	1.46×10^{-5}	9.23×10^{-9}	72.2	0.467×10^{-5}	1.17×10^{-4}	3.52×10^{-3}				
NW	1.47×10^{-5}	9.32×10^{-9}	100	0.653×10^{-5}	1.64×10^{-4}	4.93×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.12×10^{-5}	2.46×10^{-4}	7.39×10^{-3}	1.86×10^{-3}	5.58×10^{-2}	-4.84×10^{-2}	1.24×10^6
Route 2 CW	1.56×10^{-5}	9.32×10^{-9}	83.5	0.856×10^{-5}	1.88×10^{-4}	5.65×10^{-3}				
NW	1.39×10^{-5}	8.70×10^{-9}	18.3	0.176×10^{-5}	0.227×10^{-4}	1.16×10^{-3}				
Total	---	-----	---	1.03×10^{-5}	2.48×10^{-4}	6.81×10^{-3}	1.73×10^{-3}	5.18×10^{-2}	-4.50×10^{-2}	1.33×10^6
Route 3 CW	1.60×10^{-5}	10.5×10^{-9}	160	0.839×10^{-5}	1.85×10^{-4}	5.54×10^{-3}				
NW	1.52×10^{-5}	9.77×10^{-9}	199	0.970×10^{-5}	2.13×10^{-4}	6.40×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.81×10^{-5}	3.98×10^{-4}	11.9×10^{-3}	2.76×10^{-3}	8.29×10^{-2}	-7.10×10^{-2}	0.845×10^6
Route 4 CW	---	---	---	---	---	---				
NW	1.47×10^{-5}	9.33×10^{-9}	34.6	0.162×10^{-5}	0.355×10^{-4}	1.06×10^{-3}	0.266×10^{-3}	0.799×10^{-2}	-0.693×10^{-2}	8.66×10^6

Table 32-1 Occurrence frequency and risk of ships, casualties and population of which is reported by LRFP(Lloyds Register /Fairplay) 1983-2002 , when grounding occurred.(1983-1992)

Type and size of ships	1983-1987										1988-1992										
	Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				
			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci-dent	F(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	R(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci-dent	F(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	R(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)	
Cargo ship	100~500GT	29240	1	323	0.0110	30	0.0929	4	1	5	1.026E-03	30421	1	161	0.0053	23	0.1429	3	2	5	7.561E-04
	500~1000GT	8440	1	105	0.0124	12	0.1143	4	2	6	1.422E-03	8327	1	54	0.0065	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	1000~3000GT	16874	1	156	0.0092	6	0.0385	3	1	4	3.556E-04	17456	1	101	0.0058	6	0.0594	3	1	4	3.437E-04
	3000~10000GT	23028	1	239	0.0104	8	0.0335	4	1	5	3.474E-04	20723	1	147	0.0071	22	0.1497	3	2	5	1.062E-03
	10000~30000GT	17042	1	230	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	16572	1	146	0.0088	26	0.1781	3	2	5	1.569E-03
	30000GT~	4173	1	53	0.0127	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	5847	1	48	0.0082	1	0.0208	3	1	4	1.710E-04
Total	98797	1	1106	0.0112	56	0.0506	4	1	5	5.668E-04	99346	1	657	0.0066	78	0.1187	3	2	5	7.851E-04	
Tanker	100~500GT	8005	1	29	0.0036	1	0.0345	3	1	4	1.249E-04	8685	1	29	0.0033	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	500~1000GT	4929	1	11	0.0022	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5259	1	24	0.0046	3	0.1250	3	2	5	5.705E-04
	1000~3000GT	4128	1	19	0.0046	12	0.6316	3	2	5	2.907E-03	4648	1	25	0.0054	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2746	1	27	0.0098	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3158	1	23	0.0073	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	1738	1	34	0.0196	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	2148	1	40	0.0186	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	30000GT~	1513	1	37	0.0245	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	1921	1	38	0.0198	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
Total	23059	1	157	0.0068	13	0.0828	3	1	4	5.638E-04	25819	1	179	0.0069	3	0.0168	3	1	4	1.162E-04	
Passenger ships	100~500GT	11497	1	13	0.0011	2	0.1538	3	2	5	1.740E-04	13603	1	12	0.0009	35	2.9167	2	3	5	2.573E-03
	500~1000GT	2718	1	14	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3085	1	8	0.0026	1	0.1250	3	2	5	3.241E-04
	1000~3000GT	2457	1	17	0.0069	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2820	1	14	0.0050	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2230	1	21	0.0094	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2454	1	16	0.0065	464	29.0000	3	4	7	1.891E-01
	10000~30000GT	851	1	11	0.0129	1	0.0909	4	1	5	1.175E-03	1048	1	9	0.0086	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	66	1	1	0.0152	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	148	1	2	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
Total	19819	1	77	0.0039	3	0.0390	3	1	4	1.514E-04	23158	1	61	0.0026	500	8.1967	3	3	6	2.159E-02	
Others	100~500GT	52504	1	66	0.0013	9	0.1364	3	2	5	1.714E-04	57698	1	31	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	12081	1	17	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12749	1	10	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	7899	1	13	0.0016	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9014	1	9	0.0010	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	3000~10000GT	2629	1	8	0.0030	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2924	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	579	1	3	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	639	1	2	0.0031	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	56	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	59	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
Total	75748	1	107	0.0014	9	0.0841	3	1	4	1.188E-04	83083	1	58	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
Fishing ship	100~500GT	86979	1	123	0.0014	30	0.2439	3	2	5	3.449E-04	97777	1	101	0.0010	13	0.1287	3	2	5	1.330E-04
	500~1000GT	10545	1	12	0.0011	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12180	1	11	0.0009	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	7641	1	8	0.0010	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	8277	1	10	0.0012	8	0.8000	3	2	5	9.665E-04
	3000~10000GT	2483	1	3	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2841	1	4	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	644	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	669	1	1	0.0015	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	5	1	0	0.0000	0	0.2055	1	2	3	0.000E+00	18	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
Total	108297	1	146	0.0013	30	0.2055	3	2	5	2.770E-04	121762	1	127	0.0010	21	0.1654	3	2	5	1.725E-04	

MSC 81/**/**

ANNEX III

Page 8

Table 32-2 Occurrence frequency and risk of ships, casualties and population of which is reported by LRFP(Lloyds Register Fairplay) 1983-2002 , when grounding occurred.(1993-2002)

Type and size of ships	1993-1997										1998-2002										
	Popula-tion	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				Popula-tion	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				
			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci- dent	FI(Freq- Index)	SI(Sever-ity Index)	Ri(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci- dent	FI(Freq- Index)	SI(Sever-ity Index)	Ri(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)	
Cargo ship	100~500GT	33328	1	59	0.0018	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	33717	1	26	0.0008	49	1.8846	2	3	5	1.453E-03
	500~1000GT	8786	1	38	0.0043	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9037	1	30	0.0033	2	0.0667	3	1	4	2.213E-04
	1000~3000GT	19252	1	94	0.0049	5	0.0532	3	1	4	2.597E-04	20632	1	154	0.0075	2	0.0130	3	1	4	9.694E-05
	3000~10000GT	22354	1	101	0.0045	2	0.0198	3	1	4	8.947E-05	23944	1	128	0.0053	56	0.4375	3	2	5	2.339E-03
	10000~30000GT	18874	1	100	0.0053	5	0.0500	3	1	4	2.649E-04	22334	1	148	0.0066	5	0.0338	3	1	4	2.239E-04
	30000GT~	8406	1	33	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12375	1	64	0.0052	4	0.0625	3	1	4	3.232E-04
	Total	111000	1	425	0.0038	12	0.0282	3	1	4	1.081E-04	1E+05	1	550	0.0045	118	0.2145	3	2	5	9.669E-04
Tanker	100~500GT	10104	1	12	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	10182	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	5954	1	15	0.0025	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6207	1	20	0.0032	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	1000~3000GT	5576	1	22	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6164	1	29	0.0047	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	4137	1	17	0.0041	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5784	1	26	0.0045	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000~30000GT	2773	1	22	0.0079	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	4089	1	39	0.0095	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	3270	1	24	0.0073	1	0.0417	3	1	4	3.058E-04	5112	1	19	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	Total	31814	1	112	0.0035	1	0.0089	3	1	4	3.143E-05	37538	1	138	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
Passenger ships	100~500GT	15869	1	10	0.0006	342	34.2000	2	4	6	2.155E-02	17366	1	16	0.0009	1	0.0625	2	1	3	5.758E-05
	500~1000GT	3567	1	7	0.0020	16	2.2857	3	3	6	4.486E-03	3990	1	9	0.0023	16	1.7778	3	3	6	4.010E-03
	1000~3000GT	3171	1	6	0.0019	7	1.1667	3	3	6	2.208E-03	3578	1	7	0.0020	58	8.2857	3	3	6	1.621E-02
	3000~10000GT	2739	1	15	0.0055	1	0.0667	3	1	4	3.651E-04	2943	1	17	0.0058	83	4.8824	3	3	6	2.820E-02
	10000~30000GT	1379	1	11	0.0080	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	1685	1	9	0.0053	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	280	1	5	0.0179	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	535	1	7	0.0131	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
	Total	27005	1	54	0.0020	366	6.7778	3	3	6	1.355E-02	30097	1	65	0.0022	158	2.4308	3	3	6	5.250E-03
Others	100~500GT	64216	1	21	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	71062	1	18	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500~1000GT	13127	1	5	0.0004	1	0.2000	2	2	4	7.618E-05	13488	1	5	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	9702	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	11029	1	4	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	3000~10000GT	3173	1	6	0.0019	6	1.0000	3	3	6	1.891E-03	3675	1	2	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000~30000GT	698	1	1	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	802	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	30000GT~	63	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	116	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	90979	1	38	0.0004	7	0.1842	2	2	4	7.694E-05	1E+05	1	29	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
Fishing ship	100~500GT	101524	1	68	0.0007	38	0.5588	2	2	4	3.743E-04	1E+05	1	50	0.0005	23	0.4600	2	2	4	2.238E-04
	500~1000GT	12850	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	12941	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000~3000GT	8131	1	11	0.0014	10	0.9091	3	2	5	1.230E-03	7338	1	9	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000~10000GT	2867	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2354	1	2	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000~30000GT	588	1	1	0.0017	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	350	1	1	0.0029	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT~	20	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	16	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	Total	125980	1	95	0.0008	48	0.5053	2	2	4	3.810E-04	1E+05	1	71	0.0006	23	0.3239	2	2	4	1.828E-04

FORMAL SAFETY ASSESSMENT

Consideration for utilization of Bayesian network at step 3 of FSA
- Evaluation of the effect of ECDIS, ENC and Track control by using Bayesian network -

Submitted by Japan

和訳

要約

本報告は、FSA ガイドラインで言うところのリスク寄与ツリー（RCT）としてベイジアンネットワークを用い、ECDIS、トラックコントロールシステム、ENC のカバレッジの効果を検討した結果を述べている。本報告の基本となったものは NAV51/10 および DNV による関連レポートである。本報告では、ベイジアンネットワークを用いた不確実さ解析を実施しており、その重要性を指摘している。

行動要請: パラグラフ 16

関連文書: MSC/Circ.928-MEPC/Circ.335, MSC76/5/12, MSC72/16, NAV51/10, DE47/24/1, DE47/INF.3, DE48/14/1

序論

1. バルクキャリアの安全性の議論に FSA が使用されてから、種々の RCO の提案に FSA が使用されるようになった。(DE47/24/1, DE47/INF.3, DE48/14/1, NAV51/10, etc.) しかし、データが利用不能な場合には専門家判断を多用せざるを得ず、新たな RCO を提案する際のリスク評価において恣意性が入るとともに、不確実さが大きい点が指摘されてきた。さらに、幾つかの単一 RCO によるリスク削減効果が推定された場合に複数組み合わせられた場合のリスク削減効果の推定の困難さについても問題視されてきた。(MSC76/5/12)

2. 一方、ノルウエーが NAV51/10 において大型旅客船に有効な RCO を提案する際に用いた Bayesian Network による種々の RCO のリスク評価は信頼できるとの認識が大勢を占め、非常に cost-effective であるとされた ECDIS の強制化の適用拡大のための FSA を実施する機運が生じた。

このような状況の中、日本は Bayesian Network の開発用ソフトウェア HUGIN を導入し、NAV51/10 の元となった DNV report (FORMAL SAFETY ASSESSMENT – LARGE PASSENGER SHIPS) にある Grounding の Bayesian Network を再現し、その結果を追認した。

3. この過程において、Bayesian Network および HUGIN は Grounding あるいは Collision の発生確率および死亡確率等を推定するのに有効であり、乗場および衝突の RCT (Risk contribution Tree) として利用価値が高いことが判明した。また、それらのモデルは種々の海難の RCT 作成、種々の RCO の組合せの効果推定に Bayesian Network が有効であることを示唆している。

4. 以下に本報告で取り扱った事項を列挙する。

1) ECDIS と Track control の 2 つの効果の推定を Bayesian Network を用いて実施するとともに、ECDIS の主要な効果の 1 つである、海図認知の成功率向上の効果を定量的に評価した。

2) HUGIN のノードの状態を利用して死亡確率の不確実さ解析を実施した。

3) ENC のカバレッジの影響を、Grounding の Bayesian network を用いての推定した。なお、この場合、航路として日本の国際港を出発地とする貨物船の 4 つの航路を想定し、大型旅客船の Bayesian network をそのまま適用した。

ECDIS と Track control の効果の吟味

5. DNV レポートの Grounding model では Track control の使用の有無は ECDIS の使用の有無に依存している。Track control は、確かに ECDIS を使用することにより画面上での航路設定が容易になる、航路各

点における水深のチェックが自動的になされる等の利点があるため、現実的に ECDIS の使用の有無により、その使用の有無が左右されてしまうが、Track control と ECDIS とは本来別の機能である。そのため、それらの効果はそれらを独立にして、すなわち、別の RCO として吟味すべきである。

6. ECDIS の使用の有無と Track control の使用の有無を独立にして考慮する場合、両機器が使用されていない場合を基準にすると、それから ECDIS のみを設置した場合、そして、Track control のみを設置した場合のリスク削減効果は Track control を使用した場合の方が、ECDIS のみを設置した場合より 25% ほど高い。また、Track control を設置した後に ECDIS を設置する場合のリスク削減効果の向上は、運航期間である 30 年で 0.1 人であり、ほとんど変わらない。これに対し、ECDIS 設置後に Track control を設置する場合は、リスク削減効果はさらに 5.6 人となる。ただし、パラグラフ 5 に述べたように ECDIS の Track control への支援機能は無視できないため、Track control のみの使用の効果の検討のためには、ECDIS の使用が無い場合の機能低下を表現するノードを Bayesian Network に導入すべきである。このことはまた、ECDIS がなくても Track control の機能向上により、ECDIS がある場合と同様のリスク削減効果をもたらすようなものの有効性を示していると思われる。

7. ECDIS の主な効果の 1 つは、海図認知の成功率向上にあると思われる。Bayesian Network より ECDIS のこの効果のみを削除した場合、海図認知への効果を入れた場合と比べてリスク削減効果がそれほど落ちないことが認められた。このことは、ECDIS の効果は Track control を通じてノード C6_1:Action へ、およびノード 24"Radar detection"を通じての海図認知の成功率向上への影響がかなり大きいことを意味する結果と思われる。

8. ECDIS、Track control は機器のコストが安く少しでもリスク削減効果があると cost-effective であることが言えるが、リスク評価基準に照らしてみてもその必要性を考慮すべきである。これを調査した結果、ECDIS と Track control が独立な場合はそのどちらかがあれば旅客の個人リスクは許容限界内 (ALARP) である。しかし、従属な場合は、ECDIS がなければ許容限界内にない。しかし、ECDIS と Track control があっても ALARP であるから費用対効果があればさらに安全対策を施すべきであるという論理になる。

9. LRF 船舶の乗揚頻度との比較により、ECDIS および Track control を使用しない場合の NAV51/10 の旅客船の Grounding のモデルによる乗揚頻度は、ECDIS と Track control が共に使用された場合でも、統計データ(10000GT 以上の旅客船)の 2 倍 ~ 4 倍となる。両方とも無の場合は、20 倍 ~ 40 倍ということになる。この意味について、NAV51/10 では、LRF の海難データには重大な事故のみ報告されているという理由を上げており、このモデルによると、89%が No/minor、10%は Major、1%が Catastrophic となる。

不確実さ解析

10. 不確実さ解析を実施した結果、死亡確率の標準偏差が死亡確率の絶対値を 4 桁以上も上回り、不確実さの影響は非常に大きいことがわかった。

貨物船航路での ECDIS および ENC のカバレッジの影響評価

11. ENC のカバレッジの影響は、ルートが異なると程度が異なるが、最悪の場合は、考えられることとして、カバレッジを考慮することにより、航路によっては ECDIS の影響を海図認知の成功率から除いた場合と同程度まで死亡確率が高くなる可能性がある。

結論

12. Bayesian Network は海難発生確率および海難発生時の死亡確率の推定の際に、複雑に関連する種々の要素の影響を詳細に検討するための優れたツールであることが判明した。

13. Bayesian network の有効性の一つは、複数の RCO の組合せによる効果の推定が容易に実行できることである。

14. 種々の要素の条件付確率を設定する際にかかなりの要素は統計データが使用できず、専門家の意見に頼らざるを得ないため不確実さが大きくなることは避けられない。しかし、この点は Bayesian Network のみならず、Event Tree、Fault Tree による解析の場合も同じであり、それらを用いたリスク解析では不確実さ解析を実施し、不確実さの幅を十分に把握した上で決定すべきである。

15. NAV51/10 の旅客船の Grounding のモデルを日本の4つの国際港を出発地とする4つの貨物船航路に適用し、そのモデルにENCのカバレッジとENCの縮尺をモデル化したノードを付加することにより、ENCの効果を検討した。その結果、ECDISの海図認知の成功率向上のためにはENCが重要であり、そのカバレッジを考慮することがECDISの効果を推定する際に重要であることが明らかとなった。

委員会に対する行動要請

16. 委員会に対しては以下の様に要請する。

1) この文書で考慮された事柄に注意を払い、FSA studyにおけるBayesian network等のリスク評価用ツールの正しい取扱い方を検討すること。

2) 下記のようにFSAガイドラインを修正すること。

FSAガイドライン(MSC/Circ. 829-MEPC/Circ.335)を以下の様に修正する。

用語“RCT”を“RCD(Risk Contribution Diagram)”に置き換える。これはより一般的な表現となっている。また、ガイドライン中の基本的用語の“RCT”及び説明文を"Risk contribution diagram : Diagrams being used for developing risk model, by using Bayesian networks, event trees, fault trees and combination of them."へと置き換える。

(理由) ベイジアンネットワークはツリー構造をしておらず、ネットワーク構造であるため。

ANNEX I: ECDIS 及びトラックコントロールの検討

1. ここでの想定を下記に示す。NAV51/10 および DNV report の RCO 解析におけると同様である。

乗船者数：5000 人

年間航海数：50 回

運航期間：30 年

1 航海当りの Critical Course の発生回数：53.7 回

2. DNV レポートにある Grounding の Bayesian Network によるモデルの C23 (Navigational aids in use)は ECDIS と Track Control がレーダーおよび目視による観測により多くの時間を配分する影響をモデル化したもので、どちらかがあればより多くの時間が解放されることを示すものである。しかし、その条件付確率は表 1 のようであるべきであるが、表 2 のようになっている。(ANNEX : APPENDIX A)

Table 1 CPT of node C23(modified)

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	1.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	0.0	0.0	1.0

Table 2 CPT of node C23(in ANNEX 2 of the DNV report)

C43:Track control used	Yes		No	
C25:ECDIS used	Yes	No	Yes	No
More time to detection	1.0	0.0	1.0	0.0
No more time to detection	0.0	1.0	0.0	1.0

3. Track control と ECDIS を独立にした場合、Track control が有れば結果(乗揚確率、死亡確率、個人リスク、PLL、運航期間全体の死者数)にほとんど差がないことが表 3 からわかる。また、表 3 より、ECDIS がない場合は、Track control がかなり効果があることがわかる。しかしながら、表 4 より、ECDIS と Track control が従属の場合は、ECDIS がない場合は Track control はほとんど効果がないことになる。また、表 3 と表 4 でどちらも使用されている場合の結果が異なる理由は、Track control の使用が ECDIS の使用に従属の場合は、ECDIS を使用した場合の 85%のみ Track control を使用するという設定になっているからである。

4. ECDIS の使用の有無は、航路設定の容易さ等、Track control の使用の有無に大きな影響を与える。しかし、基本的に異なる機能である ECDIS と Track control は独立に評価すべきであり、そのようにすれば、ECDIS 無の場合の Track control のリスク削減値は 25.8 人となって、ECDIS と同等の効果があることになる。また、Track control が有れば、さらに ECDIS を使用することによる効果はほとんどないということになる。ECDIS が有れば Track control がなくてもかなり効果があるが、Track control ほどではないと言える。

5. 以上より、ECDIS の使用の有無は、Track control の使用の有無に影響がなければ、ECDIS より Track control を推奨すべきと思われる。NAV51/10 の Table19 より、コスト的にも Track control の方が優れている。しかしながら、ECDIS 無の場合の Track control は設定の誤りの確率を考慮すべきであり、そのためのノードを Bayesian Network 中に入れるべきである。

6. 運航時の ECDIS の影響は主に海図認知の成功率にあると思われる。この効果を確認するために、C26 : Chart detection ノードにおいて ECDIS の有無による Chart 認知の成功率を調査した。表 7 , 8 より ECDIS の使用の有無と Track control の使用の有無が独立と仮定した場合、Track control がある場合は海図認知の成功率のみから ECDIS の影響を無くした場合と ECDIS を全く使用しない場合の乗揚確率、死亡確率は共に一致する。しかし、従属と仮定した場合は、Track control がある場合は、海図認知の成功率から ECDIS の影響を除いた場合の乗揚および死亡確率は、ECDIS を全く使用しない場合と比べて桁違いに小さい。(表 9 , 1 0)

7. 表 3 ~ 11 より、Passenger の個人リスクで許容範囲を超えているのは、

- 1) ECDIS 無、TrackControl 無(TrackControl と ECDIS が独立の場合)
- 2) ECDIS 無、TrackControl 無(TrackControl と ECDIS が従属の場合)
- 3) ECDIS 無、TrackControl 有 (TrackControl と ECDIS が従属の場合)

の3ケースである。

他の場合は、ALARP(As Low As Reasonably Practicable)で費用対効果が良ければできる限りリスクを減らす努力をすべき範囲内ということになる。

8. LRF 船舶の乗揚頻度との比較により、NAV51/10 の旅客船の Grounding のモデルによる乗揚頻度は、ECDIS と Track control が共に使用された場合で、統計データ(10000GT 以上の旅客船)の2倍～4倍となる。両方とも無の場合は、20倍～40倍ということになる。この意味について、NAV51/10では、LRF の海難データには重大な事故のみ報告されているという理由を上げており、このモデルによると、89%が No/minor、10%は Major、1%が Catastrophic となる。

Table 3 Use of ECDIS and use of track control are mutually independent(use modified node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/ Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.84×10^{-9}	1.569×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.281×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	0.994×10^{-5}	0.0267	6.00×10^{-9}	1.611×10^{-5}	0.0806	2.42	-25.8
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.81×10^{-5}	0.941	28.2(A0)	0

Table 4 Use of track control is dependent on use of ECDIS (use modified node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/ Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.298×10^{-5}	0.0349	7.917×10^{-9}	2.125×10^{-5}	0.1063	3.19	-25.0
	No	3.126×10^{-5}	0.0839	19.67×10^{-9}	5.281×10^{-5}	0.2641	7.92	-20.3
No	No	10.19×10^{-5}	0.274	70.06×10^{-9}	18.81×10^{-5}	0.9406	28.2	0

Table 5 Use of ECDIS and use of track control are mutually independent(use original node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/ Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	0.975×10^{-5}	00262	5.843×10^{-9}	1.569×10^{-5}	0.0784	2.35	-25.9
	No	3.126×10^{-5}	0.0839	19.67×10^{-9}	5.281×10^{-5}	0.2641	7.92	-20.3
No	No	10.19×10^{-5}	0.274	70.06×10^{-9}	18.81×10^{-5}	0.9406	28.2	0

Table 6 Use of track control is dependent on use of ECDIS (use original node C23)

Use of ECDIS	Use of track control	Grounding probability (1/critical course)	Grounding frequency (1/ Ship*Year)	Fatality rate per person (1/critical course)	Individual risk (1/ Year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (A)	No. of lives saved (per lifetime) (A-A0)
Yes	Yes	1.30×10^{-5}	0.0349	7.92×10^{-9}	2.13×10^{-5}	0.106	3.19	-25.0
	No	3.13×10^{-5}	0.0839	19.7×10^{-9}	5.28×10^{-5}	0.264	7.92	-20.3
No	Yes	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0
	No	10.2×10^{-5}	0.274	70.1×10^{-9}	18.8×10^{-5}	0.941	28.2	0

Table 7 Grounding probability per critical course (Use of ECDIS and use of track control are mutually independent, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is	0.975×10^{-5}	3.13×10^{-5}

dependent on use of ECDIS		
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	0.994×10^{-5}	5.33×10^{-5}
ECDIS is not used	0.994×10^{-5}	10.2×10^{-5}

Table 8 Fatality rate per person per critical course (Use of ECDIS and use of track control are mutually independent, and use modified node C23)

	Track control is used	Track control is not used
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	5.84×10^{-9}	1.97×10^{-8}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	6.00×10^{-9}	3.96×10^{-8}
ECDIS is not used	6.00×10^{-9}	7.01×10^{-8}

Table 9 Grounding probability per critical course (Use of track control is dependent on use of ECDIS, and use modified node C23)

	TrackControl 有	TrackControl 無
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	1.30×10^{-5}	3.13×10^{-5}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	1.65×10^{-5}	5.33×10^{-5}
ECDIS is not used		10.2×10^{-5}

Table 10 Fatality rate per person per critical course (Use of track control is dependent on use of ECDIS, and use modified node C23)

	TrackControl 有	TrackControl 無
Success ratio of chart detection is dependent on use of ECDIS	0.792×10^{-8}	1.98×10^{-8}
Success ratio of chart detection is independent of use of ECDIS	1.08×10^{-8}	3.82×10^{-8}
ECDIS is not used		7.01×10^{-8}

Table 11 Individual risk criteria (MSC72/16)

Maximum tolerable risk for crew members	10^{-3} annually
Maximum tolerable risk for passengers	10^{-4} annually
Maximum tolerable risk for public ashore	10^{-4} annually
Negligible risk	10^{-6} annually

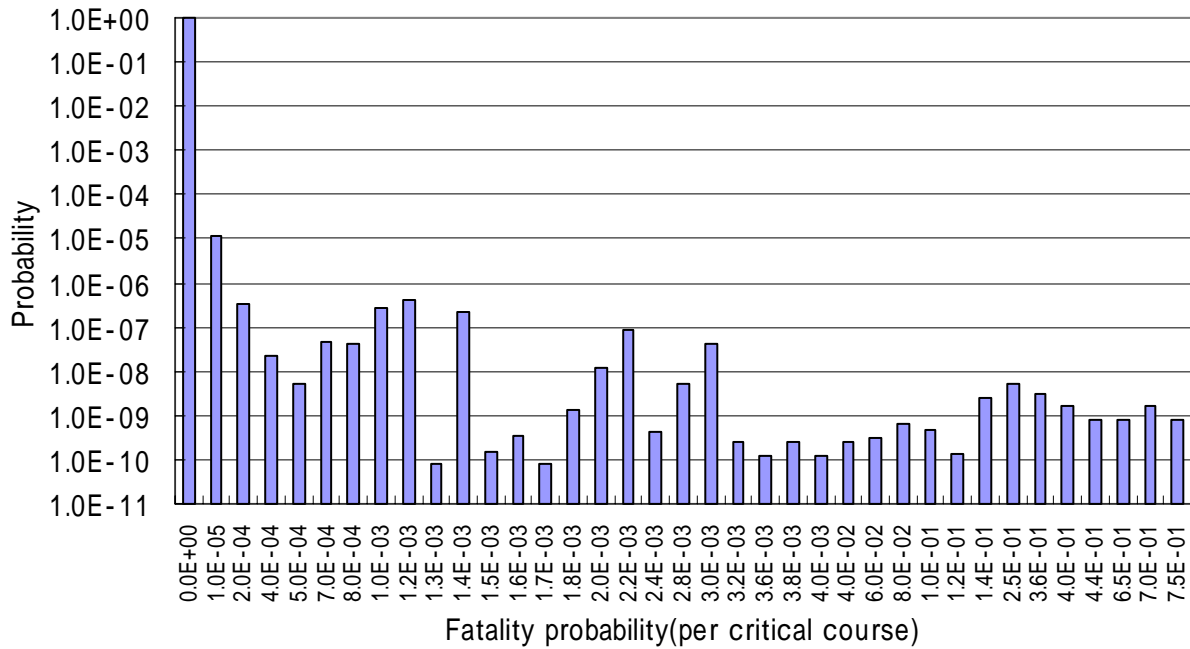
Table 12-2 Probabilistic distribution of node C63(Evacuation fatality) part 2

C64:People location	In liferaft									Onboard								
	Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree			Above 20 degree			15 - 20 degree			Below 20 degree		
C61: Rescues	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.	Within 15 min.	15-30 min.	More than 30 min.
0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0028	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.002	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0012	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.001	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0008	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 13-1 Probabilistic distribution of node C60(Immediate fatality)

C49: Vessel damage	No/minor	Major	Catastrophic	NA
0.0012	0	0	0.25	0
0.001	0	0	0.5	0
0.0008	0	0	0.25	0
0.0002	0	1	0	0
0.00001	1	0	0	0
0	0	0	0	1

Figure 1 Probabilistic distribution of fatality probability (node C65)(Mean:7.77e-9, STD.:5.26e-5)



ANNEX 3 貨物船での ECDIS および ENC のカバレッジの影響評価

ENC のモデル化

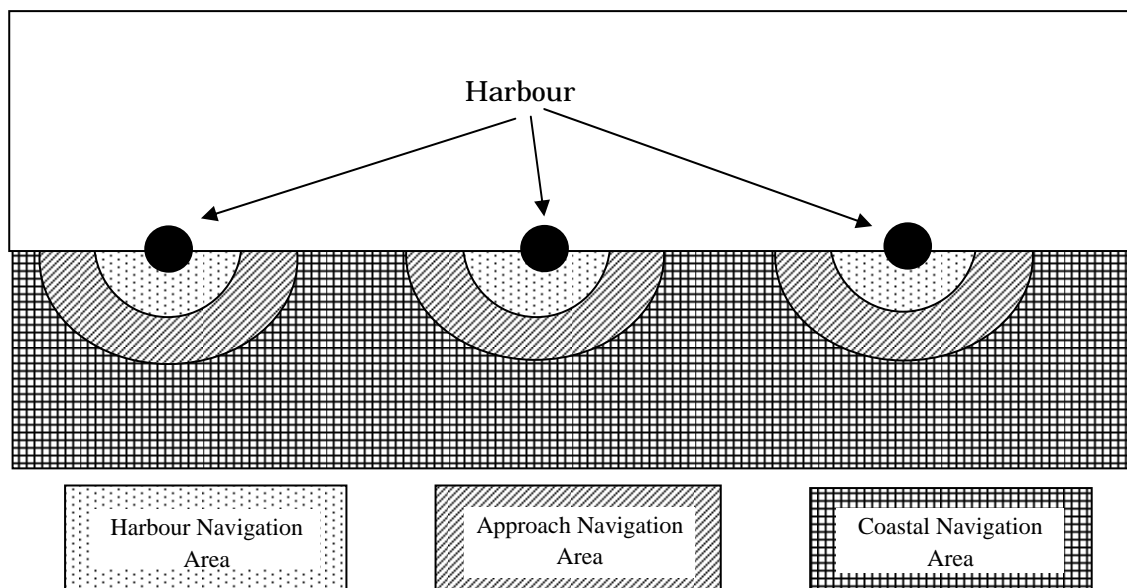


Figure 2 Water area division by a kind of the navigation method

1.定義

ENCの種類：港、アプローチ、沿岸、一般、全体

航法モードおよび対応するエリア：入港モード(入港エリア)、アプローチモード(アプローチエリア)、エ
沿岸航法モード(沿岸航法エリア)

2.仮定

航法エリア毎に、最小の縮尺の ENC の種類が決定される。

ある縮尺の ENC が提供される場合は、それ以上の縮尺の ENC は提供される。

3. ENC カバレッジ検討のためのノード

ENC カバレッジを検討するために図 3 に示す二つのノードを導入した。それらの CPT は表 14,15 の様に定義した。

Table 14 Appearing ratios of types of navigation area in every type of water(node “Type of navigation area”)

Type of navigation area	Type of water	
	Coastal Waters	Narrow Waters
Harbor	a11	a12
Approach	a21	a22
Coastal	a31	a32
Total	1	1

Table 15 Appearing ratios of types of ENC in every type of navigation area(node “Type of ENC”)

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coastal
Harbour	b11	b12	b13
Approaches	b21	b22	b23
Coastal	b31	b32	b33
General	b41	b42	b43
Overview	b51	b52	b53
Total	1	1	1

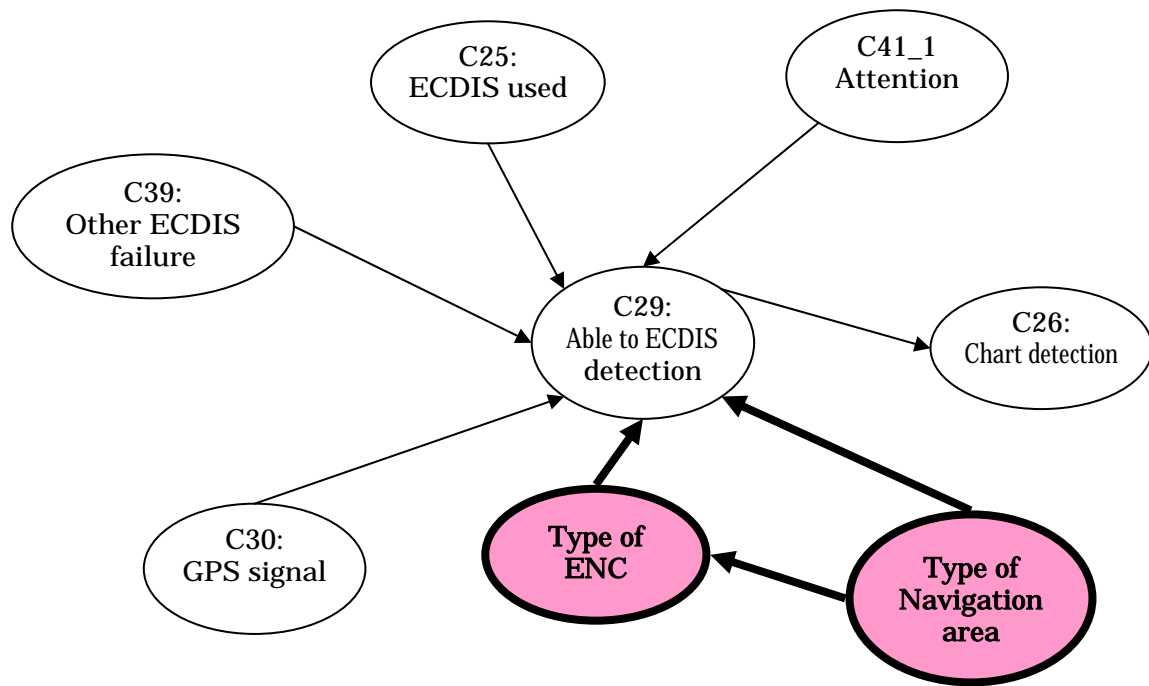


Figure 3 Network configuration of ENC related nodes

解析条件

4. 想定航路、貨物船および航海数

- 1) ルート 1：横浜～マ・シ海峡～ラスタヌラ（サウジアラビア）、タンカー（乗船者 22 人）、年間 7 航海
- 2) ルート 2：大分～アローストレート～ポートヘッドランド（豪州西岸）、鉱石運搬船（乗船者 22 人）、年間 11 航海
- 3) ルート 3：神戸～マ・シ海峡～スエズ運河～ロッテルダム、コンテナ船（乗船者 22 人）、年間 5 航海
- 4) ルート 4：名古屋～パナマ運河～ニューヨーク、車運搬船（乗船者 22 人）、年間 5 航海

5. 各ノードの CPT

表 16 から表 30 にそれぞれのノードの CPT を示す。表 31 は C29 の CPT の関連部分である。

6 1 海里あたりの危険なコースの割合 (ANNEX II - APPENDIX D of the DNV の報告中の図 D2 から再録)

Coastal Water(CW) : 0.0382(1/nm)

Narrow Water(NW) : 0.176(1/nm)

解析結果

以下の解析では、Bayesian Network の ENC のカバレッジ関連以外のノードは Norway の方式と同じにし、ECDIS 有、Track control 有として計算した。表 31 に結果を示す。

7. コースによって ENC のカバレッジの影響は異なるが、コース 3 は海図認知の成功率から ECDIS の影響を除いた場合と乗揚確率、死亡確率ともほとんど同じであることがわかる。(表 8,9) このことは、ENC のカバレッジの影響は海図認知の成功率に大きな影響を及ぼすことを示していると思われる。

8 個人リスクはどのコースとも ALARP 領域にある。

9 コース毎に ECDIS および Track control 無の場合(ECDIS と Track control の使用の有無は従属と仮定)の GrossCAF は、Course 1～3 は 3M \$ 未満であるため、cost effective とみなされるが、Course 4 は 3M \$ 以上であり、cost effective とは言えない。

CPT(Conditional Probability Table)

1) Route 1

a) Coastal Water(CW)

Table 16 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0
Approach	0.0818
Coast	0.918

Table 17 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0.327	0.0548
Coastal	0	0	0.517
General	0	0	0
Overview	1	0.673	0.344

b) Narrow Water(NW)

Table 18 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 19 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.502	0	0
Approach	0.428	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.0704	1	1

2) Route 2

a) Coastal Water(CW)

Table 20 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0
Approach	0.05
Coast	0.95

Table 21 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0.269	0.269
General	0	0	0
Overview	1	0.731	0.731

b) Narrow Water(NW)

Table 22 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 23 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.769	0	0
Approach	0	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0.231	1	1

3) Route 3

a) Coastal Water(CW)

Table 24 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0.00829
Approach	0.0716
Coast	0.920

Table 25 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

b) Narrow Water(NW)

Table 26 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	1
Approach	0
Coast	0

Table 27 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	0.312	0	0
Approach	0.688	0	0
Coastal	0	0	0
General	0	0	0
Overview	0	1	1

4) Route 4

b) Narrow Water(NW)

Table 28 CPT of node "Type of navigation area"

Harbour	0.832
Approach	0.168
Coast	0

Table 29 CPT of node "Type of ENC"

Type of ENC	Type of navigation area		
	Harbour	Approach	Coast
Harbour	1	0	0
Approach	0	0.542	0.211
Coastal	0	0.353	0.0629
General	0	0	0
Overview	0	0.105	0.726

Table 30 CPT of node C29(Able to ECDIS detection) modified for consideration of ENC coverage

ECDIS used	GPS signal	Other ECDIS failure	Update routine	Type of nav. area	Type of ENC	Able to ECDIS detection	
						Yes	No
YES	YES	No failure	Good	Harbour	Harbour	1	0
					Approches	0.1	0.9
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	1	0
					Approches	1	0
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Coast	Harbour	0	1
					Approches	0.1	0.9
			Coastal		1	0	
			Gneral		0	1	
			Overview		0	1	
			Poor	Harbour	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.05	0.95
					Coastal	0	1
					Gneral	0	1
					Overview	0	1
				Approach	Harbour	0.5	0.5
					Approches	0.5	0.5
					Coastal	0.05	0.95
					Gneral	0	1
Overview	0	1					
Coast	Harbour	0		1			
	Approches	0.05		0.95			
	Coastal	1	0				
	Gneral	0	1				
	Overview	0	1				

Table 31 Grounding risk analysis of cargo ships considering ENC coverage

	Grounding Probability (per critical course)	Fatality rate per person (per critical course)	Number of critical courses (1 round trip)	Individual Risk (1/year)	PLL(Potential Loss of Lives) (Persons/Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (Persons/Ship)(A)	PLL (in case that ECDIS and Track control are not used) (Persons /Ship*Year)	No. of fatality (per lifetime) (in case that ECDIS and Track control are not used) (Persons /Ship)(B)	Improvement of number of saved persons (per lifetime) (A-B)	GrossCAF(\$)
Route 1 CW	1.46×10^{-5}	9.23×10^{-9}	72.2	4.67×10^{-6}	1.17×10^{-4}	3.52×10^{-3}				
NW	1.47×10^{-5}	9.32×10^{-9}	100	6.53×10^{-5}	1.64×10^{-4}	4.93×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.12×10^{-5}	2.46×10^{-4}	7.39×10^{-3}	1.86×10^{-3}	5.58×10^{-2}	-4.84×10^{-2}	1.24×10^6
Route 2 CW	1.56×10^{-5}	9.32×10^{-8}	83.5	8.56×10^{-6}	1.88×10^{-4}	5.65×10^{-3}				
NW	1.39×10^{-5}	8.70×10^{-9}	18.3	1.76×10^{-6}	2.27×10^{-5}	1.16×10^{-3}				
Total	---	-----	---	1.03×10^{-5}	2.48×10^{-4}	6.81×10^{-3}	1.73×10^{-3}	5.18×10^{-2}	-4.50×10^{-2}	1.33×10^6
Route 3 CW	1.60×10^{-5}	1.06×10^{-8}	160	8.39×10^{-6}	1.85×10^{-4}	5.54×10^{-3}				
NW	1.52×10^{-5}	9.72×10^{-9}	199	9.70×10^{-6}	2.13×10^{-4}	6.40×10^{-3}				
Total	---	---	---	1.81×10^{-5}	3.98×10^{-4}	1.19×10^{-2}	2.76×10^{-3}	8.29×10^{-2}	-7.10×10^{-2}	0.845×10^6
Route 4 CW	---	---	---	---	---	---				
NW	1.47×10^{-5}	9.33×10^{-9}	34.6	1.61×10^{-6}	3.55×10^{-5}	1.06×10^{-3}	2.66×10^{-4}	7.99×10^{-3}	-6.93×10^{-3}	8.66×10^6

