

海洋深層水開発の動向

小川 猛*

1. はじめに

海の海面付近は太陽光線により植物プランクトンや海藻による光合成が活発に行われる。これに対し、水深200～300m以深では十分な太陽光線が届かず、光合成も行われない。現在、資源利用を意図した呼称として、この水深200～300m以深の海水を「海洋深層水」と称し、高知県では商業利用で年間120億円を越える産業に発展している。

海洋の全体積は137,000万km³、面積は36,100万km²で、地球表面の70.8%を海洋が占めている。地球上に存在する水の約98%が海水で、さらにその95%が深層水に相当する。すなわち地球上の水の約90%が深層水である。なお、2%の淡水のうち、実際に利用できる淡水は、0.8%程度である。

たかが海水、されど海水、この海水が今、日本各地で取水されようとしている現状を、紹介する。

2. 日本周辺の海洋深層水

海洋学での深層水は、数千m以深の海水を指している。この深層水については、「深層循環説(海洋大循環説)」(スメルトン, 1958)がある。この説は北太平洋のグリーンランド沖と南極近くのウエッデル海近辺の寒冷な海で冷やされ沈み込んだ表層水が、大西洋の深海を流れてインド洋や太平洋へと至り、次第に温められて表層に現れて反転し、北大西洋やウエッデル海の方へと戻っていく大循環である(図-1参照)。グリーンランド沖で沈み込んだ海水(毎秒40メガトン)が、南極地方に至るまでに約1,000年、それからインド洋や太平洋で表層に顔を出すまでに、さらに1000年といわれており、約2000年をかけて深層を循環している。

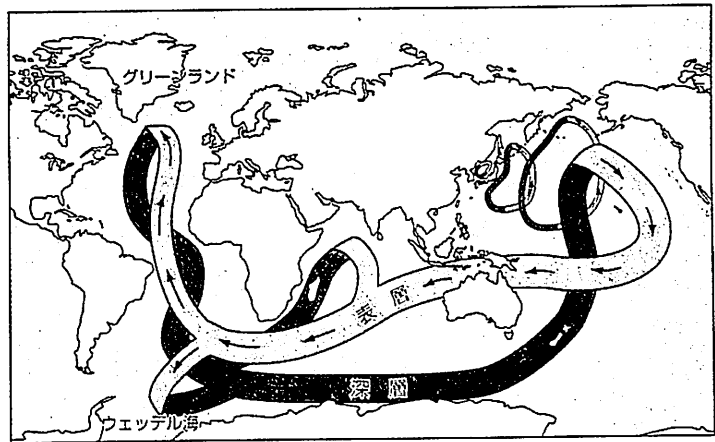


図-1 深層循環図(高橋, 2000: Broecker, 1990を一部改変)
日本海および日本近海太平洋側の中層循環も示す

我が国の周辺海域には、日本海の水深300m以深にある「日本海固有水」と呼ばれる水塊、太平洋側海域では水深500～1,500mにある北太平洋亜寒帯域を発源海域とする「北太

