

第1章 はじめに

1-1 問題の所在

沖ノ鳥島は、日本の最南端の北緯 25 度 25.5 分に位置する島である。絶海の孤島であるために、その周囲に 40 万 km² という日本の国土よりも大きな排他的経済水域を有する。サンゴ礁としては、東西 4.5 km、南北 1.7 km、面積 450 ha の大きさを持つが、そのほとんどは低潮位以下で、高潮位上に露出するのは、2つの小さな島だけである。こうした地理的・地形的特性によって、沖ノ鳥島が経済水域を確保する根拠となる「島」にあたるかどうかについて、国際的な紛争になることが危惧されている。

1-2 沖ノ鳥島研究会と本報告書の構成

こうした背景のもとで、シップ・アンド・オーシャン財団は、「沖ノ鳥島研究会」を設けて、同島の地形・生態的特性と島の再生の可能性と方策について検討を重ねてきた。研究会のメンバー、開催日と内容は、表1の通りである。これまでに4回の研究会を開催し、サンゴ、有孔虫と海水流動について、外部から講師を招いてレクチャーを依頼した。また研究会メンバーは、日本財団が主宰する「沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団」にも参加して、現地の状況を視察した。

こうしたレクチャーと、研究会での議論をふまえ、とくに地形としての沖ノ鳥島を再生するために必要な調査・研究についてまとめたのが、本報告書である。本報告書では、次節において、沖ノ鳥島問題における本提案の位置づけを述べた後、第2章では島の再生に関わる沖ノ鳥島および周辺海域の自然環境の推移と現状を、第3章では州島形成の地形・生物過程をまとめ、第4章において沖ノ鳥島の州島再生計画を提案する。

表1 沖ノ鳥島研究会の実施内容

第1回研究会 2004年10月28日(木) 13:30-16:00

- 1) 沖ノ鳥島視察計画(日本財団)
- 2) 沖ノ鳥島の環礁内のサンゴの種構成ならびに分布特性(岡地 賢, コーラルクエスト)
- 3) 国土交通省における取り組み(野田 徹)

沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団 2004年11月24日～28日

第2回研究会 2004年12月15日(水) 10:00-12:00

- 1) 沖ノ鳥島の現状と再生(茅根)
- 2) サンゴの移植と増殖について(大森)

第3回研究会 2005年1月14日(金) 16:00-18:00

- 1) サンゴ礁に棲息する有孔虫の生態と堆積物生産力(藤田和彦 琉球大・理・物質地球科学)

第4回研究会 2005年2月14日(月) 13:00-15:00

- 1) 礁湖および周辺の海水の流れについて(蓮沼啓一 (株)海洋総合研究所)
- 2) 沖ノ鳥島再生計画

1-3 沖ノ鳥島問題における本報告書の位置づけ

本報告書が扱う範囲は、沖ノ鳥島問題のすべてではない。表2にまとめた沖ノ鳥島問題のマトリックスのうち、本報告書で扱うのは1-(1)-②に対応する2-(1)-②の内、自然の力を活用した島の再生策の部分である。

したがって、たとえ高潮位以上に現れる島が水没してもサンゴ礁の存在だけで排他的経済水域の維持が国際法上なんら問題ないことが結論されたり、完全な土木工事による島の構築でも経済水域の確保は可能であるという判断がなされれば、本研究会の提案の重要性は相対的に薄れるだろう。

ただし、完全に自然に任せていては、温暖化による海面上昇という状況下で、「高潮位以上に露出する」島の水没は必至である。ゆえに、もし高潮位以上の島が存在することが排他的経済水域確保の根拠として必要であり、一方で完全な人為構造物がその根拠として認められないのであれば、島とその周囲の経済水域を維持するために、自然の力を支援して島を再生する方策を考えなければならない、というのが、本報告書の立場である。

また、沖ノ鳥島の利用法は本提案の範囲外である。しかしながら、これまでに沖ノ鳥島問題をめぐって提案されている利用法の一部は、本報告書で提案する島の再生と密接に関連しており、一部相反する効果をもたらす可能性がある。その関わりにおいて検討が必要である。たとえば、島の周辺の深層水を利用して、深海の高濃度栄養塩の表層へのくみ上げによる漁業生産の拡大が、提案されている。しかしながら、島の再生の前提となるサンゴ礁の再生にとって、過剰な栄養塩はマイナスになる。サンゴ礁は、貧栄養海域に適応した生態系であり、過剰な栄養塩の散布は生態系をサンゴ群集から藻場群集に変えてしまい、島の再生力を大きく損なうためである。また、島の利用のための構築物の建築や、航路の浚渫も、島の堆積過程だけでなく、生態過程まで理解した上で、慎重に実施しないと島の破壊につながる可能性がある。

表2 沖ノ鳥島の抱える課題とその克服

1. 沖ノ鳥島の抱える課題

(1) 国際法上の地位

- ①島か岩かを代表とする解釈の問題
- ②海面上昇により国際法上の島の条件を満たさなくなる問題

(2) 利用のあり方

- ①何のための維持管理かの問題
- ②どのように利用するかの問題

2. 沖ノ鳥島の抱える課題の克服

(1) 国際法上の地位

- ①島か岩かを代表とする解釈の問題について
 - a. 中国を代表とする法律
法律家が解釈論をめぐって検討する
- ②海面上昇が国際法上の島の条件を満たさなくなる問題
 - a. 現有の小島が壊れないような維持管理
土木工事による対策

b. 新たな自然陸地の形成（島の再生）

州島の形成促進 本研究会のテーマ

(2) 利用のあり方

- ①何のための維持管理かの問題
 - a. 沖ノ鳥島の維持・管理および大陸棚延長の意義の検討
EEZ 内の海底天然資源の評価
水産資源評価
- ②どのように利用するかの問題
 - a. どのようなポテンシャルがあるかの検討
レジャー，研究施設，観測基地，温度差発電，観光，深層水利用

3. 応用性（波及効果）： 以下本研究会の内容（島の再生）に限る

- (1) 海拔の低い島国の温暖化・海面上昇対策
- (2) サンゴ礁の維持・再生

第2章 沖ノ鳥島および周辺海域の自然環境の推移と現状

2-1 地理的位置

沖ノ鳥島は、北緯 20 度 25 分，東経 136 度 5 分に位置する，我が国最南端の島である（図1）．東京から 1700 km，もっとも至近の島でも，北西の沖大東島と北東の南硫黄島まで，いずれも 550 km 離れる絶海の孤島である．行政区画上は，東京都小笠原村に属するが，1987 年に国の直轄工事が公示された．

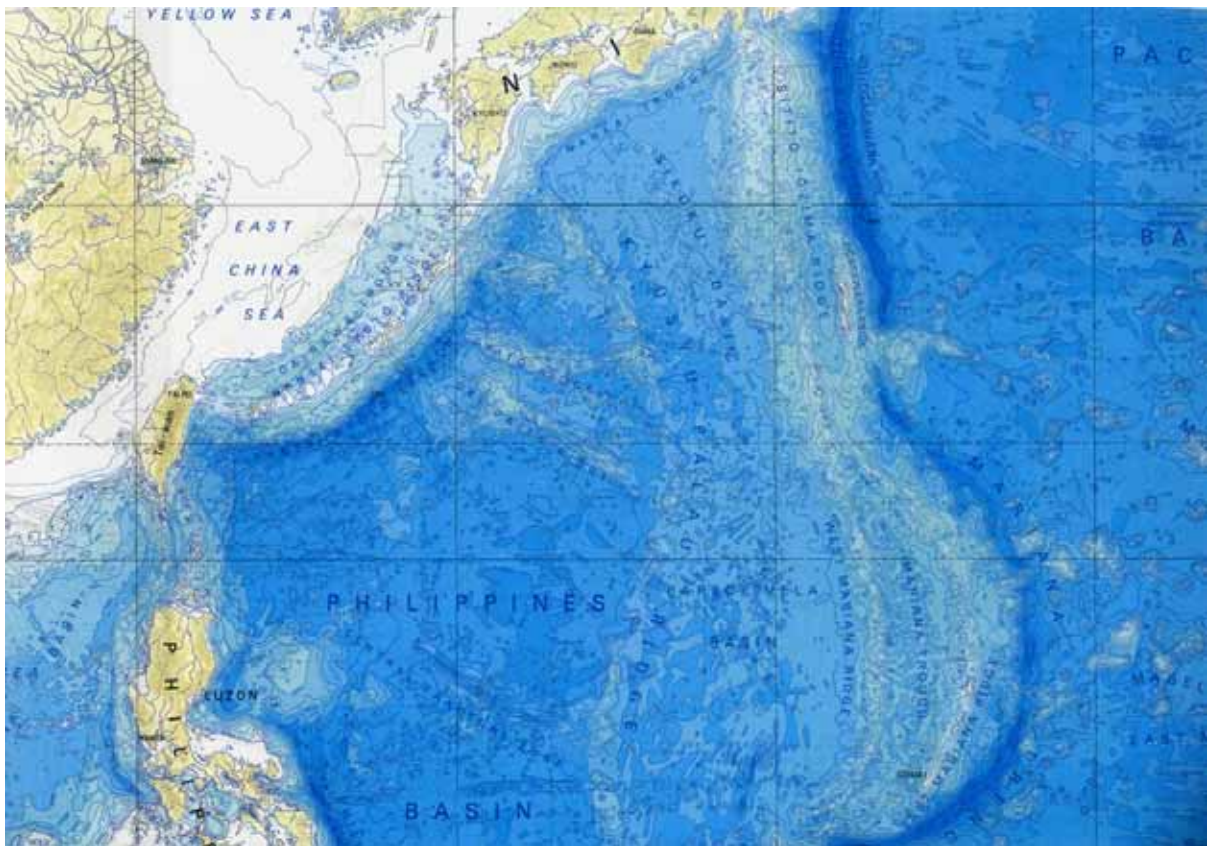


図1 沖ノ鳥島周辺の海図（海図 GEBCO 5-06）

他の島々から孤立して存在しているために、その周囲に 40 万 km² もの排他的経済水域を有する（図 2）。我が国の国土より広大な経済水域を有するという地理的位置と、後述するように高潮位以上に露出する部分が小さいという地形的特徴によって、本島が国際法上の島であるか否かについて、議論の余地を残している。

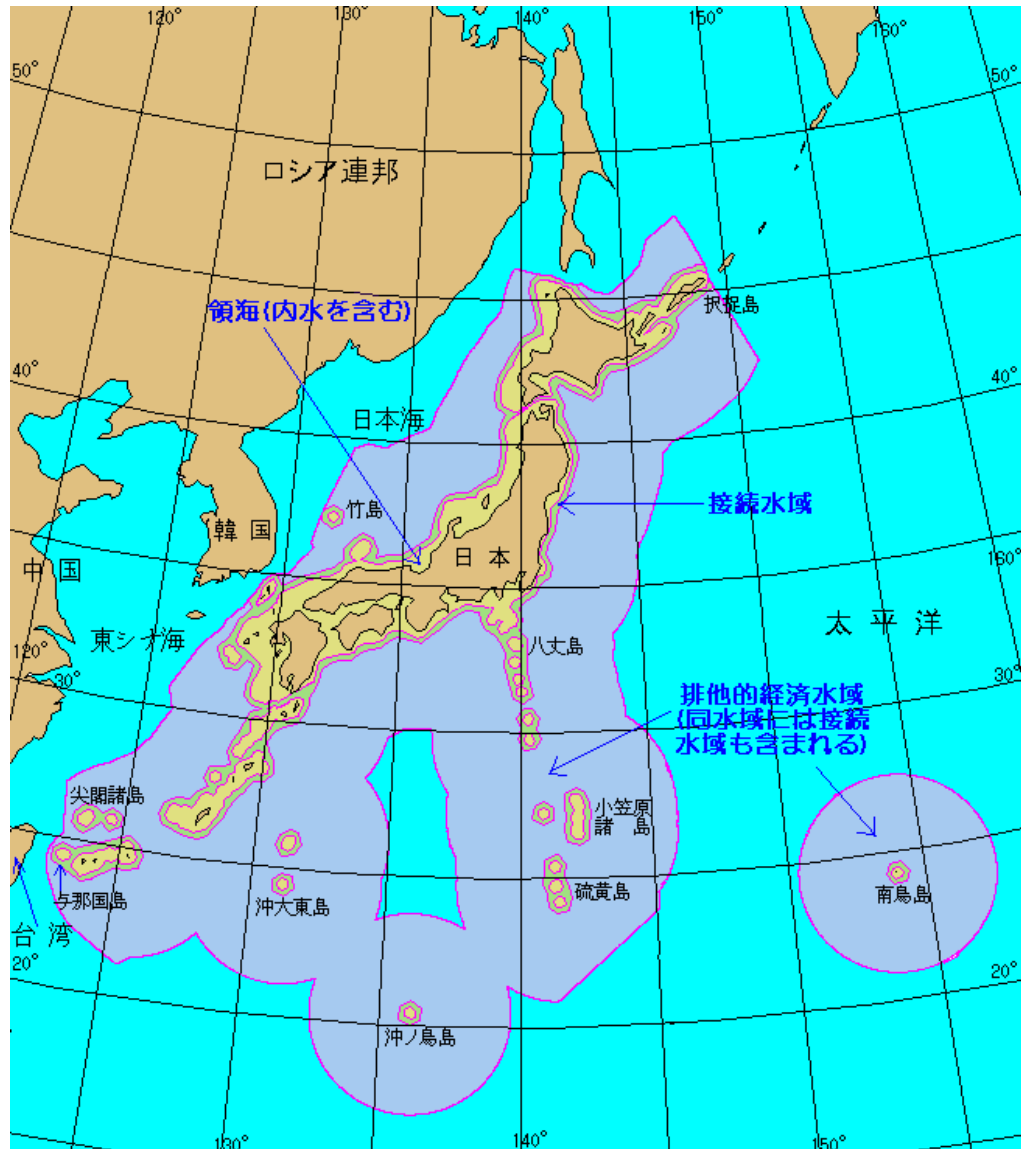


図 2 沖ノ鳥島の位置と排他的経済水域（環礁省・日本サンゴ礁学会編「日本のサンゴ礁」より）

2-2 地質としての沖ノ鳥島

沖ノ鳥島は、フィリピン海盆の中央を九州からパラオまで南北につらなる海底山脈である九州-パラオ海嶺のほぼ中央に位置する、海嶺中ではパラオ以外では唯一海上まで達する島である(図3)。今から4千万年前の始新世には、太平洋プレートはこの九州-パラオ海嶺に沿って沈み込んでいた(図3上右の“eocene”)。九州-パラオ海嶺は、沈み込むプレートの上盤側に形成された島弧で、いくつもの火山島からなっていた。その後、3千万年前から1.5千万年前にかけて、太平洋プレートの沈み込みの位置が東に移動して、九州-パラオ海嶺と伊豆-小笠原-マリアナ弧の間に、四国海盆とパレスベラ海盆が開いた(図3上中央の“miocene”)。太平洋プレートは、伊豆-小笠原-マリアナ弧に沿って現在は沈み込んでいる(図3上左の“present”)。太平洋プレートの位置が東に移動してしまったために、九州-パラオ海嶺は沈み込むプレートの支えを失って、水没しつつある。

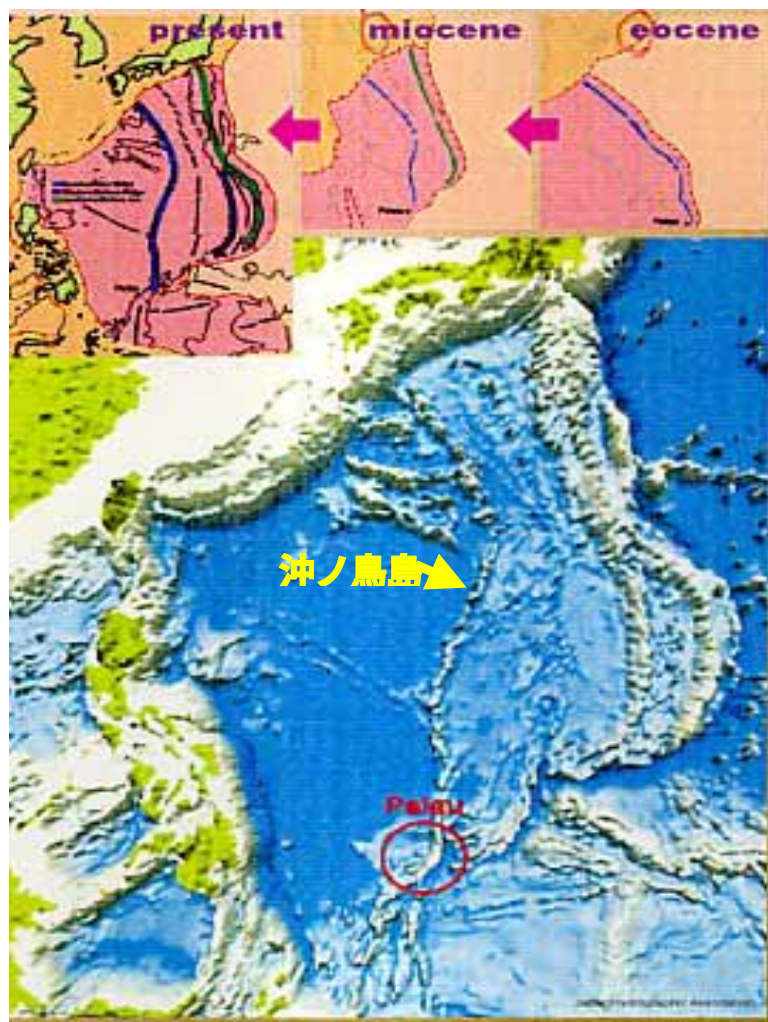


図3 沖ノ鳥島の地質構造発達史 (パラオ国際サンゴ礁センターパネル)

