

# 資源・エネルギー

# 海洋深層水資源に依存した循環型社会への移行の提案

高橋正征 ● 東京大学大学院総合文化研究科教授

Ship & Ocean Newsletter No.2(2000年9月5日)掲載

## 1. はじめに

20世紀は化石燃料などのエネルギーを使って地上・地下の資源を盛大に利用し、私たちの物質的な豊かさが飛躍的に増大した。しかし、同時に、資源の枯渇と地球環境問題という二つの問題を背負った。地球環境問題はこれまでのような地下資源を利用していき限り解決の見込みはない。というのは、それらの資源を使うと廃棄物の撒き散らしが避けられないからである。もし撒き散らしを止めて廃棄物を回収して安全に処分しようとするれば、莫大なエネルギーと資源が必要で、得られる利益以上の負担になる可能性が高い(社会教育協会、1999)。

20世紀に得た物質的な豊かさをできるだけ維持して、かつまた、先に掲げた問題を回避しようとするには、これまでとは違った資源に切り替えて行く必要がある。その最も大きな可能性を秘めているのが海洋深層水(深層水)である(高橋、2000)。

## 2. 海洋深層水資源とその利用

海洋深層水はおおよそ300m以深の海水で、低温(エネルギー)・栄養塩類(肥料)・清浄性・水・塩・金属類などの資源性が知られている。これらはすべて私たちが必要としている基本的な資源で、しかも海水という一つの物質に含まれている。これは限られた資源性しかもたなかった従来の資源とはまったく異なる。さらに、深層水は地球上で最も量の多い海水の95%という膨大な量で、その上に、深層水の資源性は数年から数千年で再生循環する。ただし、問題は資源の薄さである。深層水の資源性の特徴をこれまでの資源と比較したのが表1である。

深層水の資源が世界的に関心を集めたのは1973年の石油ショックで、石油に代わる新エネルギーの一つとして海洋温度差発電が取り上げられた時である。米国では温度差発電の検討をはじめて間もなく、いったん汲み上げた深層水を温度差発電に使った後で、他の資源性を次々と多段的に利用していく総合的な資源利用が考えられた(Othmer and Roels, 1973)。温度差発電を中心とした深層水の資源利用の研究のためにハワイ州政府は1974年にハワイ自然エネルギー研究所の設立を決定し、1990年にはハワイ自然エネルギー研究機構として研究と事業利用の両方を同時に進める体制を作った。そこでは、温度差発電の技術開発研究をはじめ深層水資源のさまざまな利用研究が進められていて、一部は事業利用に移っている。

日本でも石油ショック直後の新エネルギー開発で、通産省が温度差発電に取り組んだ。温度差発電以外の深層水の資源利用は科学技術庁が担当し、1986年から国家プロジェクトを起こして1989年に高知県室戸市に深層水の陸上利用施設と、富山湾に海上取水施設を造った。富山湾では温度差発電の基礎研究も行われたが、主として深層水の含む肥料による海域の肥沃化が目的であった。一方、高知では深層水のもつ低温・清浄・富栄養はもとよりのこと、それ以外でも可能性のある資源性の多くが検討されてきた。洋上型はプロジェクト終了とともに撤収し解体されたが、陸上型はそのまま引き続いて利用された。

日本でのこれまでの一連の深層水の資源利用は、取水管1本で1日に6,500トンの取水量が最大で、規模が小さい。しかし取水管の設置コストが高く、深層水の事業化では附加価値の高い利用に限られ、これまでは清浄性の利用が主である。頑丈な取水管のためすでに敷設されている6本は、古いものでは11年目になるが、損傷などのトラブルはまったく発生せず極めて信頼性が高い。すでに化粧品・飲み水・スポーツドリンク・酒・醤油・味噌・豆腐・パンなど、食品を中心として数10品目の商品が開発され売られている。しかし、飲み水とスポーツドリンクを除くと、必要とする深層水の量は多くはいらない。現状では、既設の取水施設でほとんどの需要をまかなえる

可能性が高い。したがって、今後は、取水施設を造る努力以上に深層水を使って事業化できる新しい利用面を開発して行く必要がある。

ここ数年の日本での深層水商品の開発と市場での関心の高さが評価され、ハワイの研究・事業化に対する行政の理解が以前に比べて得やすくなった。また、フランス、台湾、韓国、インドなどでも深層水の資源利用にさらに強い関心を示すようになった。

### 3. 海洋深層水資源に依存した循環型社会

深層水の本格利用の中心はエネルギー・肥料・金属類で、これらは日量で数10万トン以上利用しないことには経済的な事業利用はできない。深層水は再生循環性なので利用量が多くなればなるほど、社会はより循環性を強めて行くことができる。