Table 32-1 Occurrence frequency and risk of ships, casualties and population of which is reported by LRF(Lloyds Register Fairplay) 1983-2002 , when grounding occurred.(1983-1992)

Type and size of ships	1983-1987										1988-1992											
	Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)					Population	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				
			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci- dent	F(Freq- Index)	SI(Sever- ity Index)	RI(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)	Number			Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci- dent	F(Freq- Index)	SI(Sever- ity Index)	RI(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)		
Cargo ship	100 ~ 500GT	29240	1	323	0.0110	30	0.0929	4	1	5	1.026E-03	30421	1	161	0.0053	23	0.1429	3	2	5	7.561E-04	
	500 ~ 1000GT	8440	1	105	0.0124	12	0.1143	4	2	6	1.422E-03	8327	1	54	0.0065	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	1000 ~ 3000GT	16874	1	156	0.0092	6	0.0385	3	1	4	3.556E-04	17456	1	101	0.0058	6	0.0594	3	1	4	3.437E-04	
	3000 ~ 10000GT	23028	1	239	0.0104	8	0.0335	4	1	5	3.474E-04	20723	1	147	0.0071	22	0.1497	3	2	5	1.062E-03	
	10000 ~ 30000GT	17042	1	230	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	16572	1	146	0.0088	26	0.1781	3	2	5	1.569E-03	
	30000GT ~	4173	1	53	0.0127	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	5847	1	48	0.0082	1	0.0208	3	1	4	1.710E-04	
	Total	98797	1	1106	0.0112	56	0.0506	4	1	5	5.668E-04	99346	1	657	0.0066	78	0.1187	3	2	5	7.851E-04	
Tanker	100 ~ 500GT	8005	1	29	0.0036	1	0.0345	3	1	4	1.249E-04	8685	1	29	0.0033	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	500 ~ 1000GT	4929	1	11	0.0022	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5259	1	24	0.0046	3	0.1250	3	2	5	5.705E-04	
	1000 ~ 3000GT	4128	1	19	0.0046	12	0.6316	3	2	5	2.907E-03	4648	1	25	0.0054	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	3000 ~ 10000GT	2746	1	27	0.0098	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3158	1	23	0.0073	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	10000 ~ 30000GT	1738	1	34	0.0196	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	2148	1	40	0.0186	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	
	30000GT ~	1513	1	37	0.0245	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	1921	1	38	0.0198	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	
	Total	23059	1	157	0.0068	13	0.0828	3	1	4	5.638E-04	25819	1	179	0.0069	3	0.0168	3	1	4	1.162E-04	
Passenger ships	100 ~ 500GT	11497	1	13	0.0011	2	0.1538	3	2	5	1.740E-04	13603	1	12	0.0009	35	2.9167	2	3	5	2.573E-03	
	500 ~ 1000GT	2718	1	14	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	3085	1	8	0.0026	1	0.1250	3	2	5	3.241E-04	
	1000 ~ 3000GT	2457	1	17	0.0069	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2820	1	14	0.0050	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	3000 ~ 10000GT	2230	1	21	0.0094	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2454	1	16	0.0065	464	29.0000	3	4	7	1.891E-01	
	10000 ~ 30000GT	851	1	11	0.0129	1	0.0909	4	1	5	1.175E-03	1048	1	9	0.0086	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	30000GT ~	66	1	1	0.0152	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	148	1	2	0.0135	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	
	Total	19819	1	77	0.0039	3	0.0390	3	1	4	1.514E-04	23158	1	61	0.0026	500	8.1967	3	3	6	2.159E-02	
Others	100 ~ 500GT	52504	1	66	0.0013	9	0.1364	3	2	5	1.714E-04	57698	1	31	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
	500 ~ 1000GT	12081	1	17	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12749	1	10	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
	1000 ~ 3000GT	7899	1	13	0.0016	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9014	1	9	0.0010	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
	3000 ~ 10000GT	2629	1	8	0.0030	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2924	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	10000 ~ 30000GT	579	1	3	0.0052	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	639	1	2	0.0031	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	30000GT ~	56	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	59	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	
	Total	75748	1	107	0.0014	9	0.0841	3	1	4	1.188E-04	83083	1	58	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
Fishing ship	100 ~ 500GT	86979	1	123	0.0014	30	0.2439	3	2	5	3.449E-04	97777	1	101	0.0010	13	0.1287	3	2	5	1.330E-04	
	500 ~ 1000GT	10545	1	12	0.0011	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12180	1	11	0.0009	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
	1000 ~ 3000GT	7641	1	8	0.0010	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	8277	1	10	0.0012	8	0.8000	3	2	5	9.665E-04	
	3000 ~ 10000GT	2483	1	3	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2841	1	4	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	10000 ~ 30000GT	644	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	669	1	1	0.0015	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
	30000GT ~	5	1	0	0.0000	0	0.2055	1	2	3	0.000E+00	18	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	
	Total	108297	1	146	0.0013	30	0.2055	3	2	5	2.770E-04	121762	1	127	0.0010	21	0.1654	3	2	5	1.725E-04	

Table 32-2 Occurrence frequency and risk of ships, casualties and population of which is reported by LRF(Lloyds Register Fairplay) 1983-2002 , when grounding occurred.(1993-2002)

Type and size of ships	1993-1997										1998-2002										
	Popula- tion	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				Popula- tion	Rate of operation	Accidents		loss of lives		FI(Frequency Index)				
			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci-dent	FI(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	R1(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)			Number	Freq- uency	Number	Loss of lives/ acci-dent	FI(Freq. Index)	SI(Sever-ity Index)	R1(Risk Index)	PLL(Poten- tial Loss of Lives)	
Cargo ship	100 ~ 500GT	33328	1	59	0.0018	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	33717	1	26	0.0008	49	1.8846	2	3	5	1.453E-03
	500 ~ 1000GT	8786	1	38	0.0043	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	9037	1	30	0.0033	2	0.0667	3	1	4	2.213E-04
	1000 ~ 3000GT	19252	1	94	0.0049	5	0.0532	3	1	4	2.597E-04	20632	1	154	0.0075	2	0.0130	3	1	4	9.694E-05
	3000 ~ 10000GT	22354	1	101	0.0045	2	0.0198	3	1	4	8.947E-05	23944	1	128	0.0053	56	0.4375	3	2	5	2.339E-03
	10000 ~ 30000GT	18874	1	100	0.0053	5	0.0500	3	1	4	2.649E-04	22334	1	148	0.0066	5	0.0338	3	1	4	2.239E-04
	30000GT ~	8406	1	33	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	12375	1	64	0.0052	4	0.0625	3	1	4	3.232E-04
Total	111000	1	425	0.0038	12	0.0282	3	1	4	1.081E-04	1E+05	1	550	0.0045	118	0.2145	3	2	5	9.669E-04	
Tanker	100 ~ 500GT	10104	1	12	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	10182	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500 ~ 1000GT	5954	1	15	0.0025	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6207	1	20	0.0032	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	1000 ~ 3000GT	5576	1	22	0.0039	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	6164	1	29	0.0047	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000 ~ 10000GT	4137	1	17	0.0041	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	5784	1	26	0.0045	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	10000 ~ 30000GT	2773	1	22	0.0079	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	4089	1	39	0.0095	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT ~	3270	1	24	0.0073	1	0.0417	3	1	4	3.058E-04	5112	1	19	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
Total	31814	1	112	0.0035	1	0.0089	3	1	4	3.143E-05	37538	1	138	0.0037	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	
Passenger ships	100 ~ 500GT	15869	1	10	0.0006	342	34.2000	2	4	6	2.155E-02	17366	1	16	0.0009	1	0.0625	2	1	3	5.758E-05
	500 ~ 1000GT	3567	1	7	0.0020	16	2.2857	3	3	6	4.486E-03	3990	1	9	0.0023	16	1.7778	3	3	6	4.010E-03
	1000 ~ 3000GT	3171	1	6	0.0019	7	1.1667	3	3	6	2.208E-03	3578	1	7	0.0020	58	8.2857	3	3	6	1.621E-02
	3000 ~ 10000GT	2739	1	15	0.0055	1	0.0667	3	1	4	3.651E-04	2943	1	17	0.0058	83	4.8824	3	3	6	2.820E-02
	10000 ~ 30000GT	1379	1	11	0.0080	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	1685	1	9	0.0053	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT ~	280	1	5	0.0179	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00	535	1	7	0.0131	0	0.0000	4	1	5	0.000E+00
Total	27005	1	54	0.0020	366	6.7778	3	3	6	1.355E-02	30097	1	65	0.0022	158	2.4308	3	3	6	5.250E-03	
Others	100 ~ 500GT	64216	1	21	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	71062	1	18	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	500 ~ 1000GT	13127	1	5	0.0004	1	0.2000	2	2	4	7.618E-05	13488	1	5	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000 ~ 3000GT	9702	1	5	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	11029	1	4	0.0004	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	3000 ~ 10000GT	3173	1	6	0.0019	6	1.0000	3	3	6	1.891E-03	3675	1	2	0.0005	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000 ~ 30000GT	698	1	1	0.0014	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	802	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
	30000GT ~	63	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	116	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
Total	90979	1	38	0.0004	7	0.1842	2	2	4	7.694E-05	1E+05	1	29	0.0003	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	
Fishing ship	100 ~ 500GT	101524	1	68	0.0007	38	0.5588	2	2	4	3.743E-04	1E+05	1	50	0.0005	23	0.4600	2	2	4	2.238E-04
	500 ~ 1000GT	12850	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00	12941	1	9	0.0007	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	1000 ~ 3000GT	8131	1	11	0.0014	10	0.9091	3	2	5	1.230E-03	7338	1	9	0.0012	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	3000 ~ 10000GT	2867	1	6	0.0021	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	2354	1	2	0.0008	0	0.0000	2	1	3	0.000E+00
	10000 ~ 30000GT	588	1	1	0.0017	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00	350	1	1	0.0029	0	0.0000	3	1	4	0.000E+00
	30000GT ~	20	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00	16	1	0	0.0000	0	0.0000	1	1	2	0.000E+00
Total	125980	1	95	0.0008	48	0.5053	2	2	4	3.810E-04	1E+05	1	71	0.0006	23	0.3239	2	2	4	1.828E-04	



IMO

E

SUB-COMMITTEE ON SAFETY OF
NAVIGATION
51st session
Agenda item 10

NAV 51/10
4 March 2005
Original: ENGLISH

PASSENGER SHIP SAFETY: EFFECTIVE VOYAGE PLANNING FOR PASSENGER SHIPS

FSA - Large Passenger Ships - Navigational Safety

Submitted by Norway

SUMMARY

<i>Executive summary:</i>	This document reports on the Norwegian FSA study on Navigational Safety of Large Passenger Ships
<i>Action to be taken:</i>	Paragraph 6
<i>Related documents:</i>	NAV 49/INF.2, MSC 72/21, MSC 72/16, MSC 78/4/2, NAV 50/11/1, MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392 and SLF 47/17

1 When the Secretary-General initiated the work on Large Passenger Ship Safety at MSC 72 in May 2000, it was emphasized that a holistic approach should be chosen and that potential measures should focus on the prevention of accidents from happening in the first place.

2 As stated on previous occasions, Norway would have preferred that a broad study to identify and evaluate potential risk reducing measures in a holistic way was carried out. However, this was not the view of the majority of the member States. The second best option, in our opinion, is to conduct part analysis on important areas of the construction and operation of large passenger ships which, to some extent, can replace the broad analysis in providing a decision-making platform.

3 Following up on this second option, with focus on prevention of accidents, Norway decided to undertake an FSA-study on navigational safety of large passenger ships. Navigational safety was chosen due to the fact that relevant statistics show that collision and grounding account for a substantial part of the losses due to ship accidents.

4 Trying to identify measures to reduce the frequency of collisions and groundings is, in our opinion, important in order to increase the overall safety of large passenger ships in a cost-effective way. It should be noted that in documenting the cost efficiency of the different risk control options, it is assumed that required index R for the ships in question is 0.90. If the required index is kept on today's level, or somewhere in between these two figures, all the risk control options will be even more cost-effective.

For reasons of economy, this document is printed in a limited number. Delegates are kindly asked to bring their copies to meetings and not to request additional copies.

5 In section D.5 of the attached annex, Step 5 – “Recommendations”, the following risk control options have been documented to be cost effective and representing a considerable potential for reducing the frequency of collision and grounding:

- .1 ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)
- .2 TCS (Track Control System)
- .3 AIS (Automatic Identification System) integration with radar
- .4 Improved bridge design
- .5 Improved navigator training.

In addition, the following risk control options are cost efficient, but with limited risk reduction effects:

- .1 Automatic logging of information
- .2 Implementation of guidelines for BRM
- .3 Improved navigation system reliability.

All but the last of the recommended risk control options have net economic benefits. This implies that the reduction in economic consequence exceeds the investment. Viewed this way, the safety benefits are additional benefits.

All recommendations can also be made based on safety considerations alone, as the gross cost of averting a fatality (GCAF) is lower than the decision criteria used for safety interventions.

6 An abridged version of the full FSA report is attached in the annex. All RCOs are described in appendix II to the annex.

Action requested of the Sub-Committee

7 The Sub-Committee is invited to consider the information provided and take action as appropriate.

ANNEX

**FORMAL SAFETY ASSESSMENT
OF CRUISE SHIP NAVIGATION**

A Summary

A full Formal Safety Assessment (FSA) is performed to assess risk control options (RCOs) for cruise navigation, and the methodology, results and conclusions are presented in this report.

The basis for the recommendations given in this study is the following:

- An RCO is considered cost-effective if the GrossCAF (Cost of Averting a Fatality) is less than \$3M. This is the value used in all decisions made following the FSA studies submitted under agenda item 5, Bulk Carrier Safety, at MSC 76, December 2002 and suggested in MSC 72/16.
- Accident avoidance is important as the consequences of navigational errors can be catastrophic.
- One single catastrophic accident may damage the reputation of the whole cruise industry.
- It is of outmost importance to control both the likelihood of occurrence and the consequences; however, this study focuses on measures for avoiding accidents, not mitigating the consequences of accidents.
- As cost effectiveness is used as the decision criterion, it is implicitly assumed that large passenger ship risks are in the ALARP (As Low As Reasonably Practicable) area. As total risks are not estimated in this report, this assumption has not been verified.
- It has been demonstrated by the HARDER project, that large passenger ships has somewhat poorer damage survivability than smaller passenger ships, whilst the opposite effect would be expected in practice and as a requirement. In SLF 6/INF.5 it is suggested to require a damage survivability of 0.9. This represents the probability of surviving a collision resulting in water ingress. In this analysis it has been assumed that this requirement is enforced. If a less strict requirement is enforced, more preventive measures may become cost effective.
- Recent development within IMO indicates that a required damage survivability of 0.8 will most likely be enforced. The effect of this on the cost-effectiveness assessment of the RCOs has been considered, and even though new calculations have not been carried out, the conclusions and hence the recommendations are somewhat modified.

To avoid collisions and groundings, this study demonstrates that the following RCOs are providing considerable improved cruise navigation safety in a cost-effective manner:

- ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)
- Track control
- AIS (Automatic Identification System) integration with radar
- Improved bridge design
- Improved navigator training.

These five cost-effective RCOs with significant potential to reduce loss of lives are strongly recommended as IMO requirements. Some of these RCOs are already implemented on most cruise vessels. The measures are not, however, required by IMO. The cost benefit assessment is based on the introduction of one RCO at a time.

Some other RCOs were also concluded cost effective. However, both their costs and their contribution to saving lives are rather small:

- Automatic logging of information
- Implementation of guidelines for BRM
- Improved navigation system reliability.

Furthermore, the following RCOs have been evaluated.

- Onboard Safety and Security Centre
- Two officers on the bridge.

Given a required index $R=0.9$, those RCO's shown not to be cost-effective. However, according to the recommendation from the SLF-sub-committee, the new required index R for large passenger ships will be lower than 0.9, hence more scrutiny is needed in order to conclude whether they are cost-effective or not.

The possible lack of cost-effectiveness for these two RCOs is a result of large implementation costs; their contributions to improving safety are significant. Especially the Onboard Safety & Security Centre has high costs as the operation of such a centre would require additional space onboard and one additional officer on watch, which would be expensive. However, if the vessel already is planning to install a Security Centre to follow up security issues, the marginal cost of this RCO may be significantly reduced.

B Background information

Statistics and experience indicate that collision, contact and grounding are important accident scenarios both with respect to accident frequency, severity and claim costs. About 50% of all serious accidents with cruise vessels are related to navigation. The risk related to navigation therefore needs a special focus when considering the safety on cruise vessels.

This was the background for a planning a joint industry project involving Det Norske Veritas, The Norwegian Maritime Directorate, Kongsberg Maritime and The Norwegian Shipowners' Association using the IMO Formal Safety Assessment (FSA) methodology. The FSA methodology is illustrated in Figure 1.

In the period 1990 to 2001, 86 serious accident entries have been reported and registered in the Lloyd's Register/Fairplay's accident database for cruise vessels above 4,000 GT.

Table 1: Annual property damage frequency for cruise vessels			
Accident type	Serious casualty (excl. total loss)	Total loss	All incidents*
Collision	4.5E-03	3.4E-04	4.9E-03
Contact	3.2E-03		3.2E-03
Foundering		1.4E-03	1.4E-03
Fire/explosion	8.8E-03	2.4E-03	1.1E-02
Hull/Machinery/Equipment	7.2E-03		7.2E-03
War loss/Hostilities			0.0E+00
Wrecked/Stranded	9.1E-03	6.8E-04	9.7E-03
Miscellaneous			0.0E+00
Total	3.3E-02	4.8E-03	3.8E-02

* Non-serious incidents have not been reported to LRFP for Cruise Vessels

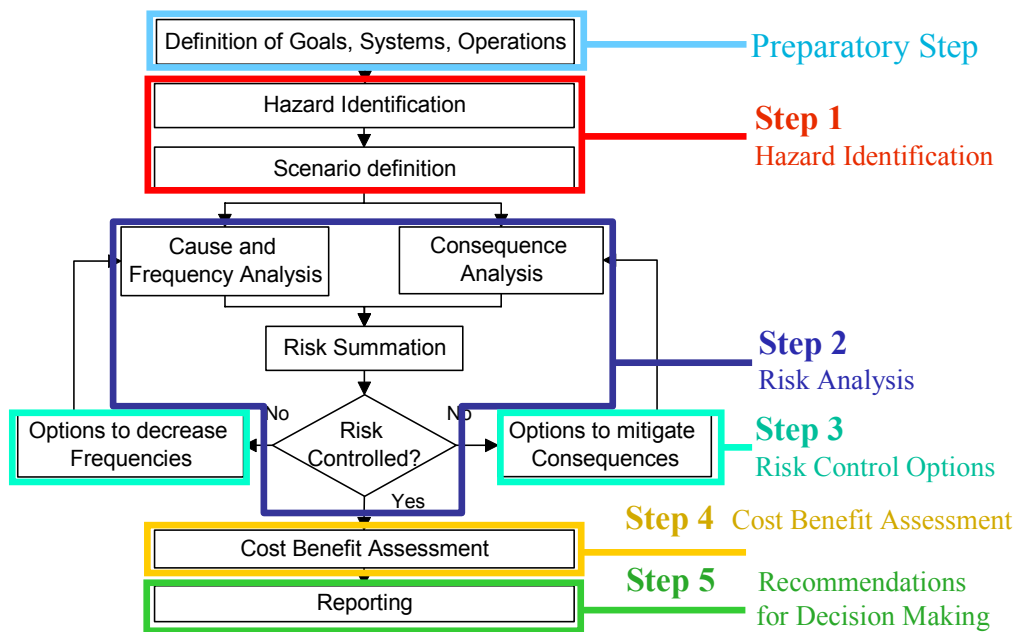


Figure 1: The five steps of FSA

B.1 Objective and scope of work

The objective of the FSA of cruise navigation is to:

Identify risk control options to be implemented for large passenger ships, related to safe navigation

This project consisted of the following activities:

STEP 1: HAZARD IDENTIFICATION

- Hazard identification have been carried out and provided input to the risk assessment (NAV 49/INF.2).

STEP 2: RISK ANALYSIS

- Risk screening – identification of available statistics and the accidents that have happened. This information serves as input to the risk modelling. Some relevant accident cases have also been further studied to reveal causes of the accidents.
- Risk assessment - Design risk models that quantify failure probabilities and consequence of grounding and collision for cruise operations. The models include human factors, technical factors, geographical and other external factors, chosen with the aim to reflect important risk contributors and to be able to evaluate the effect of RCOs. The models are designed by use of Bayesian network technique.

STEP 3: RISK CONTROL OPTIONS

- Identification of risk control options – based on the HAZID, risk modelling and expert input, 11 risk control options were identified and described.

STEP 4: COST BENEFIT ASSESSMENT

- Each of the identified RCOs has been evaluated through a cost benefit assessment, indicating their cost effectiveness by Gross Cost of Averting a Fatality (GrossCAF) and Net Cost of Averting a Fatality (NetCAF).

STEP 5: RECOMMENDATIONS FOR DECISION MAKING

- Recommendations are included at the end of this annex.

B.2 Limitations

The FSA concentrates on risk to personnel, not on environmental or property risk.

The models are intended to represent large cruise vessels only, i.e. carrying more than some 2,000 passengers. The project focuses on frequency reduction, i.e. accident avoidance, and is not intended to cover recommendations for consequence reduction.

Historically, few accidents have occurred with cruise vessels. Statistics have been used to coarsely calibrate the results from the modelling, however, statistics are not considered to be the correct answer. The observation that there is no record of a certain type of accidents in the database does not necessarily mean that the certain event can not happen. The result from the modelling is therefore the best estimate on what is the actual risk level for collision and grounding of cruise vessels.

The personnel risk includes only fatalities on own vessel, i.e. the cruise vessel, and not fatalities at the other vessel in case of collision. A cruise vessel may also pose risk to others in the event of collision. Therefore, accidents at e.g. leisure crafts are not included in the study, as they represent a negligible hazard for cruise vessels.

B.3 Abbreviations

AIS	Automatic Identification System
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
BRM	Bridge Resource Management
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ELB	Electronic Log Book
GrossCAF	Gross Cost of Averting a Fatality
DNV	Det Norske Veritas
FSA	Formal Safety Assessment
GPS	Global Positioning System
GT	Gross Ton
IMO	International Maritime Organization
LRFP	Lloyd's Register/Fairplay
NetCAF	Net Cost of Averting a Fatality
OOW	Officer on Watch
RCO	Risk Control Option
ROT	Rate of Turn
SOLAS	Safety of Life at Sea
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers
VTS	Vessel Traffic Service

C Method of work

The 5 step FSA methodology used in the study is briefly described in section B above.

The main work in the project has been carried out by risk analysts. The work with the risk assessment and the cost effectiveness assessment was done consecutively. This approach has the advantage that the risk models were reviewed in detail when the cost effectiveness assessment was carried out (repetitive use of the models).

The risk model is based on Bayesian theory and network models were made for the accident scenarios collision and powered grounding. A team of risk analysts developed the models, and the result was reviewed by navigational experts.

The cost estimation has been done primarily by contacting suppliers of navigational equipment, training centres, yards and ship owners. This is necessary to be able to estimate all relevant costs for equipment, installation, maintenance, replacement, training, etc.

There have been four major meetings during the project: The HAZID Meeting, and three expert workshops in relation to quantification of important probabilities in the risk models. In addition, a brainstorming meeting for identifying/agreeing on which risk control options to be analysed has been arranged. Furthermore, navigation experts have been involved during the whole project, and also other relevant personnel have been conferred with when found necessary.

The project started in January 2003 and was finished in October 2003.

D Description of the results achieved in each step

D.1 STEP 1 – Hazard Identification

The results from the HAZID have already been submitted to IMO and can be found in NAV 49/INF.2.

D.2 STEP 2 – Risk Analysis

First, a risk screening of the historic risk level for cruise vessels was carried out, (see Annex I of the full FSA report). The objective of this work is to present the generic risk related to navigation of cruise vessels based on as much information as possible from available historic data. This provides the necessary foundation for focusing the risk assessment, and to concentrate the effort on effective RCOs.

There are two ways to quantify risk, through statistics and through models. The disadvantage of using statistics is that statistics will only represent the past, and not take into account recent developments or new requirements. Risk modelling is the proactive approach, where risks are assessed before the accident take place.

The modern vessels are less likely to ground or collide due to technical failure than older, conventional vessels are. This will again put more focus on human and organizational factors in general, and the navigators' attention, competence and performance in particular. The importance of human elements can be well reflected in a model, however, difficult to reveal through statistics. Due to the above, risk models for collision and powered grounding were established, see appendix I of this annex for an overview or Annex II of the full FSA report for a detailed description.

The most valuable output from a risk model is not the overall risk level that are predicted by the model, but the structure itself and all the contributing factors that enables an understanding of the failure mechanisms and gives a quantified result whenever one of the input parameters is altered. Bayesian reliability theory and Bayesian networks were assessed to be ideal for this purpose.

It is quite easy to present an opinion on risk; the challenge is to quantify and document the basis for a risk prediction. In the work process to establish probabilistic input to the models, various experts and data sources were used to ensure a solid foundation for the dependencies and figures entered into the model. Statistical data were used where available. If statistical data were not available, experts were interviewed or directly involved in the modelling process.

The failure mechanisms for grounding and collisions are quite similar, and the accident models have most of the structure and nodes (contributors) in common. The results from the grounding and collision model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 2 and Table 3. Note that pr nm in the tables refer to total nautical miles sailed for all passengers, i.e. the distance sailed multiplied by number of passengers.

Table 2: Personnel risk based on grounding model		
Risk results		
Probability for powered grounding given course towards shore	1.3E-05	[pr critical course]
Fatality rate per person given course towards shore	7.9E-09	[pr critical course]
Fatality rate per person given grounding	6.1E-04	[pr grounding event]
Number of courses towards shore per nautical mile	3.6E-02	[pr nm]
Frequency for grounding per nautical mile	4.7E-07	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.8E-10	[pr nm]

Table 3: Personnel risk based on collision model		
Risk results		
Probability for collision given collision course	8.6E-06	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision course	4.6E-08	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision	5.4E-03	[pr collision event]
Number of collision courses per nautical mile	4.4E-03	[pr nm]
Frequency for collision per nautical mile	3.8E-08	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.0E-10	[pr nm]

The predicted accident frequencies are somewhat lower than the figures in the accident statistics. This is reasonable due to the fact that the statistics show a continuously declining accident trend. The main reasons are the improved vessel manoeuvrability and modern navigational equipment, which will ensure reduced accident frequency. However, the poor damage stability makes the cruise vessel vulnerable to hull damage, and therefore the consequences of both collision and grounding are considered to be severe. This is taken into account in the risk model.

The model results show that powered grounding represents 40% higher risk for loss of lives than collision. This is due to a higher accident frequency for grounding than for collision. Due to the high proportion of non-serious groundings, a collision is nine times as dangerous for people onboard compared to a grounding accident (Compare third line of Table 2 with third line in Table 3.)

In order to convert the fatality rates in the table [pr nm] to the more commonly used [per person year] or [per ship year], the following average exposure is assumed: 7.5E+4 nm per person year and 1.5E+08 nm per shipyear. This is based on a typical cruise trade of 1,500 nm, an average of 50 trades per year and an average of 2,000 people on board for each trade.

No fatal grounding accidents have occurred so far for cruise vessels according to the available statistics. However, the individual risk in this model shows a fatality frequency of 2.2E-05 per person year, i.e. with 2,000 people on board, this means a fatality frequency of 4.4E-02 per ship year (1 fatality every 23 years per ship). The model also shows that the potential risk for a catastrophic grounding accident with more than 100 people killed is 2.4E-04 per ship year, i.e. every 3,900 years per vessel in the fleet.

The corresponding figure for collision is an individual risk of 1.6E-05 per person year, which is in the same order of magnitude as what the statistics show. A vessel in a typical trade with 2,000 people on board has then a fatality frequency of 3.1E-02 per ship year due to collision (1 fatality every 32 years per ship). The potential risk for a catastrophic collision accident

(i.e. more than 100 fatalities) is $3.9E-05$ per ship year, i.e. every 25,000 years per vessel in the fleet.

The most important learning from the project is the understanding of the relation between the influencing factors that contribute to grounding and collision. The most important use of the models will be as a tool to evaluate the effect of risk control options or new regulations. The models will thus be used in subsequent steps of the FSA, which is the cost-benefit analysis of identified risk control options.

D.3 STEP 3 – Identification of Risk Control Options

The descriptions of the major hazards and corresponding risk control options from the hazard identification and the risk assessment were summarized and presented to navigational experts, as well as to a group of ship operators and the Norwegian steering committee for the FSA project. The list of RCOs was discussed and prioritized in each of these forums. This resulted in the following list of RCOs:

RCOs to reduce the distraction level for the navigators

- Onboard Safety and Security Center
- Automatic logging of information
- Two officers on the bridge

RCOs to liberate more time to observations

- Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)
- Automatic Identification System (AIS)
 - Integration with ARPA radar
- Track Control

RCOs for improved human performance

- Improved bridge design
 - user interface
 - the design of the work station (ergonomic conditions)
 - bridge layout
- Improved navigator training
 - Simulator training
- Implementation of guidelines for Bridge Resource Management (BRM)

RCOs for improved technical performance

- Navigation system reliability

The focus has been kept on identifying RCOs for future cruise ships that are expected to be larger than most vessels today. It was decided that these RCOs were to be assessed by cost benefit assessment. The RCOs are thoroughly described in appendix II of this annex.

D.4 STEP 4 – Cost Benefit Assessment

The objective for the cost benefit assessment is to evaluate the cost effectiveness of implementing the suggested risk control options. The aim of performing such an analysis is to establish a list of recommendations on cost effective risk control options that will reduce the

frequency of incidences and accidents on large cruise vessels as a result of navigational errors. Step 4 is described in further detail in appendix III of this annex.

As a basis for the cost benefit calculations, the following important assumptions are made:

- The total number of persons onboard: 5,000
- The average lifetime of the cruise vessel: 30 years

The GrossCAF and NetCAF values are presented in Table 4.

No	Risk Control Option	Gross CAF [\$]	NetCAF [\$]
1	Onboard Safety and Security Centre	\$9,200,000	\$7,200,000
2	Automatic logging of information (Electronic logbook)	\$2,000,000	< 0
3	Two officers on the bridge	\$9,400,000	\$7,600,000
4a	ECDIS	\$2,000	< 0
4b	ECDIS (no track control)	\$3,000	< 0
5	AIS integration with radar	\$5,000	< 0
6	Track control system	\$1,000	< 0
7a	Improved bridge design (above SOLAS)	\$340,000	< 0
7b	Improved bridge design (above average)	\$350,000	< 0
8	Improved Navigator Training	\$350,000	< 0
9	Implementation of guidelines for BRM (Bridge Resource Management)	\$870,000	< 0
10	Navigation system reliability	\$7,100,000	\$4,800,000

All numbers are based on introduction of one RCO at the time only. Introduction of one RCO will lead to higher NetCAF/GrossCAFs for all other RCOs as the remaining risk is less.

The results show that *RCO1 Onboard Safety and Security Centre*, *RCO3 Two officers on the bridge* and *RCO10 Navigation System Reliability* have high values for both GrossCAF and NetCAF compared to the other RCOs. The GrossCAFs are above \$7M and NetCAFs above \$4.8M. All other RCOs have GrossCAF below \$3M and negative NetCAFs.

A negative NetCAF indicates that the RCO is economically beneficial in itself, i.e. the costs of implementing the RCO is less than the economical benefit of implementing it due to the monetary gain of the risk reduction. Life saving would represent an additional benefit. Such RCOs should therefore be implemented. The economical benefit is in this assessment only measured in terms of reduced accident costs. Other economical benefits, e.g. fewer business interruptions, are not considered. If all benefits were included, this would make the RCOs more cost-effective. The results presented therefore seem to be robust.

Some of these RCOs are already implemented on most cruise vessels. For example, *RCO4 ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)* is installed on practically every vessel in the cruise fleet and proves in this assessment to be very cost effective. This measure is not, however, a requirement in SOLAS.

In addition, *RCO5 AIS integration with radar* and *RCO6 Track control* are among the most cost effective measures in this evaluation. Both the GrossCAF and the NetCAF values are low. *RCO7 Improved bridge design* and *RCO8 Improved navigator training* are also areas for improvement, and the assessment indicates high cost-effectiveness.

It is also noted that if a required index of $R = 0.8$ were assumed in the cost-effectiveness assessment, *RCO10 Navigation System Reliability* would most probably prove to be cost effective (although with limited risk reduction effect). Furthermore, GrossCAF and NetCAF values for *RCO1 Onboard Safety and Security Centre* and *RCO3 Two officers on the bridge* would be significantly reduced.

D.5 STEP 5 – Recommendations

As basis for the recommendations it is observed that:

- An RCO is considered cost-effective if the GrossCAF (Cost of Averting a Fatality) is less than \$3M. This is the value used in all decisions made following the FSA studies submitted under agenda item 5, Bulk Carrier Safety, at MSC 76, December 2002 and suggested in MSC 72/16.
- Accident avoidance is important as the consequences of navigational errors can be catastrophic.
- It is of utmost importance to control both the likelihood of occurrence and the consequences; however, this study focuses on measures for avoiding accidents, not mitigating accidents.
- As cost effectiveness is used as the decision criterion, it is implicitly assumed that large passenger ship risks are in the ALARP (As Low As Reasonably Practicable) area. As total risks are not estimated in this report, this assumption has not been verified.
- It has been demonstrated by the HARDER project, that large passenger ships has somewhat poorer damage survivability than smaller passenger ships, whilst the opposite effect would be expected in practice and as a requirement. In SLF 46/INF.5 it is suggested to require a damage survivability of 0.9. This represents the probability of surviving a collision resulting in water ingress. In this analysis it has been assumed that this requirement is enforced. If a less strict requirement is enforced, more preventive measures may become cost effective.
- Recent development within IMO indicates that a required damage survivability of 0.8 will most likely be enforced. The effect of this on the cost-effectiveness assessment of the RCOs has been considered, and even though new calculations have not been carried out, the conclusions and hence the recommendations are somewhat modified.

To avoid collision and grounding, this study demonstrates that the following RCOs are providing considerable improved cruise navigation safety in a cost-effective manner (see appendix III of this annex for a detailed description):

- ECDIS
- Track control
- AIS integration with radar
- Improved bridge design
- Improved navigator training.

These five cost-effective RCOs with significant potential to reduce loss of lives are strongly recommended as IMO requirements. Some of these RCOs are already implemented on most cruise vessels. The measures are not, however, required by IMO. The cost benefit assessment is based on introduction of one RCO at a time only. However, the conclusions are robust in any case.

Some other RCOs were also concluded cost effective. However, both their costs and their contribution to saving lives are rather small:

- Automatic logging of information
- Implementation of guidelines for BRM
- Improved navigation system reliability.

Furthermore, the following RCOs have been evaluated:

- Onboard Safety and Security Centre
- Two officers on the bridge

Given a required index $R = 0.9$, those RCO's shown not to be cost-effective. However, according to the recommendation from the SLF Sub-Committee, the new required index R for large passenger ships will be lower than 0.9, hence more scrutiny is needed in order to conclude whether they are cost-effective or not:

The possible lack of cost-effectiveness for these two is a result of large implementation costs; their contributions to improving safety are significant. Especially the Onboard Safety & Security Centre has high costs as the operation of such a centre would require additional space onboard and one additional officer on watch. This is expensive; however, if the vessel already is planning to install a Security Centre to follow up security issues, the marginal cost of this RCO may be significantly reduced.

APPENDIX I – The risk models

I.1 General

The accident scenarios collision and grounding have been modelled. Because the available statistical foundation is weak for cruise ships, relying on accident statistics is not possible. Statistics represent events in the past and may exclude severe scenarios that have not yet happened, especially if the data foundation is poor. In addition, the quality and sensitivity of the results are quite dependent on the extent of data. If accident statistics only are including few cases representing an accident scenario, one additional serious accident can dramatically change the results. For cruise vessels, the statistical foundation is limited compared to most other vessel types, due to relatively small fleet.

When modelling a scenario, all important parameters that influence the frequency and the consequence of the event are included, regardless of whether similar accidents have happened. This cause analysis enables an effective evaluation of introducing risk control options (RCOs).

The model is based on the need to be able to analyse and evaluate the effect of RCOs, both those that are already implemented and those that will be implemented shortly. The models are, however, not intended to cover RCOs for consequence reduction.

I.2 Trade and waters sailed by cruise ships

The cruise industry is dominated by some specific trades. To be able to estimate the frequency of critical situations, i.e. exposure to grounding and collisions, the characteristics and the traffic intensity of the generic cruise routes were identified. A generic route is a cruise route representative for the different cruise routes in the trade.

The cruise trades were divided into five main trades based on market information and expert judgement. Further, the passage was divided into three water types: Open waters, Coastal waters and Narrow waters. This division was done by expert judgements. The results are given in Table 5.

Trading area	Percentage of cruise ships in trade	Type of water [% of time]		
		Open	Coastal	Narrow
Caribbean	55%	70%	25%	5%
Alaska/Canada	13%	10%	45%	45%
Europe	15%	20%	40%	40%
Asia	15%	70%	20%	10%
Other	7%	70%	20%	10%

The types of waters are defined as:

- Open waters: No obstacles within 5 nautical miles in all directions
- Coastal waters: No obstacles within 2 nautical miles in all directions
- Narrow waters: No obstacles within 0.5 nautical miles in any direction.

The division into water types enable a calculation of the frequency of critical courses towards shore and the number of collision courses a cruise vessel is likely to encounter, e.g. a cruise vessel will have more critical courses in coastal waters and a meeting situation in narrow waters is more likely to give a collision course than a meeting situation in open waters.

I.3 The grounding scenario

It is distinguished between powered grounding and drift grounding, defined as follows:

- **Powered grounding** – An event in which grounding occurs because a vessel proceeds down an unsafe track, even though it is able to follow a safe track, due to errors related to human or technical failure.
- **Drift grounding** – An event in which grounding occurs because the vessel is unable to follow a safe track due to mechanical failure, adverse environmental conditions, anchor failure, and assistance failure.

Only powered grounding is considered to be navigation related. Drift grounding is therefore not considered in this study. ‘Grounding’ in this study is thus equivalent to ‘Powered grounding’.

Figure 2 gives a brief overview of the risk model developed by Bayesian network for grounding. The nodes are only illustrative and are not the nodes used in the actual model, which has a far higher level of detail. The full model is enclosed in Appendix A of Annex II of the full FSA report.

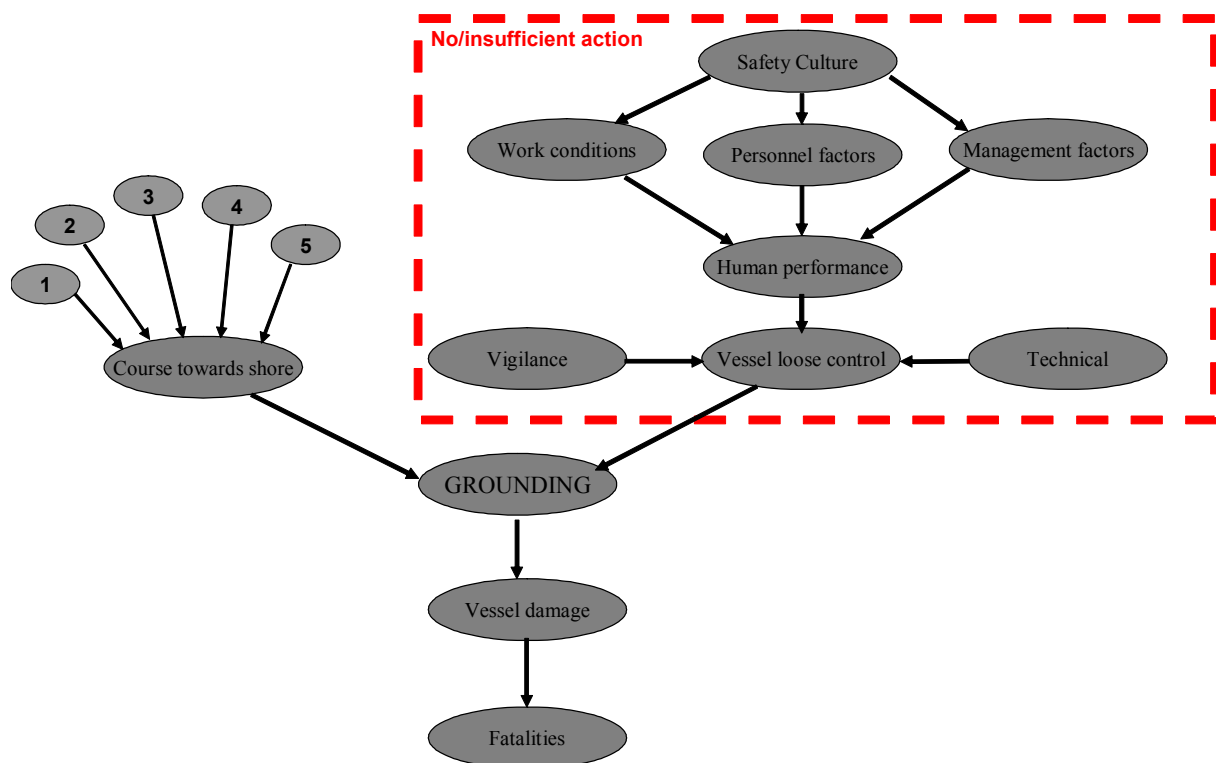


Figure 2: Overview of Bayesian grounding model

Briefly explained, the left side of the figure illustrates the level of grounding risk that the vessel is exposed to, while the right side indicates how well the ship handles this risk. The lower part of the diagram illustrates the consequences.