火山島の周囲を取り囲んで作られたサンゴ礁（裾礁）が、火山島が水没するとともに海面に向かって上へ上へと成長していくと、火山島とサンゴ礁との間に水深数 10mの浅い海を持つ堡礁になる。さらに火山島が完全に海面下に没すると、サンゴ礁だけがリング状につらなった環礁になる。環礁も堡礁同様、リングの内側に水深数 10mの礁湖を持つが、礁湖内に島は見られない。島の水没とサンゴ礁の成長によって、裾礁→堡礁→環礁というサンゴ礁発達のステージを説明する仮説は、ダーウィンが最初に唱え、ダーウィンの沈降説と呼ばれる（図 4）。

沖ノ鳥島は、環礁がさらに水没して内側の礁湖の面積が狭まった、サンゴ礁発達の最終ステージにある。内側の礁湖が完全に消失したものを「卓礁」と呼ぶが、沖ノ鳥島の場合、水深 5m程度のきわめて浅い凹地が内側に見られるので、環礁と卓礁の中間型であり、正確には「準卓礁」と呼ぶべきである。しかし一般的な用語としてなじみが薄いので、本報告書では以後「環礁」を用いることにする。

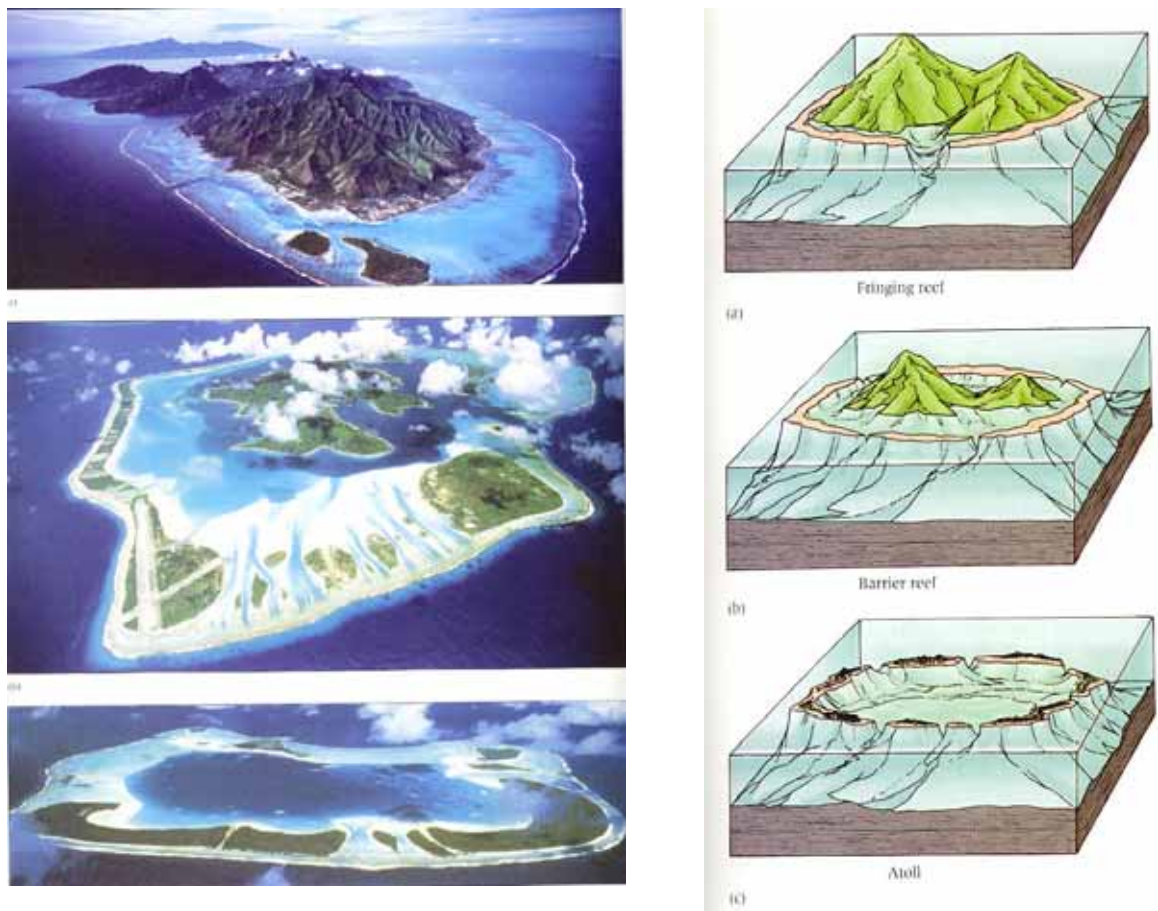


図 4 ダーウィンの沈降説。

上から、裾礁、堡礁、環礁。沖ノ鳥島は、環礁がさらに上へ上へと成長してリングが狭まって内側の礁湖が消失すると卓礁になる。沖ノ鳥島は、卓礁の手前の段階にある。

沖ノ鳥島は、水深 3000～4000mのフィリピン海盆から、45 度という急傾斜で立ち上がっている（図5）。この地形は、2 千万年前以前の火山体を基盤として、上部 1500～1900mが上へ上へと成長していったサンゴ礁であると考えることによって、説明される。

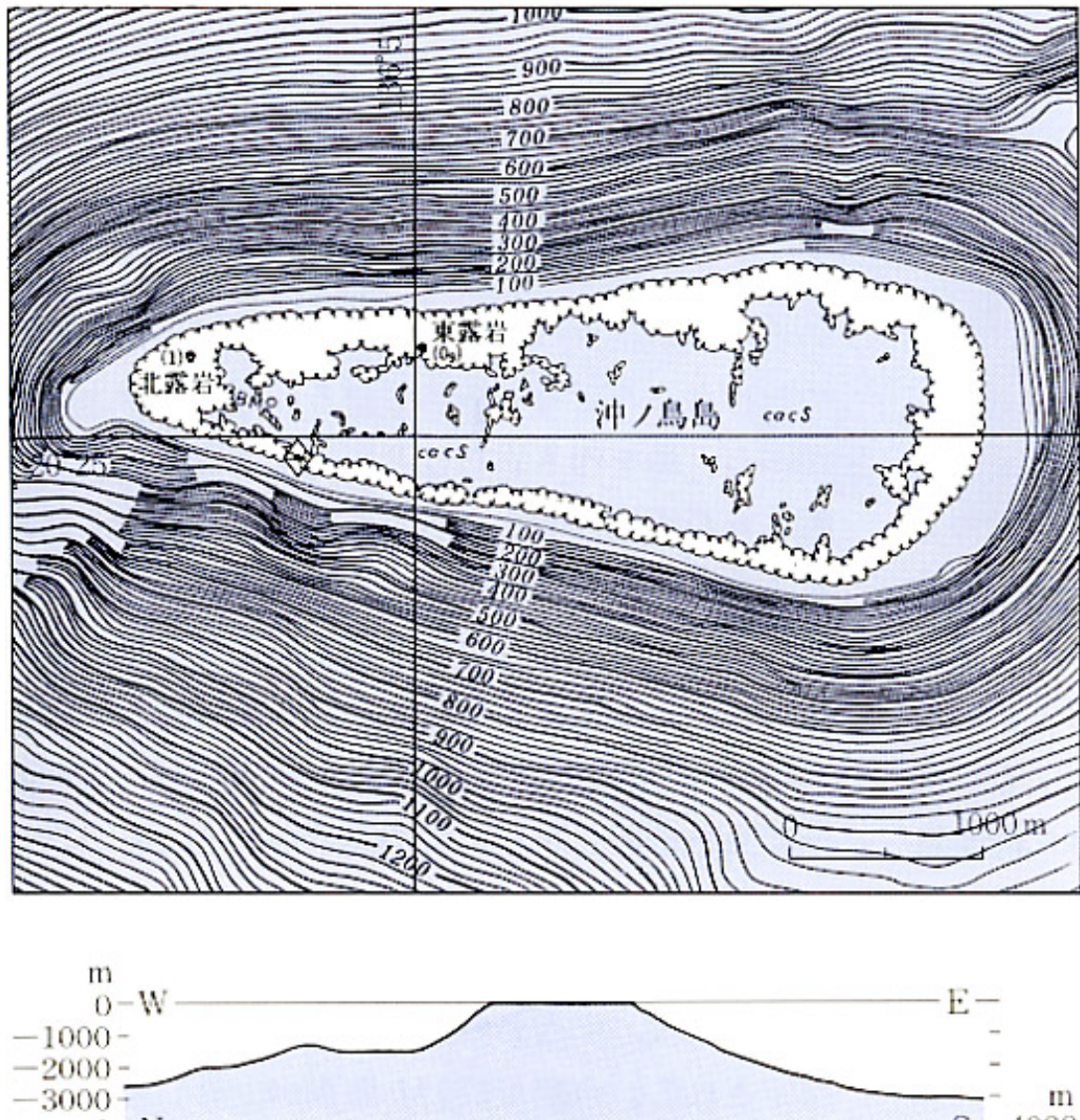


図5 沖ノ鳥島の地形断面（貝塚，1996）

沖ノ鳥島が、水没しつつある海嶺上の島であることから、現在の領土問題との関係で島の水没を心配する議論がある。しかしながら、地質的な島の成因から見積もられる島の水没速度は、2000 万年で 2000mとすれば、1 cm/100 年程度である。これは、後述するサンゴ礁の上方成長速度、20-40 cm/100 年と比べて十分小さい（サンゴ礁の成長は、地質的な島の水没に十分追いついていける）。また、予測されている今世紀の海面上昇量 40 cm/100 年よりも一桁小さく、今世紀中の島の維持にとって地質的な時間スケールでの水没は無視できるほど小さい（ただ、少なくとも地震隆起によって陸地が形成される可能性は低いとは言える）。

2-3 沖ノ鳥島の海面付近の地形

沖ノ鳥島の海面付近の地形は、東西 4.5 km、南北 1.7 km の、なすび形である。低潮位で干出する「礁原」に取り囲まれた内側は、水深最大 5.5 m の礁湖になっている（図 6、7、8）。礁原は、東と北で 300-500m と広く、南で 150m と狭い。礁原の海側は急斜面になっており、西の一部を除いてサンゴ礁でよく見られる水深 10-20 m の浅い棚はないようである。



図6 沖ノ鳥島の空中写真（国土交通省）

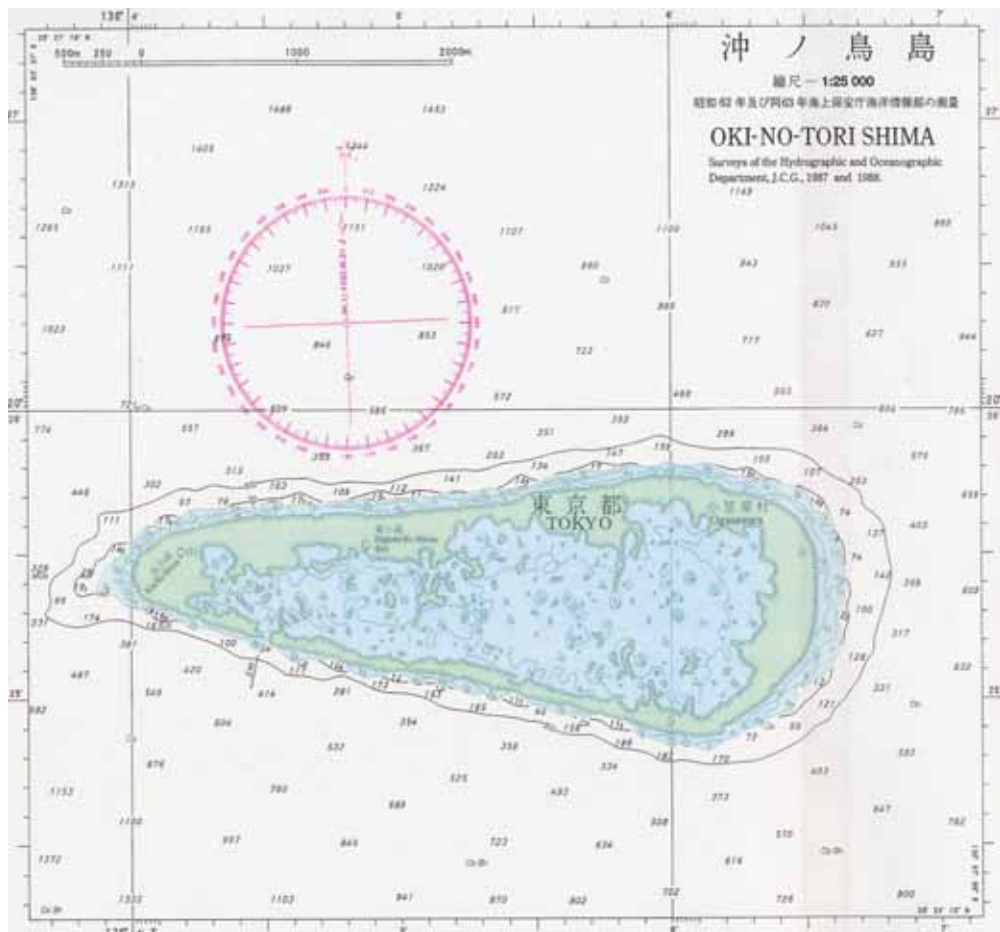


図7 沖ノ鳥島の海図（海図W49）。

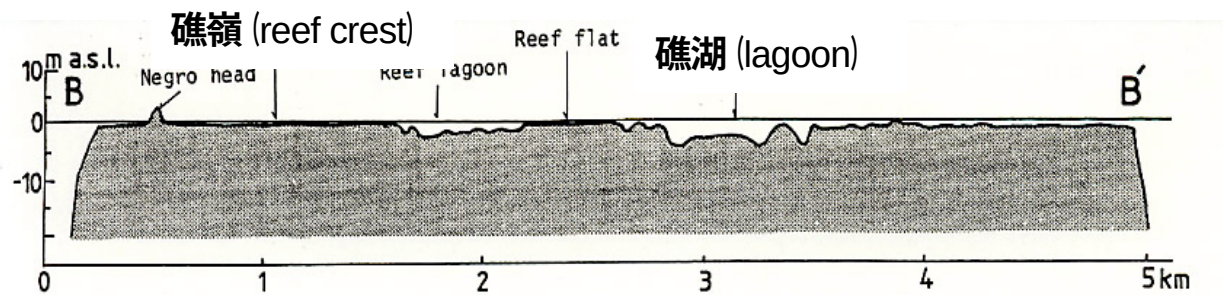


図8 海面付近の地形断面

高潮位以上に達する島は、北小島と東小島の2つである。高潮位上の標高は、16 cm と 8 cm である。地球温暖化による今世紀の海面上昇は 40 cm/100 年と予想されている（図9）。温暖化シナリオやモデルによって、10-90 cm/100 年と幅があり、40 cm/100 年はその中央値である。両島は、現状のままの保全を試みても、今後数 10 年以内に温暖化による海面上昇によって水没する危機にある。