エネルギーとしては温度差発電もあるが、それ以外でも冷熱を冷房や冷蔵・冷凍施設や発電所の冷却水としての利用など用途は広い。冷熱エネルギーのオフラインシステムが開発できれば取水地から離れたところでの利用もできる。平成11年度から資源エネルギー庁は「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」の5カ年プログラムを始めた。ここでは日量で100万トンの深層水を汲み上げて火力発電所を冷却することを中心に検討されている。

日本の抱えている最も大きな問題は食糧の自給率の低さである。1999年にはカロリーで40%を割り込んだ。ヨーロッパ連合、北米など先進国やそのグループは自給率がいずれも100%以上で、余剰食糧を輸出している。食糧は、備蓄が難しく、食いだめができず、1日として我慢できないし、生産は天気次第、という特殊性を持っていて、これを外国に全面的に依存している日本の現状は著しく不安定といわざるを得ない。日本の場合、コメはほぼ自給できるので、問題は動物性タンパク質の自給率の向上である。現在、飼料まで考えると畜産物の90%以上が輸入、魚介類も40%以上を輸入している。水産庁は平成12年度から「深層水活用型漁場造成技術開発」の5カ年研究を開始し、深層水を利用した海域の肥沃化に取り組んでいる。海域肥沃化によって水産物の自給率を高め、いざという時には畜産物の分までカバーできるようにしておくことが国の食糧安全保障の上から絶対に必要である(高橋、1998、1999)。

### 4. おわりに

再生循環型の巨大資源である深層水の利用に切り替えて行くことで、循環型社会に近づけて行くことができる。食糧の輸出入は地球上の生命維持機構である物質循環を狂わせるので、国レベル、というよりもっと狭い地域レベルで自給率を上げていくことが重要である。食糧自給の徹底は各地の適正人口を考える上でも有効である。日本は21世紀には食糧自給を達成し、循環型社会のありかたを世界に示す時である。

深層水を利用することによる問題についても、十分に検討しなければならないことはいうまでもない。(了)

■表1. これまでの資源と海洋深層水資源の特徴

これまでの資源(例:石油・石炭・鉱石)		海洋深層水資源
資源密度	濃い (○)	薄い (×)
資源量	少ない (×)	豊富 (○)
資源価値	限定・少ない (×)	多様 (○)
再生循環性	なし (×)	あり (○)
環境問題	多い・深刻 (×)	なし・少ない (△)

#### 【参考文献】

1. (社)社会教育協会. 1999. 地球環境問題の本質を問う. 146頁.
2. 高橋正征. 2000. 海にねむる資源: 海洋深層水. あすなろ書房. 189頁.
3. Othmer, D. F. and O. A. Roels. 1973. Power, fresh water and food from cold, deep seawater. Science. 182, 121-125頁.
4. 高橋正征. 1998. 海洋生物資源—200海里内の生物生産の増産の必要性. 学術月報 51, 461-465頁.
5. 高橋正征. 1999. 海から考える日本の食糧安全保障. 海—オキシテック・ニューズレター. 20, 11-14頁.

# わが国初の洋上風力発電、実現へ

平田泰雄 ● 北海道瀬棚町長

Ship & Ocean Newsletter No.17 (2001年4月20日)掲載

北海道日本海側の小さな沿岸自治体である瀬棚町は、古くは日本公認の女医第1号を生み出し、旧・運輸省時代にマリンタウンプロジェクト全国第1号の指定を受けたが、21世紀初頭にあたり、洋上風力発電第1号の実現へ向けて邁進している。深層水利用も視野に入れたこのビジョンを紹介したい。

## 伏線としての瀬棚港マリンタウンプロジェクト

瀬棚町は、北海道渡島半島の最北端で日本海に面し、自然発生的に開けた沿岸部と開拓によって拓けた内陸部からなり、美しい海岸線と道南の秀峰、狩場山系が連なる豊かな自然環境に恵まれた町である。地震と津波災害で大きな被害を受けた奥尻島の対岸に位置し、津波被害も受けた経験を有するとともに、奥尻島と結ぶフェリー港を核とした港湾都市でもある。

その地方港湾、瀬棚港は、昭和60年に当時の運輸省港湾局からマリンタウンプロジェクトのケーススタディ港の全国第1号として指定され、21世紀を展望した新たな港湾機能と地域産業の振興発展を目指した検討を長年にわたって続けてきた。