*株式会社キタック

「太平洋中層水」と呼ばれる水塊、水深約1,500m以深にはグリーンランド沖合や南極のウェッデル海を発源起源とする「太平洋深層水」と呼ばれる水塊が分布している。

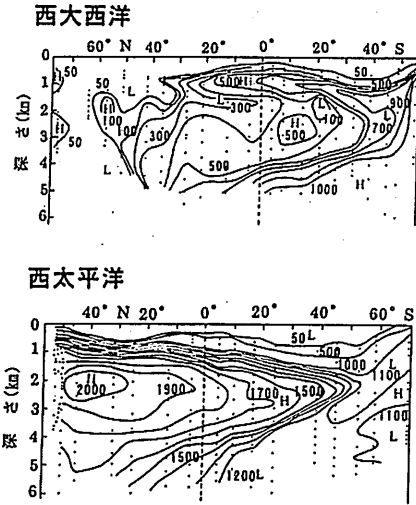


図-2 海水の年齢分布

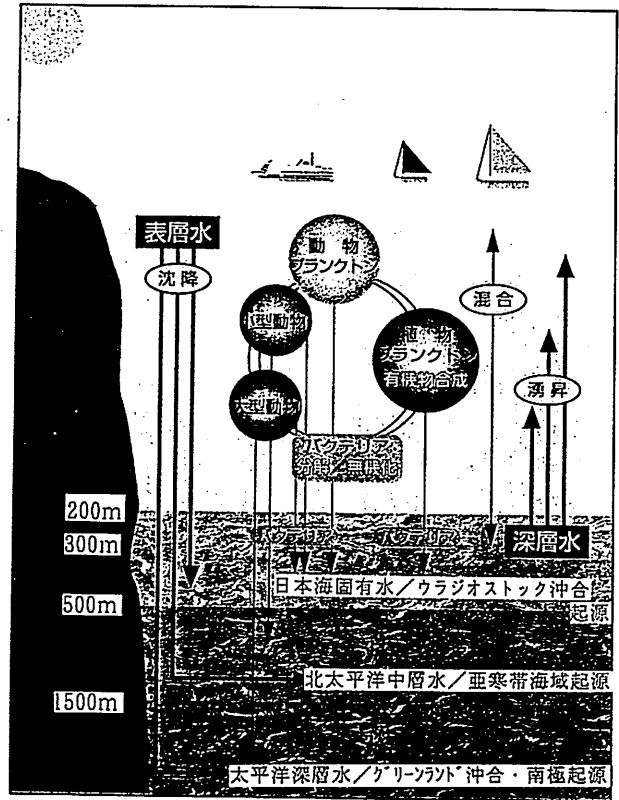


図-3 海洋深層水の生成と循環模式図

3. 海洋深層水の資源的特性

海洋深層水の3大特性として、「低温安定性」, 「富栄養性」, 「清浄性」, があり, そのほかに水質の「ミネラル特性」, 「熟成性」も指摘されている。

① 低温安定性

海水の温度は主として太陽輻射による表層での受熱と放熱により変化する。しかし、海水の比熱(12°Cで3.93ジュール/グラム・ケルビン)は、すべての固体と液体(アンモニアを除く)において最大であり、海水は最も温まりにくく、冷めにくい物質である。このため、海面が太陽光で温められても、下には熱がなかなか伝わらない。冬季に海面が冷却されると下の暖かい海水と入れ替わるような動き(対流)や波などによって攪乱(乱流)され上下の海水が入れ替わることがある。その深さはほぼ水深200mまでで、図-4に示すとおり季節によってかなりの温度変化がみられるが、それ以深の水温は安定した低温を保つ。

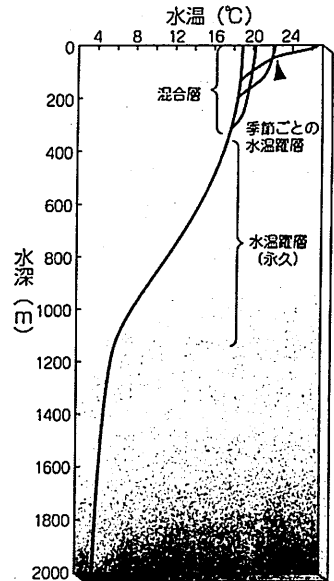
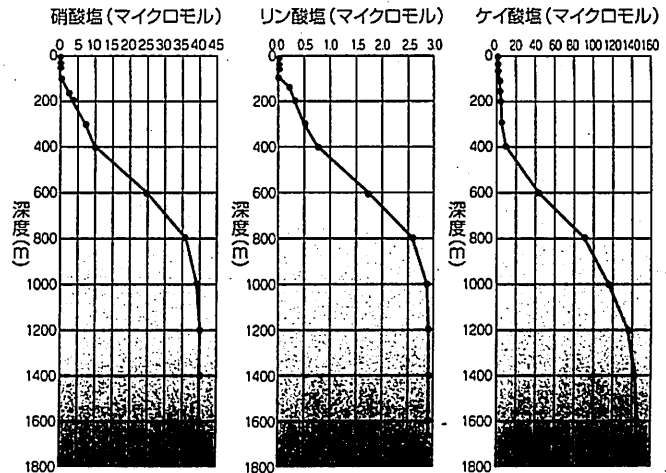