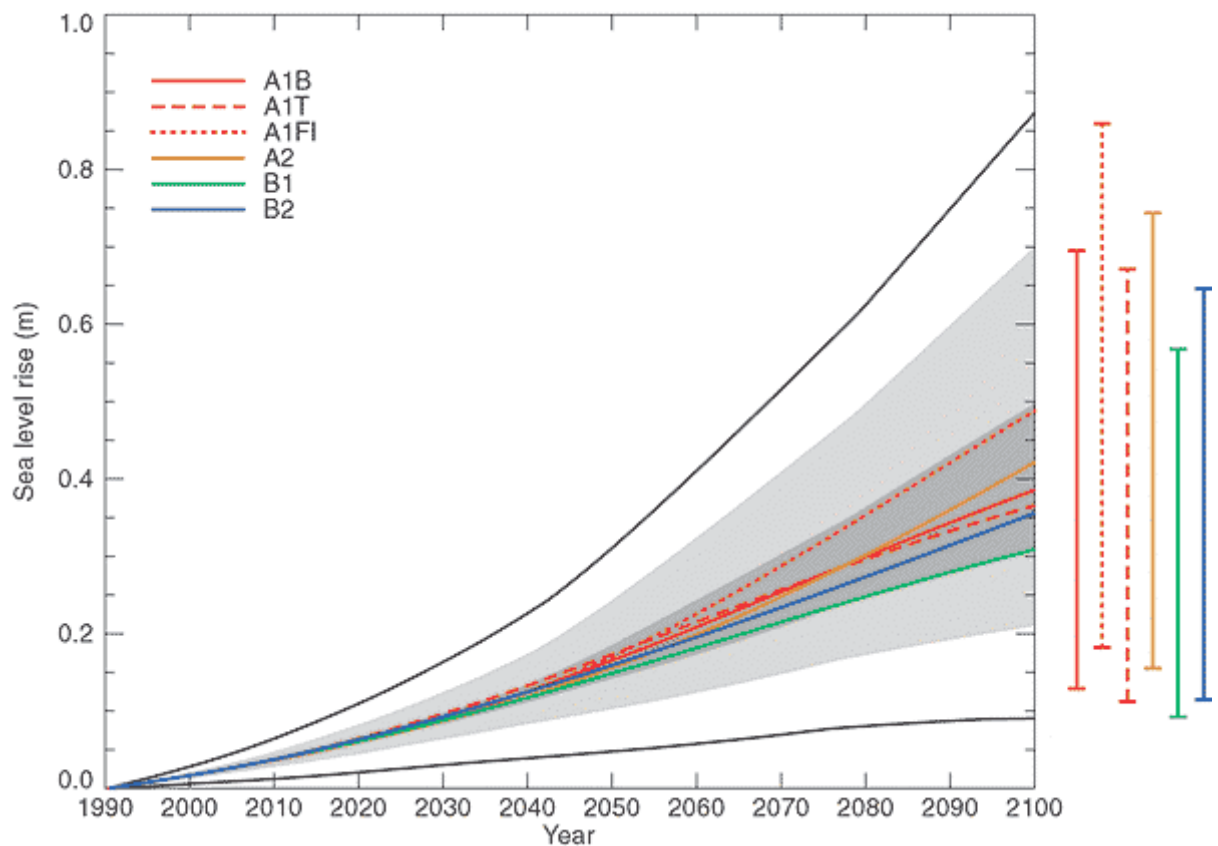


図9 地球温暖化による今世紀の海面上昇予測（IPCC 第3次報告書）

2-4 沖ノ鳥島周辺の物理環境

沖ノ鳥島付近は台風が頻繁に通過する海域である。1993年から98年までの6年間に発生した台風の移動経路（中埜，2001）を示した（図10）。沖ノ鳥島から500km以内（大型台風の半径に相当）を通過した台風の経路を赤線で示している。台風の通過に伴って、沖ノ鳥島では30～50 m/sの強い風が吹く（図11；中埜，2001）。巨大な波浪によって、大量の海水が環礁内に打ち込まれることが十分推察できる。

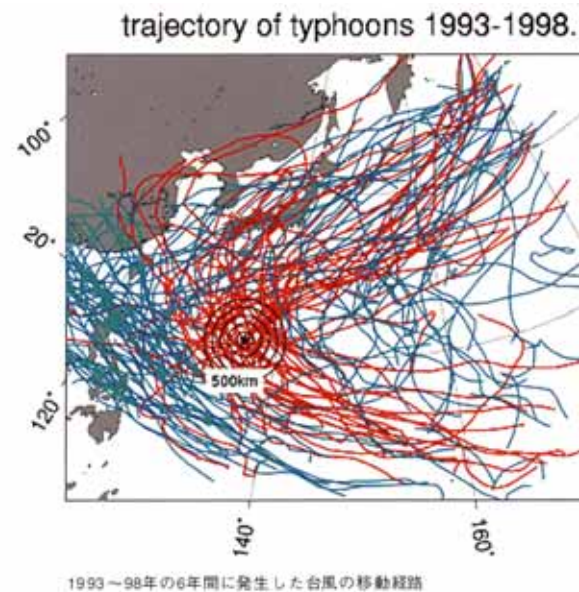


図10 1993～98年の6年間に発生した台風の移動経路

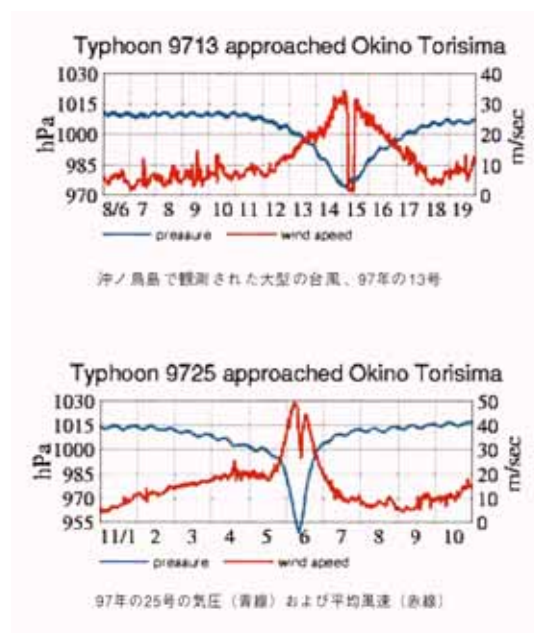


図11 沖ノ鳥島で観測された大型台風

上： 1997年の13号、 下： 1997年の25号

沖ノ鳥島は熱帯海域にあり、水温は、25 度から 30 度の範囲で変化する（図 12、中埜，2001）。

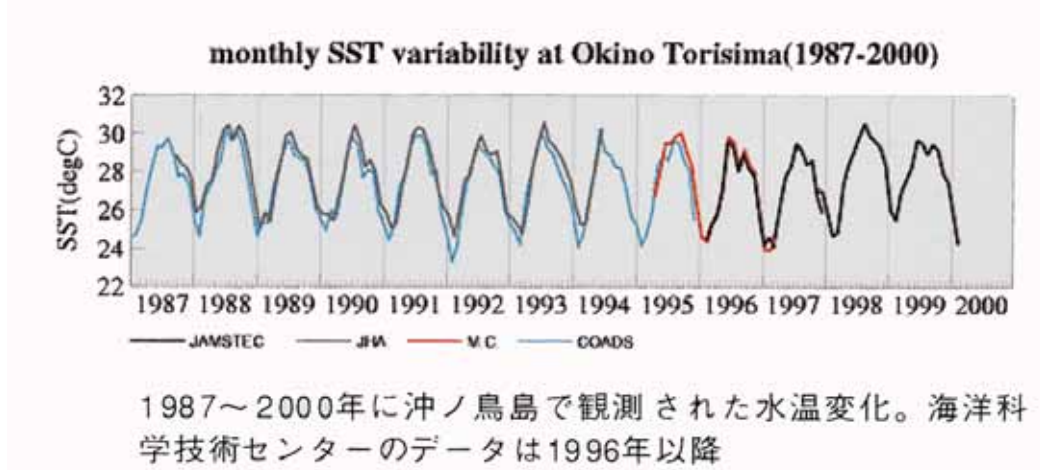


図 12 1987～2000 年に沖ノ鳥島で観測された水温変化

2-5 沖ノ鳥島の生物分布

同定されたサンゴは、73 種である（表 3）。この値は、信頼できる調査結果によるもので、他の調査で報告されたものも含めると、79 種になる。八重山諸島で 380 種、沖縄諸島で 340 種、奄美諸島で 220 種、小笠原諸島で 200 種、同定されていることと比較して、種数は少ない。同島が他の島と離れて孤立しているためである。碎波帯の低潮位付近が露岩になっており、ミドリイシ類が少ないという特徴がある。また有孔虫について、西太平洋のサンゴ礁に一般的に見られる *Baculogypsina*（ホシズナ）と *Calcarina*（タイヨウノスナ）が分布していない。

しかしながら既存の生物調査には精粗があり、サンゴ礁維持・形成の視点から、徹底的な再調査が必要である。



図 13 沖ノ鳥島の海中景観

表3 沖ノ鳥島で同定された造礁サンゴのリスト (11科25属73種*)

* 他の調査で報告されたものを加えると, 13科31属79種)

Class Anthozoa; Order Scleractinia 花虫綱 イシサンゴ目

Family Pocilloporidae ハナヤサイサンゴ科 (1属2種)

<i>Pocillopora verrucosa</i>	イボハダハナヤサイサンゴ
<i>P. eydouxi</i>	ヘラジカハナヤサイサンゴ

Family Acroporidae ミドリイシ科 (3属27種)

<i>Montipora mollis</i>	モリスコモンサンゴ
<i>M. foveolata</i>	オオクボミコモンサンゴ
<i>M. caliculata</i>	コクボミコモンサンゴ
<i>M. hispida</i>	トゲコモンサンゴ
<i>M. informis</i>	ノリコモンサンゴ
<i>M. grisea</i>	グリセアコモンサンゴ
<i>M. efflorescens</i>	シモコモンサンゴ
<i>Acropora humilis</i>	ツツユビミドリイシ
<i>A. gemmifera</i>	オヤユビミドリイシ
<i>A. monticulosa</i>	サンカクミドリイシ
<i>A. digitifera</i>	コユビミドリイシ
<i>A. cerealis</i>	ムギノホミドリイシ
<i>A. valida</i>	ホソエダミドリイシ
<i>A. secale</i>	トゲホソエダミドリイシ
<i>A. divaricata</i>	ヤッコミドリイシ
<i>A. verweyi</i>	(和名なし)
<i>A. muricata (formosa type)</i>	(和名なし)
<i>A. robusta</i>	ヤスリミドリイシ
<i>A. abrotanoides (danai type)</i>	(和名なし)
<i>A. polystoma</i>	(和名なし)
<i>A. listeri</i>	リスターミドリイシ
<i>A. florida</i>	サボテンミドリイシ
<i>A. subulata</i>	(和名なし)
<i>A. nana</i>	スゲミドリイシ
<i>A. latistella</i>	キクハナガサミドリイシ
<i>A. elseyi</i>	マルツツミドリイシ
<i>Astreopora myriophthalma</i>	アナサンゴ

Family Poritidae ハマサンゴ科 (1属3種)

<i>Porites lobata</i>	フカアナハマサンゴ
-----------------------	-----------

<i>P. australiensis</i>	ハマサンゴ
<i>P. lutea</i>	コブハマサンゴ
Family Siderastreidae ヤスリサンゴ科 (2属4種)	
<i>Psammocora nierstraszi</i>	ヒダアミメサンゴ
<i>P. haimeana</i>	トゲアミメサンゴ
<i>P. profundacella</i>	アミメサンゴ
<i>Coscinaraea columna</i>	ヤスリサンゴ
Family Agariciidae ヒラフサンゴ科 (3属7種)	
<i>Pavona minuta</i>	ハマシロサンゴ
<i>P. varians</i>	シワシコロサンゴ
<i>P. venosa</i>	シコロキクメイシ
<i>P. maldivensis</i>	モルジブコロサンゴ
<i>Leptoseris hawaiiensis</i>	ハワイセンベイサンゴ
<i>L. mycetoseroides</i>	アバタセンベイサンゴ
<i>Gardineroseris planulata</i>	ヒラフキサンゴ
Family Fungiidae クサビライシ科 (1属1種)	
<i>Fungia scutaria</i>	クサビライシ
Family Mussidae オオトゲサンゴ科 (1属1種)	
<i>Lobophyllia corymbosa</i>	マルハナガタサンゴ
Family Merulinidae サザナミサンゴ科 (2属2種)	
<i>Merulina ampliata</i>	サザナミサンゴ
<i>Scapophyllia cylindrica</i>	オオサザナミサンゴ
Family Faviidae キクメイシ科 (9属24種)	
<i>Favia stelligera</i>	ホシキクメイシ
<i>F. pallida</i>	ウスチャキクメイシ
<i>F. speciosa</i>	キクメイシ
<i>F. favius</i>	スボミキクメイシ
<i>F. matthaii</i>	アラキクメイシ
<i>F. rotumana</i>	ロマツキクメイシ
<i>Favites halicora</i>	マルカメノコキクメイシ
<i>F. flexuosa</i>	オオカメノコキクメイシ
<i>F. pentagona</i>	ゴカクキクメイシ
<i>F. russeli</i>	シモフリカメノコキクメイシ
<i>Goniastrea edwardsi</i>	ヒラカメノコキクメイシ
<i>G. aspera</i>	パリカメノコキクメイシ
<i>G. favulus</i>	ヒメウネカメノコキクメイシ
<i>Platygyra sinensis</i>	シナノウサンゴ
<i>P. pini</i>	ヒメノウサンゴ

<i>Leptopria phrygia</i>	ナガレサンゴ
<i>Montastrea curta</i>	マルキクメイシ
<i>Leptastrea purpurae</i>	ルリサンゴ
<i>L. pruinosa</i>	トゲルリサンゴ
<i>Cyphastrea serailia</i>	フカトゲキクメイシ
— <i>C. chalcidicum</i>	コトゲキクメイシ
<i>C. microphthalma</i>	トゲキクメイシ
<i>Echinopora lamellosa</i>	リュウキュウキッカサンゴ
<i>E. gemmacea</i>	オオリュウキュウキッカサンゴ
Family Dendrophylliidae キサンゴ (1属1種)	
<i>Turbinaria reniformis</i>	ヨコミゾスリバチサンゴ

Class Hydrozoa: Order Milleporina ヒドロ虫綱 アナサンゴモドキ目

Family Milleporidae アナサンゴモドキ科 (1属1種)

<i>Millepora exaesa</i>	カンボクアナサンゴモドキ
-------------------------	--------------

他の調査の際に確認されたもの

Class Anthozoa; Order Scleractinia 花虫綱 イシサンゴ目

Family Astrocoeniidae ムカシサンゴ科

<i>Stylocoeniella</i> sp.	ムカシサンゴの仲間
---------------------------	-----------

Family Agariciidae ヒラフキサンゴ科

<i>Pachyseris speciosa</i>	リュウモンサンゴ
----------------------------	----------

Family Fungiidae クサビライシ科

<i>Cycloseris</i> sp.	マンジュウイシの仲間
<i>Palyphyllia talpina</i>	イシナマコ

Family Faviidae キクメイシ科

<i>Caulastrea</i> sp.	タバネサンゴの仲間
-----------------------	-----------

Family Oculinidae ビワガワライシ科

<i>Galaxea fascicularis</i>	アザミサンゴ
-----------------------------	--------

第3章 州島形成の地形・生物過程

3-1 はじめに

環礁は、サンゴ礁の礁原だけが直径数 km から数 10 km のリング状につながって礁湖を取り囲む型のサンゴ礁で、卓礁は内側の礁湖が消失して浅い礁原だけになったものをいう。環礁や卓礁では、唯一の陸地はサンゴ礁の礁原上に作られる標高2～4m、幅は100 m から1 km の低平な島で、これを「州島」と呼ぶ。



図 14 フレンチポリネシアの環礁



図 15 パラオ カヤンゲル環礁



図 16 オーストラリア グレートバリアリーフの卓礁

沖ノ鳥島の規模は、図 15 のカヤンゲル環礁（10 km×4 km）と、図 16 のグレートバリアリーフの卓礁（径 2 km）の中間程度の大きさである、図 15, 16 のような州島が沖ノ鳥島に作られれば、国際法上問題はないだろう。

沖ノ鳥島を再生するためには、「なぜ沖ノ鳥島にこのような州島が作られていないのか」、「今後自然に作られる可能性があるのか」、「可能性が低いのなら、自然の力を手助けして作ることのできるのか」という 3 点を理解・検討しなければならない。こうしたことを考える前提として本章では、州島の形成要因について、州島の基盤になるサンゴ礁の形成過程、州島地形の形成過程と、州島を構成する生物殻の生物過程についてまとめる。