その内容は、港湾整備事業による多目的防波堤を構築し、静穏海域での増養殖漁業水域としての漁業生産活動の場とし、また海洋レクリエーション基地として諸機能を整備するとともに、背後の陸域を利用した観光レジャー施設などの民間活力を導入しようとしたものであった。しかし、バブルの崩壊等諸般の事情から、事業の進捗は道半ばであるが、その苦しい道のりのなかから、新時代にマッチした新しいコンセプトが生み出されてきた。

## 日本初の「洋上風力発電」計画

1997年12月の地球温暖化京都会議(COP3)を契機に、わが国においても新エネルギーの導入が積極的に推進され、とりわけ風力発電については、北海道の日本海沿岸を中心に導入が進んでいる。瀬棚町も風力発電の好適地として、民間による風車2基の建設が進んだ。そこで、平成10年度にプロジェクトの再検討調査が行われ、港湾の新たな利用可能性を探ることとなった。

洋上における風力発電については、1海域に10基の風車を建設したOffshore Wind Farmと呼ばれるものをはじめ、すでにオランダ・ベルギー・デンマーク等で実用化され、年々その規模は拡大されている。しかしながら、日本国内では未だ実施例はもとより検討例もほとんどなかったが、1990年代末に急速にわが国でも洋上風力発電への関心が高まり、沿岸域における風力発電の可能性についての調査が進められるようになった。

一般的には、海の上は陸よりも風が強く障害物がないので、安定していて風力発電には好適といわれていることから、旧運輸省では港湾区域の防波堤の上に風車を建設する可能性等について、平成11年度から検討を始めたとのことである。瀬棚町では、その同じ平成11年度に、NEDOの補助を受けて地元北海道の新エネルギー全般に精通した機関の協力も得て『新エネルギービジョン策定調査』を実施し、その報告の中で、バイオマスなどあらゆる自然エネルギーの可能性を検討した結果、有力なオプションとして「深層水」と並んでこの「洋上風力発電」の提案をいただいたという経緯がある。



ところで、洋上風力エネルギーが陸上よりも良いということを実証する実測データがほとんどないことから、NEDOとの共同研究により、瀬棚港東外防波堤上での風況精査を併行して実施した結果、1年間の平均風速は平均7.9m/s(風力発電成立の目安は5m/sといわれる)、風向も概ね秋から冬の季節は北西、春から夏の季節は東南東と一定しており、風力発電の立地点として好適であることが実証された。

これらの動向を受けて、瀬棚港の港湾管理者である瀬棚町は、平成12年度にNEDOの助成を受け、国の出先機関である北海道開発局函館開発建設部と連携、協力を得ながら、かつ洋上風力発電に詳しい海洋関係団体の支援もお願いして、このほど「地域新エネルギービジョン策定：洋上風力発電事業化可能性調査」をまとめ、大きな夢のビジョンの実現へ歩を進めることになったのである。

もちろんこうした新規プロジェクトの実現には各種の困難が伴うのは通例であるが、ここでも北海道電力(株)による買電の枠という制約や、系統連系問題などにつづかったが、事業計画を2段階に分けて、「洋上風力発電」の規模を次のようにして、夢の実現へ向かうこととした。

STEP・1―瀬棚港東外防波堤直背後 600kW 2基(事業主体：町)

STEP・2―瀬棚港内浅海域 1,500kW 4基(事業主体：未定)

地域特性を生かした、地域から発信する新エネルギー導入。その実現に大きな期待が寄せられている。課題もいくつか残されているのは事実だが、日本初の「洋上風力発電」計画は、町おこしの起爆剤となり、地域産業や住民生活等地域振興に大きな効果があると確信をしているところである。

## 地域産業再生に向けて「海洋深層水利用」も視野に

ところで、北海道渡島半島の西部地域は「海洋深層水」の取水適地が3箇所あるといわれており、その一つに瀬棚港沖があげられているので、その利用可能性についても町おこしのうえでは見逃すことはできない。基本コンセプトとしては、洋上風力発電で得られた電力を用いて海洋深層水を汲み上げ、多量な鉄分含有の隣接する一級河川、後志利別川の河川水を取り込み、瀬棚港の静穏海域内外での増養殖漁業に展開する、という将来構想ベースである。

瀬棚町のまちづくりのテーマは“健康と安全な食物づくり”である。瀬棚町のホタテは貝毒がないとして広く認知され、また地元農業者が有機栽培で育てたかぼちゃと酪農家の搾乳したオーガニック牛乳で製造した無添加アイスクリュー「吟子のろまん」、有機栽培で育てたお米を原料とした純米酒「吟子物語」は、道内はもとより首都圏外食チェーン店、居酒屋『北海道』で人気を呼んでいる。