The left side of the figure ('Course towards shore') is the frequency of critical situations where loss of control is critical and grounding may happen. The number of courses towards shore is modelled in Excel. The Excel model contains five scenarios that may lead to grounding:

1. Course towards shore, supposed to change course - does not turn
2. Course along shore, not supposed to change course - turns towards shore
3. Course along shore, drift-off, should correct course - does not correct course
4. Wrong position, should steer away from object - does not steer away
5. Meeting/crossing traffic, supposed to give way - gives way, steers towards shore

The five scenarios are illustrated in Figure 3.

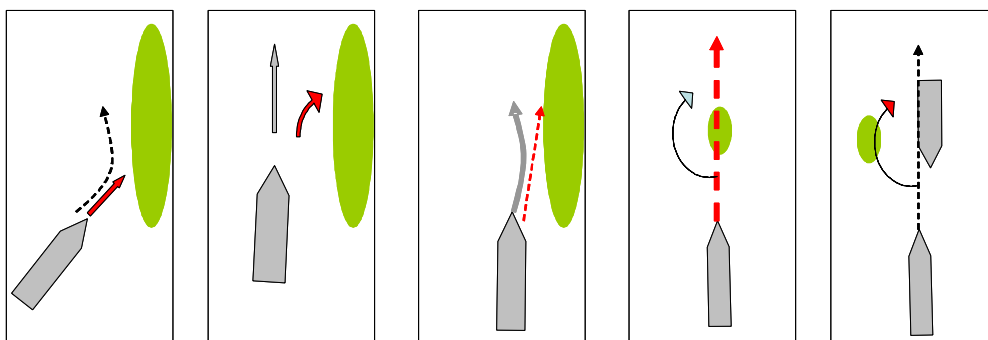


Figure 3: The five grounding scenarios

The frequencies of “course towards shore” for each of the five scenarios were estimated based on expert judgement. The trades described in section I.2 of this appendix were used as basis to estimate an overall frequency for a generic trade.

The right side of the network in Figure 2 illustrates that there are many factors influencing that the vessel loses control. Experience and statistics show that human failures are more important to powered grounding than technical performance; a typically ratio between human and technical failures resulting in accidents is 80%-20%. The navigators' main tasks are to:

- *Perceive* the situation correctly and collect all necessary information;
- *Assess* of the perceived information, *make decisions* and give orders;
- *Act* in the form of navigational courses or changes in speed;
- *Quality assure* to ensure correct decision and/or executed action.

The ability to perform the tasks with high attention and under an acceptable stress level is influenced by several factors:

- Management factors – training of personnel, planning routines, checklists before start-up, evacuation drills, etc.
- Working conditions:
 - Internal: hours on watch, responsibilities, bridge design, distraction level, etc.
 - External: weather, visibility, marking of lane, day/night, etc.

- Personal factors - the physical and mental state of the officer on watch (tired, stress level, intoxicated, etc.)

If the OOW is not able to react or has not discovered the dangerous course, it is taken into account in the model that there may be some sort of vigilance onboard the vessel (e.g. OOW No.2 or pilot) or externally (VTS). Also the technical performance of the ship is important in order to avoid grounding. However, loss of propulsion resulting in drift grounding is not considered in this project. Failure of steering is, however, modelled as this is necessary to avoid the danger. Both human and technical performance is influenced by the company's safety culture, i.e. how well the vessel operating company deals with safety issues and how well the company promotes a good safety mindset among its employees.

The combination of a critical course and no avoiding action (human or technical) is represented as the vessel has lost control. Grounding is then the result. The degree of severity in vessel damage and internal and external circumstances will influence the probability of fatality per person on board, i.e. individual risk.

Due to the complexity and the extent of the model, the model is not included in full. The complete model may be found in Appendix A to Annex II of the full FSA report where also the probability input to the grounding network is included. The nodes from the grounding network are described in Appendix C and the Excel model describing the exposure is included in Appendix D of Annex II of the full FSA report.

I.4 The collision scenario

Collision is in this study defined as one vessel hitting another vessel. Navigational or technical failures, which cause loss of control on one of the vessels, will cause collision if the other vessel is not able to prevent the collision. The two vessels are addressed as own vessel and other vessel. Figure 4 gives an overview of the risk model developed in the Bayesian network for collision.

Collision is based on the same model as grounding, taking into account the following differences:

- collision with an object that moves
- the object's exact position can not be planned on beforehand
- collision is with an object that can react to the situation
- unpredictable reactions from other object are possible.

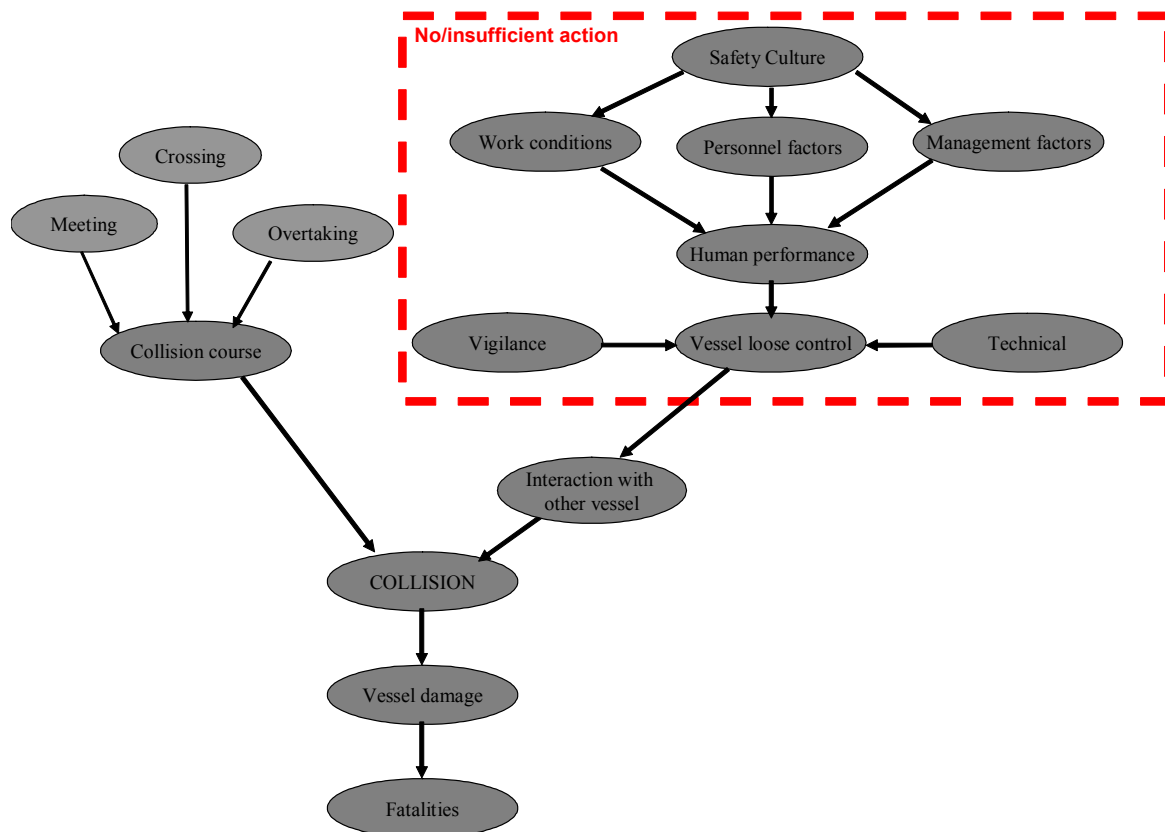


Figure 4: Overview of Bayesian collision model

The modelling of loss of control of the vessel is more or less the same as for grounding, except that interaction with the other vessel (give-way rules and practices, communication, etc.) is included.

The number of collision courses is modelled in Excel. As for the grounding scenario, the five cruise trades were used as basis with a generic route. For each trade, the traffic intensity was estimated based on data from the AMVER database. The types of waters were divided in three categories; open waters, coastal waters or narrow waters as explained in section I.2. The geometric frequency of collision courses is calculated by taking into account the type of waters, the traffic intensity and the vessel dimensions and speeds. Three collision scenarios were included in the model:

- Collision with meeting vessels
- Collision with crossing vessels
- Collision with overtaking vessels.

The cruise vessel is “our” vessel and the “other” vessel is modelled as any other merchant vessel, including passenger and fishing vessels. Leisure crafts are not included. It is assumed that damage to hull structure or injuries to crew or passengers for cruise ships colliding with recreations crafts are negligible.

Due to the complexity and the extent of the model, the model is not included in full. The complete model may be found in Appendix B of Annex II of the full FSA report where also the probability input to the grounding network is included. The nodes from the collision network are described in Appendix C and the Excel model describing the exposure is included in Appendix D of Annex II of the full FSA report.

I.5 Results – Grounding

The results from the grounding model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 6 below.

Table 6: Risk based on grounding model		
Risk results		
Probability for powered grounding given course towards shore	1.3E-05	[pr critical course]
Fatality rate per person given course towards shore	7.9E-09	[pr critical course]
Fatality rate per person given grounding	6.1E-04	[pr grounding event]
Number of courses towards shore per nautical mile	3.6E-02	[pr nm]
Frequency for grounding per nautical mile	4.7E-07	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.8E-10	[pr nm]

Directly compared with accident statistics the modelling results for accident frequencies are a factor of 3.5 higher. This is due to the fact that only serious accidents are reported to Lloyd's/Fairplay's accident database, while the risk model includes all grounding events. The risk model shows that 89% of the events have consequences 'No/minor', 10% is 'Major' and 1% is 'Catastrophic'. Many of the 'No/minor' accidents are not severe enough to be reported to the database. Hitting sand banks is a common problem, e.g. in Caribbean, but rarely causing damage to the vessel.

Due to the high proportion of minor accidents, which would not be included in the accident statistics, the total accident frequencies estimated from the model are believed to be lower than the statistics. This is reasonable due to the fact that the statistics are based on history, which demonstrates a declining accident trend the last years. Taking into account the increasing standard of navigational equipment and new grounding avoidance systems entering the industry, it is expected that the grounding frequencies are in fact well below the accident statistics.

However, the poor damage stability makes the cruise vessel vulnerable to hull damage, and therefore the consequences of both grounding and collision are considered to be severe. This is taken into account in the risk model, mainly based on data from SLF 46/INF.5 and other reports. The individual risk in this model shows a frequency of 2.8E-10 per nm, i.e. 2.2E-05 per person year with a typical weekly trade of 1500 nm. This means that a cruise vessel trading with 2,000 people on board has a fatality frequency of 4.4E-02 per ship year due to grounding (1 fatality every 23 years).

The model shows that the potential risk for a catastrophic grounding accident with more than 100 people killed is 2.4E-04 per ship year, i.e. every 3,900 years per vessel in the fleet.

I.6 Results – Collision

The results from the collision model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 7.

Table 7: Risk based on collision model		
Risk results		
Probability for collision given collision course	8.6E-06	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision course	4.6E-08	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision	5.4E-03	[pr collision event]
Number of collision courses per nautical mile	4.4E-03	[pr nm]
Frequency for collision per nautical mile	3.8E-08	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.0E-10	[pr nm]

Compared with accident statistics the collision frequencies are about 30% lower. The risk model shows that 60% of the events have consequences ‘No/minor’, 39% is ‘Major’ and 1% is ‘Catastrophic’. However, only serious accidents are reported to Lloyd’s/Fairplay’s accident database, while the risk model includes all collision events. Many of these accidents are not severe enough to be reported to the database. However as earlier mentioned, the statistics are based on history, which demonstrates a declining accident trend the last years. Taking into account the increasing standard of navigational equipment and new collision avoidance systems entering the industry, it is expected, as for the grounding scenario, that the collision frequencies are well below the accident statistics.

The statistics shows an individual fatality frequency of 1.9E-05 per person year. Assuming a typical weekly trade of 1500 nm, the individual risk in this model shows a frequency of 1.6E-05 per person year. This means that a cruise vessel having a typical trade with 2,000 people on board has a fatality frequency of 3.1E-02 per ship year due to collision (1 fatality every 32 years).

The model shows that the potential risk for a catastrophic collision accident with more than 100 people killed is 3.9E-05 per ship year, i.e. every 25,000 years per vessel in the fleet.

The model results show that powered grounding represents 40% higher risk for loss of lives than collision. This is due to a higher accident frequency for grounding than for collision. Due to the high proportion of non-serious groundings, a collision is nine times as dangerous for people on board than a grounding accident.

APPENDIX II – Risk Control Options

In the following, the prioritized list of risk control options that were established within the project will be described. The risk control options are divided into four categories, i.e. RCOs to reduce the distraction level for the navigators, RCOs to liberate more time to observations, RCOs for improved human performance and RCOs for improved technical performance.

II.1 RCOs to reduce the distraction level for the navigators

The navigator on watch is often exposed to many distractions and has tasks that are not related to navigation. These distractions and tasks take away some of the attention from the navigation and thus increase the risk for the vessel. The following RCOs are proposed to minimize the level of distractions for the navigators.

RCO1: Introduction of Onboard Safety and Security Centre

The bridge is a “continuously manned central control station”, as defined in SOLAS, and the bridge has therefore a number of functions that are not related to navigation. These non-navigational functions might take away the attention towards navigation from the officers on watch. Some of the non-navigational functions are:

- Fire safety system
- Damage Control Equipment
- Decision support system
- Non-navigational external communication.

The non-navigational functions could be reorganized into a continuously manned safety centre, located separately from the bridge. The centre could for example be located close to the hotel reception, which is already continuously manned.

The operation of such a centre would require one additional officer on watch at any given time. A space for repeaters and other equipment would also be needed. The space required for such a centre is assumed to be the same size as one passenger cabin of the smallest size.

RCO2: Automatic logging of information

SOLAS specifies the type and frequency of necessary entries into a vessel’s deck log book. Such entries involve almost all operations taking place onboard the vessel (route details, entering and leaving port, watch information, drills carried out, etc.). The task of manually entering data into the deck log book is somewhat time-consuming, and could result in distractions for the operating officer from his observation duties.

A number of the required entries into the deck log book could be done automatically, without interference of human presence, by adopting an electronic logbook (ELB). Such a system is based on IT technology, and replaces paper versions of logbooks. ELBs will be online with most of the bridge’s navigational equipment and other vital sensors for the vessel’s operation, providing automatic entry of chosen online information, either continuously or on predetermined time intervals. Such information could be:

- Navigation related (Speed, distance, position, heading, etc.)
- Safety related (Alarms and relevant panels)
- Vessel's operation related (tank status).

Manual entries can be made for everything related to the vessel's operation, either in text form or filling up of a pre-specified table.

Finally, exchange of data between the vessel and the company will become easier, enabling shore personnel to have a continuous overview of the vessel's status. Adopting ELBs into the daily operations of a vessel is assessed to make routine work easier, resulting into more dedication to navigational tasks, and thereby somewhat improving safety as a whole.

RCO3: Two officers on the bridge

The minimum safe manning of the bridge is regulated by IMO resolution A.890(21). The resolution defines minimum safe manning for navigation as being able to:

1. plan and conduct safe navigation
2. maintain a safe navigational watch
3. manoeuvre and handle the ship under all conditions
4. moor and unmoor the ship safely.

The resolution calls for one navigational officer and one lookout on the bridge. However, the manning in the cruise industry is most commonly to have two navigational officers on watch, and one extra watch in difficult or critical situations, e.g. congested areas. Typically, the tasks and responsibilities are clearly defined by having one officer to focus on navigating the vessel in the waters and one to focus on the traffic situation in the area or other tasks that have to be taken care of. The risk for navigational mistakes is reduced by having two officers compared to one officer on watch.

One additional officer on watch requires 6 extra officers per ship, 3 onboard and 3 onshore at any given time. The officers onboard will require 3 additional officers' cabins, which would reduce the number of passenger cabins by 3.

II.2 RCOs to liberate more time to observations

The bridge watch has to keep track of other vessels in the area to avoid collisions and also to carefully observe the geography, i.e. shore both above and under water, in order to avoid grounding. As the navigators have many time-consuming and distractive tasks, navigational aids can make navigation easier and liberate more time to visual observations. The following RCOs are electronic aids that assist the bridge watch in performing their tasks, and thus are contributing to reduce the risk of the vessel.

RCO4: Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)

Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) is a navigation aid that can be used instead of nautical paper charts and publications to plan and display the ship's route, plot and monitor positions throughout the intended voyage.

ECDIS is a real-time geographic information system. It is capable of continuously determining a vessel's position in relation to land, charted objects, navigational aids, possible unseen hazards, and represents a new approach to maritime navigation. In daily navigational operations, it should reduce the workload of the navigating officers compared to using paper charts. Route planning, monitoring and positioning will be performed in a more convenient and continuously real time way, enabling the navigator to have a continuous overview of the situation.

ECDIS is a sophisticated electronic navigation system, which is possible to integrate with both the radar system and Automatic Identification System (AIS). The ECDIS is thus a powerful navigational tool, which has proved to have a high risk reducing effect.

This RCO has been evaluated in two different manners:

1. With ECDIS and track control compared to the risk level without ECDIS and track control
2. Without track control. The RCO has been tested by comparing with ECDIS and without ECDIS.

RCO5: Integration of AIS with ARPA radar

An Automatic Identification System (AIS) is designed to send and receive information in relation with a vessel's identity (e.g. name, call sign, and dimensions), course (e.g. route, speed) and cargo. Current regulations, implemented mainly due to security reasons, require the information to be presented into an AIS display. The most common type of installed display (minimum required) provides three lines of data consisting of basic information of a selected target (name, range and bearing). Additional information regarding the target can be provided by scrolling. A huge amount of information received by the AIS is hidden behind the small display, and it is time consuming and distracting for the navigator to search for the information.

The AIS can be connected to the radar's ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) function, and provide all the additional "hidden" data into the radar display. By selecting an AIS target into the ARPA display, the navigator will be able to see all available information for the particular vessel. Besides the easier access of AIS information through the ARPA, there are five more areas where the AIS integration improves the radar performance:

- Detection of targets which are in radar shadow areas
- Identification of radar targets into ship's names
- Takes account of the ships rate of turn (ROT), hence, predicting more accurate the target's path
- In some cases extends radar's range
- Clarifies the target intentions.

AIS can become a useful source of supplementary information and an important tool in enhancing situation awareness of the traffic conditions. Benefits deriving from the AIS-ARPA interface, will improve the navigator's ability to make early decisions based on real-time data, and avoid potential collisions.

RCO6: Track control

Track control and track keeping systems were developed on the basis of continuously comparing the vessel's actual course, with the originally planned one. The route of the vessel is planned before departure and is entered in the track control system. Through real time information from navigational equipment, the system ensures that the planned route is followed. In case a deviation occurs, e.g. due to environmental forces, the vessel is automatically corrected to follow the track.

The basic philosophy for developing track control systems is that a vessel can not run aground if the route is properly planned and the ship follows the route for the entire voyage. Even though this is a powerful tool, the navigator has of course to ensure that the plotted track is actually followed.

Implementation of track control systems will also liberate more time for the operating officer to monitor traffic conditions.

II.3 RCOs for improved human performance

The following RCOs are suggested to improve the performance of the officers on watch. These are related both to improved working environment, competence and optimal use of the human resources on the bridge.

RCO7: Improved bridge design

Improved bridge design was decided to be one of the most important RCOs during the HAZID process with navigation experts (see NAV 49/INF.2). By the term "improved", it is implied upgrading from a standard/minimum SOLAS bridge, which is equipped with the minimum required equipment and which gives very limited requirements regarding the bridge layout. It is common for cruise vessels to go beyond the minimum required standards in relation to bridge design, and to upgrade to a more sophisticated level. The degree of this upgrading depends on the policy of each cruise vessel operator.

In order to quantify "improved bridge design" and the degree of the upgrading, DNV's voluntary class notation NAUT-AW is used for description as input to the cost benefit assessment. The aim for developing DNV Rules for nautical safety was to reduce the probability of a failure, caused by any reason, within the bridge team and therefore enhance safety. NAUT-AW or similar, as an addition to the SOLAS requirements, regulates the following sectors:

- Design of the workspace and the bridge layout
- Navigational equipment
- Human-machine interface.

As a result of implementing NAUT-AW or similar, the efficient performance of all navigation related tasks as well as good co-operation within the bridge team is enhanced by improved bridge design to enable efficient management of all operating conditions of the vessel. The following aspects of improved bridge design are included:

- Bridge layout and workstation arrangement
- Task specific workstations
- Design and ergonomics of workstations including location of instruments

- Field of vision from workstations
- Bridge physical working environment.

RCO8: Improved navigator training

The basic training requirements for the navigators are defined in the IMO safety convention International Convention on Standards of Training, Certification and Watch-keeping for Seafarers (STCW). STCW defines what kind of training the navigators should have and how often they need to take refreshment training. The requirements cover all basic navigational skills.

The training as required by STCW is a minimum, and it is further assessed that improved navigator training would have positive effect on the safety level of the vessel. An example of improved navigator training is advanced ship manoeuvring, including training of crisis situations which can only be done safely in simulators. The training should be done with simulators to give a real life experience of the given situations and thus preparing the navigators in case they face a similar incident.

Improved navigator training is here defined as sending all crew members forming part of the bridge team on simulator training in topics exceeding STCW requirements every 5 years.

RCO9: Implementation of guidelines for Bridge Resource Management

Bridge Resource Management (BRM) is designed to ensure efficient use of personnel and equipment during vessel operations. BRM is designed to reduce errors and omissions in bridge operations through a simple system of checks and delegation of duties. BRM system emphasizes a co-ordinated effort among bridge personnel to ensure smooth, efficient and safe operation of the vessel. The 1995 amendments to the STCW include a requirement for training in bridge team procedures and a recommendation for training in BRM techniques.

The main objectives of BRM are:

- To assist the ship master in managing the vessel's bridge team for each voyage so that personnel are rested, trained and prepared to handle any situation.
- To help the ship master recognize workload demands and other risk factors that may affect decisions in setting watch conditions.
- To ensure bridge team members are trained and aware of their responsibilities.
- To help bridge team members interact with and support the master and/or the pilot.

The implementation of BRM is assumed to involve some initial preparations of procedures to be followed and definition of relevant responsibilities. In addition, the bridge teams are assumed to go through a BRM course to assist the implementation. For communication and responsibilities that are connected to the onshore personnel, such training should also include key onshore personnel.

II.4 RCOs for improved technical performance

One concern that was raised in the HAZID was the technical performance of the integrated bridge systems. Only one risk control option is proposed for this issue, and this is related to improving the availability of the navigational equipment.

RCO10: Improved navigational systems availability

The navigational systems availability is assumed mainly to be influenced by the redundancy of the navigational components. The interface between different systems might also be a problem, especially software interfaces, but this problem has not been included.

The navigational equipment, as required by SOLAS, is mostly redundant on standard bridges today. The important exceptions are the gyroscopic compass and the Global Positioning System (GPS). These items are not required to be duplicated and therefore they are most often not.

Improved navigational systems availability is here defined as installation of one extra gyroscopic compass and one extra GPS.

APPENDIX III – Cost Benefit Assessment

III.1 Methodology for cost benefit assessment

III.1.1 Assessment criteria

The cost-effectiveness of the RCOs is expressed in terms of Gross Cost of Averting a Fatality (GrossCAF) and Net Cost of Averting a Fatality (NetCAF). Their definitions are (in accordance with MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392):

$$GrossCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

and

$$NetCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R}$$

where:

ΔC is the cost per ship of the risk control option during the lifetime of the vessel

ΔB is the economic benefit per ship resulting from the implementation of the risk control option

ΔR is the risk reduction per ship, in terms of the number of fatalities averted, implied by the risk control option.

Comparison of cost effectiveness for RCOs may be made by calculating such indices.

III.1.2 Work processes and data sources

The work with the cost benefit assessment consisted mainly of estimating the three parameters cost, benefit and risk reduction for each proposed RCO in order to calculate GrossCAF and NetCAF values.

Regarding the costs, indications were given from suppliers of navigational equipment, ship owners, yards, training centres, DNV, etc. Where possible and appropriate, several sources of information were used to get a highest and lowest cost estimate.

For the economical benefit of introducing a measure, this is mainly accounted for in terms of reduced accident costs. A risk model was made in Step 3 of the FSA, which has shown to be a powerful tool when estimating the risk reduction of implementing the RCOs.

All RCOs are assessed independently from the others, meaning that all numbers are based on introduction of one RCO at a time only. Introduction of one RCO will lead to higher GrossCAFs for all other RCOs, as the remaining risk is less. The only exception is the “Improved Bridge Design”, which will imply also implementation of ECDIS, AIS integrated with radar and Track Control system.

III.1.3 Risk calculations

For estimating the possible risk reduction of implementing the measures, the risk model from Step 3 of the FSA was used. The model was made by using Bayesian theory and a Bayesian network software package, which gives a useful tool for evaluating effects of risk reducing measures. More information on the model can be found in Annex II of the full FSA report.

Figure 5 gives a brief overview of the risk model for collision. The nodes are only illustrative and are not the nodes used in the actual model, which are of a far higher level of detail. The model has been used by changing the conditions for one node in the network corresponding to what the RCO implies and studied the risk reducing effect this will have.

An example: “Improved bridge design” is taken as upgrading a standard SOLAS bridge to a design corresponding to the DNV’s class notation NAUT-AW. The node “Bridge Design” in the network was then changed from fulfilling the minimum requirements to fulfil the requirements of NAUT-AW. By doing this, the difference in fatality frequency has been reduced. The risk reduction could then be recorded.

The risk reduction has been found in terms of lives saved per vessel lifetime, and served as input to the GrossCAF and NetCAF calculations.

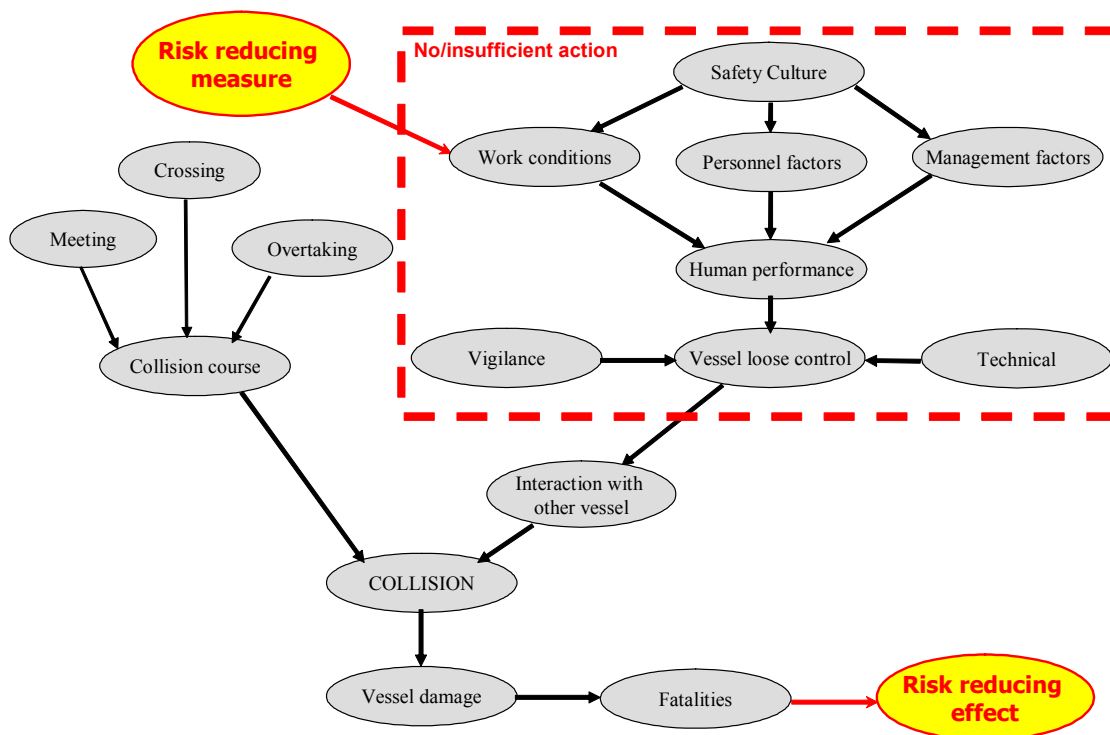


Figure 5: Overview of collision model

III.1.4 Cost and benefit calculations

The cost and benefit of the RCOs will be spread over the lifetime of the vessel. Some RCOs might involve costs every year while others only involve costs at given intervals. In order to be able to compare the costs and benefits and calculate the NetCAF and GrossCAF, Net Present Value (NPV) calculations have been performed using the formulae as given below:

$$NPV = A + \frac{X}{(1+r)} + \frac{X}{(1+r)^2} + \frac{X}{(1+r)^3} + \dots + \frac{X}{(1+r)^T} = A + \sum_{t=1}^T \frac{X}{(1+r)^t}$$

where:

- X = cost or benefit of RCO any given year
- A = amount spent initially for implementation of RCO
- r = depreciation rate

The direct costs of the measures have been divided into two parts: Initial costs and yearly costs over the lifetime of the vessel. The initial costs include all costs of implementing the measure, e.g. acquiring and installing equipment, writing of procedures and training of crew. Thereafter there might be additional costs at regular intervals in order to maintain the effect of the measure, e.g. equipment service and refreshment courses. The additional cost might be annual, but in some cases it is bi-annual or fifth-annual.

The implementation of a RCO might have other benefits than reducing the number of fatalities. Other benefits might be reduced maintenance cost, reduced expected annual accident cost and less time off-hire. For RCOs connected with cruise navigation only potential reduced accident costs have been included.

The reduced expected accident cost for each RCO has been found by assessing the potential risk reduction for each case, using the risk model for cruise navigation as outlined in III.1.3. The potential risk reduction is then used to find the expected reduction in annual accident cost. The measures will not only reduce the annual expected number of fatalities, but will also decrease the expected annual property damage. The property damage cost includes cost for all from minor incidents to total losses.

III.2 Cost benefit assessment

III.2.1 Risk reduction

The table below describes the expected risk reduction due to implementation of the different RCOs. The numbers are given in percentage and number of lives saved during a cruise vessel's life time.

Table 8: Risk reduction of implementing the RCOs			
No	Risk Control Option	No. of lives saved [per lifetime]	% reduction
1	Onboard Safety and Security Centre	0.98	17%
2	Automatic logging of information	0.02	0.3%
3	Two officers on the bridge	0.83	13%
4a	ECDIS	25	82%
4b	ECDIS (No track control)	20	66%
5	AIS integration with radar	0.72	12%
6	Track control system	5.7	66%
7a	Improved bridge design (above SOLAS)	0.67	12%
7b	Improved bridge design (above average)	0.31	6%
8	Improved Navigator Training	0.34	6%
9	Implementation of guidelines for BRM	0.21	5.3%
10	Navigation system reliability	0.005	0.1%

The effects of the RCOs in Table are dependent on what risk level the implementation is compared to. This varies for the different RCOs. E.g. the evaluation of *RCO1 Onboard Safety and Security Centre* is a comparison between implementing this measure or not, i.e. a comparison between the average risk level in the cruise industry today and the future risk level if it is implemented. This shows that the implementation of this measure is saving 0.98 statistical lives during the vessel lifetime, which means an effect of 17%.

However, e.g. *RCO4 ECDIS* is already implemented on most vessels, but not required by IMO. This RCO is then tested with investigating the effect of ECDIS compared to a risk level where the measure is not implemented, i.e. use of paper charts. Implementation of ECDIS is saving 25 statistical lives, which corresponds to an effect of 82%.

The risk reduction percentages must therefore not be compared directly with each other without knowing the basis for the evaluation. All numbers are based on introduction of one RCO only. Introduction of one RCO will lead to lower risk “budget” for all other RCOs as the risk reduction will be less.

III.2.2 Cost estimates

This section includes all the calculation of the cost estimates. The estimates are based on the description as given in appendix II and the methodology as outlined in section III.1. Explanations of the costs included for each RCO were given in appendix II. Thus, this section does not include further explanation of what costs are included and which are not. The depreciation rate is set to 5% for all the Net present Value (NPV) calculations. Relevant references can be found in Appendix A of Annex III of the full FSA report.

RCO1: Onboard Safety and Security Centre

The input to the cost estimates are given in the table below.

Required input	Low estimate	High estimate	Input value
Initial investment			\$20,000
Officers salary	\$18,000	\$55,000	\$50,000
Passenger cabin, lowest standard	\$38,000	\$102,000	\$70,000*
Number of officers required			6
Number of cabins lost			4
* Based on 70 % utilization			

The initial investment is for buying equipment, e.g. repeaters and communication, and installing it in the centre. What specific equipment is needed has not been established, but is based on discussion with personnel with navigational experience.

The number of officers needed is based on the assumption of 3 shifts on the vessel. With 3 shifts 3 officers are required on the vessel and an additional 3 onshore to complete the rotation. It is assumed that each officer will have a separate cabin, thus 3 cabins are needed for the officers and an additional for the centre.

The above assumptions and values give a yearly cost of \$580,000 over the lifetime of the vessel. The NPV is calculated to \$8,900,000 using the formulae as previously presented.

RCO2: Automatic logging of information

The input to the cost estimates is given in table below.

Required input	Low estimate	High estimate	Input value
Automatic Logging of information-Vessel	\$8,500	\$14,500	\$11,500
Software for Shore support	\$14,500	\$14,500	\$14,500
Annual Cost (maintenance)		\$500	\$500

The cost for implementing this RCO is split down into:

- Necessary equipment and software which has to be installed onboard the vessel.
- Necessary equipment at shore in order to have the ability to process relevant data received from the vessel's system.

The average value as found from different sources has been chosen, while the annual maintenance cost is kept somehow high in order to represent possible future damages and acquisition cost of relative spare parts. Such assumption was based on discussions we had with manufacturers of such systems.

The NPV for the implementation of RCO2 is calculated to be \$34,000.

RCO3: Two officers on the bridge

The input to the cost estimates is given in table below.

Table 11: Input to cost estimate for RCO3			
Required input	Low estimate	High estimate	Input value
Officers salary	\$18,000	\$55,000	\$50,000
Passenger cabin, lowest standard	\$38,000	\$102,000	\$70,000*
Number of officers required			6
Number of cabins lost			3
*Based on 70 % utilization			

The number of officers needed is based on the assumption of 3 shifts on the vessel. With 3 shifts 3 officers is required on the vessel and an additional 3 onshore to complete the rotation. It is assumed that each officer will have a separate cabin, thus 3 cabins are needed for the officers.

The above assumptions and values give a yearly cost of \$510,000 over the lifetime of the vessel. The NPV is calculated to \$7,800,000.

RCO4: ECDIS

The input to the cost estimates is given in the table below.

Table 12: Input to the cost estimate for RCO4			
Required Input	Low Value	High Value	Input Value
ECDIS	\$29,000	\$41,000	\$32,000
Back Up arrangements	\$16,000	\$26,000	\$20,000
Annual Cost (maintenance)		\$500	\$500

The amount spent initially represents acquisition and installation costs for all necessary equipment. Estimations on initial cost is somehow conservative, but is based on relevant feedback from personnel with navigational experience. On the other hand, annual expenses for regular service and maintenance purposes are high so as to represent a possible future breakdown and the need for replacing some parts of the installation. This assumption was based on discussions with personnel with relevant experience.

Using the above assumptions and values the NPV for the implementation of the RCO is calculated to be \$60,000.

RCO5: AIS (Integration with radar)

The input for the cost estimates is given in the table below.

Table 13: Input to the cost estimate for RCO5			
Required Input	Low Value	High Value	Input Value
Integration of AIS with ARPA	\$0 (provided as standard)	\$2,500	\$2,000
Annual Cost (maintenance)		\$100	

The initial amount represents all necessary equipment and upgrading for the integration of the AIS into the ARPA. Both AIS and ARPA are mandatory on Passenger Vessels, so in most cases the integration will be installation of software on existing production units. The whole process of the integration is simple and fairly easy to accomplish, therefore some manufacturers provide it as a standard feature with currently available units. Based on discussions with experts and as numbers are very small, a high initial estimate has been chosen.

The NPV for the implementation of RCO5 is calculated to be \$3,500 and has the lowest implementation cost from all suggested RCOs.

RCO6: Track control system

The input for the cost estimates is given in the table below.

Table 14: Input to the cost estimate for RCO6	
Required Input	Input Value
Track Control System	\$4,000
Annual cost (maintenance)	\$200

The input value represents acquisition costs for the system. Some manufacturers provide such systems as an extra to the autopilot without giving a separate price. Annual maintenance costs were decided upon discussions with relevant DNV personnel. However, relevant cost is small and represents maintenance work and possible breakdowns during the expected lifetime of the system.

The NPV for implementing RCO6 is calculated to be \$7,100.

RCO7a: Improved bridge design (over SOLAS)

The input for the cost estimates is given in the table below.

Table 15: Input to the cost estimate for RCO7a	
Required Input	Input Value
Cost for the upgrading from a standard SOLAS bridge	\$200,000
Annual cost (maintenance)	\$2,000

The input value represents all costs necessary for the additional equipment and all ergonomic modifications that have to be performed over a standard SOLAS (minimum required) bridge in order to meet NAUT AW standards. For a new ship the costs would be lower and the cost effectiveness better. Estimations used derived from calculations from relevant DNV department based on current market prices for necessary equipment and previous experience from implementing the NAUT AW Class Notation.

The NPV for implementing RCO7a is calculated to be \$230,000.

RCO7b: Improved bridge design (above Average Cruise vessel Bridge Design)

Based on information received from DNV's Department for Nautical Safety and Communication Systems, the input for the cost estimates is given in the table below.

Table 16: Input to the cost estimate for RCO7b	
Required Input	Input Value
Cost for the upgrading from a standard SOLAS bridge	\$80,000
Annual additional expenses for maintenance	\$2,000

The input value represents all costs necessary for the additional equipment and all ergonomic modifications that have to be performed over an average cruise ship bridge in order to meet NAUT AW standards. For a new ship the costs would be lower and the cost effectiveness better. Many of the NAUT AW requirements are met by most of the cruise ships built today. Estimations used are derived from relevant DNV department based on previous experience from implementing the NAUT AW Class Notation on cruise vessels.

The NPV for implementing RCO7b is calculated to be \$110,000.

RCO8: Improved Navigator Training

The input to the cost estimates are given in the table below.

Required input	Input value
Course fee	\$3,000
Board and lodging	\$800
Travel expenses	\$1,500
Officers to send on course	6
Frequency of course	5 years

The course fee is based on standard 5 day courses as given by the training centres and thus the boarding and lodging expenses are for 5 days and covers transport to/from the local airport, hotel and food for the period. The travel expenses are an average value and will vary with the distance the participants have to travel in order to get to the training centre. The number of officers needed is based on the assumption of 3 shifts on the vessel. With 3 shifts 3 officers are required on the vessel and an additional 3 onshore to complete the rotation.

The above assumptions and values give a cost of \$32,000 every 5th year over the lifetime of the vessel. The NPV is calculated to be \$120,000 for this RCO.

RCO9: Implementation of guidelines for BRM

The input to the cost estimates are given in the table below.

Required input	Input value
Course fee	\$3,700
Board and lodging	\$800
Travel expenses	\$1,500
Officers to send on course	6
Onshore personnel	2
Frequency of course	5 years

The course fee is based on standard 5-day courses as given by the training centres and thus the boarding and lodging expenses are for 5 days and covers transport to/from the local airport, hotel and food for the period. The travel expenses are an average value and will vary with the distance the participants have to travel in order to get to the training centre. The number of officers needed is based on the assumption of 3 shifts on the vessel.

In order to maintain and update the procedures and ensure clear communication and understanding between the bridge and onshore office in case of an emergency, some of the onshore personnel should also attend the BRM course. It is assumed that 2 employees from the onshore office would be sufficient.

The above assumptions and values give a cost of \$48,000 every 5th year over the lifetime of the vessel. The NPV is calculated to be \$180,000.

III.2.3 Costs and benefits of implementing the RCOs

The costs and benefits of implementing the RCOs are summarized in Table .