3-2 サンゴ礁の形成過程

1) 地形分帯構成とその形成過程

サンゴ礁地形は、低潮位以下に広がる平坦面である礁原によって特徴づけられる。礁原は、海側の高まりである礁嶺と、その内側の浅い凹地である礁池とに分けられる（図17）。礁原と陸地が接するのが裾礁で、堡礁と環礁では礁原の内側は浅い海である礁湖である。沖ノ鳥島の場合、内側の凹地は礁池と礁湖の中間の地形である。

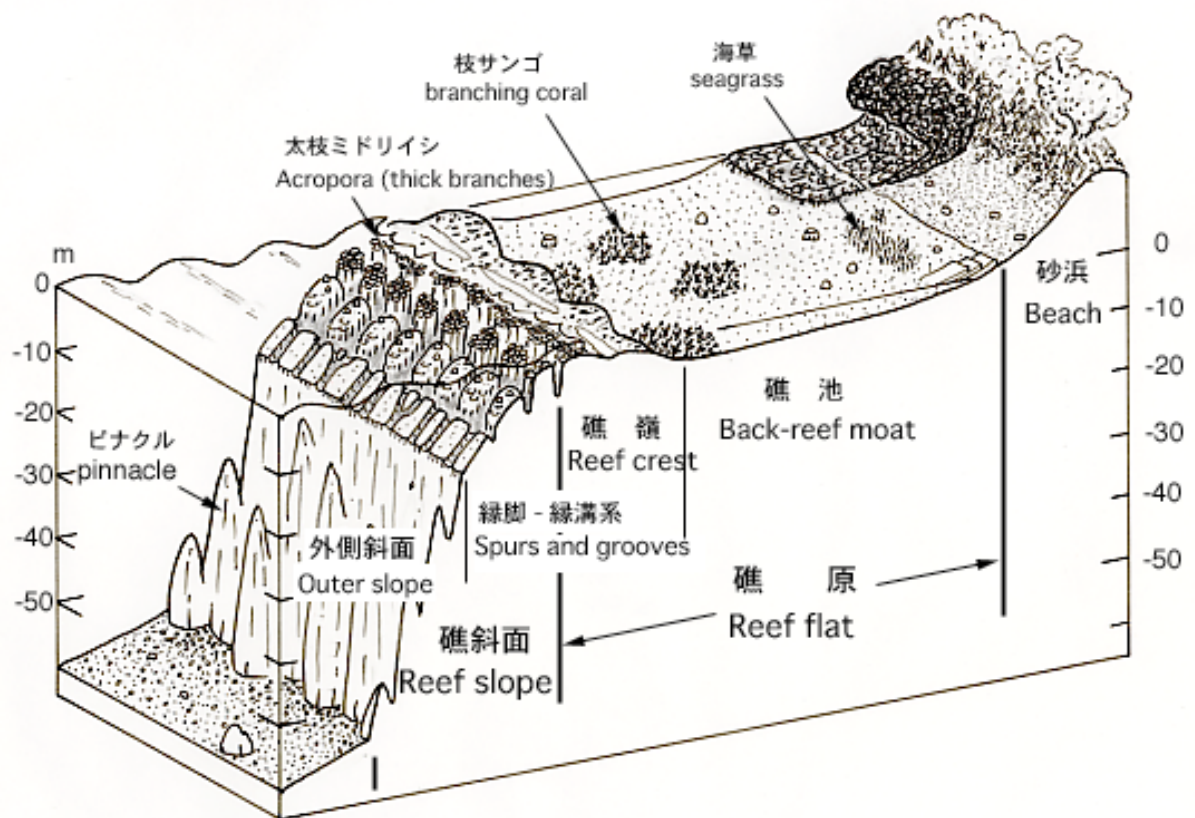


図17 裾礁の地形分帯構成

礁原の平坦な地形は、礁嶺の高まりが後氷期の海面上昇に追いつくことによって形成された（図18）。今から1万8千年前の最終氷期には、海面は現海面から140 m 下まで低下した。氷期が終わった後、1万6千年前から6千年前までの間に、海面は1 m/100 年以上という速度で上昇し、4千年前以降ほぼ現在の海面高度で安定した（図19）。礁嶺は、この安定した海面に追いついて、8千年前から3千年前までの間に形成された。礁嶺を作ったのは、太い枝・厚い板状のミドリイシ（*Acropora digitifer*, *A. humilis*, *A. gemmifera* など）であり、その上方堆積速度は20-40 cm/100 年であった。

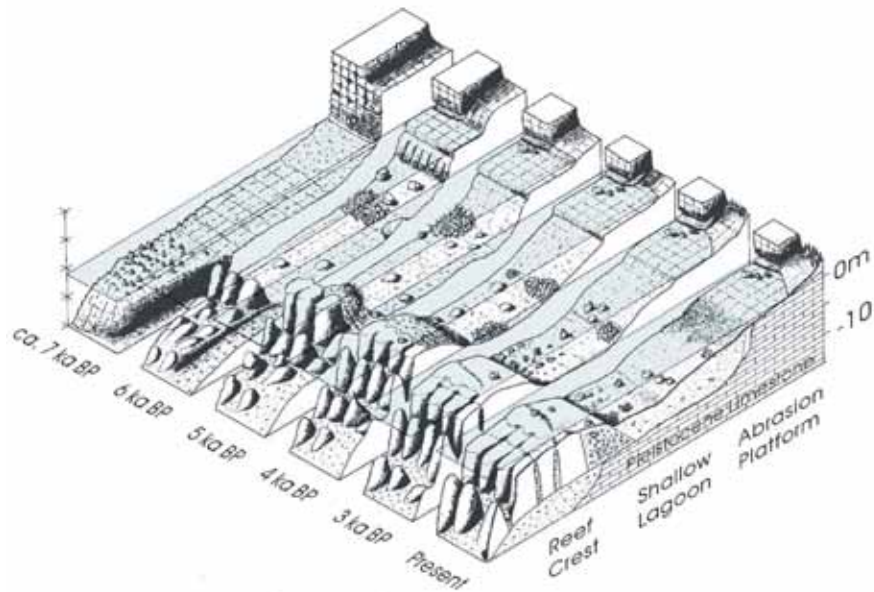


図18 琉球列島の礁嶺の形成過程 (Kan, 2001)

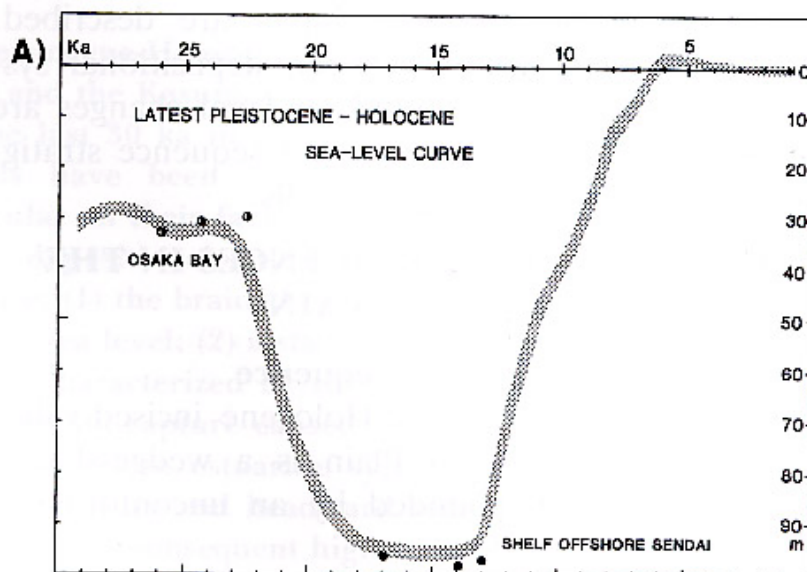


図19 後氷期の海面上昇カーブ

3-3 州島形成の地形過程

サンゴ礁は、主にサンゴが作る平坦面であり、その頂部が低潮位を越えることはない。サンゴ礁だけからなる環礁と卓礁で、高潮位より上に作られる州島の成因は、次の3つである。

- 1) 過去の高海面時に、現在の高潮位より上までサンゴ礁が作られ、その後浸食されてその一部が削り残された。
- 2) 津波や台風によってサンゴ礁の一部やサンゴ礫が打ち上げられて作られた。
- 3) 通常の波浪条件で漂砂によって島を作られる。

1) では、島は基部のサンゴ礁とつながる根付きであるが、2) 3) では、島はサンゴ礁の上に載る礫や砂であり、根付きではない。基部のサンゴ礁と根付きであるかそうでないかによって、1) ~ 3) の成因を判断することができる。

実際の州島の成因は、上記いくつかの成因が複合していることが多いようである。たとえば、過去の高海面期に作られたサンゴ礁を核にして、海側に台風の際に打ち上げられたサンゴ礫がリッジを作り、その内側に漂砂によって島の本体ができるなど。ただ、サンゴ礁の形成過程に比べて、州島の形成過程に関する調査結果は多くなく、より多くの研究が必要である。

ここでは、上記3つの成因について順に、とくに沖ノ鳥島の北・東小島の成因との関係を中心に説明する。

1) 過去の高海面時のサンゴ礁

過去の高海面としては、6千年前に中部太平洋全域で海面が1~2m、最後の氷期の前の温暖期である12万年前には2~5m高かったことがわかっている(図20)。こうした時期に、現海面より上に作られたサンゴ礁が海面低下によって離水して、現在のサンゴ礁や島の基盤を作っている例は、太平洋のサンゴ礁ではごく普通に見られる。

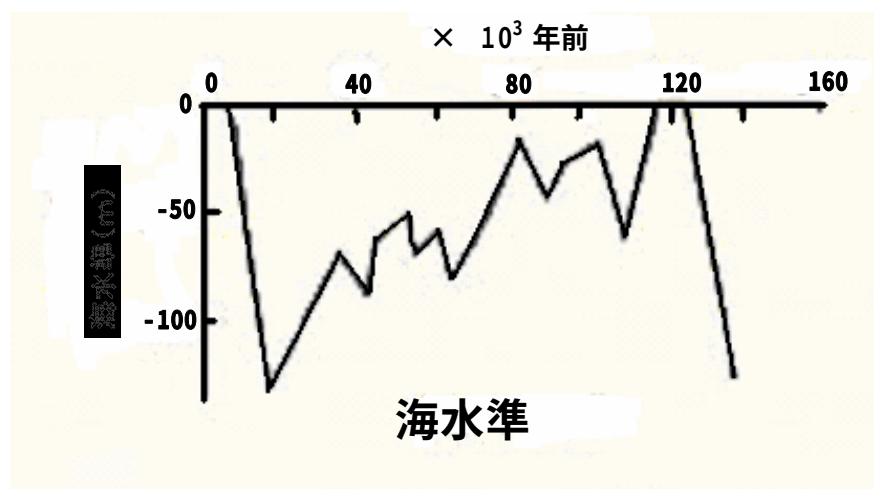


図20 過去50万年間の海面変動カーブ。

6千年前と12万年前に、現在より高い海面の時期があった。

2) 津波や台風の際の打ち上げ

琉球列島の海岸には、高さ数mもの巨礫が点在している。これは、巨大地震に伴う津波の際に、サンゴ礁の一部が破壊されて陸地に打ち上げられたもので、津波石と呼ばれる（図 21, 22）。



図 21 石垣島の津波石



図 22 宮古島礁原上の津波石

一方、台風などの暴浪時には、しばしば、径数 10 cm の礫が打ち上げられる。津波石よりサイズは小さいが、一度に大量に打ち上げられるのが特徴である。ツヴァルのフナフチ環礁では、1972 年 10 月に台風の通過に伴って、高さ 4m のリッジが海側の海岸に沿って総延長 19 km にわたって 1 晩で作られ、ハリケーンリッジと呼ばれる (図 23)。フナフチのハリケーンリッジは、フナフチの州島の海側を縁取る、島でもっとも標高の高い地形になっている。



図 23 ツヴァル フナフチ環礁のハリケーンリッジ.

ハリケーンリッジが作られるためには、サンゴ礁沖合に浅い棚地形があり、ここの大量のサンゴ礫がため込まれていないとならない。沖ノ鳥島には、こうした棚地形が乏しいため、こうしたハリケーンリッジが作られる可能性は低い。また、津波や台風の際には、こうした堆積作用ばかりでなく、強い浸食作用も働くことに注意しなければならない。

3) 通常の波浪による漂砂

環礁の島々の維持・形成にとって、もっとも重要なプロセスは、通常の波浪による漂砂である。環礁の島（州島）は、幅数 100m、標高が最大 2～3m と低平である（図 24）。

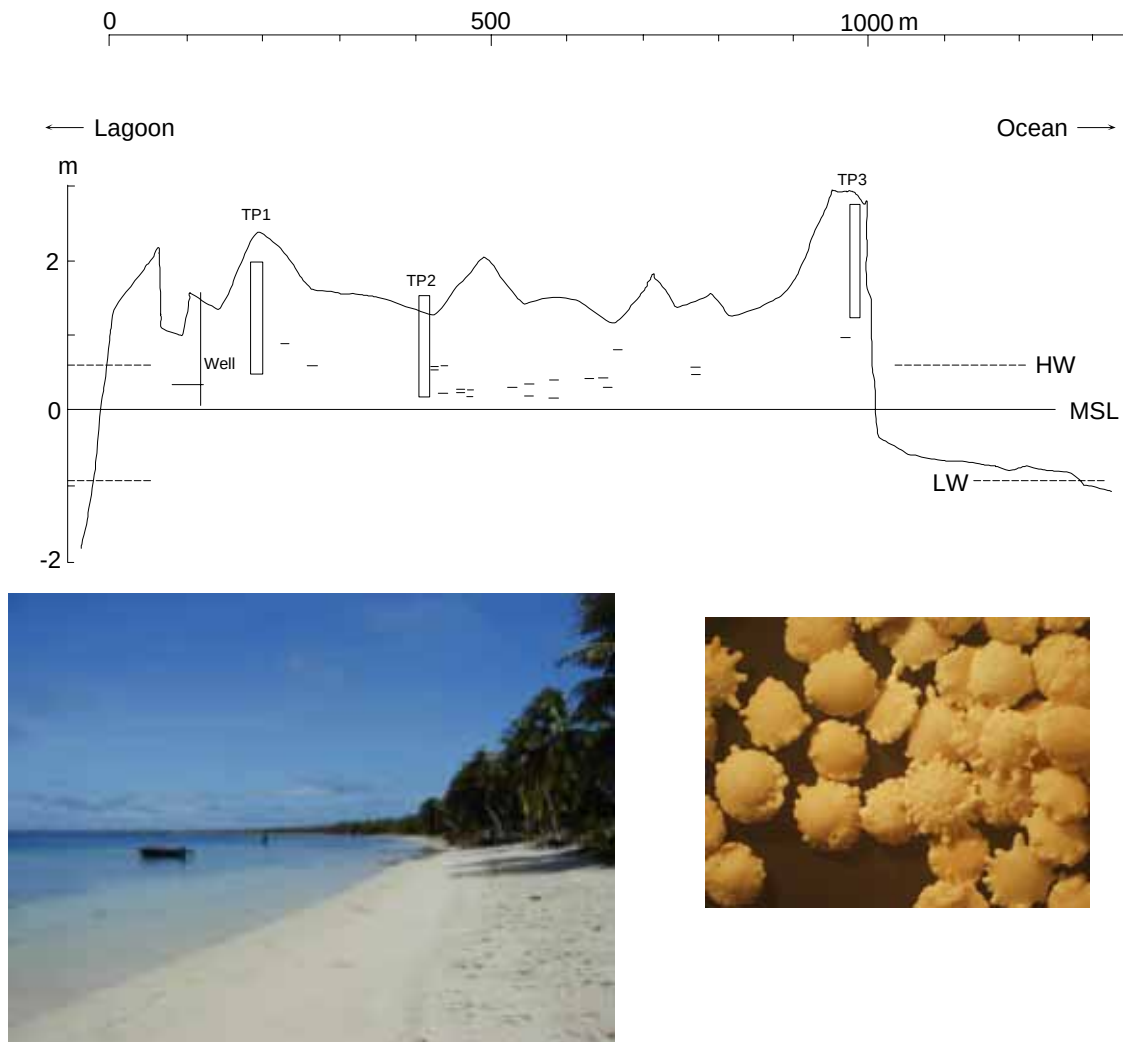


図 24 マジュロ環礁の地形断面。海側の高まりはサンゴ礫からなるストームリッジ（成因 2 によるもの）。礁湖側の高まりと島の本体は、サンゴ片と有孔虫砂からなる。

漂砂のもととなる砂は、河川のない環礁ではサンゴ礁の生物の作る径が 1 mm から数 mm の石灰質の殻である。これは、サンゴや貝の破片、有孔虫の殻など生物の石灰質骨格と殻である。とくに島の構成物としては有孔虫殻が重要な役割を果たす。有孔虫は、海藻などに付着しているだけなので、死後は波などで流される。大きさが径 1 mm 程度とそろっているため、流れの場の条件である場所に堆積しやすく、島を作りやすい。州島によっては、ほとんど有孔虫殻だけからなる島もあるほどである。

4) 沖ノ鳥島の北小島, 東小島の成因

沖ノ鳥島には, 1933 年には現在の北小島, 東小島のほかに4つの島があり, 1952 年~1980 年頃まではそのうちの3つが残っていたとされる. このように数 10 年の時間スケールで消失することから, これらの島は根付き(成因1)ではなく打ち上げられた巨礫(成因2)である可能性を示唆する.