地方分権一括法の施行や地域間競争が激化するなか、住民が自らの意思で自らの力で町の運営をしなければならないこの時代、地域振興は「地域の特性をどう生かすか」というキーワードに尽きるのではないか。わが瀬棚町にとって、まず洋上風力発電がそれであり、深層水利用も視野に入れたビジョンを推進していきたい。多方面からのご支援をお願いする次第である。(了)

■瀬棚町洋上風力発電プロジェクト・イメージ図



STEP・1で防波堤直背後の2基を整備、STEP・2で全体計画を整備。瀬棚町の風況については、港湾内東外防波堤に風況観測装置が設置され、地上高20m・5mにおける風況データが12カ月にわたって観測されている。年平均風速は7.9m/sと極めて高く、また年間の風向出現率についても、風向は東南東、西北西の風軸に集中していることが確認されている。

# 自前エネルギー、メタンハイドレート

徳山英一 ● 東京大学海洋研究所教授  
Ship & Ocean Newsletter No.25(2001年8月20日)掲載

## はじめに

メタンハイドレートをすでにご存知の読者も多数いらっしゃるものと思います。昨今は日本周辺海域に大量の埋蔵量が予測され、日本が世界に先駆けて探査から生産までの研究・開発を開始したことが新聞等で報じられています。メタンハイドレートは、メタンガスと水から構成された固体であり、結晶構造を持っています。この固体は氷と異なり燃えて、炭酸ガスと水になることから(図1参照)、未来の資源としての可能性が指摘されています。

## メタンハイドレートとは?

それではメタンハイドレートとはどのような性質を持っているのでしょうか? 水が結晶構造を持つといえば、氷を連想しますが、メタンハイドレートも塊状や、シャーベット状の産状を示します。また、氷は1気圧では摂氏0度以下で存在可能ですが、メタンガスと水は、圧力が数十気圧以上の場合、摂氏数度までハイドレートとして安定に存在します。この条件、つまり圧力が数十気圧以上であり、温度が数度の条件は、水深が数百m以上の海底では一般的に満足されています。海底には当然海水が存在するので、もし十分な量のメタンガスが存在すればメタンハイドレートがごろごろと海底に転がっていることが期待されるわけです。

事実、クリミア半島が面する黒海の海底には、メタンハイドレートがごろごろと海底に転がっていることが確認されています。その理由は黒海が水深2,000mを越す深い海で、また陸に取り囲まれて外海との水の交換が極めて少なく、さらにドナウ川に代表される河川から大量の有機物が供給されることから、海底でメタンガスが多量に発生するためです。有機物を分解してメタンガスを発生する反応は微生物が担っていると考えられています。実は、この状態は日本が先進国の仲間入りをするために突っ走っていた時代、河川が汚れて夏季にメタンガスが川底から発生した状態と共通点を持っています。しかし、日本の場合は、河川であることから、圧力が低く、かつ温度が高いために、メタンハイドレートが形成される環境ではありませんでした。



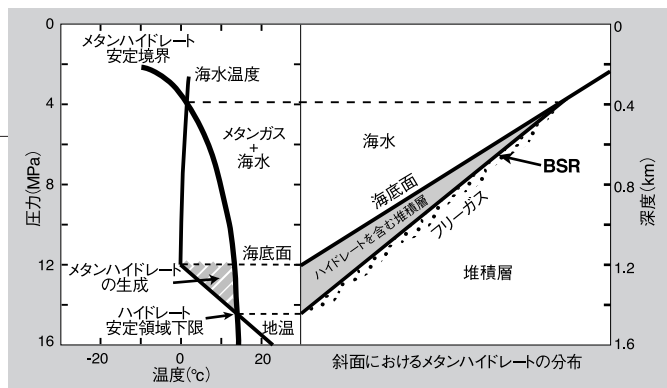
燃える氷、ガスハイドレート。下に見える白い塊がメタンハイドレート  
(写真:L.A.Stern博士提供)

## 日本周辺海域のメタンハイドレートの特徴

それでは日本周辺の海域の場合はどのような特徴が見られるのでしょうか? 実は日本周辺ではプレートの沈み込みによる地殻変動と密接に関連しています。プレートの沈み込みといえば、地震や火山を引き起こす原因と理解されていますが、実は資源の面でわれわれにお返しをしてくれているのです。つまり、日本周辺海域では急峻な河川から供給される堆積物は、直接沈み込みの境界に供給されるか、あるいはその途中で砂防ダムのような地形でせき止められるかのいずれかです。実は砂防ダム地形もプレートの沈み込みにより形成されたものです。