Table 19: Costs and benefits of implementing the RCOs			
No	Risk Control Option	Cost of implementation (NPV in \$)	Benefit of implementation (NPV in \$)
1	Onboard Safety and Security Centre	8,900,000	1,900,000
2	Automatic logging of information	34,000	35,000
3	Two officers on the bridge	7,800,000	1,500,000
4a	ECDIS	60,000	6,700,000
4b	ECDIS (no track control)	60,000	5,400,000
5	AIS (Integration with radar)	4,000	950,000
6	Track control system	7,000	5,700,000
7a	Improved bridge design (above SOLAS)	230,000	1,300,000
7b	Improved bridge design (above average)	110,000	620,000
8	Improved Navigator Training	120,000	720,000
9	Implementation of guidelines for BRM	180,000	540,000
10	Navigation system reliability	34,000	11,000

III.2.4 Results and presentation of GrossCAF and NetCAF values

As a basis for the cost benefit calculations, the following important assumptions are made:

- The total number of persons on board: 5,000
- The average lifetime of the cruise vessel: 30 years

The GrossCAF and NetCAF values are presented in Table 20.

Table 20: GrossCAF and NetCAF for all RCOs

No	Risk Control Option	Gross CAF [\$]	NetCAF [\$]
1	Onboard Safety and Security Centre	\$9,200,000	\$7,200,000
2	Automatic logging of information	\$2,000,000	< 0
3	Two officers on the bridge	\$9,400,000	\$7,600,000
4a	ECDIS	\$2,000	< 0
4b	ECDIS (no track control)	\$3,000	< 0
5	AIS (Integration with radar)	\$5,000	< 0
6	Track control system	\$1,000	< 0
7a	Improved bridge design (above SOLAS)	\$340,000	< 0
7b	Improved bridge design (above average)	\$350,000	< 0
8	Improved Navigator Training	\$350,000	< 0
9	Implementation of guidelines for BRM	\$870,000	< 0
10	Navigation system reliability	\$7,100,000	\$4,800,000

All numbers are based on introduction of only one RCO at the time. Introduction of one RCO will lead to higher NetCAF/GrossCAFs for all other RCOs as the remaining risk is less.

The results show that *RCO1 Onboard Safety and Security Centre*, *RCO3 Two officers on the bridge* and *RCO10 Navigation System Reliability* have high values for both GrossCAF and NetCAF compared to the other RCOs. The GrossCAFs are above \$7M and NetCAFs above \$4.8M. All other RCOs have GrossCAF below \$3M and negative NetCAFs.

A negative NetCAF indicates that the RCO is beneficial in itself, i.e. the costs of implementing the RCO is less than the economical benefit of implementing it, regardless of how many lives that are saved. It should therefore be implemented. The economical benefit is in this assessment only measured in terms of reduced accident costs. Other economical benefits, e.g. fewer business interruptions, are not considered. Such would make the RCOs more cost-effective. Thus, the presented results are robust.

Some of these RCOs are already implemented on most cruise vessels. For example, *RCO4 ECDIS* is installed on practically every vessel in the cruise fleet and proves in this assessment to be very cost effective. This measure is not, however, a requirement in SOLAS. In addition, *RCO5 AIS integration with radar* and *RCO6 Track control* are among the most cost effective measures in this evaluation. Both the GrossCAF and the NetCAF values are low. *RCO7 Improved bridge design* and *RCO8 Improved navigator training* seem also to be areas for improvement, and the assessment indicates high cost-effectiveness.

As a final note, it should be pointed out that in the evaluation of the cost-effectiveness of the different risk control options, a required index of $R = 0.9$ has been assumed. However, in accordance with current developments within IMO and the draft revised SOLAS regulations in annex 1 of SLF 47/17 it seems most likely that a required index of about 0.8 will be adopted. If a required index of $R = 0.8$ were used as the basis for the cost-effectiveness assessment of the risk control options considered herein, much lower GrossCAF and NetCAF values would have been found. As a crude estimate, a required index of 0.8 would correspond to twice the risk reduction

potential compared to 0.9¹, and the risk control options would be approximately twice as cost-effective (i.e. values for Gross CAF and NetCAF would be dimidiated). If recommendations were to be based on estimates revised in this way, it can be seen that *RCO10 Navigation System Reliability* would also be cost-effective, although this RCO is associated with limited risk reduction effect (see Table). The two other RCOs that were previously found to be not cost-effective, *RCO1 Onboard Safety and Security Centre* and *RCO 3 Two officers on the bridge* might also prove to be cost-effective if $R = 0.8$ were assumed, and although further scrutiny is needed in order to conclude that they are cost-effective, they should not immediately be regarded as not cost effective.

¹ Actually, the required index R is related to collision damage stability only, but it can be assumed that a higher required index R would also enhance the survivability in grounding scenarios.

FORMAL SAFETY ASSESSMENT – LARGE PASSENGER SHIPS

RISK: COLLISION, CONTACT, POWERED GROUNDING
FUNCTION: SAFE NAVIGATION
RISK CONTROL OPTIONS: PREVENTIVE
SHIP TYPE: LARGE NON-RO/RO PASSENGER SHIPS (CRUISE)

PROPOSAL FOR A JOINT INDUSTRY PROJECT

PROPOSAL BY DNV, 13/02/2002

Objective

Identify risk control options to be implemented for large passenger ships, relating to safe navigation.

Scope

This FSA will involve risk estimates for the accident scenarios; collision, contact, and powered grounding.

The function relates to safe navigation: The reliability of all supporting equipment relating to safe navigation including propulsion and steering failures. No risk control options relating to propulsion and steering will be included, but the risks will be included.

Risk control options will relate to the following aspects of safe navigation: Bridge layout, navigational equipment, procedures, manning and training.

The ship type will be large non-Ro-Ro passenger ships or cruise ship.

Background FSA

Formal Safety Assessment (FSA) has been developed at the International Maritime Organisation (IMO) based on an initiative in 1993, during the 62nd session of the IMO MSC by the UK Marine and Coastguard Agency (MCA). The proposal was to develop a five steps risk based approach to the development of IMO regulations.

In 1996 the IMO established a working group on FSA, and by 1997 a Circular on Interim Guidelines on the Application of FSA to the IMO Rule-making Process (MSC Circ. 829/MEPC Circ. 335) had been developed, which was adopted by the MSC and MEPC that year. Since then, a number of FSA trial applications have been carried out and presented to the IMO. Whilst not all the formal safety assessments have proved successful, the general methodology has matured and there has been a considerable learning effect in the organisation. Based on the experience gained, the FSA Guidelines were updated at MSC 74 (May-June 2001). It should also be noted

that the Work Group on Bulk Carrier safety (WG/BC) at MSC 74 received FSA studies by Norway, Japan and IACS. These studies were all carried out by similar methods showing that the understanding of FSA has now matured. The FSAs were able to identify a large number of cost-effective risk control options.

A standard presentation of the 5 steps of Formal Safety Assessment as compared to the current process may be found in Table 1.

Table 1: Formal Safety Assessment and Tradition			Traditional
Steps	Layman terminology	Professional terminology	
Step 1	What can go wrong?	Hazard identification	What went wrong?
Step 2a	How often or how likely?	Frequency and Probability estimation	
Step 2b	How bad?	Consequence estimation	
Step 2c		Risk = Probability x Consequence	
Step 3	Can matters be improved?	Identify Risk Control Options	How can we fix this?
Step 4	What would it cost and how much better would it be?	Cost Benefit Assessment	
Step 5	What action should be taken?	Decision	Decision

FSA is a structured and systematic methodology, aimed at enhancing maritime safety, including protection of life, health, the marine environment and property, by using risk and cost/benefit assessments.

FSA can be used as a tool to help in the evaluation of new safety regulations or making a comparison between existing and possibly improved regulations, with a view to achieving a balance between the various technical and operational issues, including the human element, and between safety and costs.

FSA is consistent with the current IMO decision-making process and provides a basis for making decisions in accordance with resolutions A.500(XII) "Objectives of the Organisation in the 1980's", and A.777(18) "Work Methods and Organisation of Work in Committees and their Subsidiary Bodies".

The decision makers at IMO, through FSA, will be able to appreciate the effect of proposed regulatory changes in terms of benefits (e.g. expected reduction of lives lost or of pollution) and related costs incurred for the industry as a whole and for individual parties affected by the decision. FSA should facilitate development of regulatory changes equitable to the various parties, thus aiding the achievement of consensus.

The FSA Guidelines are intended to outline the FSA methodology as a tool, which may be applied in the IMO rule-making process. In order that FSA can be consistently applied by different parties, it is important that the process is clearly documented and formally recorded in a uniform and systematic manner. This will ensure that the FSA process is transparent and can be understood by all parties irrespective of their experience in the application of risk assessment and related techniques.

Background Large Passenger Ship Safety

The Secretary-General of IMO took an initiative to look into the passenger ship safety at MSC 72/21, May 2000. The Secretary-General concluded that the time had come for the Organisation to undertake a global consideration of passenger ships' safety issues, with particular emphasis on large cruise ships and suggested that, as in the case of bulk carrier safety, the matter might be kept under the Committee's own auspices, possibly through an Ad Hoc working group. This work group was subsequently established at MSC 73 (December 2000) and reconvened during MSC 74 (May 2001).

The CG (73-74) agreed (MSC 74/4/1) that a three stage risk based approach should be used Identification of Hazards, Risk Assessment and Risk Control Options. It should be noted that this is steps 1 to 3 of an FSA.

Based on work in the CG (74-75) co-ordinated by US (MSC 75/4/X) it may be stated that the HAZID process has been carried out to a considerable extent, and the hazards have been ranked, although this FSA terminology is not used by the CG. All activities are based on expert judgement and subjective ranking. There is no quantification of risks, risk reductions or cost in the CG work, as required in the later stages of an FSA.

It is well known from the risk literature that such subjective ranking of risks may be biased by factors of up to 100 or 1000. This is evident from previously submitted HAZID documents to IMO. By simply converting the risk ranking to risk and comparing the result with historic data it may be realised that a well-qualified expert team may exaggerate the risks.

The risk conversion factors (RCF) that may be involved in the process are listed in Table 2, see Skjong and Wentworth(2001).

Characteristics	Scale	RCF
Volition	Voluntary- Involuntary	100
Severity	Ordinary- Catastrophic	30
Origin	Natural, Man- made	20
Effect Manifestation	Delayed- Immediate	30
Exposure Pattern	Regular- Occasional	1
Controllability	Controllable- Uncontrollable	5-10
Familiarity	Old-New	10
Benefit	Clear-Unclear	-
Necessity	Necessity- Luxurious	1

The risk conversion factor in Table 2 represents the bias when two risks are ranked that are identical (in actual numbers) and only being different by one characteristic. For example the same risk would be judged a factor 100 higher if the

exposure was involuntary compared to a voluntary risks, assuming that all other characteristics are the same.

Why Navigational Safety?

The statistics gives the following picture of distribution on category of accidents:

- 30 % of “all” total losses (LMIS),
- 50% of the claim cost (Swedish Club),
- 50% of the accidents in Canadian waters and
- 70% of accidents in Australian waters

were caused of collision, contact or grounding according to Ramsvik (1999). These are generic data broken down to accident cause and do not specifically relate to passenger ships.

For cruise ships larger than 4000 GT the accident statistics in LMIS is represented by only 73 accidents during the 1990-2000 period. This represented 230 ships in 1990 growing to 250 in 2000. The exposure represents a total of 2662 ship-years, according to DNV Report 2001-0855.

The loss matrix (see MSC 74/WP.19 “FSA Guidelines”) for a 75,000 GT cruise vessel is estimated in Table 3.

Accident type	Human costs¹ (\$ per ship year)	Environmental costs (\$ per ship year)	Property damage costs (\$ per ship year)	Total costs (\$ per ship year)
Collision	39,000		180,000	220,000
Contact			64,000	64,000
Foundering			73,000	73,000
Fire/explosion	19,000		600,000	620,000
Hull/Machinery/Equipment	2,900		240,000	240,000
War loss/Hostilities				
Wrecked/Stranded		14,000	490,000	500,000
Miscellaneous				
Occupational accidents	1,100,000			1,100,000
Total	1,200,000	14,000	1,700,000	2,800,000

Again, it is seen that collisions and wrecked/stranded account for about 50% of the losses due to ship accidents. Probably, some of these accidents are caused by loss of propulsion or steering (drifting grounding). It should be noted that the data behind these historic risks should be treated as indications of the potential for risk reduction and not as a risk prediction. In reality one single large accident would radically change the historic database.

¹ Number of fatalities x \$ 3 million

Comparison to scope suggested by the report from the correspondence group

The Correspondence Group Report MSC 75/4/X² contains a number of strategic goals, objectives and areas for considerations. These goals, objectives and considerations will be covered as far as practical by the suggested FSA, and as limited by the scope in terms of risk estimates, function and Risk Control Options. The FSA will therefore aim to contribute to quantification of the risk reducing effect and cost of all concrete Risk Control Options that may materialise from the ongoing activity or as agreed in the project. The FSA will also serve as an evaluation of the ongoing prioritisation, which is largely reliant on subjective judgement by experts.

The following **Strategic Goals** are relevant (MSC 75/4/X):

- .1 Improve measures for the prevention of casualties such as collisions, groundings, fires and equipment failures.
- .2 Improve measures that address the human element in maritime casualties with a focus on design, operations, management and training.
- .3 Develop a regulatory framework for assessing alternative designs and arrangements so that new concepts and technologies may be permitted which provide a level of safety at least equivalent to that provided by the prescriptive regulations.

The FSA is of particular relevance to strategic goal No.3, which requires that the safety of approved ships be known. Otherwise the “safety equivalency” would be an equivalency to unknown and undocumented safety.

The following **Objectives** are relevant (as limited by the scope):

- .7 Review human element issues with regard to operations, management and training with a view towards improving safety.
- .8 Consider measures to ensure ships can safely proceed to port after a fire or flooding casualty.
- .9 Consider measures to improve prevention of groundings and collisions.

The issues referenced to NAV (MSC 74/WP06) will also be considered, as far as practical RCOs are suggested. These issues are:

To consider measures to improve prevention of groundings and collisions.

Tasks to be considered in accomplishing this objective include:

- 1.Awareness of water depth and squat issues.
- 2.Review availability of international aids to navigation for vessels operating in remote areas.
- 3.Review pilot and bridge team interface management issues
4. Review bridge team resource management measures.
- 5.Quality and availability of hydrographic information for operation in remote areas.
- 6.Voyage planning issues.
- 7.Reliability of equipment issues.
- 8.Need for requiring modern navigation equipment to avoid collisions and groundings.

Other relevant areas for considerations referred to various sub-committees will also be considered.

Furthermore, the suggested FSA will deal with some of the issues referenced under General discussion in MSC/74/X, relating to:

² This is the report of the intersessional correspondence group to MSC 75, as circulated 2002-02-08

- Defining acceptance criteria (see §19). A definition of acceptance criteria or at least a format of common decision parameters will be suggested. The decision parameters in MSC 72/16 will be used as a basis.
- Rather than emphasising the improvement of safety measures both the effect and costs will be assessed (see §5.3)
- There is no clear need to define large passenger ships. The philosophy should be that the potential risk should be controlled, stricter criteria may therefore apply for the large ships. (see §20)

Suggested Approach

The emerging risks relating to large passenger ships relate mainly to two observations

- high consequences (and thereby potentially high risks) are concentrated on fewer ships
- high consequences are less acceptable (the individual risk is not the problem, individuals are likely to be safer on a large passenger ship)

Additionally a number of other observations made in the various MSC documents describing trends are relevant to the FSA study. The trends in terms of probabilities per year and consequences will be assessed by FSA.

As a consequence of the two simple observations:

- the probability of the accident scenarios that could lead to large consequences should be reduced; a proactive approach is necessary

This does not imply that current ships are unsafe, it implies that current rules and regulations applied to larger ships may result in unacceptable or intolerable risks.

How much should the probabilities of the various accident scenarios be reduced? This should be answered by the FSA. Some general observations are of relevance. For example, risks are generally being reduced as a result of technological development. The reduction is to about 50% every 15 years. (It may be assumed that current regulations are on average 15/2 years old and the new rules will apply to ships built in 15/2 years. This result in a demand for a reduction to 50% of the present risk level within 15 years.)

It may further be assumed, however, that current rules were developed for ships with 1500 passengers, and the next 15 years may have as much as 7500 (or 5 times more).

These two simple observations suggest a demand for a considerable risk reduction. This should be an aim. Only a complete FSA can document how this may be achieved in practice by implementing cost effective preventive and risk mitigating measures. This project aim to focus on the preventive measures.

TASKS

Task 1: Establish current risk level for passenger ships

A review of historic data will be made to present as much information as possible from available historic data. The data will be presented in tabular form by initiating events and by consequence. The format of a loss matrix will be used (see MSC 72/16 or the new FSA Guidelines in MSC 74/WP.19). The data will not be limited to those data relevant for this particular study but cover all recorded losses. The data sources are LMIS, Class data, DAMA, other national statistics and relevant accident reports.

Current risk levels can not be taken to represent the risk for large cruise ships, but a number of individual event and failure probabilities, and other details of a risk model, may be valid in a risk model also for large cruise ships. The historic risk data should also be used to validate parts of the model developed in the detailed FSA study.

For parts of the accident scenarios that are not analysed further in this FSA the historic data will be used to represent the generic large cruise ship. If other flagstates or NGOs carry out other part of the total FSA, these FSA results should be used to update the results from this study.

Deliverable: Report (May be submitted to IMO)

Task 2. Acceptable Risk

The primary concern related to the large cruise ships is the potential for large accidents. The accidents may occur in remote areas where the possibility for SAR assistance is very low or non-existing and the assistance from other ships would take considerable time. To recover a large number of people from the LSA would also be very time consuming.

The large passenger ships only compare to new concepts for e.g. floating cities or airports in their consequence potential. The task will therefore be to discuss and present the various aspects of risk acceptability that have been brought forward in the discussions about risk acceptability of other man made structures and systems with similar consequence potential.

There is a large amount of literature and ideas available. The project will carry out a literature search and produce and extract and recommendations. Some literature of relevance is:

- Suzuki, H (2001), "Safety target of very large floating structure used as a floating airport", Marine Structures 14 (2001) 103-113.
- Starr, C "Social benefits versus technological risk", Science 1969, 165, 1232-8
- Bea, RG "Reliability criteria for new and existing platforms, OTC6312 1990
- MSC 72/16 "Decision parameters and Risk acceptance"
- Societal risk criteria presented by national regulatory agencies.

In addition, the literature review is likely to generate a longer list of relevant papers.

Deliverable: Societal risk criteria relevant for large passenger ships.

Task 3: Hazard identification and initial risk control options: FSA Step 1.

Hazard identification will be carried out for safe navigation. The method will be based on the Structured What IF Technique (SWIFT). The SWIFT exercise will also include an initial session on potential Risk Control Options (Step 3 of FSA), linking possible RCOs directly to hazards. An example of how the HAZID is carried out may be found in MSC 73/INF.7.

The HAZID meetings will be carried out both with navigation officers from cruise ship representing current minimum standards and from cruise ships representing state-of-the-art. This will be done to ensure a thorough understanding of all the relevant safety aspects.

A SWIFT meeting will take 3 days and approximately 10 persons will participate. The DNV resources are limited to one SWIFT facilitator and one SWIFT recorder (The SWIFT Report will be written in the meeting), in addition to one surveyor/expert on the topic analysed.

Deliverable: HAZID Report

Task 4: Establish risk model: FSA Step 2

A detailed model of systems and actions involved in avoiding collisions and grounding will be developed. The application of models already developed within DNV will be considered. The modelling will be based on task analysis of bridge operations related to avoidance of collision and powered grounding, and on reliability models of technical components related to drifting grounding. A study will also be carried out with respect to the special operations of large cruise ships, which may expose them to higher grounding risks than many other ship types. Whilst other ships spend much time in open sea, cruise ship operate in narrow waters more frequently (daily) and are often sailing during the nights.

The detailing of the model is based on the need to be able to analyse the effects of the RCOs.

The sources of information are many: Historic accident reports, models for probabilities of collision and grounding, MARCS for drifting grounding, models presented previously to MSC, and various internal DNV reports. The reason for the extensive use of models should be obvious: There are fortunately no recent historic accident data for large losses for the large passenger ships in Western waters, only some data on near misses, reliability data, etc. Due to the difference in operational patterns it is also generally of little value to use event statistics for other ship types in a cruise ship FSA without modelling the risk exposure properly.

Compared to historic risk levels, it is also necessary to quantify the effect of RCOs already implemented or that will be implemented shortly (in particular AIS and ECDIS).

It is repeated here that this project will not cover consequence reduction, which includes such important ship internal aspects as improved damaged stability, effectiveness of escape, improvement of means of evacuation. Neither will ship

external means be considered, e.g. improved SAR, emergency communication means etc. Emphasis will be on preventive measures.

Measures that are relevant to reduce grounding probabilities:

Ship internal means:

- Installation of approved Electronic Chart, Display and Information System (ECDIS), in combination with at least two of the following three systems: GPS (eventually DGPS), GLONASS or GALILEO.
- Bridge layout, improved workstation layout, man-machine interfaces, ergonomics, improved overview from the workstation
- Improved manoeuvrability (e.g. bow and stern thrusters, azimuth thrusters)
- High system availability (Component reliability or redundancy.)
- Training on use of equipment
- Bridge resource management
- Two navigating officers on the bridge in narrow waters and in restricted visibility
- Improved bridge procedures

Ship external means

- Define safe sailing lanes
- Vessel Traffic System (VTS) for areas with heavy traffic
- Extended use of pilots, eventually remote pilotage

Measures to reduce collision probabilities.

Ship internal means:

- Integration of Automatic Identification System (AIS) and Automatic Radar Plotting Aid (ARPA) to provide real time presentation of traffic pattern (Current ARPA may contain up to 2 minutes delays in updating speed and course of approaching vessels).
- Installation of redundant ARPA
- Bridge layout, improved workstation layout, man-machine interfaces, ergonomics, improved overview from the workstation
- Bridge resource management
- Two navigating officers on the bridge in narrow waters, in restricted visibility and in congested waters
- Improved training on COLREG, e.g. by use of simulators.
- Integrated system with radar and/or AIS image of other ships exhibited on the ECDIS display.

Ship external means

- Flag state and Port state prosecution of violations (AIS identifies who)
- Define safe sailing lanes
- Extension of Vessel Traffic System (VTS) for areas with heavy traffic
- Speed limitation in certain areas
- Extended use of pilots, eventually remote pilotage

The risk control options listed under ship internal means are indicative of the risk control option that will be studied and therefore define requirements to the risk model

(e.g. with respect to level of detail). Actual risk control options to be studied are decided in Task 5/Step 3.

Co-operation with a cruise ship operator is necessary in this task.

Deliverable: Draft Report

Task 5: Identify Risk Control Options. FSA Step 3

The results of the risk analysis will be presented to the team involved in the HAZID, strengthened with people with a design and equipment background, and with navigational experts. Selection of personnel will be based on the findings in Task4/Step 2. A brainstorming on new Risk Control Options will be carried out.

The risk analysis itself should provide a number of possibilities for identifying RCOs. The tools are minimum cut set representations (common cause) from Fault Trees, causal chains, and numerical risk ranking.

Deliverable: New chapter in the draft report

Task 6: Cost Effectiveness Assessment: FSA Step 4

Cost effectiveness calculations for each Risk Control Option will be carried out. The task consist of:

- Deriving costing model
- Retrieving relevant data from yards, equipment suppliers and ship owners
- Carry out cost calculations
- Reiterate on a number of cases using the risk model in Task 4/Step 2

In principle it is not possible to give a good cost estimate before Task 5 is completed and the RCOs are identified. A reasonable number of RCOs may be assessed by the suggested budget.

Deliverable: New chapter in the draft report

Task 7: Reporting & Recommendations: FSA Step 5

The task is to report in agreement with the FSA standard reporting format and write a summary of recommendations.


A final review meeting will also be arranged.


Deliverable: FRA Report

Schedule

#	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1.	←→															
2.	←															
3.				←★	★→											
4.								←→			★					
5.											★					
6.														←→		
7.															←★	★→

M is May 2002

Reporting to MSC 76 and MSC 77.  Note that reporting to NAV may be as relevant.

Steering Committee meetings 

Financing

As Joint Industry Project. NOK 325.000 per participant

Rolf.Skjong@dnv.com

 ANNEX I

ANNEX I: SCREENING OF RISK LEVEL FOR CRUISE NAVIGATION*

1	SUMMARY	1
2	INTRODUCTION	2
2.1	Objective and scope of the report	2
2.2	Uncertainties	2
2.3	Abbreviations	3
3	ACCIDENT STATISTICS	3
3.1	Ship sizes	3
3.2	Accident information sources	3
3.3	Population/ship years	4
3.4	Accident frequency	4
3.5	Fatality frequency	5
4	ACCIDENT CAUSE ASSESSMENT	7
4.1	Hazard Identification	7
4.2	Accident studies	9
4.2.1	Star Princess	10
4.2.2	Royal Majesty	10
4.2.3	Hanseatic	11
4.2.4	Monarch of the Seas	12
4.2.5	Statendam – close quarter situation	12
4.2.6	Norwegian Dream	13
5	RULES AND REGULATIONS	14
6	REFERENCES.....	16

Appendix: Accidents

* ANNEX I is an edited version of DNV Report no 2003-0240

 ANNEX I

1 SUMMARY

As a part of the FSA, a study of accidents related to navigation of cruise vessels has been undertaken. This annex presents the risk picture for cruise navigation based on as much information as possible from available historic data. The relevant accident scenarios are collision, contact and powered grounding.

The results and numbers presented in this report are not to be understood as accurate numbers, as there are several uncertainties in the presented statistical material. The accident statistics are mainly based on the LRFP (Lloyd's Register/Fairplay's) database. For cruise vessels, the number of entries in the database is low, but high enough to give fairly reliable accident frequencies. This is due to the fact that the fleet for cruise vessel is small. However, there are uncertainties because of the lack of statistical significance in the results based on a small number of events. No data does therefore not necessarily mean that the certain event is unlikely to happen.

In addition to using the LRFP database, DNV has done some general research on cruise accidents by exploring several different data sources on maritime accidents. This search has revealed relevant cases with large cruise vessels that are not included in the LRFP database. These additional cases are included in the quantification of the accident frequencies.

The frequency for property damage on cruise vessels is illustrated in Table 1-1. This frequency is assessed to be valid for all vessel sizes above 4,000 GT. The reason for using statistics for ships sizes down to 4000 GT, is that very few accidents have occurred for large cruise vessels, and little statistics are therefore available.

Table 1-1 Annual property damage frequency due to navigation failure for cruise vessels			
Accident type	Serious casualty (excl. total loss)	Total loss	
Collision	3.9E-03	3.40E-04	4.2E-03
Powered grounding	9.2E-03*	0	9.2E-03
Contact	3.2E-03	0	3.2E-03
Total	1.6E-02	3.4E-04	1.7E-02
* 4 accidents are not reported in the LRFP database, but included here.			

The annual fatality frequency for people onboard cruise vessels is presented in Table 1-2. If the fatality frequency per person year is expected to be independent of the number of passengers and crew onboard, the frequencies in the second column are expected to hold for a 75,000 GT cruise vessel, with an average crew of about 900, and with an average number of passengers of 2,500. For smaller cruise vessels with smaller crews, the fatality frequency should be reduced accordingly. Column three presents the individual risk and is independent of the number of passengers and crew onboard.

Accident type	Fatalities/ Ship year	Fatalities/ person year
Collision	1.7E-02	1.9E-05
Powered grounding	0	0
Contact	0	0
Total	1.7E-02	1.9E-05

In addition to quantification of frequencies, a brief cause analysis of accidents related to failure in navigation has been performed. Hazard identification (HAZID) has already been carried out (Reported in NAV 49/INF.2) identifying also causes and consequences to each hazard. In order to verify these findings a study of a selection of accidents were performed and a short presentation is given in this report. Based on the HAZID and the accident studies, important causes of navigational failures seem to be:

- Too many non navigational tasks and distractions
- Poor Bridge Resource Management (BRM)

However, this will be further analysed in the risk assessment, reported in ANNEX II.

A summary of rules and regulations for navigation equipment and arrangements for passenger ships is included in the end of the report. The overview presents the development from 1984 to 2002.

2 INTRODUCTION

2.1 Objective and scope of the report

The objective of this report is to present the generic risk related to navigation of cruise vessels based on as much information as possible from available historic data. The report will provide the necessary background information to perform an FSA.

The results given in this report provide a foundation for focusing the risk assessment, and to concentrate the effort on measures that reduce the number of accidents, and minimise the accident costs.

Current historic risk levels can not be taken to represent the risk for cruise vessels as the data behind these historic risks should be treated as indications of the potential for risk reduction and not as risk prediction. In reality, one single large accident would radically change the historic database.

2.2 Uncertainties

The results and numbers presented in this report are not to be understood as accurate numbers, as there are several uncertainties in the presented statistical material.

The accident statistics are mainly based on the LRFP (Lloyd's Register/Fairplay's) database, ref. /2/. Categorisation by individuals over a ten year period is not done with complete consistence, and errors in the data material are likely to exist.

For cruise vessels, the number of entries in the LRFP database is low, but high enough to give fairly reliable data. This is due to the fact that the fleet for cruise vessel is small. However, there are

uncertainties because of the lack of statistical significance in the results based on a small number of events. No data does therefore not necessarily mean that a certain event is unlikely to happen. Caution should therefore be taken when using these data.

The results presented are not unbiased, as they have been adjusted for underreporting for smaller vessels. The results are DNV's best estimate.

It is also a major point that the recent risk picture is not necessarily representative for the future, as this survey has been based on historical events. A risk modelling of the most important scenarios (i.e. collision and powered grounding) is therefore to be executed as a part of the second step in the FSA approach.

2.3 Abbreviations

The following abbreviations are used in the report:

DNV	Det Norske Veritas
FSA	Formal Safety Assessment
GPS	Global Positioning System
GT	Gross Ton
HAZID	Hazard Identification
LRFP	Lloyd's Register/ Fairplay
LWFS	Lloyd's World Fleet Statistics
OOW	Officer On Watch

3 ACCIDENT STATISTICS

This section gives a brief presentation of the input and data sources used in this risk screening, in addition to a presentation of accident frequencies and fatality frequencies.

3.1 Ship sizes

Records for the small vessels, i.e. below 4,000 GT, are not included in the frequency calculations. The reason for including all ships sizes down to 4,000 GT, is that very few accidents have occurred for large cruise vessels, and little statistics are therefore available.

3.2 Accident information sources

The Lloyd's Register/Fairplay (LRFP) database is the most extensive and most updated maritime accident database available, and therefore found to be the best source for accident statistics. However, in the period 1990 to 2001, only 86 accident entries have been reported and registered in the LRFP database for cruise vessels above 4,000 GT, whereof 29 were related to navigation errors.

However, for the purpose of this analysis, DNV has done some general research on cruise accidents by exploring many different data sources on maritime safety. This search has revealed four relevant cases with large cruise vessels that are not included in the LRFP database. Both various sources on

the internet as well as discussions with competent personnel have been used to reveal these accidents.

These additional cases are included in the quantification of the accident frequencies in section 3.4 and 3.5. DNV has revealed four additional accidents, however, underreporting of other accidents is of course possible, but this is not further assessed.

3.3 Population/ship years

Lloyd's World Fleet Statistics, ref. /3/, contains information on the number of vessels within each ship type category, and is published once a year. It turned out that the statistics for cruise vessels only included ship year statistics from 1993. The selected casualty period was then estimated from 1990-2001, by estimating the number of cruise vessels in 1990 to 1992 as the same as in 1993. Entries before 1990 are thus excluded due to lack of reliable reporting. In addition, there have been several important changes in the cruise vessel design the last years, and incidents before 1990 are also expected to be less relevant for the future risk picture. The cruise vessel population increased with 8 % in the period 1990-2001, from 230 in 1990 (i.e. 1993) to 259 in 2001. A total of 2,921 ship years are registered for cruise vessel within this period.

3.4 Accident frequency

DNV has in earlier generic risk assessments of several ship types concluded that vessels of different sizes have no significant differences in overall accident frequencies. Differences exist, but they may be due to different trade, age or other factors as well as size. For cruise vessel the number of entries is too low to conclude on this. However, this assumption is also made in this study and the accident frequencies presented are therefore taken to be valid for all vessels, regardless of size.

For serious accidents, significant underreporting has been found for the smaller vessels, i.e. below 20,000 GT. The accident frequency for the smaller vessels has therefore been adjusted to a level corresponding to the accident frequency for the larger vessels. Underreporting for smaller vessels has not been found or concluded for total loss accidents and accidents with fatalities. For these entries, the overall average is expected to be valid for all ship sizes

The generic vessel risk for cruise vessels is presented in this section, in terms of accident frequencies.

The frequency for property damage on cruise vessels is illustrated in Table 3-1. This frequency is assessed to be valid for all vessel sizes. The accidents which form the basis for the frequency estimation are included in the appendix.

Table 3-1 Annual property damage frequency for cruise vessels due to navigation errors			
Accident type	Serious casualty (excl. total loss)	Total loss	[per vessel year]
Collision	3.9E-03	3.4E-04	4.2E-03
Powered grounding	9.2E-03	0	9.2E-03
Contact	3.2E-03	0	3.2E-03
Total	1.6E-02	3.4E-04	1.7E-02

* 4 accidents are not reported in the LRFP database, but included here.

ANNEX I

The return period for serious casualties is 62 years and for total losses ~3,000 years.

According to ref. /14/, navigation related accidents represent about 45 % of all reported accidents with cruise vessels, i.e. 50% of all serious casualties and 7% of all total losses. Figure 3-1 shows the distribution on different accident types. It has to be emphasized that not all collision and grounding accidents are due to navigation errors.

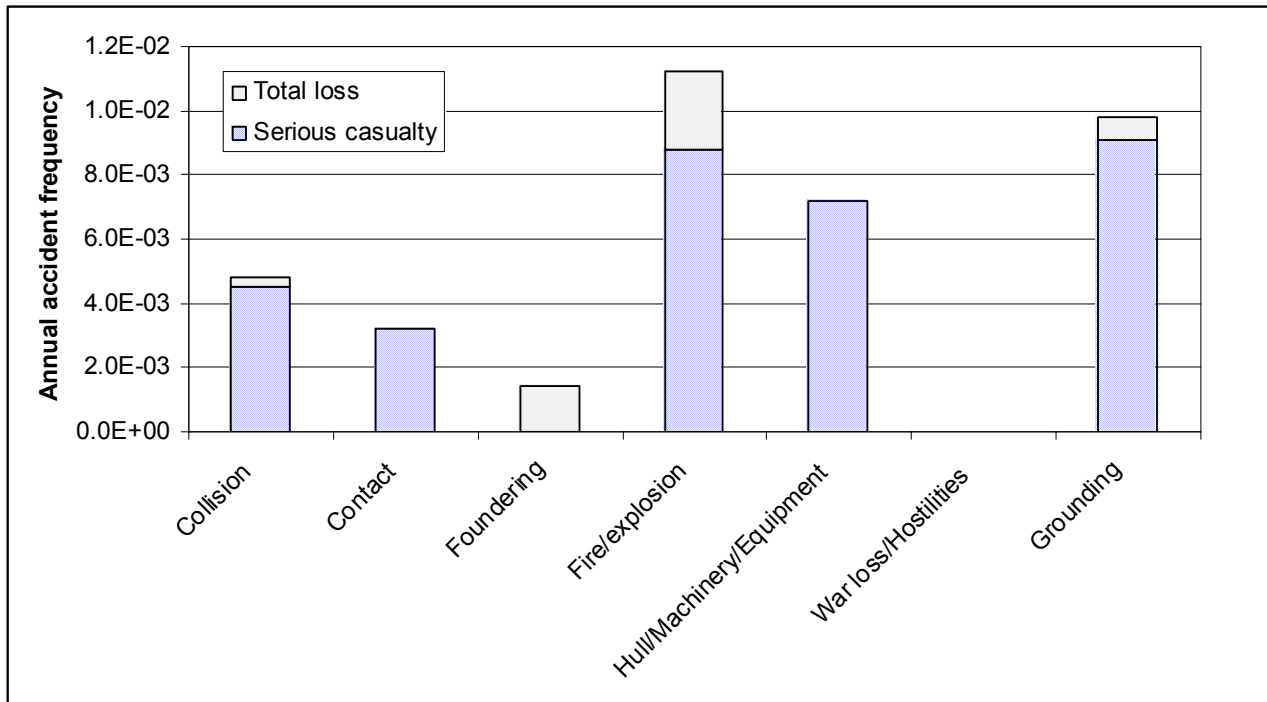


Figure 3-1 Annual ship damage frequencies distributed on accident types (ref. /14/)

3.5 Fatality frequency

The annual fatality frequency for people onboard cruise vessels is presented in Table 3-2. Note that this is the frequency of fatalities, not of fatal accidents, meaning that one accident with 'n' fatalities is counted as 'n' in the table. In addition, column three in the table presents the fatality frequency per person-year.

If the fatality frequency per person year is expected to be independent of the number of passengers and crew onboard, the frequencies in the second column are expected to hold for a 75,000 GT cruise vessel, with an average crew of about 900, and with an average number of passengers of 2500. For smaller cruise vessels with smaller crews, the fatality frequency should be reduced accordingly. Column three is independent of the number of passengers and crew onboard.

Accident type	Fatalities/ Ship year	Fatalities/ person year
Collision	1.7E-02	1.9E-05
Powered grounding	0	0
Contact	0	0
Total	1.7E-02	1.9E-05

The number of crew fatalities is not given explicitly in the LRFP database, only the total number of fatalities can be found, which represents both crew and passenger fatalities.

The fatality frequency is dominated by collision events, which represents 65 % of the personnel risk for cruise vessels (personal accidents are excluded, i.e. accidents with individuals onboard not involving ship damage (e.g. heart attacks, falls)). On average, one fatality is expected for every 60th ship year, however, this value is based on events with a few fatalities only, and one catastrophic event will change the generic personnel risk considerably.

4 ACCIDENT CAUSE ASSESSMENT

In this project, no thorough cause analysis of accidents related to failure in navigation has been performed. The Lloyd's/Fairplay's accident database gives no proper definition of the basic causes of the accidents and what really went wrong in the navigation.

However, for the purpose of understanding the accidents and why navigation failures occur in general, and for the risk modelling in particular, resources have been put into trying to identifying "*What might go wrong?*" A hazard identification (HAZID) has been carried out (NAV 49/INF.2), and the main findings are presented in this section.

In addition, a study on major accidents in the recent years has been performed to try to identify "*What did go wrong?*". A short presentation is given of a selection of the accidents for which data has been possible to obtain.

4.1 Hazard Identification

Hazard identification (HAZID) is a method used to systematically go through a system or an operation with the aim to identify and discuss hazardous elements/conditions. A HAZID session has been carried out at an earlier stage of the project with relevant and highly qualified personnel from the industry trying to find the basic causes of navigational failure, ref. /1/.

In this session, the following hazards were ranked as the most important to the industry:

1. Level of distractions when the OOW is performing his tasks
2. INS/IBS failure (Integrated Navigational System/Integrated Bridge System), including software
3. Poor bridge design and physical work conditions
4. Misjudgement of traffic situations
5. The OOW is unfamiliar with vessel/bridge

Hazard no. 1 was ranked on top by all participants.

A brainstorming process made the basis for a list of 45 scenarios or type of failures, later categorised into five main categories, see Table 4-1.

ANNEX I

Table 4-1 Identified hazards in HAZID session, ref. /1/		
CULTURE	NAVIGATOR	PROCEDURES
1. Officer on Watch (OOW) distractions 2. Insufficient manning 3. Cost cutting pressure 4. Time pressure – keep schedule 5. Tired, pressure, not sufficient rest 6. Policy, responsibility of officers, etc. 7. “We have 1 st priority” attitude 8. Insufficient simulator training 9. High speed 10. Company policy/culture 11. Not optimised training	12. Unfamiliar with vessel/bridge 13. Dependency of technology 14. Incapacitation 15. Incorrect use of equipment 16. Misjudgement when approaching quay, in narrow waters, 17. Underestimate weather conditions (distance to hurricanes, poor training for these situations, etc.) 18. Misjudgement of traffic situations	19. Communication between navigators, misunderstandings 20. Communication with pilot (linguistic problems, etc.) 21. Heavy traffic, many simultaneous situations 22. Interaction, minor/leisure traffic 23. Nav. rules not known 24. “GPS assisted”/ “Radar assisted” collision 25. Too many company procedures to follow / paperwork 26. Checklists are not used as a tool, but are a goal in itself 27. Insufficient/wrong procedures
TECHNICAL SYSTEMS	USER INTERFACE	OTHER
28. Insufficient radar functionality 29. Quality of equipment (ECDIS (update), etc.) 30. Technical failure (power supply) 31. Communication equipment failure 32. Large vessels, difficult to manoeuvre 33. INS/IBS failure (Integrated Nav. System/Integrated Bridge System) (incl. software) 34. GPS malfunction 35. GPS jumps 36. Gyro failure 37. Autopilot malfunction 38. Hard rudder as a result of loss of rudder feedback system	39. Poor bridge design, physical work conditions 40. Too much information (AIS, etc.) 41. Barriers regarding poor user interface 42. Alarm confusion 43. Local conditions (poor quay, marking, anchoring conditions, ...) 44. Complex operating procedures compensating for poor technical systems	45. Sabotage (spoofing of GPS signals, lead/force vessel on ground...)

4.2 Accident studies

The accidents reported in LRFP, ref. section 3.1, form the basis for the frequency for collision, grounding and contact accidents. Further study of the database has been carried out to see if any trends could be identified or special findings could be made.

The table below shows in what environmental location the accidents occurred. It is seen that 62% of the accidents occurred in areas close to shore and in narrow waters. Only 38% occurred at sea. The data may result directly from the typical trade of cruise ships with many port calls and close to shore operations, as it shows that accident frequencies for cruise ships are dominated by accidents in narrow waters.