しかし, 防波堤構築前の東小島の海中写真を検討すると, 島は根付きのように見える(図 25). また, 1933 年の北小島らしき写真にははっきりと現在のサンゴ礁礁原につながる柄が見えている(図 26).

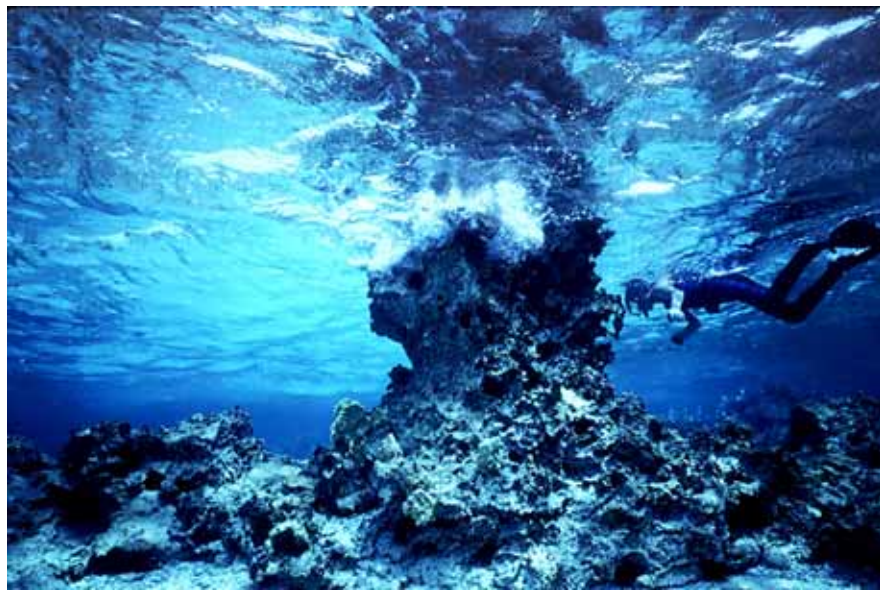
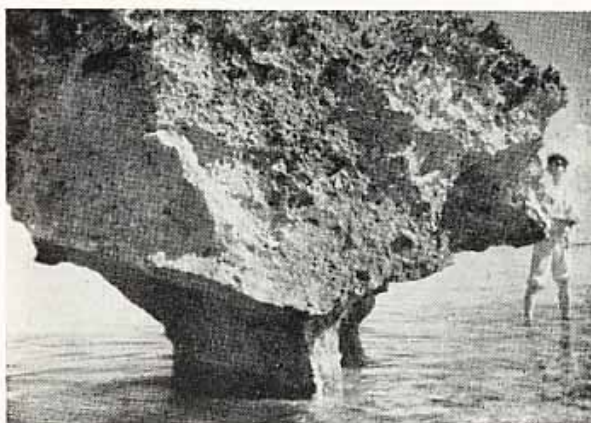


図 25 東小島の海中写真.



30. 沖ノ鳥島の蕈状岩

頸部は有孔蟲石灰岩、頭部は珊瑚石灰岩。

*Mushroom rock on the reef-flat of Parece Vela Reef.
The neck consists of foraminifera limestone, the head,
coral limestone.*



北小島(昭和62年10月撮影)

図 26 北小島. 1933 年の北小島の状況(左), 1987 年の北小島の状況(右).

こうした点から両島は、成因1で説明される根付きの島である可能性が高い。北小島は、元来根付きだったが、柄の部分が浸食されてしまったのではないだろうか。島を構成する火星サンゴの変質が著しいことから、12万年前以前のサンゴ礁である可能性が高い。しかしながら、両島の成因を確認するためには、詳細な地質調査が必須である。

もし両島が成因1による過去のサンゴ礁の削り残しだとすると、この成因による島の再生は望めない。一方、成因2の台風によるリッジの形成は1夜にして島を創成する可能性を示唆するが、そのためにはサンゴ礁をためる棚が必要だが、沖ノ島には適当な棚がないようである。また、成因2は、津波にせよ台風にせよ、島を破壊する場合もあることに注意しなければならないし、人間の力では制御不可能である。島の再生をはかるとしたら、成因3の定常時の波浪と流れによるサンゴや有孔虫殻の堆積以外にない。実際、環礁の島々の多くがこの過程によって作られている。また、定常時の波浪と流れなら、人為的に制御することも可能である。

次節では、成因3の堆積物の供給源となるサンゴと有孔虫について、生態的な特徴をまとめる。

3-4 州島形成の生物過程

1) サンゴ

サンゴは、州島の基盤であるサンゴ礁を構成する主要な生物であるとともに、州島の砂の主要な構成物でもある。サンゴは、刺胞動物に属する（図 27）。体内に共生藻を持ち、石灰質の骨格を作ってサンゴ礁の形成に寄与するものは「造礁サンゴ」と呼ばれ、このうち六放サンゴ亜綱のイシサンゴ目の属する約 800 種のサンゴが、これにあたる。この他に、八放サンゴのアオサンゴ、ヒドロ虫綱のアナサンゴモドキも、共生藻を持って石灰質の骨格を作る造礁サンゴである。

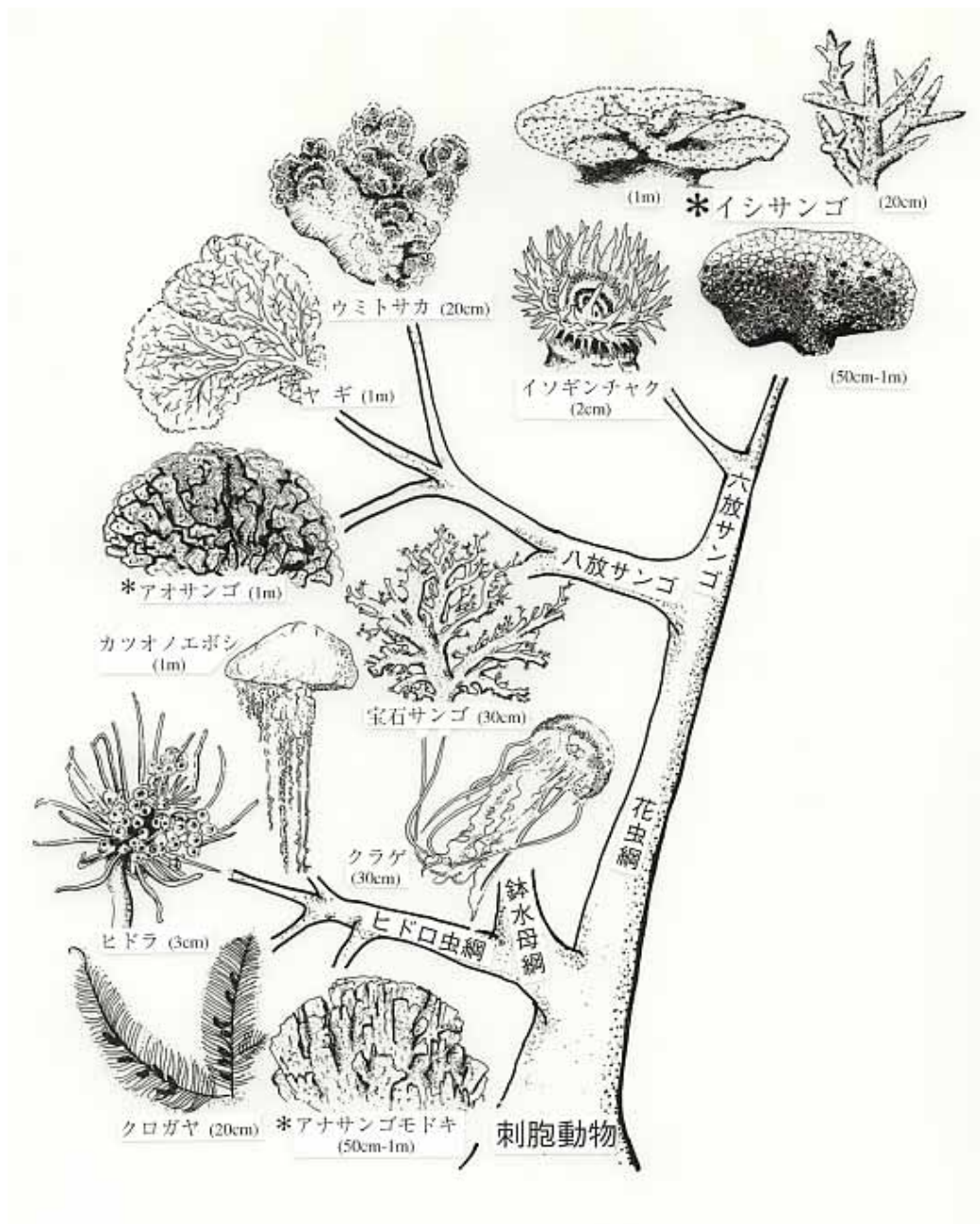


図 27 刺胞動物系統樹（茅根・宮城，2002）

ほとんどの造礁サンゴは無性的に分裂して群体をなし、群体の下に骨格を作る。一方、年に1回有性生殖を行い、幼生を分散させて棲息域を広げる。有性生殖には、卵と精子を放出して海面で受精してプラヌラを作る放卵放精型と、親サンゴの体内で受精してプラヌラを放出する保育型とがあり、種によって異なる。分散期間は、数時間から100日以上と、サンゴの種類によって異なる。分散範囲は、幼生の定着可能期間と海流などの流れによって決まる。一般に、放卵放精型は分散期間が長く広範囲に分散し、保育型は分散期間が短く分散範囲も狭い。

サンゴの種数が世界でももっとも多様なのは、フィリピン、インドネシア、ニューギニアで囲まれた三角形の海域で、70属、450種以上のサンゴが同定されている（図28）。この海域から黒潮によって暖かい海水と幼生が供給されているため、琉球列島は同緯度の他のサンゴ礁より、サンゴの多様性が高い。

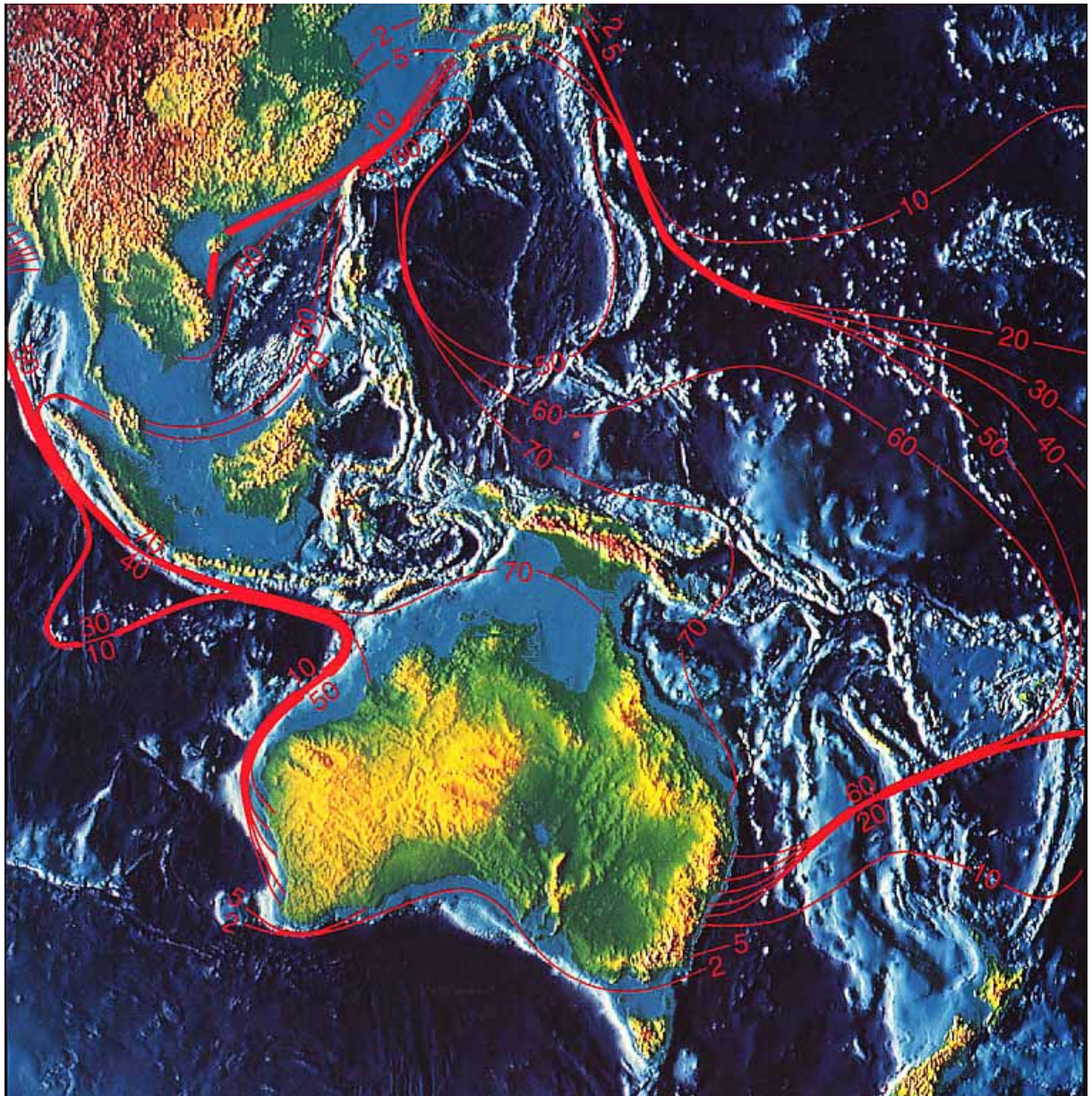


図28 西太平洋・東南アジアにおけるサンゴの属の多様性 (Veron, 1993)。

サンゴの群体骨格の形は、塊状、細い枝状、太い枝状、厚い板状、テーブル状など、様々である。こうした群体骨格の形は、サンゴの種によるとともに、それぞれのサンゴが生育する環境条件に対応している。たとえば、サンゴ礁の内側の波あたりの弱いところでは砂に埋まりにくい細い枝状、砕波帯では強い波のエネルギーに対抗できる太い枝状や厚い板状、沖側の深い場では光を受けられるようなテーブル状など、それぞれの場の環境にもっとも適応した形態をとる（図 29）。