日本周辺の場合、陸から供給される堆積物そのものに含まれる有機物は黒海と比較すれば極めて少ないのですが、プレートの沈み込みに伴う地殻の変形の結果、透水性の高い地層中から断層に沿って、あたかも雑巾を絞るように、ぶよぶよの堆積物から水が搾り取られ、その水とともにメタンガスも移動して表層地殻に濃集するためです。この場合も多くのメタンガスは微生物が作り出していると考えられています。また、日本周辺海域の場合、黒海のように海底面にメタンハイドレートの分布は確認されていません。黒海の例が極めてまれなのかもしれません。

図2



メタンハイドレート、メタンガス、水の安定条件(左)と、対応する海底での条件(右)。縦軸は圧力で示してありますが、水深に相当し、1MPは100mに対応します。(データ: 声 寿一郎博士提供)

前述したように、数百mを越す海底面ではメタンハイドレートが安定に存在可能と述べましたが、例えば水深が400mを越す深海では、海底面から下の堆積物中でもメタンハイドレートが安定な状態は満たされています(図2参照)。しかし、地下深くなるにつれ、圧力は増しますが、地温が上昇する効果が圧力の効果を上回り、ある深度より深くではメタンハイドレートは存在できなくなります。この境界より上の堆積物中にメタンガスが十分に存在する場合にはメタンハイドレートが含まれ、下の堆積物にはメタンガスと水が分離して含まれることとなります。このような堆積物の状態の違いをあらわす境界は、リモートセンシングで知ることができます。

### メタンハイドレートを探す

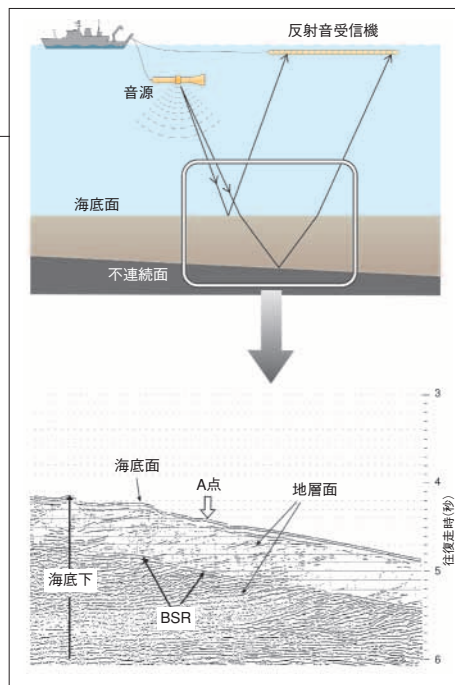
メタンハイドレートを探り当てるリモートセンシングの体系的な手法は音波探査法です(図3参照)。本探査法は、舟で海釣に出たことのある方であれば使用した経験のある魚群探知機による魚の群れの探査法と類似しています。図3の上図は音波探査の概念図ですが、音波探査法ではパワーのある音源を使用するため、音波は地殻内まで貫入し、それが反射する境界面を描くことができます。一般に反射面は地層を表現しますが、上述したメタンハイドレートの安定境界の下限が極めて特徴のある反射面として表されます。この境界を、BSRと呼びます。このBSRの分布からメタンハイドレートの存否を知ることができるのです。図3の下図は音波探査記録の実例で、地殻の表面を表しています。縦軸は水深に対応し、1秒間は750mに相当します。したがって、5秒は水深が3,750mの深海を示します。

### メタンハイドレートの開発に向けて

これまでに実施された音波探査の記録をもとに、日本周辺海域のBSRの分布を調べてみると、四国沖から御前崎沖の太平洋の海底に顕著にBSRが発達することが明らかにされています。メタンハイドレートの埋蔵量はBSRの分布域に、堆積物の単位体積に含まれるメタンハイドレートの量比を仮定することによって推定できます。その結果ではメタンハイドレートの埋蔵量は日本が消費するメタンガスの約100年分に達するという推計も出されています。

このような状況のもと、わが国では資源エネルギー庁の主導のもと探査から生産までの一貫した開発計画が昨年度立案されました。上述したようにメタンハイドレートは深海の堆積物中に存在することから、その開発には困難が伴うことが予想されますが、今年度から十数年にわたって継続する本研究は、世界のメタンハイドレート開発の先駆となるものであり、その成果が期待されます。(了)

図3



音波探査の概念図(上図)と、BSRを示す音波探査記録(地殻断面)の実例(下図)