Environment	Collision	Contact	Grounding	Total
Restricted water	1	1	4	6
Estuary/River	2	3	4	9
In port	2		4	6
At sea	3	2	8	13
Total	8	6	20	34

The figure below shows the location of cruise ship accidents world-wide. The concentration of accidents is found in typical cruise areas and as expected a large concentration around Caribbean and the U.S. East Coast.



Figure 4-1 Location of cruise ship accidents related to navigation failure

ANNEX I

The HAZID, ref. section 4.1, identified some key hazards as the most important for the industry. In order to verify these findings a search for cause analysis of the accidents were performed. The accidents which we studied are summarised in the table below.

Name	Accident	Location	Year	Information Source
Star princess	Grounding	Canada West Coast	1995	Accident report US, ref. /4/
Royal Majesty	Grounding	US East Coast	1995	Accident report US, ref. /5/
Hanseatic	Grounding	Canada, NW Territories	1996	Accident report CAN, ref. /6/
Monarch of the Seas	Grounding	Caribbean	1998	DAMA database, ref. /7/
Statendam	Near-miss collision	Canada West Coast	1996	Accident report CAN, ref. /8/
Norwegian Dream	Collision	English Channel	1999	New article, ref. /9/

Each accident is described and causes and contributing factors are identified in the following subchapters. Reference to information sources is made in Table 4-3.

4.2.1 Star Princess

On June 23, 1995, the passenger vessel *Star Princess*, travelling from Skagway to Juneau, Alaska, grounded on Poundstone Rock in Lynn Canal. No injuries or death were reported in the accident, but the vessel's bottom sustained significant damage. The total cost resulting from required repairs and the delay before the vessel could return to service was estimated to \$27.16 million.

Prior to the accident, the pilot was responsible for the navigation. The pilot stayed on his course, even if this was not according to the track plotted on the vessel's charts. The second officer was aware of this, but this was not communicated to the pilot. In general, Alaska pilots typically did not share navigation information with watch officers, according to the second officer. The pilot's use of the radar was limited, instead he relied on visual references, even if the illumination was inaccurate to level the distance to the Poundstone Rock buoy. Another vessel, *Fair Princess*, was on a northbound passage and the pilot was uncertain of her movements, but no communication was established between the two vessels. The vessel had a course east of Poundstone rock, while it is recommended that southbound vessels navigate west of it, whenever it is expected to encounter a northbound vessel at this point. It was later revealed that the pilot suffered from sleep apnoea and thus suffered a chronic fatigue.

The major causes or contributing factors to the accident can be summarised with two points:

- The pilot's poor performance, which may have been exacerbated by his poor physical fitness.
- The lack of bridge resource management between pilot and watch officers, e.g. no communication

4.2.2 Royal Majesty

The *Royal Majesty* was completing a voyage from Bermuda when it ran aground on June 10 1995 onto the Rose and Crown Shoal about 10 miles east of Nantucket Islands, Massachusetts. The ship was 17 miles off course when the accident occurred. None of the 1,509 passengers were injured and the ship was refloated the next day. Total cost, including damage to the vessel and lost revenue were estimated to \$7 million.

At the start of the voyage the autopilot was set and the navigating officers only used the GPS to plot the vessel's position and did not confirm the GPS position with the Loran-C. About one hour after the vessel left St. George, the GPS receiver antenna cable connection had separated enough that the GPS system switched to dead reckoning mode. The autopilot no longer corrected for wind, current or sea and the vessel started to drift off course. Later in the voyage lookouts sighted lights not normally observed in the traffic lanes and blue and white water. In addition, the second officer was unable to confirm the presence of the BB buoy (reference point to entrance to Boston). Still, the second officer did not take action to verify position. The fathometer alarm was not set to 3 meters, as is recommended practise, nor was the fathometer data displayed on the control console. Had this been done, an alarm would have alerted that the vessel was in far shallower waters than expected and, thus, off course.

The major causes or contributing factors to the accident can be summarised with three points:

- The watch officers' over-reliance on the automated features of the integrated bridge system and the failure to take corrective actions after several cues indicated the vessel was off course
- Lack of adequate training of the officers in the automated features of the integrated bridge system and in the implication of bridge resource management
- Inadequacy of international standards for watch standers aboard vessels equipped with electronic navigation systems and integrated bridge systems and the inadequacy of international standards for design, installation and testing of such systems aboard vessels

4.2.3 Hanseatic

While on passage from Gjoa Haven to Resolute Bay, the *Hanseatic* ran aground in Simpson Strait, Canada. The weather was fine and clear and the vessel was being navigated visually, by reference to shore ranges, and by radar. The master was keeping the ship on a heading which was increasingly starboard of the course line to counteract the effect on the vessel of northwest wind.

As the *Hanseatic* approached the alter-course position, the master was aware that the ship was north of the ranges, but the sight of a green buoy on the starboard side gave him confidence that she would pass clear of a shoal lying just to the north of the course line. However, the buoy had not been removed at the end of the previous navigation season and the winter ice had moved it about 200 metres to the northeast. Consequently, the *Hanseatic* did not clear the shoal and ran aground. Canadian publications relevant to the passage contain several warnings against relying on buoys in the sea.

The major cause or contributing factors to the accident can be summarised with three points:

- The bridge team did not strictly adhere to the plan that had been prepared for navigating the vessel through the strait. The vessel was allowed to proceed off the ranges while this was not necessary to avoid a navigational hazard
- Relying on a navigation buoy left in the strait from the previous navigation season contributed to the grounding
- During the inbound passage the bridge team did not determine if the buoys unexpectedly found in the strait were in their charted positions.

4.2.4 Monarch of the Seas

Monarch of the Seas sailed from St. Maarten without having a passage planning according to the vessel's ISM manual. The master directed the vessel to a course of 160 degrees and the speed was increased. The master gave the responsibility for the navigation to the 3rd officer, who was told to navigate with "safe distance". The 3rd officer assessed safe distance to be three cable lengths from a buoy east of the reef. The vessel's position was only controlled by means of radar taking bearing to the buoy. The master left the bridge. The 3rd officer had only 11 months sea duty as watch-keeping officer/deck cadet. The staff captain was present on the bridge, but was not involved in the navigation. The vessel sailed at a speed of 12 knots and grounded on the coral reef. The vessel sustained severe bottom damages and took water in three of her watertight compartments. The vessel had to be beached to avoid sinking. About 2850 passengers and crew was evacuated with tender vessels.

The major cause or contributing factors to the accident can be summarised with four bullets:

- Poor passage planning
- The navigators did not use all necessary navigational aids available
- Poor observation of the vessel's position
- Wrong assessment of own vessels motions

4.2.5 Statendam – close quarter situation

On the evening of August 11th 1996, the cruise ship *Statendam*, on passage from Sitka, Alaska, to Vancouver made a wide turn around Chatham Point and passed close ahead of the northbound tug/barge unit *Belleisle Sound/Radium 622* which was laden mostly with dangerous cargo. The cruise ship incurred minor damage to fittings in public areas when the vessel heeled over to port during a subsequent emergency manoeuvre. A number of passengers and crew sustained minor injuries. The tug/barge unit was undamaged.

To go around Chatham Point the pilot of *Statendam* ordered the helmsman to execute a turn to starboard. The rate of turn was too small and placed the vessel well to the east of her intended track. At the same time the master noted a target on his radar just two miles away on the starboard side. The pilot, who was paying close attention to his vessel's rate of turn, did not become aware of the target until the *Statendam* was well into her swing. At this point the pilot and master were occupied in scheduling matters and orders were given to the engine room to reduce power. The OOW noted that the vessel was well over to the east side of the channel and the master brought this to the pilot's attention.

The helm was brought to midship and port rudder applied momentarily to steady the vessel. The target was on the starboard bow, four cables distant, with a closest point of approach (CPA) of less than one cable.

With the target estimated to be at 1½ cables' distance, approximately 20 to 30 degrees on the starboard bow and closing quickly, two red sidelights and two masthead navigation lights were seen through a break in the fog. At 2236, the *Statendam* crossed an estimated 60 to 90 m ahead of the *Belleisle Sound/Radium 622*.

The major cause or contributing factors to the near accident can be summarised with three points:

- The slow rate of turn of the *Statendam* placed the vessel on the east side of Discovery Passage in the path of the oncoming tug/barge unit.
- The reduced visibility in fog and darkness
- The pilot's lack of familiarity with the navigational systems of the *Statendam* and the non-application of bridge resource management principles, especially with regard to the logical division of the workload according to the area of expertise of each member of the bridge team.

4.2.6 Norwegian Dream

Norwegian Dream collided with the containership *Ever Decent* in the English Channel August 24 1999. Shipping in the English Channel is divided into lanes, but *Ever Decent* was in progress of crossing one of these lanes at the time of the crash. Three people were injured and the container ship caught fire.

Norwegian Dream had only one officer on watch, although the company's procedures call for double watch in instances of heavy traffic. The officer had been distracted by clerical tasks, such as signing off on a garbage log and looking after the work of crew members, while tracking ship traffic on two radars.

A third ship had caused a previous scare by remaining on a collision course with the *Norwegian Dream* for 12 minutes prior to the collision with *Ever Decent*. Approximately five minutes prior to the accident *Ever Decent* radioed the *Norwegian Dream* to advise her of the collision course and propose a course of alteration. No further action was taken by *Ever Decent*, and the ship was at that time overtaking another vessel. Should *Norwegian Dream* have taken the evasive manoeuvres suggested by *Ever Decent*, the cruise ship would at best have a close encounter with the overtaken vessel. This was not visible from the *Norwegian Dream* bridge, as *Ever Decent* was overtaking it.

The major cause or contributing factors to the near accident can be summarised with three points:

- Overburdened officer on watch on *Norwegian Dream*, leading to distraction from duties other than navigation.
- No second navigation officer on the bridge in what seems to have been a heavy traffic situation. This was also due to unclear procedures on the *Norwegian Dream*
- Lack of familiarisation with bridge system and lack of "a decision-support system"

5 RULES AND REGULATIONS

Summary of rules and regulations regarding navigational equipment for Passenger ships of 1600 gross tonnage and upwards, unless otherwise described.

1. For ships constructed before September 1st 1984, the following navigation equipment/arrangements requirements are applicable (Ref. /10/):

- 1.1 Magnetic compass(es) including means for taking bearings 360°, communication between compass and normal navigation position. Heading shall be readable at main steering position.
- 1.2 Gyrocompass including bearing repeaters for taking bearings 360°. Heading shall be readable at main steering position.
- 1.3 Communication between bridge and emergency steering position for relaying heading information.
- 1.4 Radar including means for plotting radar readings.
- 1.5 Second radar including means for plotting radar readings, for ships of 10,000 gross tonnage and upwards.
- 1.6 Automatic Radar Plotting Aid (ARPA), installed within September 1st 1988.
- 1.7 Echo Sounder.
- 1.8 Speed log, capable of measuring speed through the water, installed within September 1st 1988.
- 1.9 Indicators for: rudder angle (RAI), revolution per minute (RPM), pitch (if provided) and thrusters (if provided).
- 1.10 Radio Direction Finder

2. For ships constructed on or after September 1st 1984, the following navigation equipment/arrangements requirements are additionally applicable (Ref. /10/):

- 2.1 Rate of Turn Indicator, for ships of 100,000 gross tonnage and upwards.

3. For ships constructed on or after February 1st 1992, the following navigation equipment/arrangements requirements are additionally applicable (Ref. /11/):

- 3.1 Gyro repeater installed at emergency steering position(s).

4. For ships constructed on or after July 1st 1998, the following requirements are additionally applicable (Ref. /12/):

- 4.1 Requirements for visibility from navigation bridge.

ANNEX I

- 4.2 Some of the requirements for visibility from navigation bridge are to be met, as far as practicable, also by existing ships.

5. For ships constructed on or after July 1st 2002, the following navigation equipment/ arrangements requirements are additionally applicable (Ref. /13/):

- 5.1 Electronic chart display and information system (ECDIS) with back-up arrangements may be accepted as meeting the chart carriage requirements.
- 5.2 GPS or terrestrial radio navigation system.
- 5.3 Sound reception system for totally enclosed bridges.
- 5.4 Automatic identification system (AIS).
- 5.5 Heading (autopilot) or Track control system required, for ships of 10,000 gross tonnage and upwards.
- 5.6 Rate of Turn Indicator, for ships of 50,000 gross tonnage and upwards.
- 5.7 Speed log, capable of measuring speed over the ground in forward and athwartships direction, for ships of 50,000 gross tonnage and upwards.
- 5.8 Voyage data recorder (VDR).

6. Ships constructed before July 1st 2002 shall (Ref. /13/):

- 6.1 Within first annual survey after July 1st 2002 be equipped with GPS or terrestrial radio navigation system.
- 6.2 Within first annual survey after July 1st 2002 be equipped with Voyage data recorder (VDR).*
- 6.3 Within July 1st 2003 be equipped with Automatic Identification System (AIS).

* Ro-Ro Passenger Ships only

6 REFERENCES

- /1/ HAZID documentation – Navigation Safety of Cruise Vessels, NAV 49/INF.2
- /2/ Lloyd’s Register’s/Fairplay’s Casualty Database, 2002
- /3/ Lloyd’s World Fleet Statistics for the period 1993-2001
- /4/ *Marine Accident Report - Grounding of the Liberian Passenger Ship STAR PRINCESS on Poundstone Rock, Lynn Canal, Alaska June 23 1995*, NTSB Report No. MAR-97-02
- /5/ *Marine Accident Report - Grounding of the Panamanian Passenger Ship ROYAL MAJESTY on Rose and Crown Shoal near Nantucket, Massachusetts June 10 1995*, NTSB Report No: MAR-97-01
- /6/ *Marine Occurrence Report, Grounding – Passenger vessel “Hanseatic”, Simpson Strait, Northwest Territories 29 August 1996*, Transport Safety Board of Canada, Report No. M96H0016
- /7/ *DAMA database*, The Norwegian Maritime Directorate
- /8/ *Marine Occurrence Report, Near – Collision between the cruise ship “Statendam” and the Tug/Barge Unit “Belleisle Sound”/”Radium 622”, Discovery Passage, Bristish Columbia 11 August 1996*, Transport Safety Board of Canada, Report No. M96W0187
- /9/ *American maritime officer newspaper article, 2000, with reference to the Bahamian Authority investigation of the collision between the cruise vessel “ Norwegian Dream” and the container vessel “Ever Decent”*, WWW link:
<http://www.amo-union.org/newspaper/Morgue/7-2000/Sections/News/collision.htm>
- /10/ 1981 SOLAS Amendments
- /11/ 1989 SOLAS Amendments
- /12/ 1994 SOLAS Amendments
- /13/ December 2000 SOLAS Amendments
- /14/ FSA Generic vessel risk, Cruise vessel - DNV Report no. 2002-1087, rev. 01

- o0o -

ANNEX I, APPENIX A

APPENDIX A: ACCIDENTS

The table below gives an overview of all the accidents assessed to be relevant for a study of navigation errors. The accidents are retrieved from the Lloyd's/Fairplay's accident database, see ref. /2/ in the main part of ANNEX I.

IMO No.	Name of vessel	Accident type	Year of build	Year of incident	No. of fatalities	Degree of severity
7108514	ISLAND PRINCESS	Collision	1972	1991	0	Serious casualty
6405434	ROYAL PACIFIC	Collision	1965	1992	9	Total loss
7822457	EUROPA	Collision	1981	1992	0	Serious casualty
8027298	NOORDAM	Collision	1984	1993	0	Serious casualty
9032159	LEUSER	Collision	1994	1997	0	Serious casualty
9139672	SINABUNG	Collision	1997	1998	4	Serious casualty
9008419	NORWEGIAN DREAM	Collision	1992	1999	0	Serious casualty
5367623	BIG RED BOAT III	Collision	1961	2000	0	Serious casualty
5262835	CARIBE I	Contact	1953	1990	0	Serious casualty
5398969	DOLPHIN IV	Contact	1956	1992	0	Serious casualty
6510887	WAPPEN VON HAMBURG	Contact	1965	1992	0	Serious casualty
8027298	NOORDAM	Contact	1984	1997	0	Serious casualty
9210141	EUROPEAN VISION	Contact	2001	2001	0	Serious casualty
8701193	VISTAMAR	Contact	1989	2001	0	Serious casualty
5023162	BERMUDA STAR	Grounding	1958	1990	0	Serious casualty
5171115	MERMOZ	Grounding	1957	1992	0	Serious casualty
5282627	DAPHNE	Grounding	1955	1992	0	Serious casualty
6725418	QUEEN ELIZABETH 2	Grounding	1969	1992	0	Serious casualty
6513994	OCEAN PRINCESS	Grounding	1967	1993	0	Serious casualty
7827213	SALLY ALBATROSS	Grounding	1980	1994	0	Serious casualty
8611398	STAR PRINCESS	Grounding	1989	1995	0	Serious casualty
8814744	ROYAL MAJESTY*	Grounding	1992	1995	0	Serious casualty
8700280	ROYAL VIKING SUN	Grounding	1988	1996	0	Serious casualty
9000168	HANSEATIC	Grounding	1991	1996	0	Serious casualty
5347245	ALBATROS	Grounding	1957	1997	0	Serious casualty
8209676	KERINCI	Grounding	1983	1997	0	Serious casualty
8807088	HORIZON	Grounding	1990	1997	0	Serious casualty
8819500	MONARCH OF THE SEAS	Grounding	1991	1998	0	Serious casualty
9128532	NORWEGIAN SKY	Grounding	1999	1999	0	Serious casualty
9008407	RADISSON DIAMOND*	Grounding	1992	1999	0	Serious casualty
7027411	CAROUSEL	Grounding	1971	2000	0	Serious casualty
9172777	MISTRAL	Grounding	1999	2001	0	Serious casualty
7915096	COSTA TROPICALE*	Grounding	1981	2001	0	Serious casualty
7915096	COSTA TROPICALE*	Grounding	1981	2001	0	Serious casualty

* The accident is not reported in the LRF database.

 ANNEX II

**ANNEX II: RISK ASSESSMENT – LARGE PASSENGER SHIPS -
NAVIGATION***

1	SUMMARY	1
2	INTRODUCTION	3
2.1	Objective	3
2.2	Scope of work	3
2.3	Limitations	3
2.4	Abbreviations	4
3	METHODOLOGY	4
3.1	Introduction	4
3.2	Bayesian network method for modelling	4
3.2.1	General	4
3.2.2	Bayesian theory	5
3.2.3	HUGIN	6
3.3	Data sources	6
4	THE RISK MODELS	7
4.1	General	7
4.2	Trade and waters sailed by cruise ships	7
4.3	The grounding scenario	8
4.4	The collision scenario	10
5	RESULTS	12
5.1	Grounding	12
5.2	Collision	13
6	REFERENCES.....	14

APPENDICES

Appendix A	Grounding model – Bayesian Network with probability input
Appendix B	Collision Model – Bayesian Network with probability input
Appendix C	Node Description
Appendix D	Risk Exposure – Estimation of number of critical situations
Appendix E	Expert Judgements

 * This Annex is an edited version of DNV Report no 2003-0277

1 SUMMARY

The risk modelling is an essential part of the full Formal Safety Assessment (FSA) of cruise navigation to be undertaken. A risk screening, where available statistics were identified is reported in ANNEX I, and a hazard identification has already been carried out and reported in NAV49/INF.2. Both these reports are important input to the risk modelling.

There are two ways to quantify risk, through statistics and through models. The disadvantage of using statistics is that statistics will only represent the past, and not take into account recent developments or new requirements. Risk modelling is the proactive approach, where risks are assessed before the accident takes place. This is opposite to the maritime history, where regulations are adopted after catastrophic accidents.

The modern vessels are less likely to ground or collide due to technical failure than older, conventional vessels are. This will again put more focus on human and organisational factors in general, and the navigators' attention, competence and performance in particular. The importance of human elements can be well reflected in a model, however, difficult to reveal through statistics.

The most valuable output from a model is not the overall risk level that is predicted by the model, but the structure itself and all the contributing factors that enables an understanding of the failure mechanisms and gives a quantified result whenever one of the input parameters is altered. Bayesian reliability theory and Bayesian networks were assessed to be ideal for this purpose.

It is quite easy to express an opinion about risk, the challenge is to quantify this risk in a consistent model. In the work process to establish probability input to the models, various experts and data sources were used to ensure a solid foundation for the dependencies and figures entered into the model. Statistical data were used where available. If statistical data were not available, experts were interviewed or directly involved in the modelling process.

The failure mechanisms for grounding and collisions are quite similar, and the accident models have most of the structure and nodes (contributors) in common.

The results from the grounding and collision model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 1-1 and Table 1-2.

Table 1-1 Risk based on grounding model		
Risk results		
Probability for powered grounding given course towards shore	1.3E-05	[pr critical course]
Fatality rate per person given course towards shore	7.9E-09	[pr critical course]
Fatality rate per person given grounding	6.1E-04	[pr grounding event]
Number of courses towards shore per nautical mile	3.6E-02	[pr nm]
Frequency for grounding per nautical mile	4.7E-07	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.8E-10	[pr nm]

Table 1-2 Risk based on collision model

Table 1-2 Risk based on collision model		
Risk results		
Probability for collision given collision course	8.6E-06	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision course	4.6E-08	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision	5.4E-03	[pr collision event]
Number of collision courses per nautical mile	4.4E-03	[pr nm]
Frequency for collision per nautical mile	3.8E-08	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.0E-10	[pr nm]

The results are somewhat lower than the figures in the accident statistics, ref. ANNEX I. This is reasonable due to the fact that the statistics show a continuously declining accident trend. The main reasons are the improved vessel manoeuvrability and modern navigational equipment, which will ensure reduced accident frequency. However, the poor damage stability makes the cruise vessel vulnerable to hull damage, and therefore the consequences of both collision and grounding are considered to be severe. This is taken into account in the risk model.

The model results show that powered grounding represents 40% higher risk for loss of lives than collision. This is due to a higher accident frequency for grounding than for collision. Due to the high proportion of non-serious groundings, a collision is nine times as dangerous for people onboard as a grounding accident.

No fatal grounding accidents have occurred so far. However, the individual risk in this model shows a fatality frequency of 2.2E-05 per person year, i.e. with 2,000 people onboard, this means a fatality frequency of 0.044 per ship year (1 fatality every 23 years per ship). The model shows also that the potential risk for a catastrophic grounding accident with more than 100 people killed is 2.4E-04 per ship year, i.e. every 3,900 years per vessel in the fleet.

The corresponding figure for collision is an individual risk of 1.6E-05 per person year, which is in the same order as what the statistics show. A vessel in a typical trade with 2000 people on board has then a fatality frequency of 3.1E-02 per ship year due to collision (1 fatality every 32 years per ship). The potential risk for a catastrophic collision accident is 3.9E-05 per ship year, i.e. every 25,600 years per vessel in the fleet.

The most important experience from the project is the understanding of the relation between the influencing factors that contribute to grounding and collision. The most important use of the models will be as a tool to evaluate the effect of risk control options or new regulations. The models will thus be used in the next step of the FSA, which is the cost-benefit analysis of identified risk control options.

2 INTRODUCTION

The objective of the FSA of cruise navigation is to:

Identify risk control options to be implemented for large passenger ships, related to safe navigation

Risk screenings, where available statistics were identified, and hazard identification have already been carried out, and provide input to the risk assessment, which is Step 2 in the FSA process.

The risk assessment as presented in this annex will provide the required knowledge to identify risk control options and establish the required data and models to assess such options in terms of changed level of safety.

2.1 Objective

The objective of FSA Step 2 is to establish a risk model of all important influencing factors involved in avoiding collisions and grounding, and to quantify the risk level. The model is based on the need to be able to analyse and evaluate the effect of risk control options (RCOs), both those that are already implemented and those that will or may be implemented. The project focuses on frequency reduction, and is not intended to cover RCOs for consequence reduction.

The risk models for collision and powered grounding are described in this report. In addition, the report presents quantitative human risk results for these two accident scenarios which relates to failure in navigation of cruise vessels.

2.2 Scope of work

This project phase consisted of the following activities:

- Design models that quantify failure probabilities and consequence of grounding and collision for cruise operations. The models include human factors, technical factors, geographical and other external factors, chosen with the aim to reflect important risk contributors and to be able to evaluate the effect of RCOs. The models are designed by use of Bayesian network technique.
- Quantify each influence factor of the model (this includes both expert judgements and use of statistical data)
- Documentation of results

2.3 Limitations

The risk assessment presented in this document concentrates on risk to people onboard, not on environmental or property risk.

The models are intended to represent large cruise vessels only, i.e. carrying more than around 2000 passengers.

Historically, few accidents have occurred with cruise vessels. Statistics has been used to coarsely calibrate the results from the modelling, however, statistics are not considered to be the correct answer. Zero probability does not necessarily mean that the certain event can not happen. The

result from the modelling is therefore the best estimate on what is the actual risk level for collision and grounding of cruise vessels.

The risk includes only fatalities on own vessel, i.e. the cruise vessel, and not fatalities on the other vessel in case of collision. A cruise vessel may also pose risk to others through collisions; however, this is not included. Thus, leisure crafts are not included in the study, as they are a minor danger for cruise vessels.

2.4 Abbreviations

CPT	Conditional Probability Table
DNV	Det Norske Veritas
OOW	Officer On Watch
RCO	Risk Control Option
VTS	Vessel Traffic Service

3 METHODOLOGY

3.1 Introduction

The objective of this task is to design a model that quantifies failure frequencies and consequences of collision and grounding for cruise vessel operations.

The models for collision and grounding are based on previous work carried out by DNV. DNV has extensive experience with risk modelling, e.g. ref. /5/; however, risk models for cruise vessels did not exist prior to the study. A considerable amount of work has therefore been put into designing credible models tailored for cruise operations.

A Bayesian network methodology is used to model the risk for collision and grounding. This method is considered as the best method to reveal dependencies between the contributing factors and the importance of the individual contributors. The model is thus excellent to evaluate the effect of risk reducing measures, including evaluating the effect of possible new regulations.

As a Bayesian network only calculates the *probability* of “failure” given a critical situation, this is combined with an Excel model that estimates the *frequency* or exposure. The failure frequencies for collision and grounding are estimated by combining the *frequencies* of critical situations with the *probability* of failure from the Bayesian network.

3.2 Bayesian network method for modelling

3.2.1 General

A *Bayesian network* is a causal network that enables a graphical representation of causal relations between different parameters. The network consists of a set of nodes representing random variables and a set of links connecting these nodes, illustrated by arrows.

The model reveals explicitly the probabilistic dependence between the set of variables. Each variable could have a number of states, and has assigned a function that describes how the states of the node depend on the parents of the node, i.e. a conditional probability table (abbreviated CPT). This is illustrated in Figure 3.1, together with the network.

ANNEX II

A CPT quantifies the effects that the parent nodes have on the child node. Each numeric value in the CPT is the probability of being in the state found in the left-most column in the actual row - when the parents (if any) are in the states found in the top of the actual column. Thus, the number of cells in a CPT for a discrete node equals the product of the number of possible states for the node and the product of the number of possible states for the parent nodes.

The values in this table are set manually. The basis for the conditional probabilities in a Bayesian network has background from well-founding theory and statistics as well as subjective estimates and expert judgements.

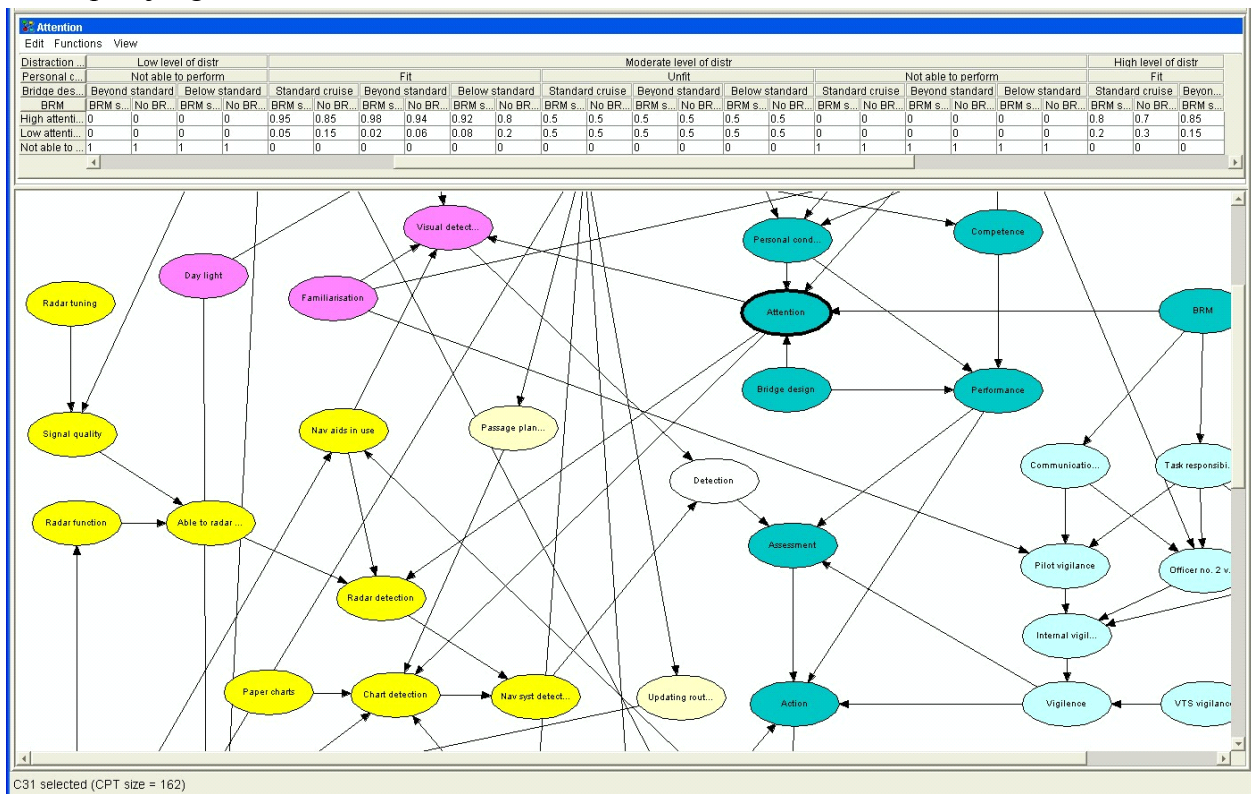


Figure 3-1 Example of Bayesian network and conditional probability table (CPT)

3.2.2 Bayesian theory

The Bayesian calculus, which is part of classical probability calculus, is based upon the theorem of Thomas Bayes, which states that:

$$P(H|e) = \frac{P(e|H)P(H)}{P(e)}$$

where e : Event/Observation

H : Hypothesis

P(H|e) : Posterior probability

P(e|H) : Likelihood function

$P(H)$: Prior probability

A conditional probability statement is of the following kind:

Given the event e , the probability of the event H is x .

The notation for this statement is $P(H | e) = x$. It should be noted that $P(H | e) = x$ does not mean that whenever e is true, then the probability for H is x . It means that if e is true, and everything else known is irrelevant for H , then $P(H) = x$.

This is the basic method for establishing the conditional probability tables and calculation of the network as mentioned earlier.

3.2.3 HUGIN

HUGIN is the project's Bayesian network tool. The user interface contains a graphical editor, a compiler and a runtime system for construction, maintenance and usage of knowledge bases based on Bayesian network technology.

3.3 Data sources

In the work process to establish the failure models for collision and grounding, various experts and data sources were used to ensure a solid foundation for the dependencies and figures entered into the model. Statistical data were used where available. Statistical data from other ship types was used where such data was transferable to cruise navigation without to much difficulties. If statistical data was not available, experts were interviewed or directly involved in the modelling process.

The persons involved during the project process in addition to the project team, are presented in Appendix E of ANNEX II.

The structure of the Bayesian network was extensively examined by navigators to ensure a logical model that included the important factors relevant for navigational performance, ref. Appendix E of ANNEX II.

Statistical probability input is used if available. This is typically for nodes concerning reliability of technical equipment/systems and some input on human factors. The sources used are presented in the node description in Appendix C of ANNEX II.

For nodes where no statistical information was available, expert workshops have been arranged. Important probabilities of each node related to causes of grounding and collision were discussed and verified. More on the process and the people involved in this workshop is presented in Appendix E. References to these workshops are made in the node description in Appendix C.

The project team has also been on a field trip sailing with the Coastal Express M/S "Finnmarken", ref. /4/, a Ro-Ro/Passenger vessel which is trading on the Norwegian coast from Bergen to Kirkenes. Navigation of this vessel is considered to be very similar to navigation of a cruise vessel and the vessel is equipped with the latest within navigation, communication, and safety equipment. The project team spent most of the time onboard on the bridge together with the navigators, both during day and night. The navigators gave valuable input to the project, both regarding navigation in general and improvement areas in particular.

4 THE RISK MODELS

4.1 General

The accident scenarios collision and grounding have been modelled as relying on accident statistics is not possible. Statistics present events in the past and may exclude severe scenarios that have not yet happened, especially if the data foundation is poor. In addition, the quality and sensitivity of the results are quite dependent on the extent of data. If accident statistics only are including few cases representing an accident scenario, one additional serious accident can dramatically change the results. For cruise vessels, the statistical foundation is limited compared to most other vessel types, due to relatively small fleet.

When modelling a scenario, all important parameters that influence the frequency and the consequence of the event are included, regardless of whether similar accidents have happened. This cause analysis enables an effective evaluation of introducing risk control options (RCOs).

The model is based on the need to be able to analyse and evaluate the effect of RCOs, both those that are already implemented and those that will be implemented shortly. The models are, however, not intended to cover RCOs for consequence reduction.

4.2 Trade and waters sailed by cruise ships

The cruise industry is dominated by some specific trades. To be able to estimate the frequency of critical situations, i.e. exposure to grounding and collisions, the characteristics and the traffic intensity of the generic cruise routes were identified. A generic route is a cruise route representative for the different cruise routes in the trade.

The cruise trades were divided into five main trades based on market information, ref. /2/, and expert judgement, ref. Appendix E. Further, the passage was divided into three water types: Open waters, Coastal waters and Narrow waters. This division was done by expert judgements, ref. Appendix E of ANNEX II. The results are given in Table 4-1.

Trading area	Percentage of cruise ships in trade	Type of water [% of time]		
		Open	Coastal	Narrow
Caribbean	55%	70%	25%	5%
Alaska/Canada	13%	10%	45%	45%
Europe	15%	20%	40%	40%
Asia	15%	70%	20%	10%
Other	7%	70%	20%	10%

The types of waters are defined as:

- Open waters: No obstacles within 5 nautical miles in all directions
- Coastal waters: No obstacles within 2 nautical miles in all directions

ANNEX II

- Narrow waters: No obstacles within 0.5 nautical miles in any direction

The division into water types enable a calculation of the frequency of critical courses towards shore and the number of collision courses a cruise vessel is likely to encounter. E.g. a cruise vessel will have more critical courses in coastal waters and a meeting situation in narrow waters is more likely to give a collision course than a meeting situation in open waters.

4.3 The grounding scenario

It is distinguished between powered grounding and drift grounding, defined as follows:

Powered grounding – An event in which grounding occurs because a vessel proceeds down an unsafe track, even though it is *able to* follow a safe track, due to errors related to human or technical failure.

Drift grounding - An event in which grounding occurs because the vessel is *unable to* follow a safe track due to mechanical failure, adverse environmental conditions, anchor failure, and assistance failure.

Only powered grounding is considered to be navigation related. Drift grounding is therefore not considered in this study. ‘Grounding’ in this report is thus equivalent with ‘Powered grounding’.

Figure 4-1 gives a brief overview of the risk model developed by Bayesian network for grounding. The nodes are only illustrative and are not the nodes used in the actual model, which has a far higher level of detail and is enclosed in Appendix A.

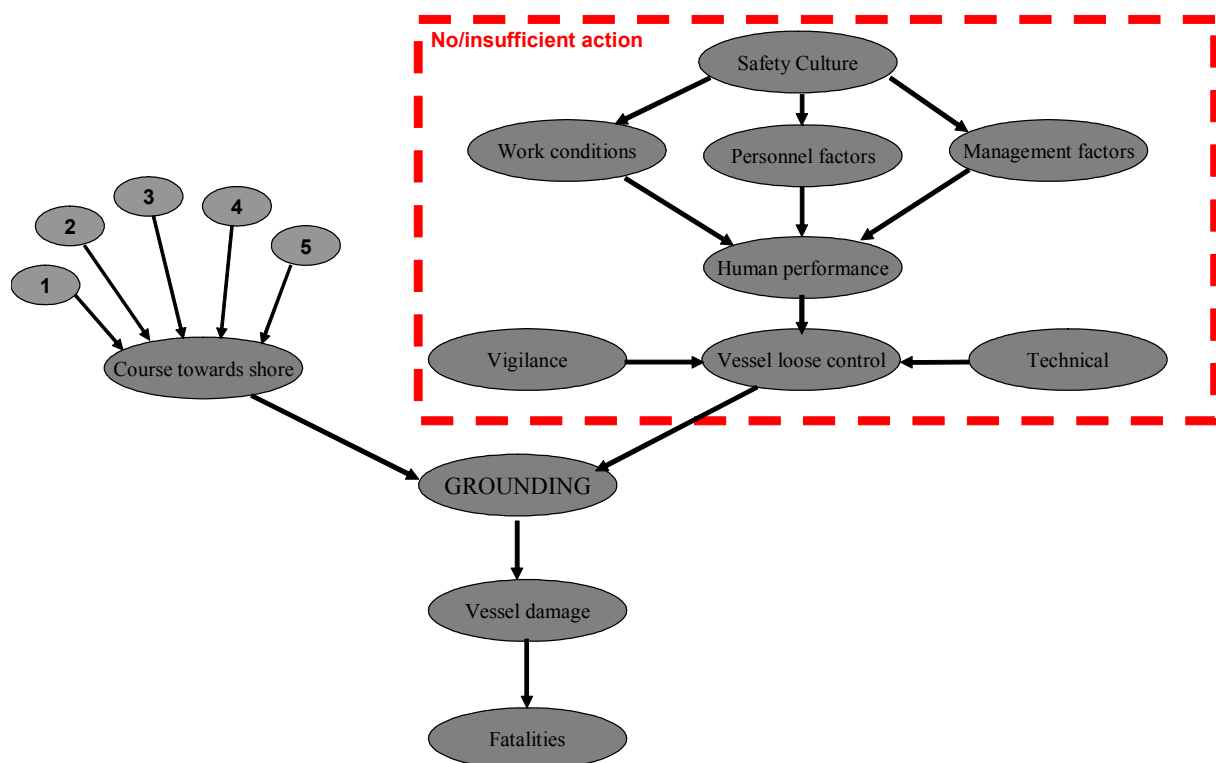


Figure 4-1 Overview of Bayesian grounding model

ANNEX II

Briefly explained, the left side of the figure illustrates the level of grounding risk that the vessel is exposed to, while the right side indicates how well the ship handles this risk. The lower part of the diagram illustrates the consequences.

The left side of the figure ('Course towards shore') is the frequency of critical situations where loss of control is critical and grounding may happen. The number of courses towards shore is modelled in Excel. The Excel model contains five scenarios that may lead to grounding:

1. Course towards shore, supposed to change course - does not turn
2. Course along shore, not supposed to change course - turns towards shore
3. Course along shore, drift-off, should correct course - does not correct course
4. Wrong position, should steer away from object - does not steer away
5. Meeting/crossing traffic, supposed to give way - gives way, steers towards shore

The five scenarios are illustrated in Figure 4-2.

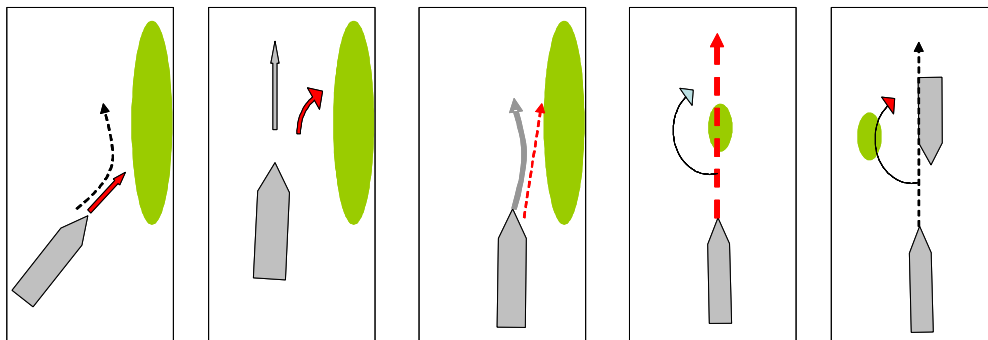


Figure 4-2 The five grounding scenarios

The frequencies for “course towards shore” for each of the five scenarios were estimated based on expert judgement, ref. Appendix E of ANNEX II. The trades described in section 4.2 were used as basis to estimate an overall frequency for a generic trade.

The right side of the network in Figure 4-1 illustrates that there are many factors influencing that the vessel loses control. Experience and statistics show that human failures are more important to powered grounding than technical performance; a typically ratio between human and technical failures resulting in accidents is 80%-20%. The navigators' main tasks are to:

- Perceive the situation correctly and collect all necessary information
- Assess of the perceived information, make decisions and give orders
- Act in the form of navigational courses or changes in speed
- Quality assure to ensure correct decision and/or executed action

ANNEX II

The ability to perform the tasks with high attention and under an acceptable stress level is influenced by several factors:

- Management factors – training of personnel, planning routines, checklists before start-up, evacuation drills, etc.
- Working conditions:
 - Internal: hours on watch, responsibilities, bridge design, distraction level, etc.
 - External: weather, visibility, marking of lane, day/night, etc.
- Personal factors - the physical and mental state of the officer on watch (tired, stress level, intoxicated, etc.)