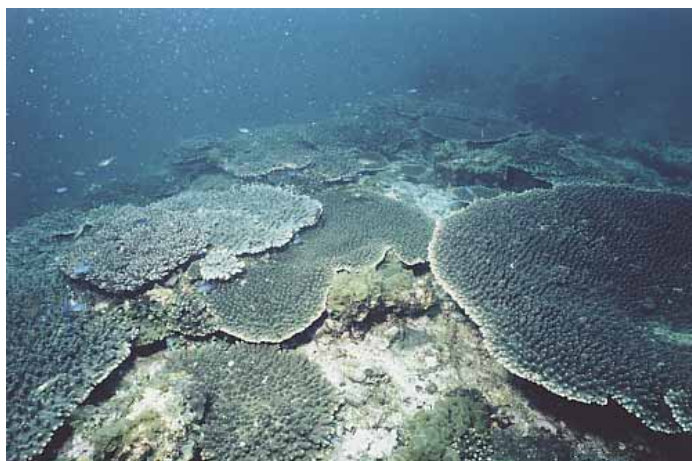
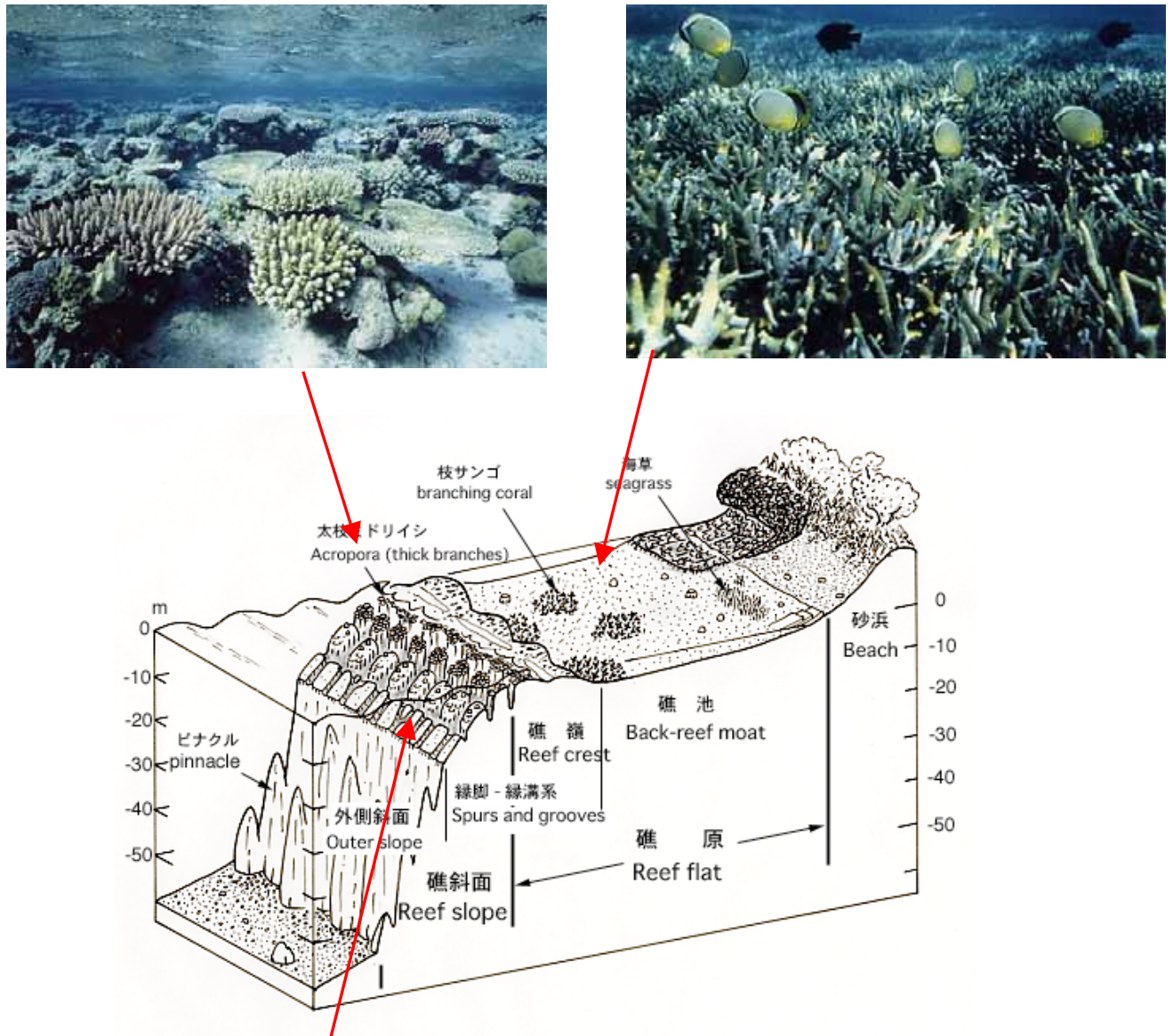


図 29 サンゴ礁地形分帯構成とサンゴの群体形. 同じミドリイシ類でも、礁池では細い枝状（上右）、礁嶺では太い枝状や厚い板状（上左）、礁斜面ではテーブル状（下）になる。

サンゴの石灰化生産量は、サンゴが卓越する礁嶺上で平均 $4-5 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ である。炭酸カルシウムの密度は 2.7 g cm^{-3} であるから、サンゴ礁の空隙率を 50% とすれば、 $4-5 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ は、サンゴ礁の上方堆積速度に換算すると、30-37 cm/100 年になる。地質的に得られた礁嶺の上方堆積速度、20-40 cm/100 年とよく一致する。

2) 有孔虫の生態と堆積物生産力

有孔虫は、原生生物界顆粒根足門に属し、網目状に仮足を伸縮させる単細胞生物の 1 種である (図 30)。一般に、炭酸カルシウムからなる殻を作り、室という部屋 (チャンバー) を付加させて成長する。

サンゴ礁に棲息する有孔虫は、大型で、微細藻類と共生しているという特徴を持つ。共生する藻類は、有孔虫の種類によって異なる。珪藻と共生するものが多いが、ほかに渦鞭毛藻、紅藻、緑藻などと共生する有孔虫もある。ほとんどの成体は 1 mm 以上に達し、最大で数 cm になる有孔虫もある。有孔虫においても、サンゴと同様藻類との共生によって、炭酸カルシウム殻の生産が促進されている。

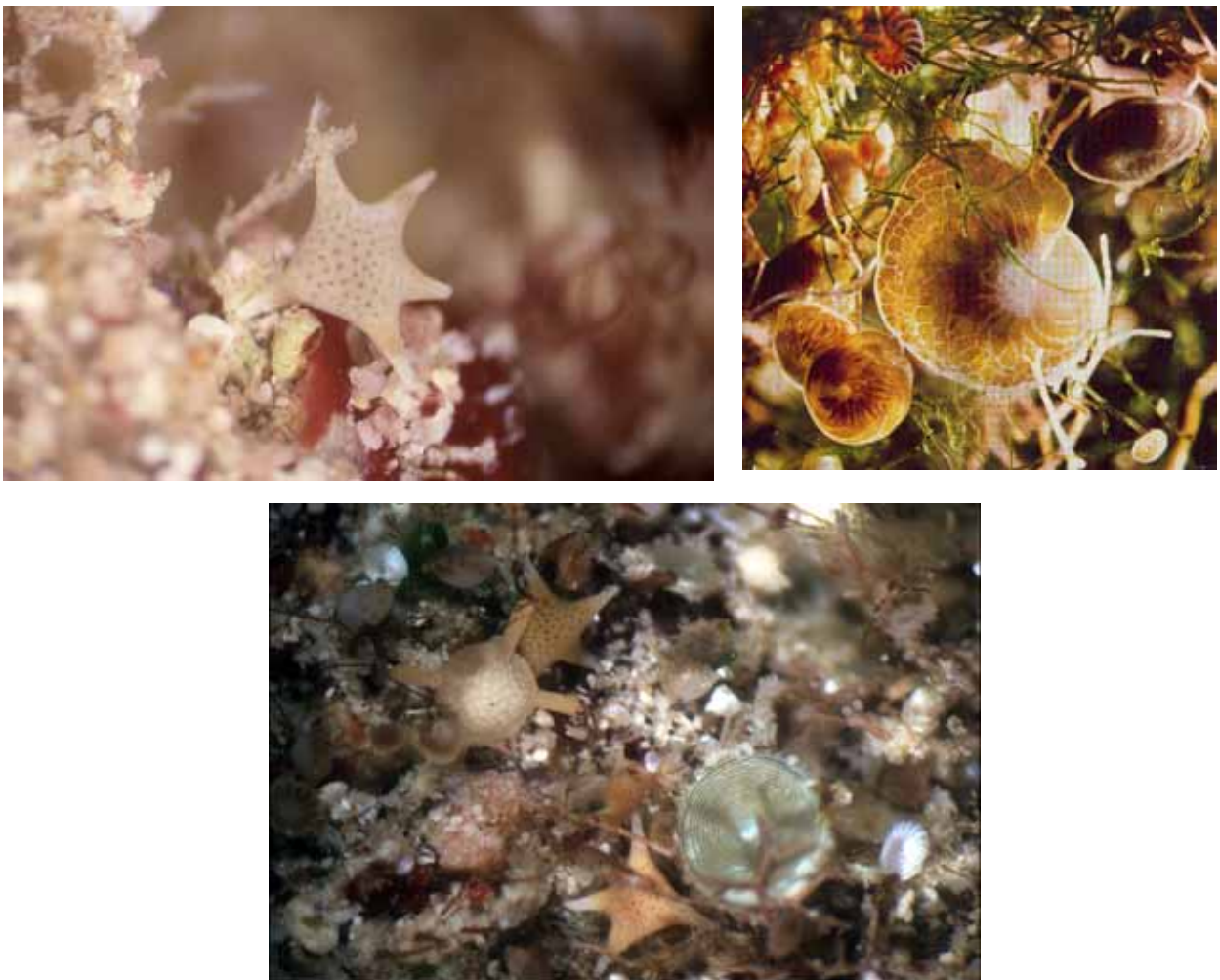


図 30 有孔虫の生態写真。 *Baculogypsina* (ホシズナ) 上左； *Marginopora* (ゼニイシ) 上右； *Baculogypsina* (ホシズナ) と *Calcarina* (タイヨウノスナ) 下。

有孔虫は、数 10 から数 1000 のクローンを産して無性的に増殖するとともに (図 31)、配偶子を放出して分散させる有性生殖も行う。しかしながら、有孔虫の生殖生態や生活環については、不明な点が多く、今後の研究が望まれる。



図 31 ホシズナのクローン放出 (藤田による)。

太平洋海域に特徴的な有孔虫の地理的分布は、*Baculogypsina* (ホシズナ) と *Calcarina* (タイヨウノスナ) は西太平洋海域に、*Margionopora* (ゼニイシ) はインド洋から中央太平洋に分布する (図 32)。

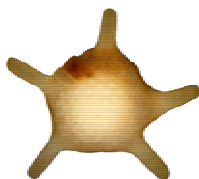
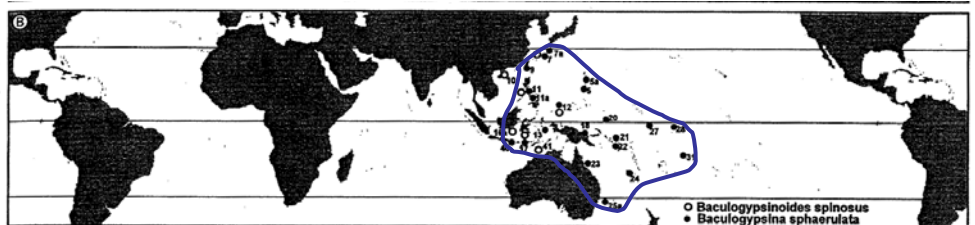
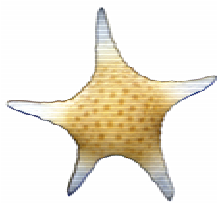


図 32 *Baculogypsina* (ホシズナ) 上, *Calcarina* (タイヨウノスナ) 中, *Margionopora* (ゼニイシ) 下の地理的分布 (藤田による)。

1つの礁内では、一般に礁嶺付近で棲息密度が高く、10万個体/m²以上になる。とくに、海面低下などによって低潮位上に干出する礁嶺に多く分布する。礁嶺で見られる有孔虫は、主に芝草状藻類やサンゴ礫の表面に付着して棲息する。低潮位上に干出する礁嶺上には、サンゴが見られずこうした芝草状藻類が密に分布するために、棲息密度が高い。

有孔虫の石灰化生産量は、礁原上において群集レベルで、0.03-1 kg CaCO₃ m⁻²年⁻¹である。サンゴの石灰化生産量4-5 kg CaCO₃ m⁻²年⁻¹より一桁小さい。しかしながら、サンゴ骨格が基質に「固着」してサンゴ死後も岩となってその場に残るのに対して、有孔虫は藻類などに「付着」するだけなので、死後は波によって移動する。また大きさが1mm程度と小さく、そろっているため、水流が弱まる同じような場所に堆積しやすいという特徴がある。そのため、環礁州島のラグーン側の海岸や、卓礁の島では、堆積物中にしめる有孔虫殻の比率が高い(図33)。

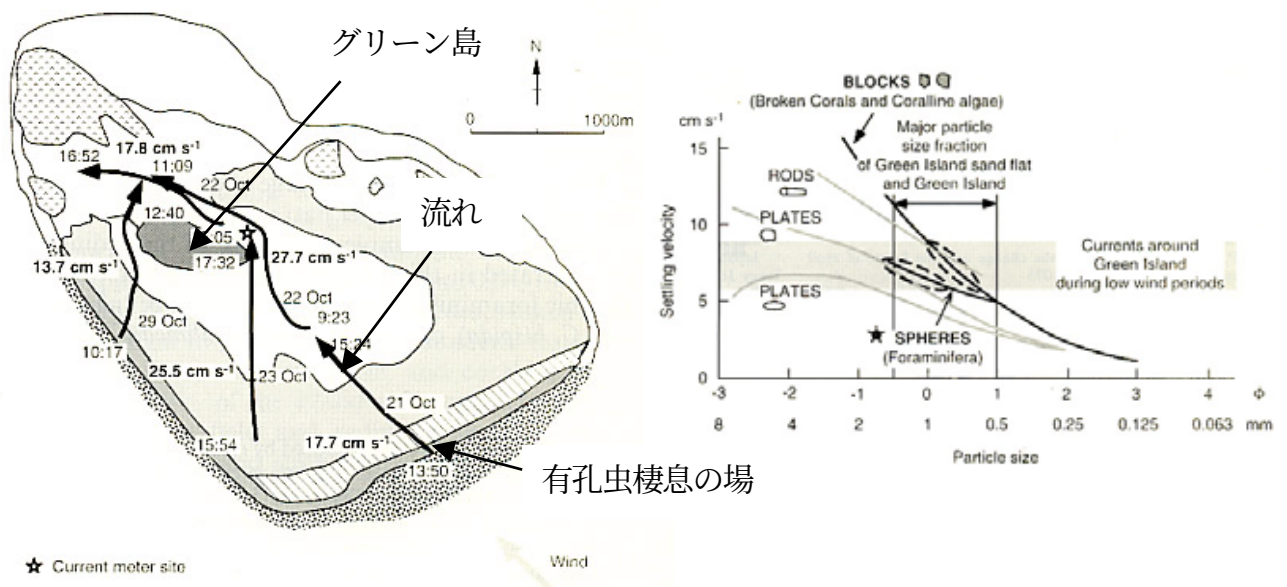


図33 オーストラリアグレートバリアリーフの卓礁グリーン島は、ほとんど有孔虫からなる。

これは、有孔虫サイズの砂が、流れによって運搬・堆積しやすいためである。外洋からの流れがちょうど有孔虫サイズの砂が沈降する流速(右)になった場に、島が形成している。Yamano et al. (2000)。

第4章 沖ノ鳥島州島再生計画

4-1 州島再生のデザイン

本計画の目標は、沖ノ鳥島において、地形・生態・物理過程からなる自然の地形形成力を手助けすることによって、10年以内に安定した州島をサンゴ礁上に作ることである。



図 34 沖ノ鳥島再生のイメージ. 現在は大きな州島のない沖ノ鳥島（上）に、自然の地形・生態・物理過程を手助けして、州島をつくる（下はパラオ諸島カヤンゲル環礁）。

この目標において重要なポイントは、波や堆積といった物理過程だけでなく地形過程と生物過程をふまえること、あくまで自然の地形形成力の手助けという立場をとること、州島形成のめどを10年におくことである。最終成果のイメージとしては、パラオのカヤンゲル環礁のような、人の居住に適した州島をつくることをイメージすればよい（図34）。

4-2 州島の形成要因

州島を形成に関わる要因は、1) 州島の基盤となる地形、2) そこに働く波浪などの物理過程、3) 地形に規定された生物の分布とその生産、4) 生産された石灰質殻の運搬・堆積過程の4つである。再生プロジェクトでは、この4つの要因がどのように働いているかを、現在の沖ノ鳥島において明らかにして、沖ノ鳥島の地形・生物モデルを構築する。このモデルに基づいて、「沖ノ鳥島で州島の形成を阻害する要因」を抽出する。次に、こうして抽出された「州島形成の阻害要因」を取り除く方策、「州島形成を促進する方策」を検討し、実際に沖ノ鳥島において適用し、州島の再生を目指す。

プロジェクトのスケジュールは、現状把握に基づくモデル構築の後、実際の再生を始めるという順である。しかし、再生のために予測される要素技術については、現状把握と並行して進める。具体的には、サンゴと有孔虫の移植・生産技術の開発、生産された砂の運搬・堆積の制御技術の開発、本技術の適用についての問題点の整理などである。

プロジェクトの成否は、プロジェクト開始から10年後に州島がつくられているかどうかによって評価する。

4-3 現状把握 (図 35)

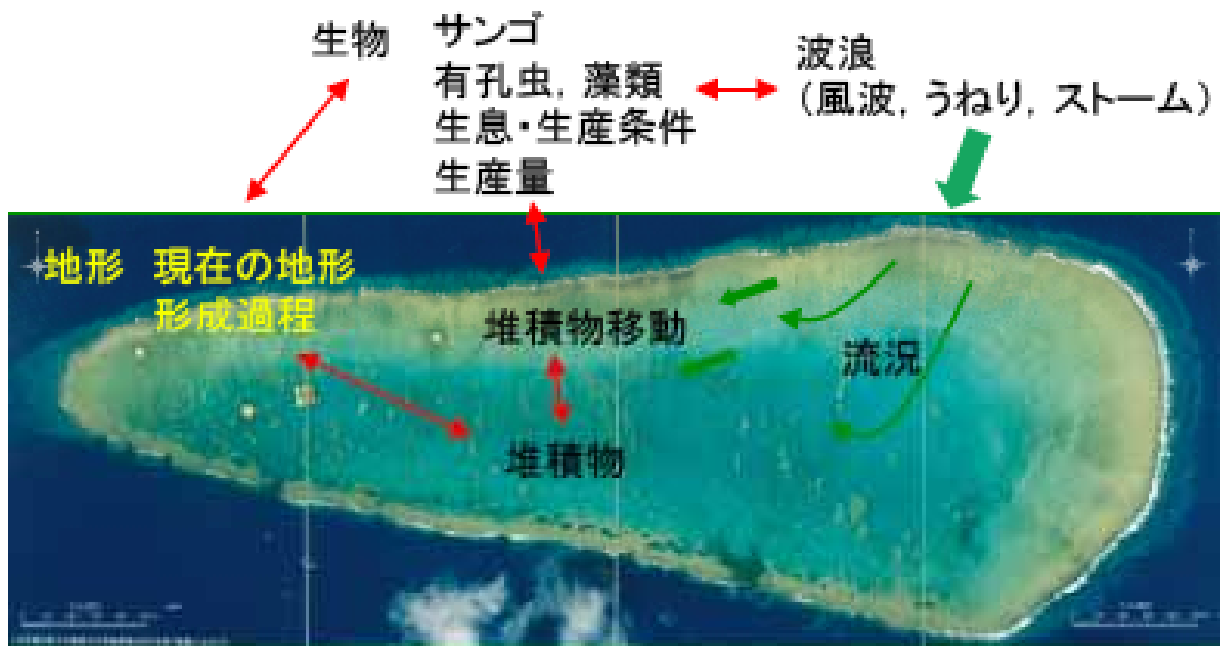


図 35 沖ノ鳥島の現状把握. 島の再生に必要な情報は, 地形, 物理, 生物, 堆積の 4 つの過程である. この 4 つの過程を, 個々バラバラでなく相互に関係する過程としてとらえ, 現在の沖ノ鳥島の地形-生物モデルを構築する. このモデルに基づいて, 州島形成を阻害する要因を抽出する.

1) 地形

現在の沖ノ鳥島の地形は, 州島形成のための生物の配置, 流れの場のシミュレーション, 砂の適切な誘導による州島の堆積の場の設定など, 州島形成の基盤としてもっとも重要である. さらに, 沖ノ鳥島が, どの程度の地形形成ポテンシャル (サンゴ礁の成長など) を持っているかを評価し, 再生する沖ノ鳥島が自然の状態と大きくかけ離れていないことを評価するために, 過去の地形形成過程をボーリング調査によって明らかにする. 現在の沖ノ鳥島は, 変化する島の 1 断面にすぎないからである. たとえば, 現在は有孔虫による島の形成は認められないが, ボーリング調査によってごく近い過去には, そうした島が存在したことを明らかにすることができる.

地形調査はすでに国土交通省で実施されているので, 既存の深浅測量結果を収集・検討することから始める. その上で, 代表的な断面について, 深浅測量を実施する. 深浅測量の結果の精度は, 1 cm 以上でなければならない.

深度だけでなく, 岩盤, 砂, サンゴ, 藻類などの底質区分も必要である. 底質区分のために, 多数の測線で断面調査を実施する. さらに測線の結果を面的に広げるために, 航空写真による測量と底質区分を行う. こうした調査に基づいて, 沖ノ鳥島の詳細な「地形図」と「底質区分図」を作成する.

航空写真と高分解能衛星による測量に基づいて、沖ノ鳥島の深浅変化、地形と生物分布変化の情報を、常時得られる体制を作る。これによって、海面上昇による水没の状況や、再生プロジェクトにおける生物分布、砂の運搬・堆積状況の変化、州島の再生過程を、航空写真測量と衛星画像の取得によって、常時把握することができる。リモートセンシングによる沖ノ鳥島観測の基盤となるGPS 基準局を、沖ノ鳥島に設置する。

沖ノ鳥島の地形形成過程を詳細に明らかにするために、測線に沿ってボーリング調査を実施する。少なくとも完新世のサンゴ礁を貫くために、深度10m以上のコアを得る。コアは、層相解析のために必要な径5-7 cm 程度のもので、オールコア・無攪乱で採取する。採取したコアは、半割して切断面を記載した後、薄片を作成して、詳細に構成物を解析して、層相を認定する。適当な試料について、 ^{14}C 年代測定を実施して、サンゴ礁の形成過程、堆積速度を見積もる。

2) 海洋物理・化学測定

州島再生にとって重要な海洋物理パラメーターは、石灰質殻を作る生物の成育に重要な水温、光、栄養塩などと、砂の運搬・堆積過程にとって重要な、波浪・流れである。また、石灰化生産のモニターに必要なアルカリ度の計測も必要である。

いずれのパラメーターについても、既存のデータを解析するとともに、新たに計測システムを設置して自動測定を行う。栄養塩、光、アルカリ度などは、従来の測定では十分な計測がなされていない。また流れについても、堆積物の運搬・堆積モデルを作るに十分な空間密度では計測されていないので、追加の計測が必要である。沖ノ鳥島環礁内の1点に基準となる地点を設け、さらに礁内に測定点を設ける。さらに、サンゴ礁外の沖合でも少なくとも1点、測定点を設ける。

再生のために自動計測が必要な、物理・化学パラメーターを表4にまとめた。

表4 沖ノ鳥島再生計画のために必要な測定項目

計測項目	単位	範囲	精度	測定頻度	測定点数
光量子	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	0-2000	10	10 min	空中1, 海中1
気温	$^{\circ}\text{C}$	0-50	0.1	10 min	1
降水量	mm hr^{-1}	0-100	1	1 hr	1
風向・風速	m s^{-1}	0-50	0.1	10 min	1
水温	$^{\circ}\text{C}$	0-50	0.1	10 min	5
塩分	psu	20-40	0.01	10 min	3
水位	cm	0-10000	0.1	10 min	10
流向・流速	cm s^{-1}	0-100	0.1	10 min	20
溶存酸素	mg L^{-1}	0-20	0.05	10 min	5
pH	NSB	6-10	0.03	10 min	5
クロロフィル	mg L^{-1}	0-100	0.1	1 hr	3
栄養塩濃度	μM	0-10	0.01	1 hr	3
$(\text{NO}_3^{-}, \text{NO}_2^{-}, \text{NH}_4^{+}, \text{PO}_4^{3-})$					

アルカリ度	$\mu\text{mol kg}^{-1}$	1500-2500	1 10 min	5
全炭酸	$\mu\text{mol kg}^{-1}$	1500-2500	1 10 min	3
CO ₂	μatm	200-500	0.1 10 min	大気1, 海中3

3) 生物

生物調査は、石灰質骨格・殻を作る、サンゴ、有孔虫、石灰藻などの造礁生物を主な対象とする。また、石灰質骨格・殻を作らなくても、有孔虫の棲息の場となる芝草状藻類（turf algae：シマテングサ、ガラガラなどが混生する）、サンゴと競合する大型藻類なども、調査の対象とする。その他の底生生物（棘皮動物、甲殻類など）、魚類、プランクトン、バクテリアなどは、必要に応じて調査項目に加えるが、ここでは島の再生という視点から、必須の対象をあげている。

調査は、地形調査の測線に沿って、分布と生物量を記載する（表5）。生物量は、コドラート内のサンゴ、有孔虫、藻類を採取して、その有機物・炭酸カルシウム量を計測して見積もる。さらに、広く沖ノ鳥島全域の面的調査を実施する。現地調査によって得られた生物分布データを、4-3-1) で得られた「底質区分図」に重ねることによって、「底質・生物区分図」を作成する。

表5 生物分布調査の対象

	同定レベル	計測項目
サンゴ	種	被度／群体数・群体の大きさ／生物量
有孔虫	種	単位面積あたり個体数／生物量
石灰藻	種／属	被度／生物量
大型藻類	種／属	被度／生物量

サンゴと有孔虫については、石灰化量と加入量の調査も行う。石灰化量は、成長速度の生物学的計測と、海水のアルカリ度の変化の双方から見積もって比較する。また、幼生定着基盤を設置して、加入量の調査を行う。

主要な地点においては、恒常的に生物の分布と生物量の調査・観測ができるようなトランゼクトやコドラートを設置する。

4) 運搬・堆積

4-3-1) で作成した、沖ノ鳥島の「地形図」上に、4-3-2) で得られた流向・流速のデータを重ねて、この結果をもとに、風と波浪、地形によって規定される礁内の海水流動モデルを構築する。このモデルによって、様々な波浪条件下で、様々な粒径の粒子がどのように運搬・堆積されるかのシミュレーションを行う。

さらに実際に、礁内にセジメントトラップを設置、堆積物を採取して、その粒径と構成（サンゴ、有孔虫、石灰藻、貝、ウニ...）を解析してシミュレーション結果と比較し、堆積物の運搬・堆積過程のモデルを構築する。

サンゴ礁外にもセジメントトラップを設置し、礁外に失われている堆積物量を見積る。とくに南西部に人為的に作られた水路からどの程度の堆積物が流出しているかを把握するのは重要である。

5) 現在の沖ノ鳥島の生物-地形モデル

この4つの過程を、個々バラバラでなく相互に関係する過程としてとらえ、現在の沖ノ鳥島の「地形-生物モデル」を構築する(図35)。生物分布・生産量と堆積物の運搬・堆積過程は、地形によって規定された波浪と海水流動に対応している。一方、生物の成長と堆積物の移動に伴って地形が変化して、波浪と流動場も変化する。生物分布・生産と堆積過程もまた、この新しい場に対応して変化する。このように、互いにフィードバックしあう過程として、沖ノ鳥島の地形-生物モデルを構築する。

モデルでは、石灰質骨格・殻の生産量、運搬量、堆積量、礁外に失われる量という、それぞれ別に見積もられた堆積物の収支があっていることが必要である。この結果に基づいて、特定の場所にネットで砂の堆積が見られない現状を再現し、上記のパラメーターを変えることによって島が形成される条件を作ることができるかをシミュレーションする。この結果に基づいて、島の再生に不足している要因、州島形成を阻害する要因を抽出する。

4-4 再生のための方策

1) 島の形成阻害要因に基づく、促進要因の検討

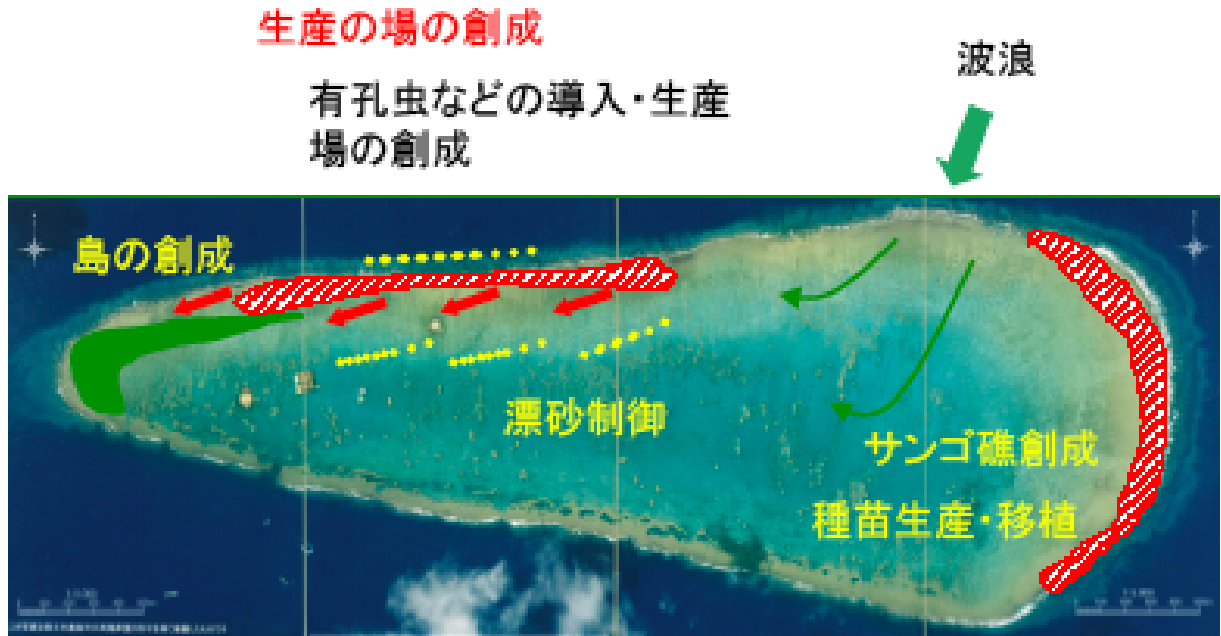


図 36 島の生態工学的再生. 石灰化生物（サンゴ，有孔虫）の導入と生産の促進，生産された砂の運搬・堆積の成魚によって，島を創成する．

州島形成のシナリオは，

- ①サンゴ・有孔虫などの生物による石灰化
 - ②石灰質骨格・殻の海水流動による運搬
 - ③適当な場に堆積することによる島の形成
- である．

州島が形成されない原因として，

- ①サンゴ・有孔虫がない，サンゴ・有孔虫の石灰化が不足している．
 - ②海水流動による運搬が十分でない
 - ③砂が堆積する適当な場がない
- といったことが予想される．

阻害要因を克服して，州島をつくるためには，

- ①サンゴ・有孔虫を，導入・移植して，その石灰化生産を促進する．
- ②流れを制御して砂の運搬を促進する．
- ③砂の堆積の場を作る．

といった対応が必要になることが予想される．

4-3-5)で構築した「沖ノ鳥島地形-生物モデル」によって、州島を形成するための ①生物生産、②運搬量、③堆積の場のしきい値がどれくらいで、現状の沖ノ鳥島はしきい値までどれくらい不足しているかを明らかにすることができる。モデルの結果に応じて、適切な対応策をとることができるように、上記に対応した要素技術の開発を進めておく必要がある。具体的には、サンゴと有孔虫の導入と生産の促進、流れの制御、堆積の場の創成である。

2) 生物生産の促進

(1) サンゴの増殖・移植

サンゴの増殖・移植技術は、この数年研究の進展が著しい技術である。無性生殖を利用した技術として、サンゴの断片移植と稚サンゴの移植が、有性生殖を利用した技術として、サンゴの種苗生産技術の開発が進んでいる。我が国での研究が進んでいる分野であるが、まだ十分完成しているとはいえない。

沖ノ鳥島再生のために、適当な場に育成礁を設置することになるだろう(図 37)。沖ノ鳥島の再生のための要素技術として、これまでの研究成果の導入と確立をはかる。さらに、沖ノ鳥島に適したサンゴの種類、ドナーをどこから持ってくるかという検討や、移植・種苗生産方法、移植の場の選定、長期的に群集を作るための水温、流れなどの条件、他の技術との組み合わせ(たとえば太陽光発電、電着工法)などを検討することが必要である。