If the OOW is not able to react or has not discovered the dangerous course, it is taken into account in the model that there may be some sort of vigilance onboard the vessel (e.g. OOW no. 2 or pilot) or externally (VTS).

Also the technical performance of the ship is important to avoid grounding. However, loss of propulsion resulting in drift grounding is not considered in this project. Failure of steering is, however, modelled as this is necessary to avoid the danger.

Both human and technical performance is influenced by the company's safety culture, i.e. how well the vessel operating company deals with safety issues and how well the company promotes a good safety mindset among its employees.

The combination of a critical course and no avoiding action (human or technical) is represented as the vessel has lost control. Grounding is then the result.

The degree of severity in vessel damage and internal and external circumstances will influence the probability of fatality per person on board, i.e. individual risk.

Due to the complexity and the extent of the model, the model is not included in full in the main report. The complete model may be found in Appendix A. Included in this appendix is also the probability input to the grounding network.

The nodes from the grounding network are described in Appendix C of ANNEX II. The Excel model describing the exposure is included in Appendix D of ANNEX II.

4.4 The collision scenario

Collision is in this study defined as one vessel hitting another vessel. Navigational or technical failures, which cause loss of control on one of the vessels, will cause collision if the other vessel is not able to prevent the collision. The two vessels are addressed as *own* vessel and *other* vessel. Figure 4-3 gives an overview of the risk model developed in the Bayesian network for collision.

Collision is based on the same model as grounding, taking into account the following differences:

- collision with an object that moves
- the object's exact position can not be planned on beforehand
- collision is with an object that can react to the situation
- unpredictable reactions from other object are possible

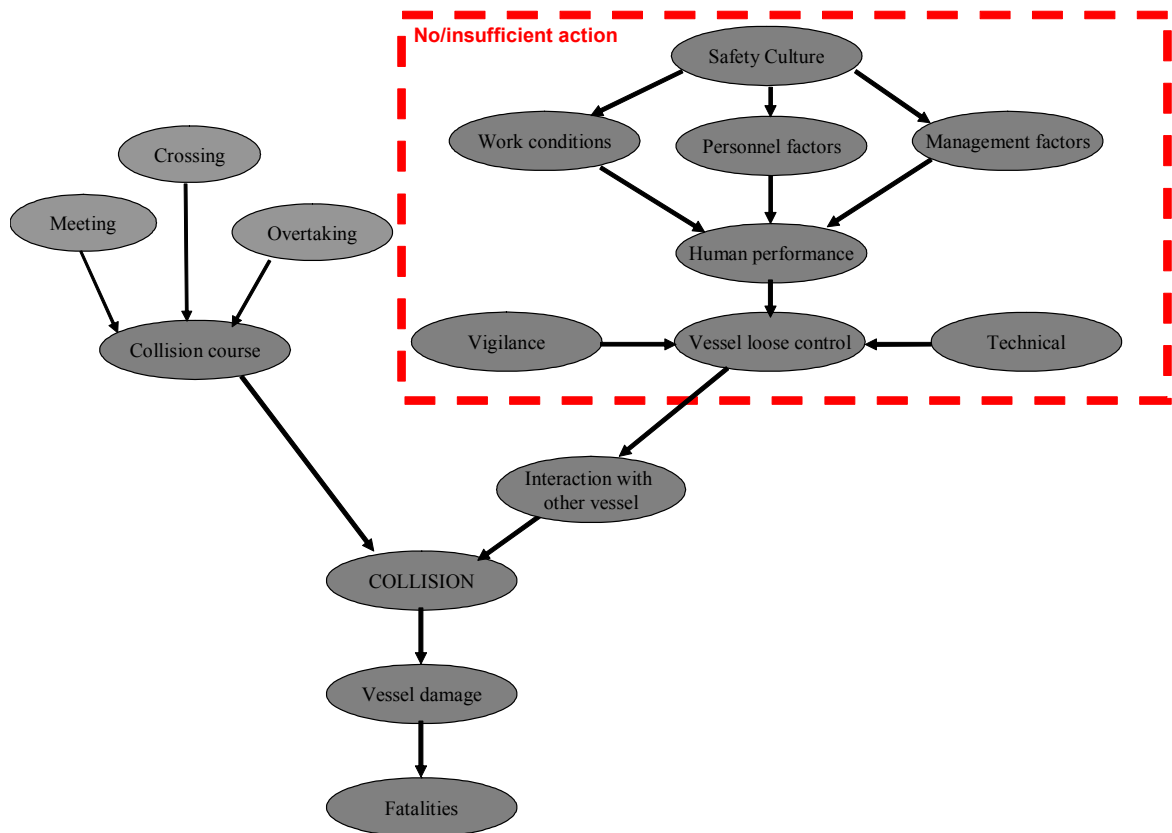


Figure 4-3 Overview of Bayesian collision model

The modelling of loss of control of the vessel is more or less the same as for grounding, except that interaction with the other vessel (give-way rules and practices, communication, etc.) is included.

The number of collision courses is modelled in Excel. As for the grounding scenario, the five cruise trades were used as basis with a generic route. For each trade, the traffic intensity was estimated based on data from the AMVER database, ref. /3/. The type of waters were divided in three categories; open waters, coastal waters or narrow waters as explained in section 4.2. The geometric frequency of collision courses is calculated by taking into account the type of waters, the traffic intensity and the vessel dimensions and speeds. Three collision scenarios were included in the model:

- Collision with meeting vessels
- Collision with crossing vessels
- Collision with overtaking vessels

The cruise vessel is “our” vessel and the “other” vessel is modelled as any other merchant vessel, including passenger and fishing vessels. Leisure crafts are not included. It is assumed that damage to hull structure or injuries to crew or passengers for cruise ships colliding with recreations crafts are negligible.

 ANNEX II

Due to the complexity and the extent of the model, the model is not included in full in the main part of ANNEX II. The complete model may be found in Appendix B of ANNEX II. Included in this appendix is also the probability input to the grounding network.

The nodes from the collision network are described in Appendix C of ANNEX II. The Excel model describing the exposure is included in Appendix D of ANNEX II.

5 RESULTS

This section presents the results from the grounding and collision models as described in section 4, as well as generic accident frequencies for the other accident scenarios.

5.1 Grounding

The results from the grounding model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 5.1 below.

Table 5.1 Risk based on grounding model		
Risk results		
Probability for powered grounding given course towards shore	1.3E-05	[pr critical course]
Fatality rate per person given course towards shore	7.9E-09	[pr critical course]
Fatality rate per person given grounding	6.1E-04	[pr grounding event]
Number of courses towards shore per nautical mile	3.6E-02	[pr nm]
Frequency for grounding per nautical mile	4.7E-07	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	2.8E-10	[pr nm]

Directly compared with accident statistics, ref. ANNEX I, the modelling results for accident frequencies are a factor of 3.5 higher. This is due to the fact that only serious accidents are reported to Lloyd's/Fairplay's accident database, while the risk model includes all grounding events. The risk model shows that 89% of the events have consequences 'No/minor', 10% is 'Major' and 1% is 'Catastrophic'. Many of the 'No/minor' accidents are not severe enough to be reported to the database. Hitting sand banks is a common problem, e.g. in Caribbean, but rarely causing damage to the vessel.

Due to the high proportion of minor accidents, the total accident frequencies estimated from the model are believed to be lower than the statistics. This is reasonable due to the fact that the statistics are based on history, which demonstrates a declining accident trend the last years. Taking into account the increasing standard of navigational equipment and new grounding avoidance systems entering the industry, it is expected that the grounding frequencies are in fact well below the accident statistics.

However, the poor damage stability makes the cruise vessel vulnerable to hull damage, and therefore the consequences of both grounding and collision are considered to be severe. This is taken into account in the risk model, mainly based on data in ref. /6/ and other reports; see Appendix C of ANNEX II for further information.

 ANNEX II

No fatal grounding accidents have occurred so far for cruise vessels according to the statistics. Ref. ANNEX I shows therefore zero frequency for fatal outcome. The individual risk in this model shows a frequency of $2.8E-10$ per nm, i.e. $2.2E-05$ per person year with a typically weekly trade of 1500 nm. This means that a cruise vessel trading with 2,000 people onboard has a fatality frequency of 0.044 per ship year due to grounding (1 fatality every 23 years).

The model shows that the potential risk for a catastrophic grounding accident with more than 100 people killed is $2.4E-04$ per ship year, i.e. every 3,900 years per vessel in the fleet.

5.2 Collision

The results from the collision model when using input that are representative for large cruise vessels world wide are presented in Table 5.2.

Table 5.2 Risk based on collision model		
Risk results		
Probability for collision given collision course	$8.6E-06$	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision course	$4.6E-08$	[pr critical course]
Fatality rate per person given collision	$5.4E-03$	[pr collision event]
Number of collision courses per nautical mile	$4.4E-03$	[pr nm]
Frequency for collision per nautical mile	$3.8E-08$	[pr nm]
Frequency for fatalities per nautical mile	$2.0E-10$	[pr nm]

Compared with accident statistics, ref. ANNEX I, the collision frequencies are about 30% lower. The risk model shows that 60% of the events have consequences ‘No/minor’, 39% is ‘Major’ and 1% is ‘Catastrophic’. However, only serious accidents are reported to Lloyd’s/Fairplay’s accident database, while the risk model includes all collision events. Many of these accidents are not severe enough to be reported to the database. However as earlier mentioned, the statistics are based on history, which demonstrates a declining accident trend the last years. Taking into account the increasing standard of navigational equipment and new collision avoidance systems entering the industry, it is expected, as for the grounding scenario, that the collision frequencies are well below the accident statistics.

The statistics shows an individual fatality frequency of $1.9E-05$ per person year, ref. ANNEX I. The individual risk in this model shows a frequency of $1.6E-05$ per person year. This means that a cruise vessel having a typical trade with 2,000 people on board has a fatality frequency of $3.1E-02$ per ship year due to collision (1 fatality every 32 years).

The model shows that the potential risk for a catastrophic collision accident with more than 100 people killed is $3.9E-05$ per ship year, i.e. every 25,000 years per vessel in the fleet.

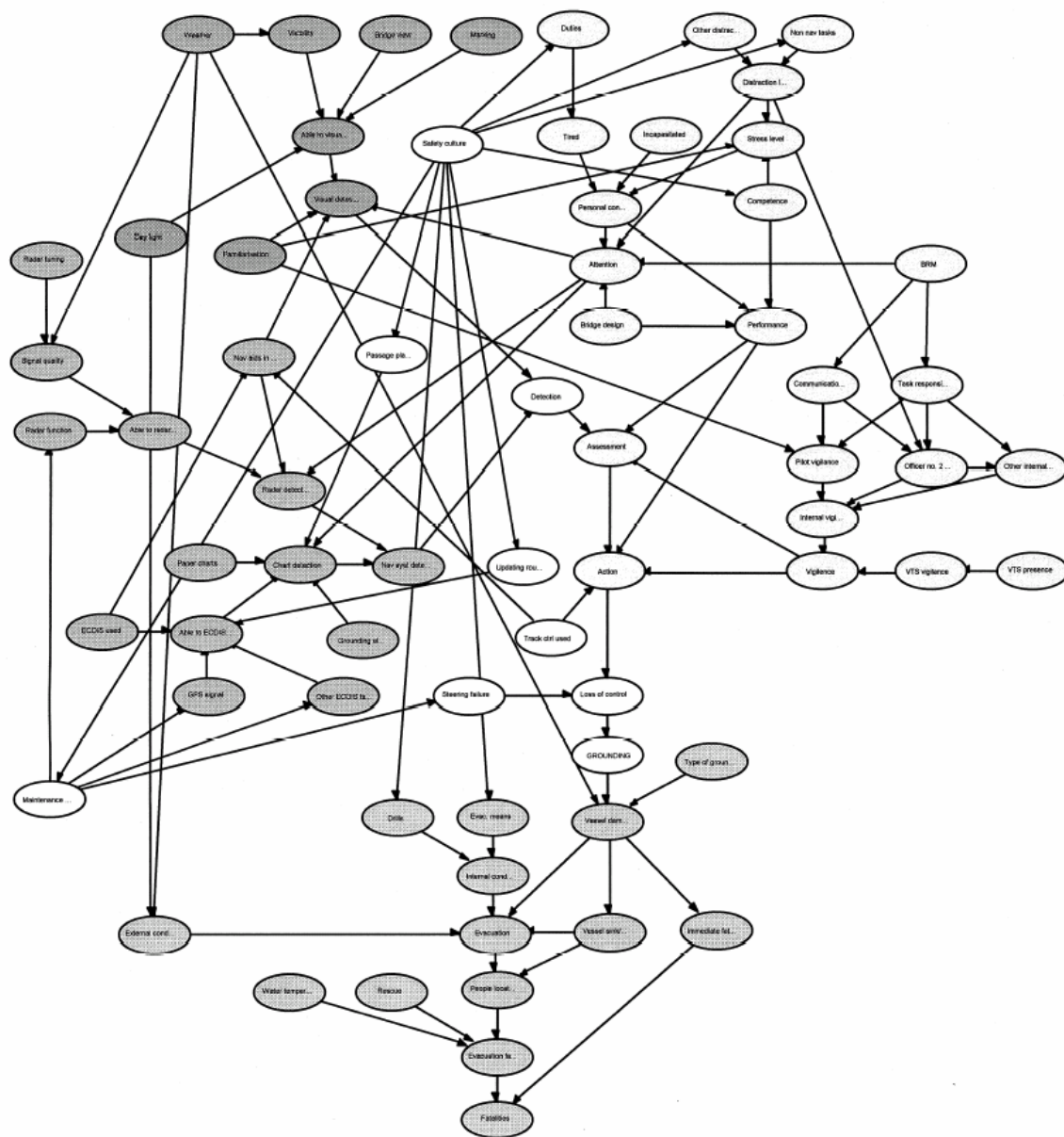
The model results show that powered grounding represents 40% higher risk for loss of lives than collision. This is due to a higher accident frequency for grounding than for collision. Due to the high proportion of non-serious groundings, a collision is nine times as dangerous for people onboard than a grounding accident.

6 REFERENCES

- /1/ MSC 72/21
- /2/ Maryland Port Administration Cruise Market Study and Economic Assessment, Bermello, Ajamil and Partners, February 2002. Information from CLIA (Cruise Lines International Association Marketing Edition 2001 and Cruise Industry News Annual 2001.
- /3/ AMVER, *Annually reporting frequency for the AMVER vessels*, received for 2001, provided by Carroll, E., US Coast Guard, 2002.
<http://www.amver.com/>
- /4/ Link to more information on M/S “Finnmarken”:
<http://www.hurtigruten.com/uk/msfinnma.html>
- /5/ SPIN WP 3.3 Risk modelling report, November 2002
- /6/ SLF 46/INF 5, June 2003

- o0o -

ANNEX II: APPENDIX A: GROUNDING MODEL



Detection(C46)

C4 1	Yes	No		
C19	Yes	No	Yes	No
Yes	1.0	1.0	1.0	0.0
No	0.0	0.0	0.0	1.0

Bridge view(C40)

Good	0.5
Standard	0.5

Grounding alarm(C44)

Yes	0.8999
No	1.0E-4
No, not used/in	0.1

Distraction level(C2)

C1	Few	Many		
C35	Few	Many	Few	Many
Low level of dis	1.0	0.7	0.0	0.0
Moderate level	0.0	0.3	0.5	0.0
High level of dis	0.0	0.0	0.5	1.0

Duties(C38)

C41	Excellent	Standard
Normal (watch + a	0.45	0.1
High (watch + a	0.5	0.8
Extreme (watch	0.05	0.1

Type of ground to hit(C50_1)

Sand	0.4
Rock	0.15
Hard ground	0.45

Grounding model rev1

Internal vigilance(C12_1)

	Able to correct				Not able to correct				No other vigilance				
	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	
C6_1													
C6	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct
C7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Yes	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
No	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C5_1	No other vigilance												
C5	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct	Not able to correct	Not able to correct	Not present	Able to correct
C7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Yes	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
No	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Other internal vigilance(C5_1)

	Able to correct	Not able to correct	Clear resp	Unclear resp	Clear resp	Unclear resp	Not present
C5	0.25	0.2	0.25	0.2	0.6	0.5555555555555555	0.4222222222222222
Yes	0.25	0.2	0.25	0.2	0.6	0.5555555555555555	0.4222222222222222
No	0.15	0.2	0.15	0.2	0.38	0.4222222222222222	0.0222222222222222
No other vigilance	0.6	0.6	0.6	0.6	0.02	0.0222222222222222	0.0222222222222222

People location(C64)

	Not initiated				Successfully				Not successfully				Not possible				Not applicable				
	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	Yes	Within	After	No	
C58																					
C59	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.02	0.0050	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In sea	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.0	0.7	0.79	0.77	0.0	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In lifeboat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.19	0.18	0.0	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
In liferaft	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.045	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Onboard	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N/A	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Grounding model rev1

C58	Not applic
C59	NA
In sea	0.0
In lifeboat	0.0
In liferaft	0.0
Onboard	0.0
N/A	1.0

Evacuation fatalities(C63)

	In sea						In liferaft					
	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr
C64	N/A											
C62	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr
C61	Within 15	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then
Yes	0.04	0.08	0.25	0.05	0.1	0.4	0.12	0.25	0.7	5.0E-4	5.0E-4	0.0010
No	0.96	0.92	0.75	0.95	0.9	0.6	0.88	0.75	0.3	0.9995	0.9995	0.999

	In liferaft						Onboard					
	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr
C64	N/A											
C62	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr
C61	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then	Within 15	15-30 min	More then	Within 15
Yes	0.0010	0.0020	0.0010	0.0010	0.0020	0.0010	0.0020	0.0020	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	1.0	1.0	1.0	1.0

Water temperature(C62)

Above 20 degr	0.6
15-20 degr	0.2
Below 15 degr	0.2

Grounding model rev1

Rescue(C61)

Within 15 min	0.02
15-30 min	0.1
More than 30 m	0.88

Immediate fatalities(C60)

C49	No/minor	Major	Catastroph	Not applic
Yes	1.0E-5	2.0E-4	0.0010	0.0
No	0.99999	0.9998	0.999	1.0

Vessel sink/capsize(C59)

C49	No/minor	Major	Catastroph	Not applic
Yes, within 30 m	0.0	0.0	0.15	0.0
Yes, after 30 m	0.0	0.0	0.1	0.0
No	1.0	1.0	0.75	0.0
NA	0.0	0.0	0.0	1.0

Evacuation(C58)

C52	Good				Na/minor				Moderate				Difficult			
	Yes, withi	Yes, after	No	NA	Yes, withi	Yes, after	No	NA	Yes, withi	Yes, after	No	NA	Yes, withi	Yes, after	No	NA
Not Initiated	0.99	0.99	0.99	0.0	0.99	0.99	0.0	0.0	0.99	0.99	0.0	0.0	0.995000C	0.995000C	0.995000C	0.0
Successfully	0.0090	0.0090	0.0090	0.0	0.0090	0.0090	0.0	0.0	0.0080	0.0080	0.0080	0.0	0.002500C	0.002500C	0.002500C	0.0
Not successful	0.0010	0.0010	0.0010	0.0	0.0010	0.0010	0.0	0.0	0.0020	0.0020	0.0020	0.0	0.002500C	0.002500C	0.002500C	0.0
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Grounding model rev1

Case	No/minor				Good				Major				Catastrophic			
	Standard	Difficult	Good	Moderate	Standard	Difficult	Good	Moderate	Standard	Difficult	Good	Moderate	Standard	Difficult	Good	Moderate
C48	Major															
C51	Major															
C52	Major															
C59	Major															
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C49	Major															
C51	Major															
C52	Major															
C59	Major															
Not initiated	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.47	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.01	0.01	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.3	0.0	0.6	0.6	0.6	0.0	0.64	0.64	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.03	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.15	0.15	0.15	0.0	0.0	0.05	0.05	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C49	Major															
C51	Major															
C52	Major															
C59	Major															
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.5	0.0	0.0	0.03	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.5	0.0	0.0	0.97	0.5	0.0	0.0	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C49	Major															
C51	Major															
C52	Major															
C59	Major															
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.5	0.0	0.0	0.03	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.5	0.0	0.0	0.97	0.5	0.0	0.0	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Grounding model rev1

	Good				Moderate				Not applicable				Difficult				Standard	NA
	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA		
C49																		
C51																		
C52																		
C59	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA	Yes, within	Yes, after	No	NA		
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Successfully	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Not successful	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Not applicable	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
C49	Not applic																	
C51	Difficult																	
C52	Standard																	
C59	NA																	
Not initiated	0.0																	
Successfully	0.0																	
Not successful	0.0																	
Not possible	0.0																	
Not applicable	1.0																	

Evac. means(C57)

C41	Excellent	Standard
Above requirem	0.5	0.2
Fulfill requireme	0.5	0.8

Drills(C56)

C41	Excellent	Standard
Above requirem	0.8	0.2
Fulfill requireme	0.2	0.8

Internal conditions(C52)

C56	Above requirements	Fulfill requirements
C57	Above req	Fulfill requi
Good	1.0	0.5
Standard	0.0	0.5

Grounding model rev1

External condition(C51)

	Day				Night			
	Good	Storm/rain	Windy	Fog	Good	Storm/rain	Windy	Fog
C15								
C13	Good	Storm/rain	Windy	Fog	Good	Storm/rain	Windy	Fog
Good	1.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.2
Moderate	0.0	0.1	0.8	0.5	0.8	0.05	0.6	0.8
Difficult	0.0	0.9	0.2	0.0	0.95	0.4	0.0	0.0

Vessel damage(C49)

	Yes												No											
	Good			Storm/rain			Windy			Fog			Good			Storm/rain			Windy					
C48																								
C13	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand	Rock				
C50_1	0.95	0.8	0.9	0.9	0.5	0.8	0.9	0.7	0.85	0.95	0.8	0.861244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Not/rain	0.05	0.18	0.095	0.09	0.4	0.18	0.1	0.25	0.14	0.05	0.18	0.090909	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Major	0.0	0.02	0.0050	0.01	0.1	0.02	0.0	0.05	0.01	0.0	0.02	0.047846	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Catastrophic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
Not applicable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				

	Windy			Fog		
	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand
C48						
C13						
C50_1	Rock	Hard grou	Sand	Rock	Hard grou	Sand
Not/rain	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Major	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Catastrophic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

GROUNDING(C48)

C42	Loss of co	No loss of
Yes	1.0	0.0
No	0.0	1.0

Passage planning(C47)

C41	Excellent	Standard
Standard	0.99	0.95
Poor	0.01	0.05

Maintenance routines(C41_2)

C41	Excellent	Standard
Followed	0.9	0.8
Not followed	0.1	0.2

Updating routines(C41_1)

C41	Excellent	Standard
Good	0.95	0.9
Poor	0.05	0.1

Steering failure(C45)

C41_2	Followed	Not follow
Function	0.9999991	0.999998
Not function	9.0E-7	1.5E-6

Loss of control(C42)

C41	Correct action	Wrong action
C45	Function	Not functi
Loss of control	0.0	1.0
No loss of contr	1.0	0.0
	0.0	0.0

Safety culture(C41)

Excellent	0.0
Standard cruise	1.0

Other ECDIS failure(C39)

C41_2	Followed	Not follow
No failure	0.9974	0.99
Failure	0.0026	0.01

Grounding model rev1

GPS signal(C30)

C41 2	Followed	Not follow
Yes	0.9938	0.9975
No	6.2E-4	0.0025

Able to ECDIS detect(C29)

	Yes				No			
	No failure	Poor	Good	Failure	No failure	Poor	Good	Failure
C25								
C30								
C39	No failure	Poor	Good	Failure	No failure	Poor	Good	Failure
C41 1	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor
Yes	1.0	0.999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.0	0.0010	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Paper charts(C28)

Available	0.9998
Not available	2.0E-4

Chart detection(C26)

	High attention				Yes				Low attention				Not able to pay attention			
	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available
C24																
C31																
C39																
C28	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available
C47	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor
Yes	0.997	0.994	0.997	0.994	0.98	0.95	0.0	0.0	0.97	0.94	0.97	0.94	0.97	0.9	0.0	0.0
No	0.0030	0.0060	0.0030	0.0060	0.02	0.05	1.0	1.0	0.03	0.06	0.03	0.06	0.05	1.0	1.0	1.0

	Yes				Not able to pay attention				High attention				Yes				Low attention			
	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available	Available	Poor	Standard	Not available
C31																				
C28	Not availa	Available	Not available	Not available	Available	Not available	Not available	Not available	Available	Not available	Not available	Not available	Available	Not available	Not available	Not available	Available	Not available	Not available	Not available
C47	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard
Yes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.995	0.99	0.0	0.0	0.995	0.99	0.99	0.98	0.97	0.9	0.0	0.95	0.9	0.95	0.9	0.4
No	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0050	0.01	0.0050	0.01	0.02	0.03	1.0	1.0	1.0	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1	0.6

Grounding model rev1

	No		Not able to pay attention		No		No, not used/incorrectly used		High attention		No		Low attention		Yes	
C44																
C31	Low attention															
C29	No															
C28	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available
C47	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor
Yes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C44																
C31	Low attention															
C29	Yes															
C28	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available	Available	Not available
C47	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard
Yes	0.9	0.95	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.1	0.05	0.1	0.3	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Radar detection(C24)

	Yes		No		No, not used/incorrectly used		Not able to pay attention		No		High attention		No		Low attention		Not able to pay attention	
C22_1																		
C31	High attention																	
C23	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time	More time	No more time
Yes	0.997	0.995	0.97	0.95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.0030	0.0050	0.03	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Able to radar detect(C22_1)

	Yes		No	
C22				
C21	Good	Poor	Good	Poor
Yes	1.0	0.5	0.0	0.0
No	0.0	0.5	1.0	1.0

Radar function(C22)

	Followed		Not follow	
C41_2				
Yes	0.999923	0.99989		
No	7.7E-5	3.1E-4		

Grounding model rev1

Signal quality(C21)

	Good	Storm/rain	Windy	Fog
C13	Adjusted t	Adjusted t	Adjusted t	Adjusted t
C4	Adjusted t	Adjusted t	Adjusted t	Adjusted t
Good	0.999	0.8	0.5	1.0
Poor	0.0010	0.2	0.5	0.0

Radar tuning(C4)

Adjusted to con	0.99
Not adjusted	0.01

Familiarisation(C20)

Familiar	0.9
Quite familiar	0.05
Not familiar	0.05

Visual detection(C19)

	Yes												No											
	High attention				Low attention				Not able to pay attention				High atten											
	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time								
C17	No																							
C31	High attention																							
C20	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time								
C23	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t								
Yes	1.0	1.0	0.995	0.99	0.992	0.984	0.95	0.9	0.92	0.84	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0								
No	0.0	0.0	0.0050	0.01	0.0080	0.016	0.05	0.1	0.08	0.16	0.1	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0								
C17	No																							
C31	High attention																							
C20	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time	Familiar	Quite familiar	Not familiar	More time								
C23	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time	No more t	More time								
Yes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
No	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								

Grounding model rev1

Able to visual detect(C17)

C14	> 1 mm				< 1 mm			
	Day		Night		Day		Night	
C15	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor
C16	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor	Standard	Poor
C10	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard	Good	Standard
Yes	1.0	0.9995	0.999	0.9985	0.999	0.9985	0.9	0.88
No	0.0	5.0E-4	0.0010	0.0015	0.0010	0.0015	0.1	0.12

Marking(C16)

Standard	0.9
Poor	0.1

Day light(C15)

Day	0.3
Night	0.7

Visibility(C14)

C13	Good	Storm/rain	Windy	Fog
> 1 mm	1.0	0.75	1.0	0.0
< 1 mm	0.0	0.25	0.0	1.0

Weather(C13)

Good	0.8
Storm/rain	0.02
Windy	0.16
Fog	0.02

VTS presence(C12)

Yes	0.1
No	0.9

VTS vigilance(C11)

C12	Yes	No
Yes	0.2	0.0
No	0.8	1.0

Vigilance(C10)

C12_1	Yes	No
C11	Yes	No
Yes	1.0	1.0
No	0.0	0.0

Task responsibilities(C9)

C3	BRM syst	No BRM's
Clear responsib	0.99	0.97
Unclear respons	0.01	0.03

Communication level(C8)

C3	BRM syst	No BRM's
Beyond standar	0.5	0.2
Standard	0.5	0.6
Substandard	0.0	0.2

Pilot vigilance(C7)

	Familiar				Quite familiar				Not familiar			
	Beyond standard	Standard	Substandard	Unclear re	Beyond standard	Standard	Substandard	Unclear re	Beyond standard	Standard	Substandard	Unclear re
C8	Clear resp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.85	0.85	0.8
C9	Unclear re	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.15	0.15	0.2
	Able to correct	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.15	0.3
	Not able to corr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	No pilot	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Grounding model rev1

Action(C6_1)

		Correct				Wrong				No assessment			
		Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
C10		Correct				Wrong				No assessment			
C6		Correct				Wrong				No assessment			
C43		Yes				No				No assessment			
C27	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent
	0.999995	0.999992	0.99998	0.999983	0.99995	0.99999	0.99999	0.9	0.85	0.8	0.7	0.5	0.5
	Correct action	0.999995	0.999992	0.99998	0.999983	0.99995	0.99999	0.9	0.85	0.8	0.7	0.5	0.5
	Wrong action	4.000008	8.0E-6	2.0E-5	1.7E-5	5.0E-6	1.0E-5	1.5E-5	1.0E-5	0.1	0.15	0.2	0.5
C10		Yes				No				No assessment			
C6		No assessment				Correct				Wrong			
C43		Yes				No				No assessment			
C27	Not able to perform	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent
	0.999983	0.0	0.0	0.0	0.99992	0.99984	0.99992	0.99983	0.99999	0.99998	0.9999	0.0	0.8
	Correct action	0.999983	0.0	0.0	0.99992	0.99984	0.99992	0.99983	0.99999	0.99998	0.9999	0.0	0.8
	Wrong action	1.7E-4	1.0	1.0	8.0E-6	1.6E-5	8.0E-5	1.7E-4	1.0E-5	2.0E-5	1.0E-4	1.0	0.2
C10		Yes				No				No assessment			
C6		No assessment				Correct				Wrong			
C43		Yes				No				No assessment			
C27	Not able to perform	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent
	0.999983	0.0	0.0	0.0	0.99992	0.99983	0.0	0.0	0.99999	0.99998	0.9999	0.0	0.7
	Correct action	0.999983	0.0	0.0	0.99992	0.99983	0.0	0.0	0.99999	0.99998	0.9999	0.0	0.7
	Wrong action	1.7E-4	1.0	1.0	8.0E-6	1.6E-5	8.0E-5	1.7E-4	1.0E-5	2.0E-5	1.0E-4	1.0	0.3

		Yes				No			
C6		Wrong				No assessment			
C43		No				Yes			
C27	Poor	Not able to perform	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform
	0.0	0.0	0.99983	0.99983	0.99983	0.0	0.0	0.0	0.0
	Correct action	0.0	0.99983	0.99983	0.99983	0.0	0.0	0.0	0.0
	Wrong action	1.0	1.7E-4	1.7E-4	1.7E-4	1.0	1.0	1.0	1.0

Assessment(C6)

		Yes				No			
C46		Excellent				Standard			
C27	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	Excellent	Standard	Poor	Not able to perform	
	0.999988	0.999985	0.999984	0.99998	0.99996	0.95	0.0	0.98	
	Correct	0.999988	0.999985	0.999984	0.99998	0.99996	0.95	0.0	
	Wrong	1.2E-5	1.5E-5	1.6E-5	2.0E-5	3.2E-5	4.0E-5	0.05	
	No assessment	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	

Nav syst detection (1)(C4_1)

		Yes		No	
C24		Yes	No	Yes	No
C26		Yes	No	Yes	No
	Yes	1.0	1.0	1.0	0.0
	No	0.0	0.0	0.0	1.0

Grounding model rev1

Officer no. 2 vigilance(C5)

C2	Low level of distr				Moderate level of distr				High level of distr			
	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard
C8	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Unclear re
C9	0.75	0.700000	0.65	0.600000	0.55	0.700000	0.65	0.600000	0.55	0.5	0.600000	0.55
Able to correct	0.15	0.199999	0.25	0.300000	0.35	0.199999	0.25	0.25	0.300000	0.4	0.35	0.45
Not able to com	0.1	0.099999	0.1	0.099999	0.1	0.1	0.099999	0.1	0.1	0.099999	0.1	0.1
Not present												

BRM(C3)

BRM system ex 0.3
No BRM system 0.7

Non nav tasks(C1)

C41 Excellent Standard
Few 0.5 0.4
Many 0.5 0.6

Attention(C31)

C2	Low level of distr				Moderate level of distr				High level of distr			
	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard
C32	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard
C3	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's
High attention	0.95	0.85	0.98	0.94	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0
Low attention	0.05	0.15	0.02	0.06	0.08	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

C2	Low level of distr				Moderate level of distr				High level of distr			
	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard
C36	Standard	Beyond standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard	Standard cruise	Beyond standard	Substandard	Beyond standard
C32	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	BRM syst
High attention	0.85	0.98	0.94	0.92	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0
Low attention	0.15	0.02	0.06	0.08	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Grounding model rev1

C2	High level of distr											
	Fit		Standard		Standard		Standard		Standard		Standard	
C36	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st
C32	BRM syst	No BRM s	BRM syst	No BRM s	BRM syst	No BRM s	BRM syst	No BRM s	BRM syst	No BRM s	BRM syst	No BRM s
High attention	0.92	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
Low attention	0.08	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Performance(C27)

C36	Fit											
	Excellent		Standard		Standard		Standard		Standard		Standard	
C34	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st
C32	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st
Excellent	0.93	0.95	0.9	0.8	0.85	0.75	0.35	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
Standard	0.07	0.05	0.1	0.2	0.15	0.25	0.6	0.55	0.65	0.5	0.5	0.4
Poor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.5	0.5	0.6
Not able to perf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

C36	Not able to perform											
C34	Excellent		Standard		Standard		Standard		Standard		Standard	
C32	Beyond st	Below st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st	Standard	Beyond st
Excellent	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Standard	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Poor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not able to perf	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Personal condition(C36)

C18	Capable				Reduced capability				Incapable			
	High	No	Yes	Standard	High	No	Yes	Standard	High	No	Yes	Standard
C33	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Fit	0.7	0.9	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Unit	0.3	0.1	0.1	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not able to perf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Grounding model rev1

Tired(C37)

C38	Normal (w	High (w/ak	Extreme (l
Yes	0.02	0.05	0.1
No	0.98	0.95	0.9

Stress level(C33)

C2	Low level of distr						Moderate level of distr						High level			
	Excellent	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Excellent	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Excellent	Quite fami
C34	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Quite fami
High	0.02	0.03	0.1	0.03	0.05	0.15	0.05	0.07	0.15	0.08	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.5
Standard	0.98	0.97	0.9	0.97	0.95	0.85	0.95	0.93	0.85	0.92	0.9	0.85	0.8	0.7	0.5	0.5
C2	High level of distr															
C34	Excellent			Standard			Low			High level of distr			Low			
C20	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Familiar	Quite fami	Not famili	Quite fami	Not famili
High	0.6	0.7	0.6	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
Standard	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Other distractions(C35)

C41	Excellent	Standard
Few	0.82	0.8
Many	0.18	0.2

Incapacitated(C18)

Capable	0.99995
Reduced capab	1.0E-5
Incapable	4.0E-5

Competence(C34)

C41	Excellent	Standard
Excellent	0.5	0.4
Standard	0.5	0.59
Low	0.0	0.01

Bridge design(C32)

Standard cruise	0.8
Beyond standard	0.1
Below standard	0.1

Nav aids in use(C23)

	Yes	No	Yes	No
C43				
C25	Yes	No	Yes	No
More time to ob	1.0	0.0	1.0	0.0
No more time to	0.0	1.0	0.0	1.0

ECDIS used(C25)

Yes	0.999999
No	1.0E-10

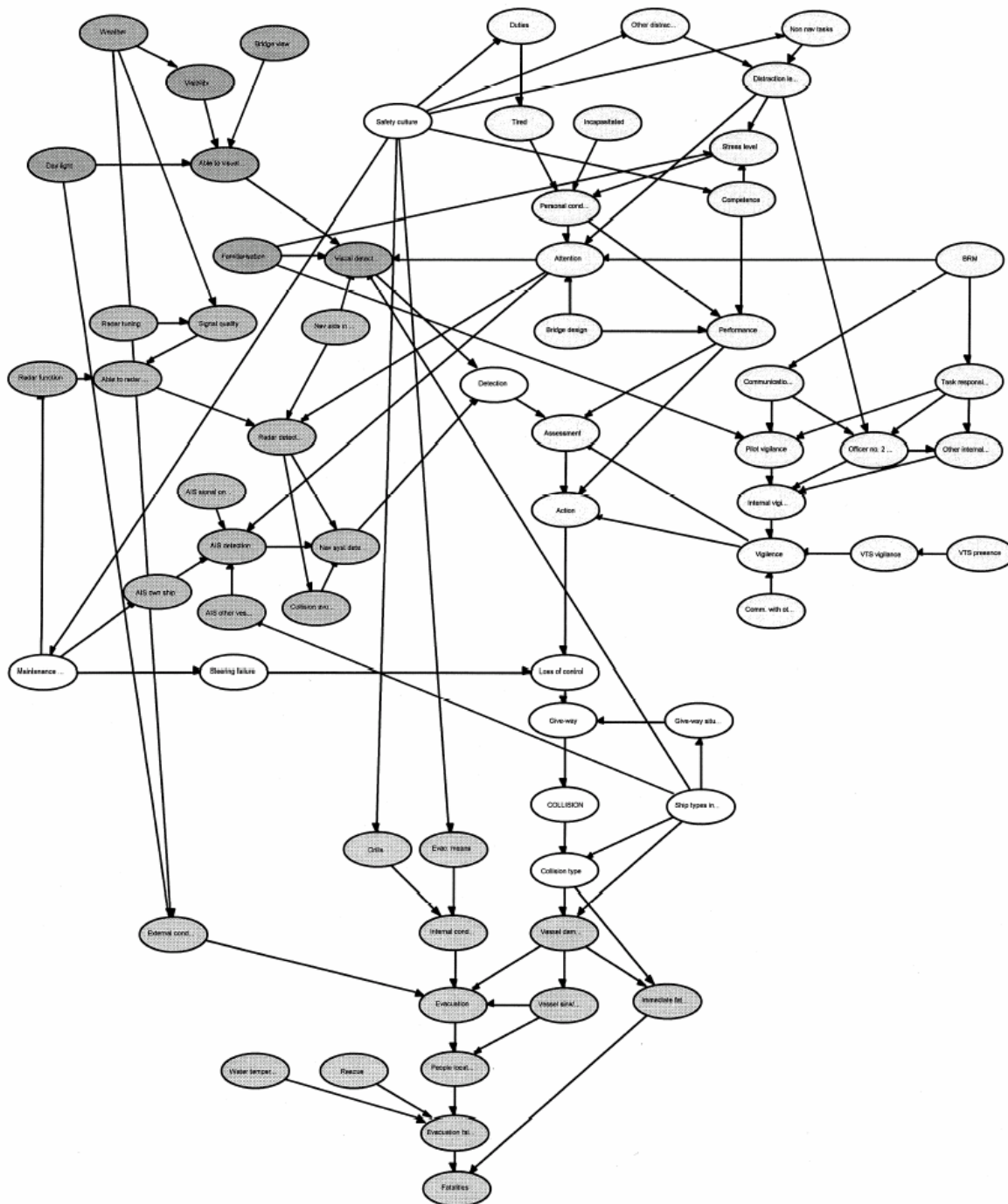
Track ctrl used(C43)

C25	Yes	No
Yes	0.85	0.0
No	0.15	1.0

Fatalities(C65)

	Yes	No	Yes	No
C63				
C60	Yes	No	Yes	No
Yes	1.0	1.0	1.0	0.0
No	0.0	0.0	0.0	1.0

ANNEX II: APPENDIX A: COLLISION MODEL



Detection(C30)

C4_1	Yes	No
C19	Yes	No
Yes	1.0	0.0
No	0.0	1.0

AIS own ship(C16)

C41_2	Followed	Not follow
Function	0.9981	0.9925
Not function	0.0019	0.0075
Not installed	0.0	0.0

Distraction level(C23)

C1	Few	Many
C35	Few	Many
Low level of dis	0.7	0.0
Moderate level	0.3	0.5
High level of dis	0.0	0.5
		1.0

Bridge view(C28)

C32	Standard	Beyond st	Below st
Good	0.5	0.8	0.0
Standard	0.5	0.2	1.0

AIS signal on radar screen(C25)

Yes	0.7
No	0.3

Nav aids in use(C2)

More time to ob	0.9
Not more time	0.1

Collision model rev01

Duties(C38)

C41	Excellent	Standard
Normal (watch)	0.45	0.1
High (watch+rad)	0.5	0.8
Extreme (watch)	0.05	0.1

Other internal vigilance(C5_1)

C5	Able to correct	Not able to correct	Not present
C9	Clear resp	Unclear re	Clear resp
Able to correct	0.25	0.2	0.6
Not able to cor	0.15	0.2	0.38
No other vigilan	0.6	0.6	0.02

VTS presence(C12)

Yes	0.1
No	0.9

Collision type(C45_1_1_1_1_1)

C48	Yes	No
C45_1_1	Large mer	Small mer
Hit	0.5	0.4
Being hit	0.5	0.6
No collision	0.0	0.0

Give-way situation(C45_1_1_1)

C45_1_1	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC
Meeting, suppo	0.500000	0.500000	0.500000	0.500000
Crossing, suppr	0.19	0.19	0.19	0.19
Crossing, not si	0.19	0.19	0.19	0.19
Overtaking, sup	0.1	0.1	0.12	0.0
Being overtaker	0.020000	0.020000	0.0	0.12

Collision model rev01

Ship types in lane(C45_1_1)

Large merchant	0.3
Small merchant	0.6
Fishing vessel	0.05
HSLC	0.05

Give-way(C45_1)

C42	Loss of control				No loss of control			
	Meeting, s	Crossing	Overtaking	Being ove	Meeting, s	Crossing	Overtaking	Being ove
C45_1_1_1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0E-4	1.8E-4	1.0	0.0
Own ship chanc	0.9998	0.8	0.2	0.9998	0.0	0.9998	0.0	0.9999
Other ship chan	2.0E-4	0.2	0.8	2.0E-4	0.0	2.0E-5	0.0	1.0E-4
Neither ships of	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9998	0.0	0.0	0.0
Both ships char	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Collision avoidance alarms(C11_1_1)

C24	Yes	No
Yes	0.94999	0.0
No	1.0E-5	0.0
No. not used	0.05	1.0

Comm. with other vessel(C11_1)

Yes	0.3
No	0.7

Internal vigilance(C5_1_1)

C5_1	Able to correct				Not able to correct				Not able to correct				No other v	
	Able to correct	Not able to correct	Able to co	No pilot	Able to correct	Not able to correct	Able to co	No pilot	Able to correct	Not able to correct	Able to co	No pilot	Able to co	No other v
C5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Yes	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
No	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Collision model rev01

C5	No other vigilance			
	Able to correct	Not able to correct	Able to co	Not present
C5	1.0	0.0	0.5	0.0
Yes	1.0	0.0	0.5	0.0
No	0.0	1.0	0.5	1.0

Fatalities(C65)

C63	Yes	No
C63	1.0	0.0
Yes	1.0	0.0
No	0.0	1.0

People location(C64)

C58	Not initiated		Successfully		Not successfully		Not possible		Not applicable	
	Yes, within	Yes, after	Yes, within	Yes, after	Yes, within	Yes, after	Yes, within	Yes, after	Yes, within	Yes, after
In sea	1.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.0050	0.0	0.0	0.0	0.0
In lifeboat	0.0	0.0	0.8	0.8	0.79	0.77	0.0	0.0	0.0	0.0
In liferaft	0.0	0.0	0.2	0.2	0.19	0.18	0.0	0.0	0.0	0.0
Onboard	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.045	0.0	1.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

C58	Not applic
C59	Not applic
In sea	0.0
In lifeboat	0.0
In liferaft	0.0
Onboard	0.0
Not applicable	1.0

Evacuation fatalities(C63)

C64	In sea		In lifeboat		In liferaft	
	Above 20 degr	Below 15 degr	Above 20 degr	Below 15 degr	Above 20	Below 15
C64	0.05	0.1	0.05	0.05	0.0010	0.0010
C62	0.05	0.1	0.05	0.05	0.0010	0.0010
C61	0.05	0.1	0.05	0.05	0.0010	0.0010
Yes	0.05	0.1	0.05	0.05	0.0010	0.0010
No	0.95	0.9	0.95	0.95	0.999	0.999

Collision model rev01

C64	In liferaft				Onboard				Not applicable			
	Above 20 degr	15-20 degr	Below 15 degr	More then	Within 15	15-30 min	More then	Above 20 degr	Below 15 degr	Within 15	15-30 min	
C62	15-30 min	0.0010	0.0020	0.999	0.0010	0.999	0.0020	0.998	0.0010	0.999	0.0020	0.998
C61	Yes	0.0010	0.0020	0.999	0.0010	0.999	0.0020	0.998	0.0010	0.999	0.0020	0.998
	No	0.999	0.998	0.0010	0.0010	0.0020	0.999	0.0010	0.0010	0.0020	0.999	0.0010

C64	Not applicable			
	Above 20	15-20 degr	Below 15 degr	More then
C61	0.0	0.0	0.0	0.0
	No	1.0	1.0	1.0

Water temperature(C62)

Above 20 degr	0.6
15-20 degr	0.2
Below 15 degr	0.2

Rescue(C61)

Within 15 min	0.02
15-30 min	0.1
More then 30 m	0.88

Immediate fatalities(C60)

C49	No/minor		Major		Catastrophic		Not applicable	
	Hit	No collision	Being hit	Hit	Being hit	No collision	Being hit	No collision
C45	5.0E-5	0.0	2.0E-4	0.0010	0.0010	0.0	0.0	0.0
Yes	0.99995	1.0	0.9998	0.999	0.999	1.0	1.0	1.0
No	0.00005	0.0	0.0002	0.0010	0.0010	0.0	0.0	0.0

Vessel sink/capsize(C59)

C49	No/minor		Major		Catastroph	
	Hit	No collision	Being hit	Hit	Being hit	No collision
C45	5.0E-5	0.0	2.0E-4	0.0010	0.0010	0.0
Yes, within 30 m	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Yes, after 30 m	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
No	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

Collision model rev01

Evacuation(C58)

	No/minor												Standard		
	Good				Moderate				Difficult						
	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0080	No 0.99	Not applic 0.0			
C49	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C51	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C52	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C59	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Not initiated	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Successfully	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not successful	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0

	Major												Standard		
	Good				Moderate				Difficult						
	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0080	No 0.99	Not applic 0.0			
C49	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C51	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C52	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C59	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Not initiated	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Successfully	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not successful	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0

	Catastrophic												Standard		
	Good				Moderate				Difficult						
	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0090	No 0.99	Not applic 0.0	Yes, within 0.99	Yes, after 0.0080	No 0.99	Not applic 0.0			
C49	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C51	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C52	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
C59	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Not initiated	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0090	0.99	0.0	0.99	0.0080	0.99	0.0	0.995000	0.995000	0.995000
Successfully	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0010	0.0010	0.0	0.0090	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not successful	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0010	0.0020	0.0020	0.0	0.002500	0.002500	0.002500
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0

Collision model rev01

C49	Catastrophic												Not applicable		
	Moderate				Difficult				Good				Good		
	Yes, after	No	Not applic	Yes, withir	Yes, withir	No	Not applic	Yes, withir	Yes, withir	No	Not applic	Yes, after	No	Not applic	Standard
C51	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C59	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.6	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

C49	Not applicable												Not applicable		
	Moderate				Standard				Good				Standard		
	Yes, withir	No	Not applic	Yes, withir	Yes, withir	No	Not applic	Yes, withir	Yes, withir	No	Not applic	Yes, after	No	Not applic	Standard
C51	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not initiated	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Successfully	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not successful	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not possible	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not applicable	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

C49	Not applic
C51	Difficult
C52	Standard
C59	Not applic
Not initiated	0.0
Successfully	0.0
Not successful	0.0
Not possible	0.0
Not applicable	1.0

Evac. means(C57)

C41	Excellent	Standard
Above req	0.5	0.2
Fulfill req	0.5	0.8

Collision model rev01

Drills(C56)

C41	Excellent	Standard
Above req.	0.8	0.2
Fulfill req.	0.2	0.8

Internal conditions(C52)

C56	Above req.	Fulfill req.
C57	Above req.	Above req.
Good	1.0	0.5
Standard	0.0	0.5
		0.8
		1.0

External condition(C51)

C15	Day			Night		
	Good	Storm/rain	Windy	Good	Storm/rain	Windy
C13	Good	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Good	1.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.2
Moderate	0.0	0.1	0.8	0.8	0.05	0.6
Difficult	0.0	0.9	0.2	0.0	0.95	0.4
						0.0

Vessel damage(C49)

C45	Hit			Being hit			No collision		
	Large mer	Small mer	Fishing ve	Large mer	Small mer	Fishing ve	Large mer	Small mer	Fishing ve
C45	Large mer	0.5	0.9	0.25	0.6	0.75	0.0	0.0	0.0
No/minor	0.5	0.75	0.9	0.7	0.39	0.249	0.0	0.0	0.0
Major	0.48	0.249	0.1	0.05	0.01	0.0010	0.0	0.0	0.0
Catastrophic	0.02	0.0010	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
Not applicable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COLLISION(C48)

C45	Own ship	Other ship	Neither sh	Both ship
Yes	0.0	0.0	0.2	1.0E-5
No	1.0	1.0	0.8	0.99999

Maintenance routines(C41_2)

C41	Excellent	Standard
Followed	0.9	0.8
Not followed	0.1	0.2

Steering failure(C45)

C41_2	Followed	Not follow
Not function	9.0E-7	1.5E-6
Function	0.9999991	0.9999998

Loss of control(C42)

C6_1	Correct action	Wrong action
C45	Not function	Function
Loss of control	1.0	1.0
No loss of contr	0.0	0.0

Safety culture(C41)

Excellent	0.0
Standard/cruise	1.0

AIS other vessel(C29)

C45_1_1	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC
Function	0.9999	0.7499	0.2499	0.9899
Not function	1.0E-4	1.0E-4	1.0E-4	1.0E-4
Not installed	0.0	0.25	0.75	0.01

AIS detection(C26)

C29	Function				Function				Function				Function				
	High attention	Low attention	Yes	No	High attention	Low attention	Yes	No	High attention	Low attention	Yes	No	High attention	Low attention	Yes	No	
C16																	
C31																	
C25																	
Yes	1.0	0.0	0.95	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.0	1.0	0.05	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Collision model rev01

C29	Function				Not function				Not installed				
	High atten	Low attention	Not able to pay attent	Function	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Not function	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Not installed	Function
C31	No	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	Yes	No
Yes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

C29	Function				Not function				Not installed			
	Low attention	Yes	No <th>Not able to pay attent</th> <th>High attention</th> <th>Low attention</th> <th>Not able to pay attent</th> <th>Not function</th> <th>High attention</th> <th>Low attention</th> <th>Not able to pay attent</th> <th>Not installed</th>	Not able to pay attent	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Not function	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Not installed
C31	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Yes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Radar detection(C24)

C22_1	Yes				No			
	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Function	High attention	Low attention	Not able to pay attent	Function
C31	More time	Not more	More time	Not more	More time	Not more	More time	Not more
Yes	0.997	0.995	0.97	0.95	0.0	0.0	0.0	0.0
No	0.0030	0.0050	0.03	0.05	1.0	1.0	1.0	1.0

Able to radar detect(C22_1)

C22	Yes		No	
	Good	Poor	Good	Poor
Yes	1.0	0.5	0.0	0.0
No	0.0	0.5	1.0	1.0

Radar function(C22)

C41_2	Followed		Not follow	
	Yes	No	Yes	No
Yes	0.999923	0.99969	0.0	0.0
No	7.7E-5	3.1E-4	1.0	1.0

Signal quality(C21)

C13	Good		Storm/rain		Windy		Fog	
	Adjusted t	Not adjust	Adjusted t	Not adjust	Adjusted t	Not adjust	Adjusted t	Not adjust
Good	0.999	0.99	0.8	0.5	1.0	0.9	1.0	1.0
Poor	0.0010	0.01	0.2	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0

Radar tuning(C4)

Adjusted to con	0.99
Not adjusted to	0.01

Familiarisation(C20)

Familiar	0.9
Quite familiar	0.05
Not familiar	0.05

Visual detection(C19)

C17	Yes											
	High attention				Quite familiar				Not familiar			
C31	High attention											
C20	Familiar											
C2	More time to observe			Not more time to observe			More time to observe			Not more time to observe		
C45 1.1	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC
Yes	1.0	1.0	1.0	1.0	0.995	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98
No	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0050	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

C17	Yes											
	High attention				Familiar				Low attention			
C31	High attention											
C20	Familiar											
C2	More time to observe			Not more time to observe			More time to observe			Not more time to observe		
C45 1.1	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC
Yes	0.98	0.98	0.96	0.96	0.95	0.9	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
No	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

Collision model rev01

		Yes																			
		Low attention				Not familiar				Not able to pay attention											
		Quite familiar		More time to observe		Fishing ve		HSLC		Not familiar		More time to observe		Fishing ve		HSLC		Quite fam			
		Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer		
C17		0.85	0.15	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0		
C20		0.85	0.15	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0		
C45_1_1		0.85	0.15	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0		
Yes		0.85	0.15	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0		
No		0.15	0.85	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
C17		Yes																			
C31		Not able to pay attention																			
C20		Not familiar																			
C2		More time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe				High attention				Familiar			
C45_1_1		Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer		
Yes		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
No		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
C17		No																			
C31		High attention																			
C20		Not familiar																			
C2		More time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe			
C45_1_1		Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer		
Yes		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
No		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
C17		No																			
C31		High attention																			
C20		Not familiar																			
C2		More time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe				Not more time to observe			
C45_1_1		Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer		
Yes		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
No		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
C17		No																			
C31		Low attention																			
C20		Familiar																			
C2		More time to observe				Not more time to observe				Quite familiar				Not familiar				Not familiar			
C45_1_1		Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer	Fishing ve	HSLC	Large mer	Small mer		
Yes		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
No		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		

Collision model rev01

C17		No															
C31		Low attention				Notable to pay attention				Familiar							
C20		Not familiar				Familiar				Quite familiar							
C2		More time to observe				More time to observe				More time to observe							
C45_1_1		Fishing ve				Fishing ve				Fishing ve							
Yes		HSLC				HSLC				HSLC							
No		Small mer				Small mer				Small mer							
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0

C17		No															
C31		Low attention				Notable to pay attention				Familiar							
C20		Not familiar				Familiar				Quite familiar							
C2		More time to observe				More time to observe				More time to observe							
C45_1_1		Fishing ve				Fishing ve				Fishing ve							
Yes		HSLC				HSLC				HSLC							
No		Small mer				Small mer				Small mer							
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0
		1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0

Able to visual detect(C17)

C14		> 1nm				< 1 nm			
C15		Day		Night		Day		Night	
C28		Good		Standard		Good		Standard	
Yes	1.0	0.9995	0.999	0.9985	0.9	0.88	0.8	0.75	0.25
No	0.0	5.0E-4	0.0010	0.0015	0.1	0.12	0.2	0.25	0.25

Day light(C15)

Day	0.3
Night	0.7

Visibility(C14)

C13		Good		Storm/rain		Windy		Fog	
> 1nm		1.0		0.75		1.0		0.0	
< 1 nm		0.0		0.25		0.0		1.0	
		0.0	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

Weather(C13)

Good	0.8
Storm/rain	0.02
Windy	0.16
Fog	0.02

VTS vigilance(C11)

C12	Yes	No
Yes	0.2	0.0
No	0.8	1.0

Vigilance(C10)

C5_1_1	Yes	No	Yes	No
C11	Yes	No	Yes	No
C11_1	Yes	No	Yes	No
Yes	1.0	1.0	1.0	0.0
No	0.0	0.0	0.0	1.0

Task responsibilities(C9)

C3	BRM syst	No BRM's
Clear responsib	0.99	0.97
Unclear respons	0.01	0.03

Communication level(C8)

C3	BRM syst	No BRM's
Beyond standar	0.5	0.2
Standard	0.5	0.78
Substandard	0.0	0.02

Collision model rev01

Pilot vigilance(C7)

	Familiar			Quite familiar			Not familiar		
	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard	Beyond standard	Standard	Substandard
C8	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Clear resp	Unclear re	Clear resp	Clear resp	Unclear re	Substandard
C9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.85	0.65
Able to correct	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.15	0.35
Not able to correct	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No pilot	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0

Action(C6_1)

	Yes			No		
	Correct	Wrong	No assessment	Correct	Wrong	No assessment
C10	Excellent	Standard	Not able to perform	Excellent	Standard	Not able to perform
C6	0.99995	0.999845	0.99999	0.0	0.0	0.0
Correct action	5.0E-6	1.500052E-5	1.0E-5	1.0E-5	2.0E-5	1.0E-4
Wrong action	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

	No		
	Wrong	Correct	No assessment
C10	Not able to perform	Standard	Not able to perform
C8	0.0	0.0	0.0
Correct action	1.0	1.0	1.0
Wrong action	1.0	1.0	1.0

Assessment(C6)

	Yes			No		
	Excellent	Standard	Poor	Excellent	Standard	Poor
C27	Yes	No	Not able to perform	Yes	No	Not able to perform
C10	0.99988	0.99984	0.99996	0.98	0.0	0.95
Correct	1.2E-5	1.5E-5	4.0E-5	0.02	0.0	0.05
Wrong	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No assessment	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Collision model rev01

Nav syst detection (1)(C4_1)

	Yes		No	
	Yes	No	Yes	No
C24				
C26				
C11_1	Yes	No	No, not us	No
Yes	1.0	1.0	1.0	0.0
No	0.0	0.0	0.0	1.0

Officer no. 2 vigilance(C5)

	Low level of distractions				Moderate level of distractions				High level of distractions			
	Beyond standard	Unclear re	Standard	Substandard	Beyond standard	Unclear re	Standard	Substandard	Beyond standard	Unclear re	Standard	Substandard
C8												
C9												
Able to connect	0.75	0.700000	0.700000	0.55	0.65	0.600000	0.55	0.5	0.600000	0.55	0.45	0.4
Not able to com	0.15	0.199999	0.199999	0.35	0.25	0.300000	0.35	0.4	0.300000	0.35	0.45	0.5
Not present	0.1	0.099999	0.099999	0.1	0.1	0.099999	0.1	0.1	0.099999	0.1	0.1	0.1

BRM(C3)

BRM system	0.3
No BRM systerr	0.7

Non nav tasks(C1)

C41	Excellent	Standard
Few	0.5	0.4
Many	0.5	0.6

Attention(C31)

	Fit				Unfit				Not able to perform				Moderate
	Standard	Beyond standard	Below standard	Fit	Standard	Beyond standard	Below standard	Unfit	Standard	Beyond standard	Below standard	Not able to perform	Fit
C23													
C36													
C32													
C3													
High attention	0.95	0.85	0.98	0.94	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.95
Low attention	0.05	0.15	0.02	0.06	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0

Collision model rev01

C23	Moderate level of distractions												High level of distracti						
	Fit						Unit						Fit						
	Standard	Below standard	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	Standard	Below standard	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	Standard	Below standard	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	
C36	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
C32	0.85	0.15	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
C3	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
High attention	0.85	0.15	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Low attention	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

C23	High level of distractions																		
	Fit						Unit												
	Standard	Below standard	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's	Standard	Below standard	BRM syst	No BRM's	BRM syst	No BRM's							
C36	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
C32	0.85	0.15	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
C3	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
High attention	0.85	0.15	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Low attention	0.98	0.02	0.06	0.00	0.92	0.08	0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Not able to pay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Bridge design(C32)

Standard cruise	0.8
Beyond standar	0.1
Below standard	0.1

Performance(C27)

C36	Fit						Unit						Not able to	
	Excellent			Low			Excellent			Low			Excellent	
	Standard	Below st	BRM syst	Standard	Below st	BRM syst	Standard	Below st	BRM syst	Standard	Below st	BRM syst	Standard	Below st
C34	0.95	0.05	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C32	0.93	0.07	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Excellent	0.95	0.05	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Standard	0.07	0.05	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Poor	0.0	0.0	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Not able to perf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Collision model rev01

C36	Not able to perform			
	Excellent	Standard	Low	
C34	Beyond st	Below st	Beyond st	Below st
C32	0.0	0.0	0.0	0.0
Excellent	0.0	0.0	0.0	0.0
Standard	0.0	0.0	0.0	0.0
Poor	0.0	0.0	0.0	0.0
Not able to perf	1.0	1.0	1.0	1.0

Personal condition(C36)

C18	Capable				Reduced capability				Incapable			
	High	Standard	Low		High	Standard	Low		High	Standard	Low	
C33	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
C37	0.7	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fit	0.3	0.1	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Unfit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Not able to perf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tired(C37)

C38	Normal (w		High (wat		Extreme (t	
	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Yes	0.02	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1
No	0.98	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9

Stress level(C33)

C23	Low level of distractions				Moderate level of distractions				High level			
	Excellent	Quite fam	Familiar	Not fam	Excellent	Quite fam	Familiar	Not fam	Excellent	Quite fam	Familiar	Not fam
C34	High	Standard	Low		High	Standard	Low		High	Standard	Low	
C20	0.02	0.03	0.03	0.1	0.02	0.03	0.03	0.1	0.02	0.03	0.03	0.1
High	0.97	0.97	0.97	0.9	0.97	0.97	0.97	0.9	0.97	0.97	0.97	0.9
Standard	0.02	0.03	0.03	0.1	0.02	0.03	0.03	0.1	0.02	0.03	0.03	0.1

C23	High level of distractions				Low			
	Excellent	Quite fam	Familiar	Not fam	Excellent	Quite fam	Familiar	Not fam
C34	High	Standard	Low		High	Standard	Low	
C20	0.6	0.7	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.4
High	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3
Standard	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3

Competence(C34)

C41	Excellent	Standard
	0.5	0.4
Standard	0.5	0.59
Low	0.0	0.01

Other distractions(C35)

C41	Excellent	Standard
Few	0.82	0.8
Many	0.18	0.2

Incapacitated(C18)

Capable	0.99995
Reduced capab	1.0E-5
Incapable	4.0E-5

ANNEX II: APPENDIX C: NODE DESCRIPTION

C1	INTRODUCTION	1
C2	ABBREVIATIONS	2
C3	GROUNDING MODEL	3
C3.1	Visual detection	3
C3.2	Navigational aid detection	5
C3.3	Management factors	8
C3.4	Human factors	8
C3.5	Technical reliability	11
C3.6	Support	12
C3.7	Overall	13
C3.8	Consequences	14
C4	COLLISION MODEL	16
C4.1	Identical nodes	16
C4.2	Collision specific nodes	18
C5	REFERENCES.....	21

C1 INTRODUCTION

In a Bayesian Network the node represents a discrete random variable with a number of states. Each node in the Bayesian network is assigned a conditional probability table (abbreviated CPT). The values in this table are set manually, see figure Figure C 1.

Each numerical value in the CPT is the probability being in the state found in the leftmost column in the actual row - when the parents (if any) are in the states found in the top of the actual column.

All nodes, states and probability values are defined by the project. In the following, a short description of each node is given, together with a list of states. The CPTs are included in Appendix A and B of ANNEX II. It is recommended to have the printout of the model structure in Appendix A and B available when reading the node description.

ANNEX II, APPENDIX C

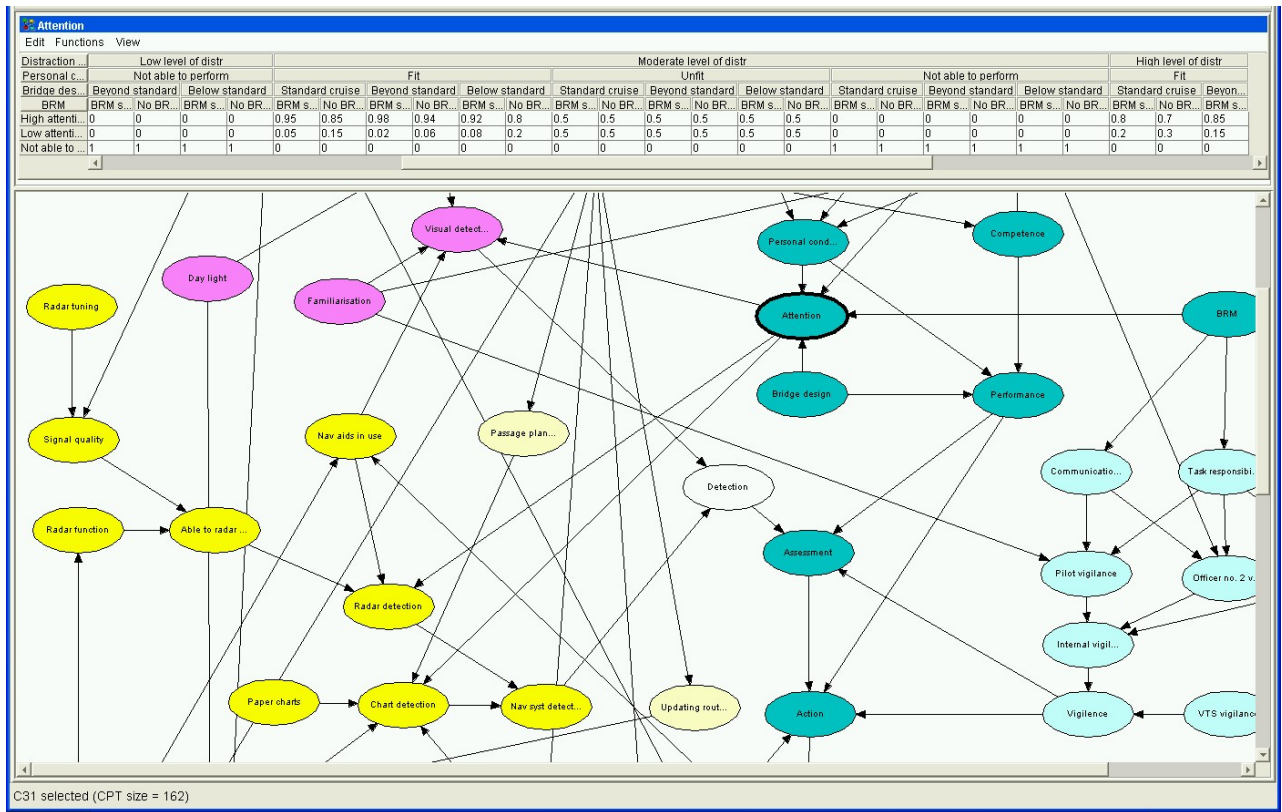


Figure C 1: Example of Bayesian network and conditional probability table (CPT)

C2 ABBREVIATIONS

- AIS Automatic Identification System
- BRM Bridge Resource Management
- CPT Conditional Probability Table
- ECDIS Electronic Chart DISplay
- GPS Global Positioning System
- OOW Officer On Watch
- VTS Vessel Traffic Service

C3 GROUNDING MODEL

In the following, nodes used in the grounding model are briefly described.

C3.1 Visual detection

Weather

The node describes the most important weather conditions relevant for the operation of a large passenger vessel. The states defined for this node are the following:

- States:
- Good (typically good visibility and no critical wind speeds)
 - Storm/rain (strong winds including good to significantly reduced visibility)
 - Windy (strong winds, no reduced visibility)
 - Fog (significantly reduced visibility)

The sum of the probabilities for all states is 1.

The probability distribution of the different weather states is based on judgement and data on geographical areas for cruise trades, ref. Table D.1 in Appendix D of ANNEX II.

Visibility

The node defines the probability distribution for the visibility, conditional on the weather. The states defined for this node are the following:

- States:
- > 1 nm
 - < 1 nm

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. Good weather equivalents good visibility (> 1 nm), while fog is defined as poor visibility (< 1 nm). Storm/rain reduces the visibility > 1 nm by 25%.

Daylight

The node shows the probability distribution for day/night when the vessel is in operation. State “night” is given a higher probability due to the fact that. On average, large passenger vessels operate more during the night than in the day. The states defined for this node are the following:

- States:
- Day
 - Night

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Bridge view

The node describes the view from the bridge. The view is influenced by the window design, window dividers, windscreen wiper, salt on window, etc. The states defined for this node are the following:

- States:
- Good
 - Standard

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Marking

ANNEX II, APPENDIX C

This node describes the status of the nautical marking as a weighted average world wide for the areas where cruise ships trade.

States: - Standard (i.e. sufficient marking)
 - Poor (i.e. not sufficient marking)

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Able to visual detect

This node describes whether the external environment and conditions makes it possible to visually detect an approaching object in time.

States: - Yes
 - No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. The figures are based on a probability of 0.0005 (1 out of 2,000 times) that the officer on watch (OOW) is not to be able to visually detect the danger in good visibility with standard marking and bridge view in day light. The other probabilities in the node's CPT are an adjustment of this figure, performed by the project team.

Familiarisation

The node describes whether the OOW has experience in sailing in the area.

States: - Familiar, i.e. sails in regular trade/route in the area
 - Quite familiar, i.e. sails enough to get a fairway certificate
 - Not familiar (i.e. needs pilot onboard)

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Visual detection

Visual detection indicates whether the OOW visually detects the danger. For the collision scenario, the danger is to fail to detect an approaching vessel, and for grounding, the danger is to fail to detect that the vessel is heading towards shore, rocks, etc.

The ability depends of course on whether it is physically possible to see the danger. However, also the attention, how familiar the area is and whether navigational aids are used, will influence this node. Navigational aids are ECDIS and track control, as such instruments will liberate time to danger detection.

States: - Yes
 - No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. The figures are based on a probability of 1 that the danger is detected with an OOW with high attention who is familiar in the area. If the OOW is only quite familiar in the area, the probability for visually detection is reduced by 0.5% to 0.995.

The other probabilities in the node's CPT are an adjustment of this figure, performed by the project team.

C3.2 Navigational aid detection

Radar function

The node describes if the radar system is functioning. This is influenced by the maintenance routines.

States: - Yes
- No

The failure probabilities for the radar are based on ref. /3/. The adjustment for influence from maintenance routines is based on ref. /1/.

Radar tuning

This node states whether the radar is tuned correctly according to the external conditions (weather, wave conditions, etc.). It also describes whether the radar is adjusted to the optimum range.

States: - Adjusted to conditions
- Not adjusted

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Signal quality

The signal quality on the radar display is influenced by the weather conditions and the tuning of the radar system.

States: - Good
- Poor

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. It is assessed that 1 of 1,000 times the radar is displaying poor signal quality in good weather and with the radar tuned to the conditions. Poor signal quality means that it may not be possible to detect the danger on the radar.

The other probabilities in the node's CPT are an adjustment of this figure, performed by the project team.

Able to radar detection

Depending on the radar reliability and signal quality, this node defines the possibility to detect dangers on the radar in time.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. If the radar is functioning and the signal quality is poor, there is a probability of 0.5 that the danger will not be detected on the radar screen.

Navigational aids in use

The node describes that use of ECDIS and track control will liberate more time to visual and radar detection.

States: - More time to detection
- No more time to detection

This node is made in order to gather the nodes 'ECDIS used' and 'Track control used' in one node. This approach is a software trick to reduce the amount of probability input. If the number

ANNEX II, APPENDIX C

of arrows onto the subsequent node is reduced, the size and the complexity of the CPTs also reduced. The node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

Radar detection

Radar detection defines whether the OOW is able to detect the danger on the radar. His ability is of course depending on whether it is physically possible to see the danger on the radar. However, also the attention and whether the navigational aids are used, will influence this node. Navigational aids are here meant as ECDIS and track control, as such instruments will liberate time to danger detection.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. The figures are based on a probability of 0.005 (1 out of 200 times) that the danger is not detected by means of radar for an OOW with high attention. The other probabilities in the node's CPT are an adjustment of this figure, performed by the project team. For example, if navigational aids (ECDIS and track control) are not in use/not installed, the failure probability is reduced by 40% to 0.003.

ECDIS used

The node describes whether the ECDIS is in use or not.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

GPS signal

The node describes the functionality of the GPS signal. This is influenced by the maintenance routines.

States: - Yes
- No

The failure probabilities for the GPS are based on ref. /3/. The adjustment for influence from maintenance routines is based on ref. /1/.

Other ECDIS failure

The node describes the reliability of the ECDIS system (software, etc.), excluding GPS failures. This is influenced by the maintenance routines.

States: - No failure
- Failure

The failure probabilities for the ECDIS failures are based on ref. /3/. The adjustment for influence from maintenance routines is based on ref. /1/.

Able to ECDIS detection

Depending on electronic chart updating routines and the ECDIS use and reliability, this node describes whether it is technically possible to detect dangers on the ECDIS in time.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. If the ECDIS is functioning, but the chart updating routines are poor, there is a probability of 0.001 (1 out of 1000 times) that the danger will not be detected on the electronic chart.

ANNEX II, APPENDIX C

Paper charts

This node indicates whether there are paper charts available on board.

States: - Available
- Not available

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Grounding alarm

The node describes whether a grounding alarm helps the OOW detect the danger.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. Failure on demand (Availability) for the grounding alarm is set to 1E-05.

Chart detection

Chart detection defines whether the OOW discovers that the vessel is moving towards shore, rock, etc by using the charts. His ability is depending on his attention, the quality of the passage planning and on whether the charts are functional and updated.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. The figures are based on a probability of 0.005 (1 of 200 times) that the danger is not detected by means of the charts for an OOW with high attention. If the grounding alarm sounds, the failure probability is assumed to be reduced by 40% to 0.003.

Navigation system detection

The node describes whether the OOW has detected the danger on either the charts, the radar or because of a grounding alarm.

States: - Yes
- No

This node is made in order to gather the nodes for detection of the danger on the radar, ECDIS and grounding alarm (radar, AIS and collision avoidance alarm for the collision model). This approach is a software trick to reduce the amount of probability input. If the number of arrows onto the subsequent node is reduced, the size and the complexity of the CPTs also reduced. The node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

Detection

The node joins the nodes ‘Visual detection’ and ‘Navigation system detection’, and describes whether the OOW has detected the danger, either by visual means or by use of navigational equipment.

States: - Yes
- No

This node is made in order to gather the nodes ‘Visual detection’ and ‘Navigation system detection’ in one node. This approach is a software trick to reduce the amount of probability input. If the number of arrows onto the subsequent node is reduced, the size and the complexity of the CPTs also reduced. The node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

C3.3 Management factors

Safety culture

The node describes how well the vessel operator deals with safety issues and how well the operator promotes a good safety mindset among its employees. By safety issues it is meant both technical safety onboard the vessel (e.g. standard of life saving equipment) and vessel design, in addition to work procedures/instructions, working conditions, training, drills, attitude, etc.

States: - Excellent
- Standard cruise

As one of the states is ‘standard cruise’. This is expected to represent the average of the industry and therefore a possibility of 1 is set for this state. The cruise industry is considered to have generally good safety culture. The purpose of this node is however to be able to model the effect on navigation of a possible improvement of the safety culture to ‘Excellent’.

Maintenance routines

This node describes whether the maintenance routines of technical systems onboard the vessel are followed.

States: - Followed
- Not followed

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Update routines

Influenced by the company’s safety culture, this node is mainly aimed at updating routines for charts (updating frequency, quality, etc.).

States: - Good
- Poor

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Passage planning

This node describes the quality of the passage planning. “Poor” means that the trade is not sufficiently planned or that the planned route exposes the vessel to a higher risk than necessary. The node also reflects the ability to detect unknown hazards in the route.

States: - Standard
- Poor

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

C3.4 Human factors

Duties

The node indicates the duties for which the OOW is responsible.

States: - Normal (watch)
- High (watch + administration)
- Extreme (watch + administration + representation)

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

ANNEX II, APPENDIX C

Tired

Depending on the number of duties, this node describes whether the OOW is tired.

- States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. The assumption is a 2% probability that the OOW will be tired during his watch, if watch-keeping is his only duty onboard.

Other distractions

The node describes whether the OOW is exposed to many or few distractions, e.g. mobile phones, troublesome situations on board and persons on bridge that will take his attention away from his dedicated tasks as a navigator.

- States: - Few
- Many

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Non navigational tasks

The node describes the amount of non-navigational working tasks, e.g. alarms, dedicated to the officer(s) on watch. These tasks, that will take attention away from the dedicated navigator tasks are not related to navigation and can therefore be taken away from the bridge.

- States: - Few
- Many

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Distraction level

The node describes the total level of distractions.

- States: - Low level of distractions
- Moderate level of distractions
- High level of distraction

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. Few non-navigational tasks and other distractions is defined as ‘low level of distractions’, and many non-navigational tasks and other distractions is defined as ‘high level of distractions’.

Stress level

The node indicates the stress level of the OOW, mainly influenced by the degree of familiarization in the water, the competence and the number of distractions that take the attention away from the tasks the OOW is set to perform.

- States: - High
- Standard

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. With moderate level of distractions and sailing in a quite familiar area, it is assumed in ref. /1/ that the probability for high stress level is 10%.

Incapacitated

The node describes the OOW’s physical capability. The capability is assessed to be *reduced* if the OOW is e.g. intoxicated or affected by an illness, and *incapable* if the OOW is asleep, not present, dead, etc.

- States: - Capable
- Reduced capability

ANNEX II, APPENDIX C

- Incapable

The probabilities in this node are based on ref. /2/. The incapacitation probabilities in the reference are valid for merchant ships, typically tankers. However, the probabilities for incapacitation for the cruise industry are expected to be lower. Due to lack of further information, it has therefore been assumed to reduce the probabilities by a factor of 2.

Personal condition

The node describes the OOW's physical and mental condition, and indicates whether he is fit to perform his tasks as navigator of the vessel. The node is dependent on the nodes 'Stress level', 'Tired' and 'Incapacitated'.

- States:
- Fit
 - Unfit
 - Not able to perform

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. It is stated that the OOW is 100% fit if he is not incapacitated, has standard stress level and is not tired. If the OOW is tired or has high stress level, the fitness is reduced by 10%.

Competence

Competence is a combination of knowledge, skills and attitude. The node reflects the OOW's knowledge, the level of training, the way he uses his knowledge and the attitude he has towards the tasks he is set to perform, e.g. to follow procedures and work instructions. This also reflects the technical competence on use of equipment.

- States:
- Excellent
 - Standard
 - Low

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Bridge design

This node describes whether the bridge is designed to enable the OOW to perform his tasks properly. The node reflects user interface, the design of the work station (ergonomic conditions) and bridge arrangement.

- States:
- Standard cruise
 - Beyond standard
 - Below standard

The probabilities in this node are based on ref. /1/.

BRM

The node describes the existence of a Bridge Resource Management (BRM) system. The BRM node covers optimisation of human resources on the bridge given the technical system and bridge design. An optimisation of the human resources is strongly related to communication and task responsibilities. The existence of a BRM system means that the system is developed and implemented, as well as maintained according to the intensions.

- States:
- BRM system exists
 - No BRM system

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

ANNEX II, APPENDIX C

Attention

This node describes the OOW's level of attention when performing his tasks. The attention is affected by his physical working place (i.e. bridge design), organisation of work (BRM system) and his personal condition.

- States: - High attention
 - Low attention
 - Not able to pay attention

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. With moderate level of distractions, standard cruise bridge design and implemented BRM system, the probability for low attention is set to 0.05. With no BRM system, the probability for low attention is assumed to be increased by a factor of 3.

Performance

The node describes how well the OOW performs his tasks. It includes personal condition, bridge design and competence.

- States: - Excellent
 - Standard
 - Poor

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. As the cruise industry has traditionally had a strong focus on safety using competent personnel, it is assumed that there is an 80% probability for excellent, 20% for standard and 0% for poor performance with standard competence and bridge design.

Assessment

This node describes whether the OOW is making the correct assessment of the situation based on his observations.

- States: - Correct
 - Wrong
 - No assessment

The conditional probabilities in this node are based on ref. /4/. If the danger is detected there is a probability of 2E-05 that the situation will not be assessed correctly given no vigilance.

Action

The node defines whether the OOW, given he or someone else has discovered the danger, acts correctly to avoid an accident.

- States: - Correct action
 - Wrong action

The conditional probabilities in this node are based on ref. /4/. If the situation is assessed correctly there is still a probability of 2E-05 for wrong action given no vigilance and no track control.

C3.5 Technical reliability**Steering failure**

The node indicates the reliability of the steering system (based on statistics/generic data).

- States: - Function
 - Not function

ANNEX II, APPENDIX C

The probabilities in this node are based on ref. /2/.

Track control used

The node describes the percentage of the time the vessel is steered by track control and not manually by the navigators. The track control is of category C, i.e. full track control on straight legs and turns.

States: - Yes
- No

The probability for 'Yes', i.e. track control in use and functioning, is set to 0.85, based on ref. /1/.

C3.6 Support

Communication level

Depending on the existence of a Bridge Resource Management system, the node describes the level and the quality of the communication between the bridge personnel.

States: - Beyond standard
- Standard
- Substandard

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Task responsibilities

Depending on the existence of a Bridge Resource Management system, the node describes whether there exist clear task responsibilities between the bridge personnel.

States: - Clear responsibility
- Unclear responsibility

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Pilot vigilance

Influenced by the task responsibilities and the communication level between the bridge personnel and the pilot, this node shows the effect of having a pilot present to correct a critical course.

States: - Able to correct
- Not able to correct
- No pilot

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Officer no. 2 vigilance

The node describes whether the other navigator is present, discovers the danger and is able to correct a critical course.

States: - Able to correct
- Not able to correct
- Not present

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

ANNEX II, APPENDIX C

Internal vigilance

The node describes if there is any internal vigilance that can help to warn the OOW of possible danger.

States: - Yes
- No

This node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

Other internal vigilance

The node describes whether there is another person on the bridge, e.g. a lookout, which is able to correct a critical course by informing the OOW so that the necessary action is carried out in time. The other person may be able to act in the OOW's place by interfering. This is especially important if OOW is incapacitated.

States: - Able to correct
- Not able to correct
- No other vigilance

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

VTS presence

The node shows the probability of that a Vessel Traffic Service (VTS) is surveying the ship traffic in the area.

States: - Yes
- No

The probabilities in this node are based on ref. /1/.

VTS vigilance

This node describes whether the VTS observes the danger and warn the OOW so that he can act in time.

States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Vigilance

This is the overall node showing if there is any internal or external vigilance that can help to warn the OOW of dangers.