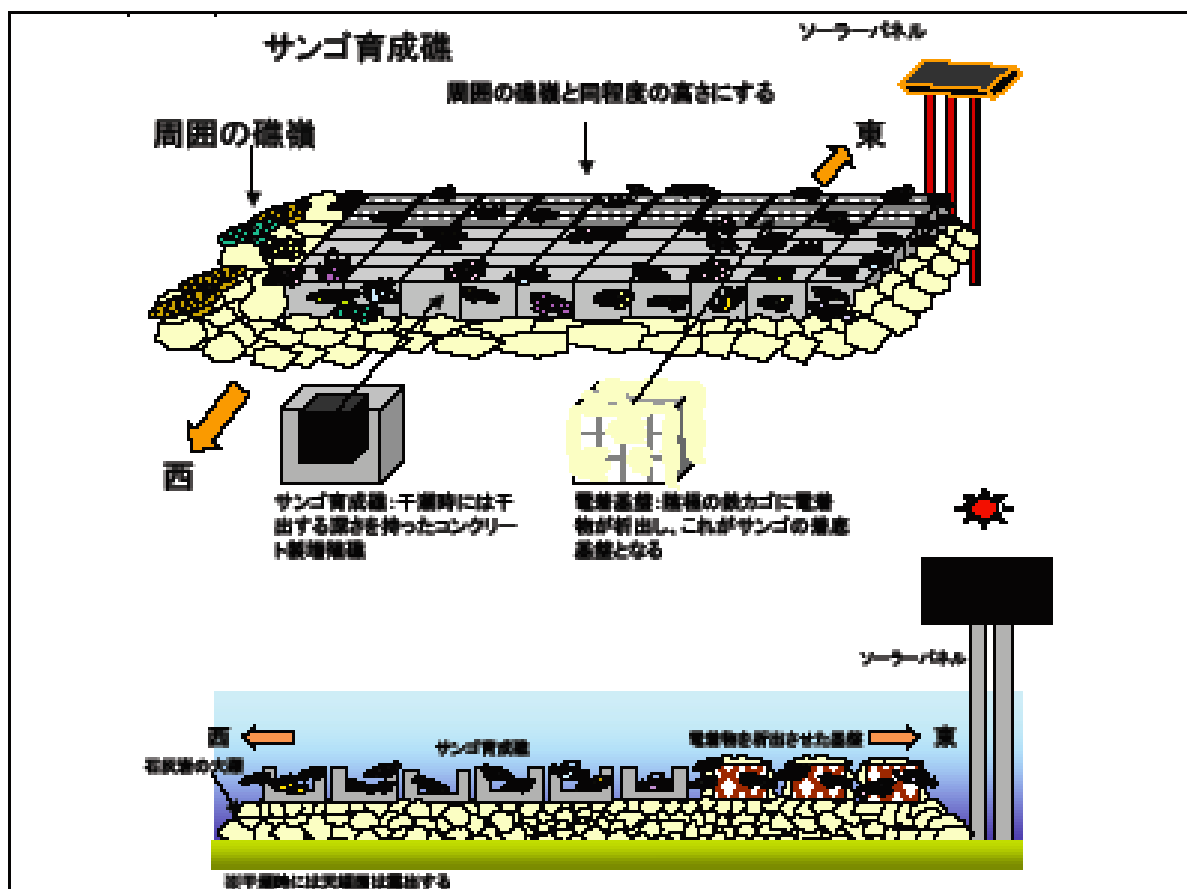


図 37 サンゴ育成礁のイメージ (大森 信による)

（２）有孔虫の増殖・導入

サンゴに比較して、有孔虫の増殖・導入については、ほとんど研究例がない。基本的な生活史（無性・有性生殖のサイクル）についてすら知見が乏しく、こうした基礎的な研究を、飼育実験とフィールド実験の双方向から進める必要がある。また棲息の場や条件についての調査も進めなければならない。

２）運搬・堆積の促進

４-４-１）で生産された砂を、適切な場に運搬・堆積させるための、海水流動と堆積物の制御方法を検討する。礁内の流れの制御、堆積物の流失を防ぐための人工リーフの設置などが検討項目になる。

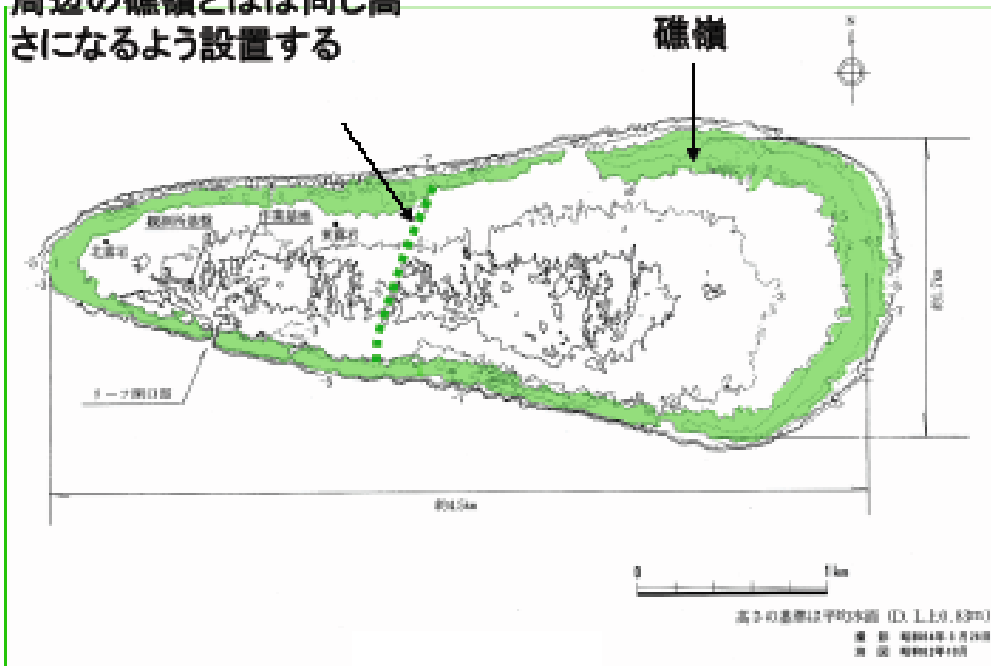
現状調査によって、沖ノ鳥島南西部の水路からの砂の流出が著しく、島の再生をさまたげているようであれば、水路の埋積を検討しなければならない。もしくは沖ノ鳥島の東側を島の形成の場とする。図 39 はそのような視点からイメージされた州島再生策の例である。この例の場合、水深のある礁湖を埋めて島の再生を図ることが困難であり、礁嶺上に島を作ろうとすると砂の生産の場の背後に作ることで、生産量が不足するのではないかという問題がある。サンゴ・有孔虫の増殖によって作った高い生産の場と堆積の場を近接させることによって、この問題はクリアできるかもしれない。

一方、図 36 の再生策は、礁嶺上の生産を東から西に向かう沿岸流で集めて、流れの最後で島を作ることをねらったものである。実際、環礁州島の多くもこうした過程で作られている。しかしこの例では、砂の損失が大きいことが予測される。礁内に恒常的な沿岸流を作ってやると、砂の損失を防ぐ方策をとることによって、この問題をクリアしなければならない。

どの方策をとるかについては、本提案によって構築する「沖ノ鳥島の地形-生物モデル」によって、慎重に評価しなければならない。どの方策をとるにしても、堆積物や海水流動の制御は、基本的な要素技術として必要になるから、早くから検討を始めておく。

人工堤

周辺の礁嶺とほぼ同じ高
さになるよう設置する



局所的に砂を集めて洲島をつくる

- サンゴ礁域の砂浜はサンゴの破片や魚類のブダイがサンゴをかじった破片によってサンゴ砂が供給される。礁嶺の低いところや狭いところは人工リーフで補強し、砂堆積を造成する。砂堆積域ではサンゴの増殖と人工リーフでサンゴを増やして砂をつくる。また人工リーフを設置して周囲に砂を集める。砂は礁嶺より外に出にくくなり、堆積作用は加速し、やがて陸地化が進む。
- 砂を効率的に集めるため、地形をわずかに改変し、屈折波や屈折波を利用して洲島を形成する。

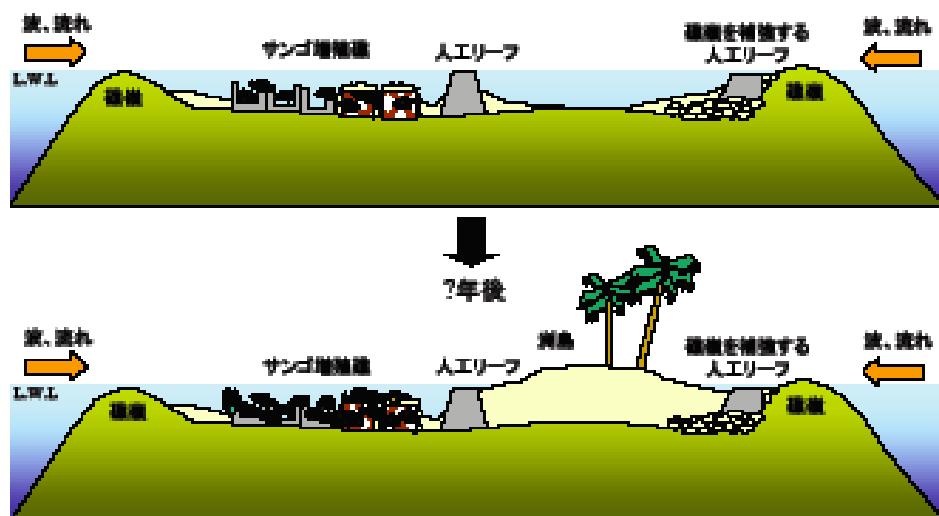


図 38 人工堤とサンゴ育成礁の組み合わせによる州島再生の例（大森 信による）。

4-5 フィージビリティの予備的検討

ここでは、本提案のフィージビリティを予備的に検討しておこう。

3-4-1), 2) で述べたとおり, サンゴの石灰化ポテンシャルは平均 $4-5 \text{ kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$, 有孔虫は最大 $1 \text{ kgCaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ で, これは上方への堆積速度に換算するとそれぞれ, $40 \text{ cm}/100 \text{ 年}$, $10 \text{ cm}/100 \text{ 年}$ になる. 沖ノ鳥島の礁湖の平均水深は $2 \sim 3 \text{ m}$ だから, 礁湖全面にサンゴや有孔虫を導入してその増殖をはかっても, 礁湖をすべて埋めるためには, $500-700 \text{ 年}$ かかることになる. 「10 年で州島を作る」という目標は達成できない. しかも注意しなければならないのは, サンゴや有孔虫をその場で増やしても, それらは高潮位以上まで成長して島を作ることはないということである. 生産された石灰質砂を, 適当な浅瀬に集める方策がどうしても必要である.

すでにサンゴ礁で低潮位付近まで岩礁が作られている場であれば, 再生する島の面積の 30 倍程度の面積のサンゴと有孔虫の生産した石灰質砂を集積してやることによって, 高潮位上に露出する島を作ることが可能である ($4 \text{ cm}/10 \text{ 年} \times 30 = 120 \text{ cm}/100 \text{ 年}$). $50 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ の州島 (1 万m^2) を作るために, 30 万m^2 の面積で生産された砂を集めてやればよい. 沖ノ鳥島の面積は, 450 万m^2 であるから, 約 7% にあたる.

これはもっとも単純化した見積もりで, 堆積物のロスがないとして, 石灰化量として礁嶺の平均値を用いた場合である. 実際には生産された砂がすべて州島に堆積するわけではないので, これより大きな面積が必要になる. 一方, 石灰化量をサンゴ・有孔虫増殖技術や生育に適した環境整備によって上げることができれば, 堆積速度も上げることができる. いずれにしても, 生産と堆積物の 0 次近似の見積もりで, 本提案が不可能なものでないことがわかる.

4-5 沖ノ鳥島再生技術の環礁島嶼国への応用

本提案で開発する沖ノ鳥島再生技術は、単に同島の再生と排他的経済水域の確保にとどまらない。現在、世界の3分の1のサンゴ礁は破壊される危機にある。その原因は主に海岸部への人口の集中に伴う海岸開発など、ローカルな環境悪化である。さらに地球温暖化による水温上昇による白化は、人間の影響の及ばない自然のままのサンゴ礁も破壊してしまう。こうした進行しつつあるサンゴ礁の劣化に対して、沖ノ鳥島再生で構築されるサンゴの移植技術は、サンゴ礁の修復と創成に貢献する。

さらに、地球温暖化に伴う海面上昇（図9）によって、サンゴ礁が水没してしまう。とくに沖ノ鳥島と同じ型のサンゴ礁である環礁では、人々が居住する州島の水没が危惧されている。世界には約500の環礁があり、そのうちの400は太平洋に分布している（図39）。太平洋のマーシャル諸島やツヴァル、キリバスや、インド洋のモルジブ共和国のように、環礁だけからなる国も多い。

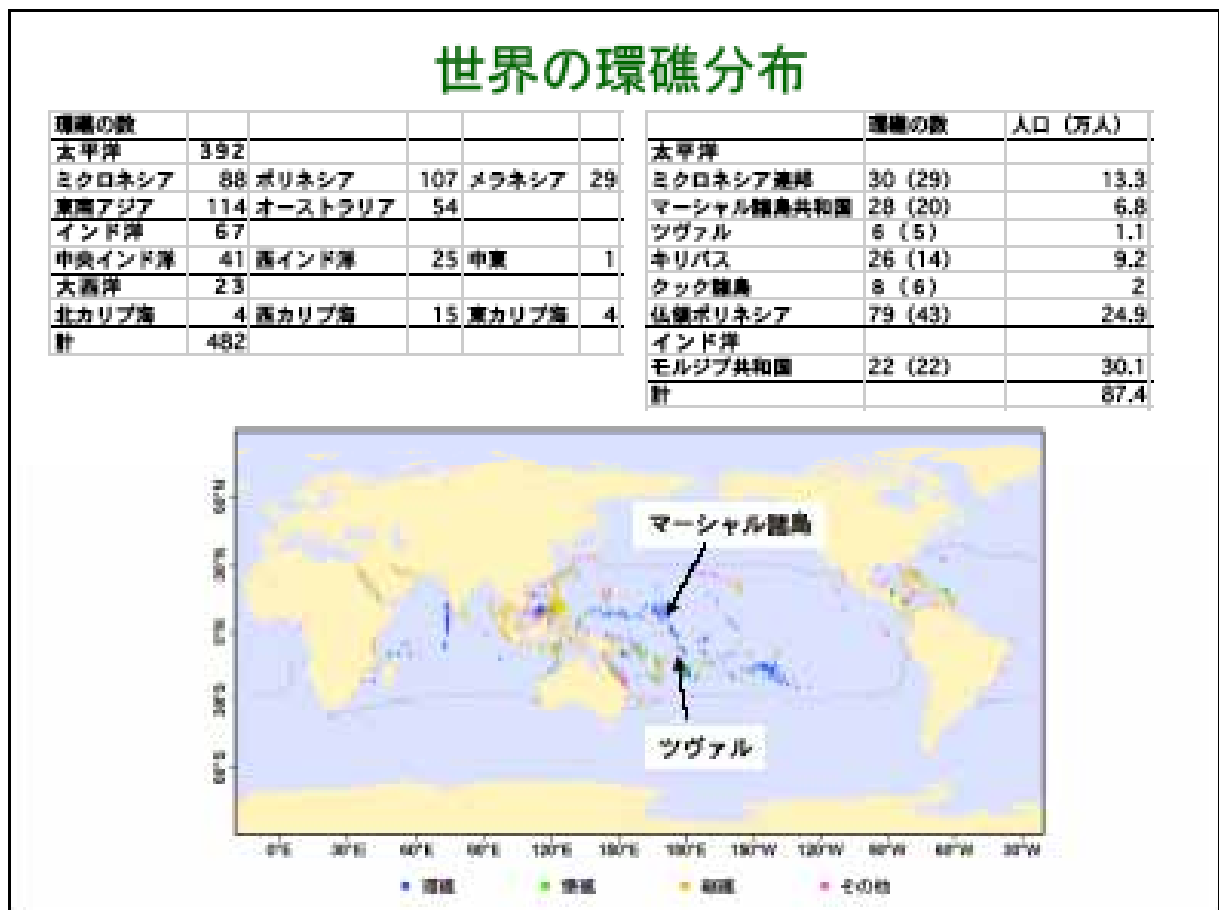


図39 世界の環礁分布

こうした国々では、国土は標高2 m程度の州島である（図40）。今世紀中に海面が40 cm 上昇すれば、外洋の波が直接州島の海岸に打ち付けるようになり、激しい浸食によって国土が消失してしまうことが危惧されている。人工的な護岸や防波堤によって国土の消失を防がなければならないが、全島にわたってこうした人工的な土木工事を行うことは、現実的ではない。本提案の実現によって、生態工学的な州島構築技術が完成すれば、それをこうした環礁からなる島嶼国に適用して、海面上昇に対抗する国土の維持をはかることができる。また、技術を島嶼国に移転し、これら諸国の救済に成功すれば、本技術による州島を国際法上の「島」として認める国際的な承認を得る環境を産み出すことが可能になる。



図40 マジュロ環礁の州島。標高1～2 mの州島に、多数の人々が住んでいる。