States: - Yes
- No

This node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

C3.7 Overall**Loss of control**

The node describes the probability for loss of control of the ship, either due to technical failures or due to human errors. If the control is lost, nothing can prevent the ship from continuing towards the danger, i.e. towards shore (grounding scenario) and towards another vessel (collision scenario).

States: - Loss of control

ANNEX II, APPENDIX C

- No loss of control

This node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0. If correct action is carried out and the steering system is functioning, the probability for loss of control is 0.

Grounding

The node states the probability for grounding.

- States: - Yes
- No

This node has only logical probability input, i.e. probabilities are 1 or 0.

C3.8 Consequences

The node probabilities for the consequences of collision and grounding are based on workshops with cruise expertise within DNV, ref. Appendix E.

Type of ground hit

Describes the type of ground hit in the incident.

- States: - Sand
- Rock

Vessel damage

This node describes what effect the grounding had on the vessel. The probability of each state is depending on the weather and the type of ground hit.

- States: - No/minor (i.e. all events that is collision or grounding, however not being categorised as ‘Major’ or ‘Catastrophic’)
- Major (i.e. event resulting in the ship being towed or requiring assistance from ashore; flooding of any compartment; or structural or mechanical damage requiring repairs before the ship can continue trading. Not including ‘Catastrophic’.)
 - Catastrophic (i.e. events where ship ceases to exist after a casualty, either due to it being irrecoverable or due to it subsequently being broken up)
 - No grounding

Vessel sink

Given the type of vessel damage, this node shows whether the vessel sinks immediately, after some time or not at all.

- States: - Yes, within 30 min
- Yes, after 30 min
 - No
 - N/A (i.e. not relevant if no accident)

Given serious vessel damage, the probability of sinking is estimated to 1.6%, ref. /9/. Sinking is here denoted as both capsizing and “graceful” sinking. Based on the distribution of degree of severity of the vessel damage (from the risk model: 89.3% No/minor, 10% Major and 0.7% Catastrophic), the probability of sinking given grounding is 0.17% for all events.

Based on information from the expert workshop on consequence estimation, see Appendix E, the probability of sinking within 30 min given sinking is 60%. The fatality rate for sinking within 30 minutes is 33% and after 30 minutes 9%.

ANNEX II, APPENDIX C

External conditions

The node describes the external conditions given an accident, in terms of level of difficulty to evacuate. The node is dependent on the weather conditions and whether it is day or night.

- States: - Good
 - Moderate
 - Difficult

Evacuation means

The node describes the standard and location of the life saving equipment.

- States: - Above requirements
 - Fulfil requirements

Drills

The node describes evacuation drills and how they are carried out.

- States: - Above requirements
 - Fulfil requirements

Internal conditions

This node describes the frame conditions for how well the vessel and its crew are prepared for an evacuation.

- States: - Good
 - Average

Evacuation

This node shows how successfully the evacuation is carried out, if evacuation is initiated.

- States: - Not initiated (i.e. evacuation is not found necessary to initiate)
 - Successfully (i.e. all people are evacuated without fatalities)
 - Not successfully (i.e. people are evacuated, but some fatalities occur)
 - Not possible (i.e. evacuation is not possible to initiate due to e.g. evacuation means failures)
 - Not applicable (i.e. not relevant if no accident)

People location

This node indicates the location of the people after the grounding, depending on whether an evacuation has been carried out or whether the vessel sinks.

- States: - In sea
 - In lifeboat
 - In liferaft
 - Onboard
 - N/A (i.e. not relevant if no accident)

Rescue

The node describes how fast other vessels are expected to arrive to help with the rescue.

- States: - Within 15 min
 - 15-30 min
 - More than 30 min

Water temperature

The node describes the probability distribution for the expected water temperature at the accident location.

- States: - Below 15°C
 - 15 – 20°C
 - Above 20°C

Evacuation fatalities

The node indicates whether a person is killed during evacuation following the accident, influenced by the water temperature and probability for getting external assistance.

- States: - Yes
 - No

Immediate fatalities

The node indicates whether a person is killed immediately, given the type of damage on the vessel.

- States: - Yes
 - No

Fatalities

Summing up both the immediate fatalities and the evacuation fatalities, this node indicates whether a person is killed onboard a large cruise ship due to the accident scenario, i.e. the total individual risk per person.

- States: - Yes
 - No

C4 COLLISION MODEL

Most of the nodes in the collision model are identical to the nodes used in the grounding model. However, there are some differences and these are described in the following. It is important to emphasize that although the definition of the nodes and the states are the same for collision and grounding, the probability distribution on the different states, i.e. the values in the conditional probability tables, might be different in the two models. For more detail on these differences, see Appendix A and B.

C4.1 Identical nodes

These nodes are similar to the grounding model, and the description can be found in section C2:

Visual detection:

- Weather
- Visibility
- Daylight
- Bridge outlook
- Able to visual detection
- Familiarisation
- Visual detection

ANNEX II, APPENDIX C

- Bridge outlook

Navigational aid detection:

- Radar tuning
- Signal quality
- Able radar detection
- Radar detection
- Radar function
- Navigation system detection
- Navigational aids in use
- Detection

Management factors:

- Safety culture
- Checklist

Human factors:

- Duties
- Non navigational task
- Other distractions
- Distraction level
- Tired
- Stress level
- Incapacitated
- Personal condition
- Competence
- Performance
- Bridge design
- BRM
- Attention
- Assessment
- Action

Technical reliability:

- Steering failure

Support:

- Communication level
- Task responsibilities
- Pilot vigilance
- Officer no. 2 vigilance
- Other internal vigilance
- Internal vigilance
- VTS presence
- VTS vigilance
- Vigilance

Overall:

- Loss of control

Consequences:

- Vessel damage

ANNEX II, APPENDIX C

- Vessel sink
- External conditions
- Evacuation means
- Drills
- Internal conditions
- Evacuation
- People location
- External assistance
- Water temperature
- Evacuation fatalities
- Immediate fatalities
- Fatalities

C4.2 Collision specific nodes

The following nodes are not included in the grounding model and therefore described here.

AIS own ship (category: Navigational aid detection)

The node describes whether an Automatic Identification System (AIS) is installed onboard own ship and if yes, the system's reliability is indicated.

States: - Function
 - Not function
 - Not installed

The probability for whether AIS is installed is based on ref. /1/. The reliability (i.e. state 'Not function') is based on ref. /3/.

AIS other vessel (category: Navigational aid detection)

The node describes whether an Automatic Identification System (AIS) is installed onboard the other vessel and if yes, the system's reliability is indicated.

States: - Function
 - Not function
 - Not installed

AIS signal on radar screen (category: Navigational aid detection)

The node indicates whether the AIS signals are displayed on the radar screen or not.

States: - Yes
 - No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

AIS detection (category: Navigational aid detection)

AIS detection defines whether the OOW detects the other vessel on the AIS. The OOW's ability to detect is depending on his attention and on the AIS reliability.

States: - Yes
 - No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/.

Collision avoidance alarms (category: Navigational aid detection)

ANNEX II, APPENDIX C

The node describes whether a collision alarm helps the OOW to detect the other vessel.

States: - Yes
- No

The probabilities in this node are based on ref. /1/. Failure on demand (availability) for the collision alarm is set to 1E-05.

Communication with other vessel (category: Vigilance)

The node indicates whether the OOW receives a warning call from the vessel on collision course, e.g. on the VHF.

States: - Yes
- No

The probabilities in this node are based on ref. /1/.

Give way situations

The node describes the give-way situations that the cruise vessel can experience, and indicates the give-way rules for the different situations.

States: - Meeting, supposed to give way
- Crossing, supposed to give way
- Crossing, not supposed to give way
- Overtaking, supposed to give way
- Being overtaken, not supposed to give way

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/ and the results from the Excel-modelling of number of critical collision courses, see Appendix D.

Give way

Depending on the type of give way situation, this node describes which vessel(s) that actually gives way.

States: - Own ship changes course
- Other ship changes course
- Neither ship change course
- Both ships change course

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. If a vessel has to give way and has not lost control over the vessel, it is assessed that there still is a probability of 2E-04 that the vessel will not change course.

Ship types in lane

The node describes the probabilities for which type of traffic that the vessel is likely to meet.

States: - Large merchant vessels
- Small merchant vessels
- Fishing vessels
- HSLC (High Speed Light Craft)

The probabilities in this node are based on ref. /1/.

Collision

ANNEX II, APPENDIX C

The node describes whether there will be a collision or not.

- States: - Yes
- No

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. Even though none of the vessels change course, there is still a probability of 20% that collision is avoided as not all the courses that are defined as critical, are geometrical collision courses. However, if both ships change course, there is still a probability of 1E-05 that the situation still will result in collision.

Collision type (category: Consequence)

The node describes the type of collision the cruise vessel has been involved in. This is important for the consequence analysis.

- States: - Hit (the other vessel)
- Being hit (by the other vessel)
- No collision

The conditional probabilities in this node are based on ref. /1/. As a basis, 50% of the collisions are 'Hit' and 50% is 'Being hit'. However, this depends on what type of ship the cruise vessel is in a collision situation with.

Vessel sink (category: Consequence)

Given the type of vessel damage, this node shows whether the vessel sinks immediately, after some time or not at all.

- States: - Yes, within 30 min
- Yes, after 30 min
- No
- N/A (i.e. not relevant if no accident)

The figures in this node for collision are different from grounding. This is mainly due to possible differences in type of vessel damage, waters, distance to shore, etc. for the two types of accidents. The probabilities used are described in the following.

Based on study of ref. /5/ and results and recommendations from the HARDER project^{*}, the probability for flooding given a collision is in the order of 35%. Further, based on ref. /8/ the survivability after a collision resulting in flooding is recommended to 90%. In this study it has been assumed that this recommendation is followed. This means that, after new damage stability regulations have been enforced, 3.5% of all serious events are expected to result in sinking. Based on the distribution of degree of severity of the vessel damage (from the risk model: No/minor 59.1%, Major 39.5% and Catastrophic 1.4%), the probability of sinking given collision is 1.4% for all collision events as included herein.

Based on information from the expert workshop on consequence estimation, see Appendix E, the probability of sinking within 30 min given sinking is 80%. The fatality rate for sinking within 30 minutes is assumed to be 40% and after 30 minutes 12%.

* HARDER Project Results are Reported and Reviewed by IMO SLF

C5 REFERENCES

- /1/ Workshop on estimation of probabilities for nodes related to causes of grounding and collision, arranged 10th and 12th of March 2003 with the following participants: Arve Lepsøe, Emil Aall Dahle, Bernt Hofset, Benedikte Wentworth, Sverre Alvik and Linn Kathrin Sæther.
More information on the participants is presented in Appendix E.
- /2/ DNV, Safety Analysis Handbook, December 2001
- /3/ Technical memo on failure probabilities of navigation equipment, DNV's department for Nautical Safety and Communication Systems, March 2003
- /4/ Managing the risks of organizational accidents, James Reason, 1997
- /5/ *The formal safety assessment methodology applied to the survival capability of passenger ships*, Odd Olufsen (DNV Norway), John Spouge (DNV UK), Liv Hovem (DNV Norway), RINA 2003
- /6/ FSA-Evacuation From Large Passenger Ships, DNV Research Report No. 2003-1208. Consequence Estimation for Grounding Events from meeting 25.06.2003, DNV Research
- /7/ FSA-Evacuation From Large Passenger Ships, DNV Research Report No. 2003-1208. Consequence Estimation for Collision Events from meeting 25.06.2003, DNV Strategic Research
- /8/ SLF 46 / INF.5
- /9/ FSA-Evacuation From Large Passenger Ships, DNV Research Report No. 2003-1208. Grounding frequencies

- o0o -

ANNEX II: APPENDIX D: RISK EXPOSURE

D	Risk exposure	ii
D1	INTRODUCTION	D-1
D2	GROUNDING MODEL	D-2
D2.1	General	D-2
D2.1.1	Results	D-2
D2.1.2	Input data	D-2
D2.1.3	Scenarios	D-3
D3	COLLISION MODEL	D-5
D3.1	General	D-5
D3.2	Description of spreadsheet	D-5
D3.2.1	Results	D-5
D3.2.2	Input data	D-5

D1 INTRODUCTION

The cruise industry is dominated by five specific trades. To be able to estimate the frequency of critical situations i.e. exposure to grounding and collisions, the characteristics and the traffic intensity of the generic cruise routes were identified. A generic route is a cruise route representative for the different cruise routes in the trade.

The cruise trades were divided into five main trades based on market information and expert judgment, ref. main report, as given in Table D-1.

Trade	Ships in trade
Caribbean	55%
Alaska/Canada	13%
Europe	15%
Asia	15%
Other	7%

Further, the passage was divided into three types of waters: ‘Open waters’, ‘Coastal waters’ and ‘Narrow waters’.

The types of waters are defined as:

- Open waters: No obstacles within 30 minutes in all directions
- Coastal waters: No obstacles within 30-10 min in all directions
- Narrow waters: Obstacles within less than 10 min in any direction

The distribution of sailing distance for a generic cruise route in each type of waters is given in the table below.

Type of waters	Distance sailed
Open waters	60%
Coastal waters	25%
Narrow waters	15%

The results are used further in an Excel model to estimate the exposure for dangerous situations for grounding and collision.

D2 GROUNDING MODEL

D2.1 General

Five scenarios which lead to dangerous course towards shore were defined, see the main report. The five scenarios are:

1. Course towards shore, supposed to change course - does not turn
2. Course along shore, not supposed to change course - turns towards shore
3. Course along shore, drift-off, should correct course - does not correct course
4. Wrong position, should steer away from object - does not steer away
5. Meeting/crossing traffic, supposed to give way - gives way, steers towards shore

The scenarios are illustrated in Figure D-1.

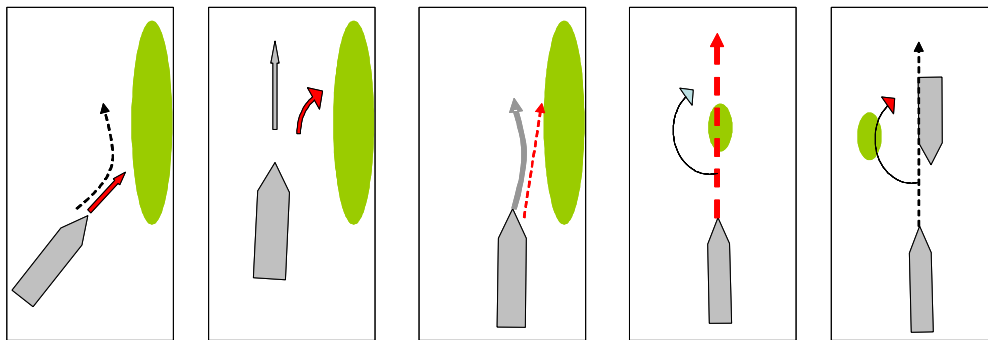


Figure D-1 Five scenarios which lead to dangerous course towards shore

The frequencies for “course towards shore” for each of the five grounding scenarios are estimated based on expert judgment, ref. Appendix E. The five trades in Table D-1 were used as basis to estimate an overall frequency for a generic trade.

An Excel spreadsheet was applied to calculate the total number of critical courses towards shore from the grounding scenarios.

Description of spreadsheet

Figure D-2 shows a printout of the spreadsheet. The description below refers to this printout.

D2.1.1 Results

On top, the grounding frequency per trade is presented. The result is the product of the number of critical courses towards shore (N) and the probability of loss of control (P) from the Bayesian network.

D2.1.2 Input data

As earlier mentioned, the sailed route is divided into three types of waters: ‘Open waters’, ‘Coastal waters’ and ‘Narrow waters’. The distance sailed in each category is input and the sum is the length of the whole sailed route.

The traffic intensity is divided in three groups: ‘High’, ‘Medium’ and ‘Low’. The probability for high, medium and low traffic intensity is input for each type of waters. Further, the environmental forces (wind, current), are divided in three groups, ‘Strong’, ‘Moderate’ and ‘Benign’. The probability for strong, moderate or benign environmental forces is input for each type of waters.

The spreadsheet has included the possibility to adjust for speed reduction and safety culture level in company, but this has not been done in this study.

D2.1.3 Scenarios

From Scenario 1 to Scenario 5 the number of events for each scenario is estimated per nautical mile in each type of waters. Then the probability or ratio of this event being critical is estimated. The sum of the two figures gives the number of critical courses towards shore for each scenario. The results are summarized in the bottom of the spreadsheet.

ANNEX II - APPENDIX D

FREQUENCY OF GROUNDING:		F (Grounding) =			5.6E-04 per trade
Probability of loss of control from bayesian network:		P (loss of control) =			2.8E-02 per yr
Number of critical courses towards shore:		N (Courses towards shore) =			1.05E-05 per course
					53.7 per trade
Typical cruise trade: 1500 nm - 7 days					
CALCULATION of number of critical courses:					
INPUT	States	Open sea	Coastal	Narrow	
Waters, distribution in %		60%	25%	15%	1500 [nm]
Waters		900	375	225	
Traffic intensity (Probability)	High	0.1	0.2	0.3	
	Medium	0.2	0.5	0.5	
	Low	0.7	0.3	0.2	
Environmental forces (Probability)	Strong	0.1	0.1	0.1	
	Moderate	0.4	0.4	0.4	
	Benign	0.5	0.5	0.5	
Speed (Probability)	Full	1	1	1	
	Reduced	0	0	0	
Safety culture	Excellent	-	-	-	0
(Choose one, 'Standard' is default)	Standard	-	-	-	1
	Poor	-	-	-	0
Water adjustment factor (criticality)		0	1	1	
CRITICAL COURSES TWDS SHORE PER NM					
Scenario 1					
Number of course changes per nm		0.025	0.08	0.2	
Ratio of dangerous course changes		0	0.4	0.8	
Speed adjustment	Full				1
	Reduced				0.8
N (critical course changes)		0E+00	3E-02	2E-01	
Scenario 2					
N (turns per nm) (when not supposed to turn)		1E-03	1E-03	1E-03	
P (dangerous to turn)		0	0.4	0.8	
Speed adjustment	Full				1
	Reduced				0.7
Adjustment for safety culture	Excellent				0.5
	Standard				1
	Poor				2
N (critical turns per nm)		0E+00	4E-04	8E-04	
Scenario 3					
N (drift-offs per nm given env.cond)	Strong	0.01	0.01	0.01	
	Moderate	0.001	0.001	0.001	
	Benign	0	0	0	
P (dangerous location to drift off)		0	0.2	0.4	
Speed adjustment	Full				1
	Reduced				1.5
Adjustment for safety culture	Excellent				0.75
	Standard				1
	Poor				2
N (critical drift-offs per nm)	Strong	0E+00	2E-04	4E-04	
	Moderate	0E+00	8E-05	2E-04	
	Benign	0E+00	0E+00	0E+00	
	Total sc. 3	0E+00	3E-04	6E-04	
Scenario 4					
N (Wrong position per nm)		0.001	0.001	0.001	
P (Wrong position leads to dangerous course)		0	0.2	0.4	
Adjustment for safety culture	Excellent				0.8
	Standard				1
	Poor				2
N (Critical wrong position per nm)		0E+00	2E-04	4E-04	
Scenario 5					
N (Turns because of traffic per nm)	High TI	0.1	0.1	0.1	
	Medium TI	0.05	0.05	0.05	
	Low TI	0.01	0.01	0.01	
P (Turn is critical)		0	0.1	0.25	
N (Critical turns because of traffic per nm)	High TI	0E+00	2E-03	8E-03	
	Medium TI	0E+00	3E-03	6E-03	
	Low TI	0E+00	3E-04	5E-04	
	Total sc. 5	0E+00	5E-03	1E-02	
OUTPUT					
Scenario 1	#	0.0	12.0	36.0	48.0
Scenario 2	#	0.0	0.2	0.2	0.3
Scenario 3	#	0.0	0.1	0.1	0.2
Scenario 4	#	0.0	0.1	0.1	0.2
Scenario 5	#	0.0	1.8	3.2	5.0
Number of critical courses towards shore:					53.7
Number of critical courses towards shore / nm:					0.036

Trade length for one round trip distributed in three water categories

Speed adjustment not included

Safety culture set to standard for all vessels

In open sea no course change is critical for grounding

Each scenario contributes to the total frequency of critical courses towards shore

Relative importance for each scenario

- 89.3%
- 0.6%
- 0.4%
- 0.3%
- 9.3%

Figure D-2: Printout of Excel spreadsheet of grounding exposure model

D3 COLLISION MODEL

D3.1 General

The number of collision courses is modelled in Excel and uses the same structure as the grounding model. The five cruise trades with a generic route were used as basis, and the three types of waters are the same as for the grounding calculation. For each trade, the traffic intensity was estimated based on data from the AMVER database, see the main report. The geometric frequency of collision courses is calculated by taking into account the type of waters, the traffic intensity and the vessel dimensions and speeds. Three collision scenarios were included in the model:

- Collision with meeting vessels
- Collision with crossing vessels
- Collision with overtaking vessel

D3.2 Description of spreadsheet

Figure D-5 shows a printout of the spreadsheet. The description below refers to this printout.

D3.2.1 Results

On top, the collision frequency per year is presented. The result is the product of the number of critical courses towards shore (N) and the probability of loss of control (P) from the Bayesian network ($N * P$).

D3.2.2 Input data

The distance the ship is exposed to crossing and meeting traffic in each category is input and the sum is the total distance the ship is exposed to collision risk during one roundtrip. The model has been built up like this as most of the meeting and crossing traffic occur in high traffic intensity areas (hotspots), where the ship sails a short amount of time compared to the whole sailing. For a specific route with uniform distribution of traffic, the whole sailing should be included.

Next line is the number of trades or sailings each year. The number of crossings and meetings in one year are data based on the AMVER database, ref. the main report. The number of crossing ships in the trade is the total number of vessels crossing the passage of the vessel during one year. The number of meeting vessels in the trade is the number of vessels with a meeting course in the passage of the vessel during one year.

The percentage of the sailing with lane separation and Vessel Traffic Service (VTS) is input. Lane separation is modelled to decrease the critical meeting situation frequency. The presence of VTS will decrease both critical meeting and crossing situations.

Scenario 1 - Crossing vessels

A crossing collision is illustrated in Figure D-3. It may conservatively be assumed that the two vessels will always meet at an angle of 90°, as a collision at 90° will give the most severe damages.

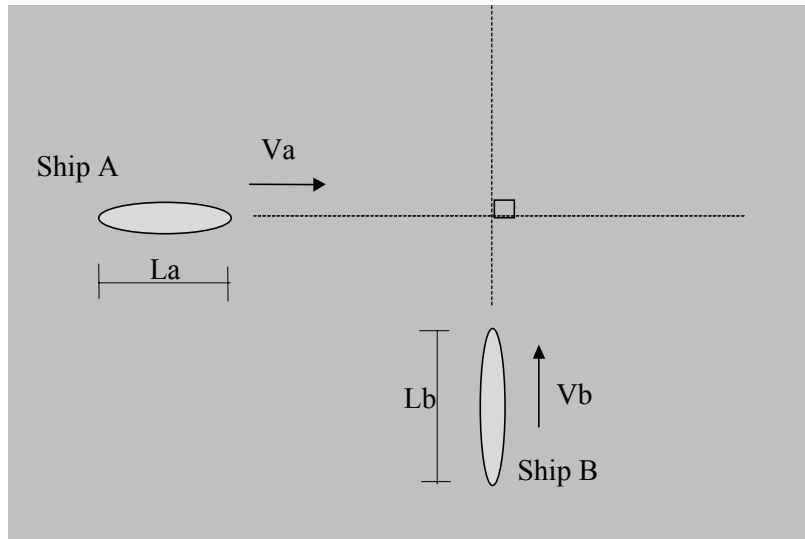


Figure D-3 Crossing collision scenario

The geometrical critical collision course frequency is calculated utilizing the following equation:

$$F_{\text{Courses_Crossing}} = N_1 \cdot N_2 \cdot \left[\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} \right]$$

where:

- N_1 = Number of area passages for ship 1 [year⁻¹]
- N_2 = Number of area passages for ship 2 [year⁻¹]
- L_1 = Length of ship 1 [km]
- L_2 = Length of ship 2 [km]
- V_1 = Average ship speed of ship 1 [km/year]
- V_2 = Average ship speed of ship 2 [km/year]

Subscript 1 refers to *own* vessel, while subscript 2 refers to *other* ship. Data are input in the spreadsheet.

Scenario 2 - Meeting vessels

Figure D-4 illustrates the scenario involving two vessels on a head-on collision course.

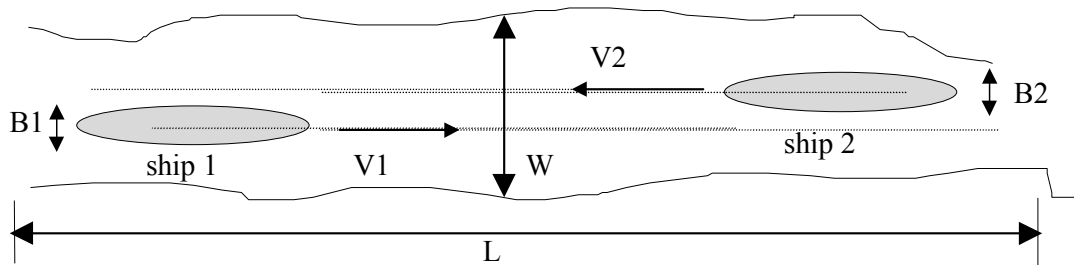


Figure D-4 Meeting collision scenario

The frequency of dangerous courses for traffic intersecting head-on is calculated by the following equation:

$$F_{\text{Courses_HeadOn}} = N_1 \cdot N_2 \cdot L_{\text{Lane}} \cdot \left[\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right] \cdot \left[\frac{B_1 + B_2}{W} \right]$$

where

- N_1 = Number of head-on intersections for ship 1 [year^{-1}]
- N_2 = Number of head-on intersections for ship 2 [year^{-1}]
- T = Time [year]
- W = Average width of lane [km]
- L = Length of lane [km]
- B_1 = Average breadth of ship 1 [km]
- B_2 = Average breadth of ship 2 [km]
- V_1 = Average speed of ship 1 [km/year]
- V_2 = Average speed of ship 2 [km/year]

Subscript 1 refers to *own* vessel, while subscript 2 refers to *other* ship. Data are input in the spreadsheet.

Scenario 3 - Overtaking vessels

The number of *other* vessels overtaking *our* vessel is a function of the number of meeting vessels and the relative speed difference between *our* and *other* vessel.

ANNEX II - APPENDIX D

FREQUENCY OF COLLISION:	F (Collision) =	2.8E-03 per yr
Prob. of collision given collision course, bayesian network:	P (Collision | Collision course) =	8.4E-06 per course
Number of situations perceived as critical:	N (Collision courses) =	329.1 per yr

CALCULATION of number of collision courses:

INPUT	States	Open sea	Coastal	Narrow	Total	
Waters, distribution in %		60%	25%	15%		
Waters		900	375	225	1500	[nm]
Fraction of sailing with high traffic		20%	20%	20%		
Sailed distance exposed to majority of collision risk		180	75	45	300	
Number of trades for own ship		50	50	50	50	N ₁ [#/yr]
Number of crossing ships in the trade		200000	100000	40000		N ₂ - crossing [#/yr]
Number of meeting ships in the trade		80000	40000	15000		N ₂ - meeting [#/yr]
Lane separation	Yes	0.2	0.2	0.5		[-]
	No	0.8	0.8	0.5		[-]
VTS	Yes	0.2	0.3	0.3		[-]
	No	0.8	0.7	0.7		[-]
COLLISION COURSES						
Scenario 1 - Crossing collision						
Length of own ship		-	-	-	250	[m]
Average length of crossing ship		-	-	-	150	[m]
Average speed of own ship		20	20	20	20	[knots]
Average speed of crossing ships		12	12	12	12	[knots]
Effect of lane separation	Yes	-	-	-	0.8	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
Effect of VTS	Yes	-	-	-	0.9	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
N (collision courses)		14.5	7.2	2.7	24.4	##/yr
Scenario 2 - Head-on collision						
Breadth of own ship		-	-	-	30	[m]
Breadth of meeting ship		-	-	-	30	[m]
Length of lane		180	75	45		[nm]
Width of lane		5	2	0.5		[nm]
Average speed of own ship		20	20	20	20	[knots]
Average speed of meeting ship		12	12	12	12	[knots]
Lane separation	Yes	-	-	-	0.8	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
VTS	Yes	-	-	-	0.9	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
N (collision courses)		0.7	3.4	29.1	33.2	##/yr
Scenario 3 - Overtaking situation						
Breadth of ship 1		-	-	-	30	[m]
Breadth of ship 2		-	-	-	30	[m]
Length of lane		180	75	45		[nm]
Width of lane		5	2	0.5		[nm]
Average speed of ship 1		20	20	20	20	[knots]
Average speed of ship 2		12	12	12	12	[knots]
Lane separation	Yes	-	-	-	0.8	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
VTS	Yes	-	-	-	0.9	[-]
	No	-	-	-	1	[-]
N (collision courses)		0.2	0.9	7.3	8.3	##/yr
OUTPUT						
Scenario 1 - Crossing collision	#	14.5	7.2	2.7	24	##/yr
Scenario 2 - Head-on collision	#	0.7	3.4	29.1	33	##/yr
Scenario 3 - Overtaking situation	#	0.2	0.9	7.3	8	##/yr
Number of collision courses:					66	
Number of collision courses per nautical mile:					8.8E-04	##/nm

Trade length for one round trip distributed in three water

Includes hot spots and some parts of the sailing with moderate traffic intensity

Fraction of sailing with lane separation and VTS

1 nm = 1.852 km
1 knop = 16224 km/yr

Input data for the geometric collision course frequency calculation

The frequency of overtaking situations is calculated based on the number of meeting situations and the difference of "own" and "other" vessel's speed

Relative importance for each scenario

37%
50%
13%

Number of situation perceived as critical*: 329 [#/yr]

* The number of collision courses are increased by a factor of 5 as not only geometrical collision courses are expected to result in collision (ref. conversation with Arve Lepsøe, DNV Department for Control Systems and Nautical Safety, see the main report)

Figure D-5 Printout of Excel spreadsheet of collision exposure model

ANNEX II: APPENDIX E: EXPERT JUDGEMENTS

E	Expert Judgements	ii
E1	THE EXPERT JUDGEMENT PROCESS AND PEOPLE INVOLVED	E-1
E1.1	Project team	E-1
E1.2	Expert judgements	E-2

E1 THE EXPERT JUDGEMENT PROCESS AND PEOPLE INVOLVED

E1.1 Project team

The project team consisted of the following persons:

Table E-1 Project team		
Project team	Experience	Involvement
Rolf Skjong	Chief Scientist, DNV Strategic Research. FSA specialist with more than 20 years experience within risk and reliability analysis. Project manager and project responsible in a number of international Joint Industry Projects for the maritime, offshore and process industry. Adviser to Norway at IMO on FSA matters since 1995. Chairman IACS WG on FSA. Member of OECD steering committee on Emerging Systemic Risk. Member of SAFEDOR steering committee on Risk Based Ship Design.	Project responsible in DNV Involvement in all phases
Linn Kathrin Sæther	Consultant, DNV Maritime Solutions. Educated Master of Science in naval architecture. Has 3 years experience with risk management and technical risk assessments within the maritime and offshore industry. Current working in DNV Maritime Solutions.	HAZID Risk Assessment Identification of RCOs Cost Benefit Assessment Reporting
Sverre Alvik	Senior consultant, DNV Maritime Solutions. Educated Master of Science in naval architecture. Has 6 years experience with management and risk consultancy, technical risk assessment and navigational assessments within maritime and offshore industry. Is currently working as senior consultant in DNV Maritime Solutions with risk management with special emphasis on operational risk for shipping companies.	HAZID Risk Assessment Identification of RCOs Cost Benefit Assessment
Simen Listerud	Consultant, DNV Maritime Solutions. Educated Master of Science in naval architecture. Has 5 years of experience employed at different sections in DNV. Has been involved in seakeeping and wave load analysis of ships providing technical consulting to ship yards and ship operators and internal R&D projects. Further experiences include risk analysis for maritime clients and he is currently working with management and risk consulting towards shipping companies and governments.	Risk Assessment
Stein Motrøen	Consultant, DNV Maritime Solutions. Educated Master of Science in Industrial Economics and Technology Management. The combination of different studies and work experience has given a basis in technology subjects and an in-depth knowledge in economics and management subjects.	Risk Assessment
Peter Hoffmann	Consultant, DNV Maritime Solutions. Educated Master of Science in naval architecture. Has 3 years experience with risk management and technical risk assessments within the maritime and offshore industry. Current working in DNV Maritime Solutions.	Identification of RCOs Cost Benefit Assessment
Antonios Georgantzis	Technical trainee in DNV	Identification of RCOs Cost Benefit Assessment

E1.2 Expert judgements

In the work process to establish the failure models for collision and grounding, various experts and data sources were used to ensure a solid foundation for the dependencies and figures entered into the model. Statistical data were used where available. Statistical data from other ship types was used where such data was transferable to cruise navigation without too much difficulties. If statistical data was not available, experts were interviewed or directly involved in the modelling process.

The persons involved during the project process in addition to the project team, are presented in Table E-2, in addition to a description of their contribution.

The structure of the Bayesian network was extensively examined by navigators to ensure a logical model that included the important factors relevant for navigational performance, ref. Table E-2.

For nodes where no statistical information was available, expert workshops have been arranged. Important probabilities in each node related to causes of grounding and collision were discussed and verified. In total, 53 nodes were discussed. Figure E-1 shows an example of a conditional probability table behind each node. Bayesian networks are more thoroughly described in the main report.

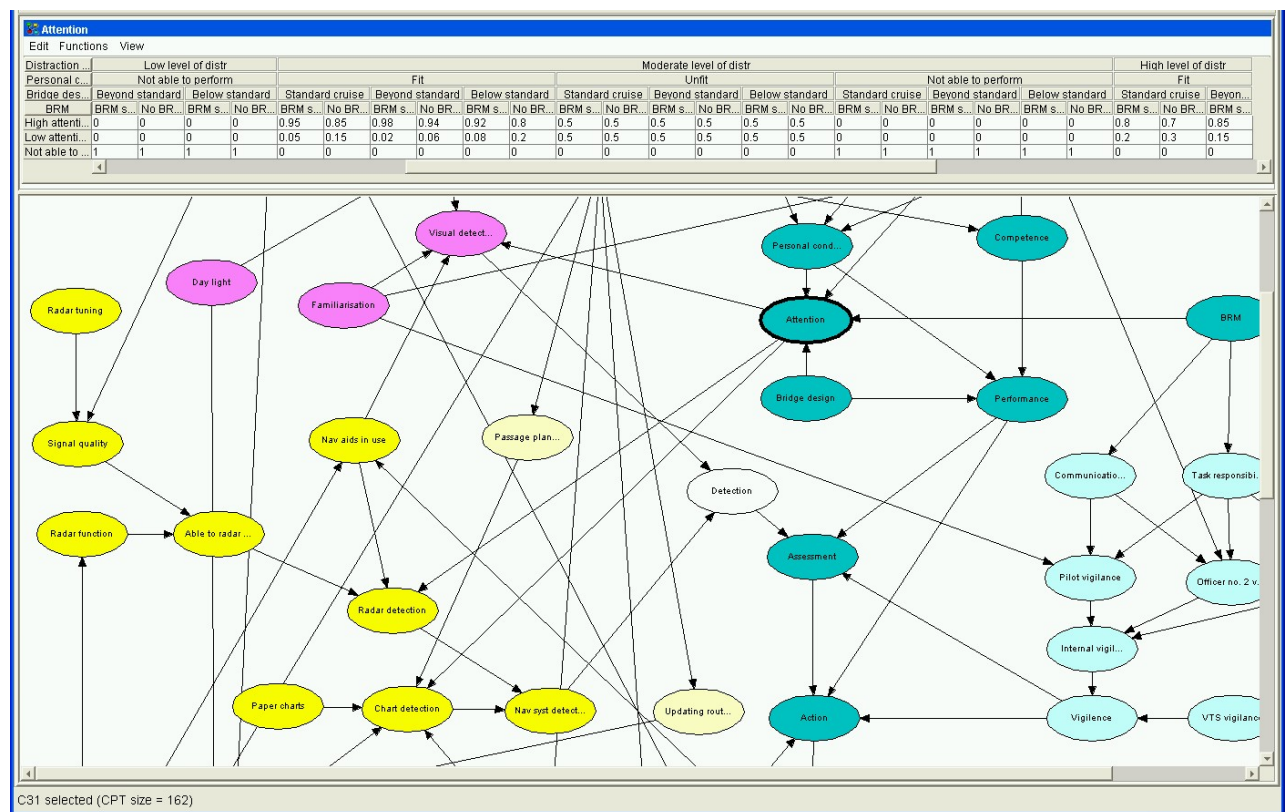


Figure E-1 Example of Bayesian network and conditional probability table (CPT)

In the expert workshops, the project team suggested one or two typical and important probabilities from the node’s conditional probability table as a discussion basis. The participants stated whether this was according to their experience and gut feeling, and if not, the group discussed and came up with modified figures. Also some principal discussions concerning the adjustments for the different conditions in the table were taken; however, this was regarded as a task for the project team. In total, 2027 probabilities are put into the grounding model and 2187

ANNEX II, APPENDIX E

probabilities into the collision model. Many of those figures are of course identical; however, to discuss every numbers in a workshop is a too extensive scope.

References to these workshops are made in the node description in Appendix C. The experts participating in the sessions the 10th and 12th of March 2003 were:

- Arve Lepsøe
- Emil Aall Dahle
- Bernt Hofset
- Benedikte Wentworth

in addition to members of the project team. For more information on the participants and their expertise, see Table E-2.

For nodes related to consequences of grounding and collision, a meeting was arranged on the 14th of March with Mads Magnussen, ref. Table E-2, in DNV's Passenger Ship Department. In this meeting, a course assessment of vessel damage, evacuation process and human impact was carried out.

In addition, two workshops (Delphi sessions) with DNV experts within stability was held for consequence estimation for both collision and grounding events. The workshops focused on determining probabilities for the speed of sinking and the fatality rates given that the vessel sinks.

ANNEX II, APPENDIX E

Table E-2 Experts involved in the process		
Name	Expertise	What?
Arve Lepsøe	Nautical Surveyor in the department for Control Systems and Nautical Safety in DNV with work tasks within plan approval, testing, certification, type approval and advisory services within the fields of bridge design and navigation systems. Previous work experience as Navigator on Norwegian Navy Vessels and as deck officer on several chemical tankers in international trade. Appointed as Norwegian member of two IEC standardisation working groups since April 1999. Appointed as advisor to the Norwegian delegation in IMO (NAV 46) meeting July 2000.	* Discussions on and verification of the structure of the network models. * Quantification of probability input
Emil Aall Dahle	Senior principal engineer in DNV. Working now mainly with risk analyses. Many years experience as officer on miscellaneous ship types and sizes in world wide and coastal trade. Several years experience as Professor in Ship Design at the Norwegian Institute of Technology.	* Quantification of probability input * Discussions on risk exposure, i.e. estimation of number of critical situations based on traffic picture, navigation practices, etc.
Bernt Hofset	Nautical Surveyor in the department for Control Systems and Nautical Safety. Many years experience as service engineer on ship navigation and communication systems.	* Quantification of probability input
Benedikte Haugene Wentworth	Senior consultant in DNV. Has 5 years experience with management and risk consultancy, with special focus on human factors. Is currently working as project manager in DNV Maritime Solutions.	* Quantification of probability input
Atle Ellefsen	Principal Engineer in DNV Experience includes six years employment within RCCL, including three years as Project Director in Project and Newbuilding department	* General information on the cruise industry, trades, waters, etc.
Henrik Sverdrup	Principal Marine Surveyor in DNV. Experience includes 8 years as Deck officer / Master on cargo ship in world wide trade and three years as Staff Captain on cruise vessels with trades in Caribbean and Alaska.	* Discussions on risk exposure, i.e. estimation of number of critical situations based on traffic picture, navigation practices, etc.
Knut Frøysaa	Senior Lead Auditor in DNV Many years experience from the cruise industry both as master/staff officer on cruise vessels and as director and training manager in several cruise shipping companies.	* General information on cruise trades and navigation practices.
Mads Magnussen	Senior surveyor in DNV's Passenger Ship Department. Experience includes 3 years with Flag State authority (Norway) and 7 years with Royal Caribbean Cruise Line Newbuilding as Assistant Project Manager.	* Assessment of consequences of collision and grounding, i.e. vessel damage, evacuation process and human impact.

ANNEX II, APPENDIX E

Sigmund Rusås	Damage stability expert, Adviser to Norway at SLF. Project Manager of HARDER	* Consequence estimation for both grounding and collision
Odd Olufsen	Damage stability expert	* Consequence estimation for both grounding and collision
Edith Vistung	Damage stability expert	* Consequence estimation for collision
Gunnar Hjort	Damage stability expert. Adviser for Norway at SLF	* Consequence estimation for grounding

執筆担当者

松岡 猛	篠田 岳思	片山 瑞穂
吉田 公一	金湖富士夫	三友 信夫
上田 秀敏	中川 直人	

発行者 財団法人 日本船舶技術研究協会
〒105-0003
東京都港区西新橋 1-7-2 虎の門高木ビル 5 階
電話：03-3502-2132（総務部）
03-3502-2134（基準・規格グループ）
ファックス：03-3504-2350
ホームページ：http://www.jstra.jp/

本書は、日本財団の助成金を受けて作製したものです。
本書の無断転載・複写・複製を禁じます。