図-4 水温の鉛直分布例

② 富栄養性と清浄性

海面から深くなるほど太陽光の透過量は減少し、有光層と無光層の間には植物が生長を維持できる限界の光の強さとなる深さがある。これを補償深度と呼んでおり、植物プランクトンは海洋の表面に届く光の1%以上の光がないと光合成ができないといわれており、この補償深度とはほぼ一致する。沿岸海域の濁った海水では水深30m以内でも上から届く光量は1%以下に、外洋の非常に澄んだ海水でも水深100~120m以下では、光量は1%以下となる。この光のエネルギーが太陽光の1%程度まで保たれている海の表層部分を「光合成層」とか「有光層(真光層)」と称している。太陽の光が十分にある表層は、植物プランクトンや海藻などの植物(基礎生産者)が太陽エネルギーや栄養物質(窒素, リン, ケイ素), ミネラル分を消費して繁殖・成長し、これらは食物連鎖を通して動物性プランクトン, 魚類の餌となる。一方, 枯死・死亡した植物や動物, 動物の排泄物や糞粒など有光層で分解されなかった有機物の一部は深層の無光層へと沈降し, 微生物によって分解され, 無機質な栄養物質(窒素, リン, ケイ素)として深層水に溶出する。深層では無機の栄養物質は利用されないため, 蓄積さ

れる。また, 深層では有機物質濃度が減少するため, これらを栄養源とするバクテリアや有害な病原菌などは少なくなる。いわゆる, 自然(海)の浄化作用により, 水質は微生物学的にも物理・科学的にも安定し, 清浄となる。これが, 富栄養性と清浄性生成の成因である。



図一五 海水中の肥料濃度の鉛直分布例

③ ミネラル特性

表層水に栄養成分や鉄, 亜鉛等のミネラル分が少ない原因は, 主に植物プランクトンの生命活動によって消費されることと, これらのミネラル分はもともと海水中に少ないことが原因である。一方, ナトリウム, カリウム, マグネシウム, カルシウム等のミネラル分はもともと海水に豊富なため, 生物による消費が影響しないため表層も深層も変わらない原因である。

「第6次改訂日本人の栄養所要量(2000年4月)」によると, ミネラル分としてマグネシウム, カリウム, カルシウム, リン, ナトリウム, 鉄, 亜鉛, ヨウ素, マンガン, セレン, クロム, モリブデンの12項目が挙げられている。しかし, ミネラル類や微量元素が人の健康にどのように働くかはまだ良く分かっていないことは多いが, 人体にとって微量でも必須なものがあり, 深層水に含まれるミネラル特性に注目される要因である。

◎ 海水に含まれる微量元素

必須微量元素が不足すると生体は正常に機能しなくなる。必須微量元素は 15 種または 16 種で、①多量元素は比較的全層に一様で、②生物が利用する微量元素は深層に多い傾向があり、③生物が利用しないと考えられる元素も深層に多い傾向がある(高橋)。

野崎は海水に含まれる 91 種の元素を分析し、74 種の元素を、以下の 3 つに分け、16 種の必須微量元素中 9 種が表層水より深層水に多いことを示した。

表一 1 表層海水と深層水に含まれる元素の比較

1) 元素の濃度が 深度と関係しない (表層水≒深層水)	<u>Na</u> , <u>K</u> , <u>Ca</u> , <u>Mg</u> , Li, S, Tl, <u>V</u> , Rb, Sr, <u>Mo</u> , Cs, W, Re, U, He B, <u>Cl</u> , Br, <u>I</u> , <u>F</u> , Sb, Au
2) 深度が増すにつれ て増加する元素 (表層水<深層水)	Be, Sc, Ti, <u>Cr</u> , <u>Mn</u> , <u>Fe</u> , <u>Ni</u> , Y, Zr Rh, Ba, Ra, La, Pr, Nd, Sm, Eu <u>Cd</u> , Ac, Pa, Pu, Am, C, N, <u>Si</u> , P Ar, <u>Cu</u> , <u>Zn</u> , Ge, <u>As</u> , <u>Se</u> , Kr, Ag, Bi, Rn, Tl, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
3) 深度が増すにつれ て減少する元素 (表層水>深層水)	<u>Co</u> , O, <u>Al</u> , In, <u>Sn</u> , Te, <u>Pb</u> , <u>Hg</u>

(必須多量元素, 必須微量元素, 有害元素)

④ 熟成性

深層水の熟成性は、表層水よりも「きめ細かく」、「まるやか」という感覚を含んだものである。深層水は表層水に比べると「べとついた感じ」がない。

これは長い時間をかけて深層水中の有機物、とりわけ生物に利用できるような有機物がほぼ完全に分解つくされて無機物になっていること、深層水は低温と高い圧力によって密度が高くなっており、微細な粒子状のミネラルが時間をかけて海水に溶け込んでイオンになっていくというメカニズムも、考えられている。さらに、普通の水は水の分子が、ゆるやかに手をつないでいる状態にあるが、深層水ではナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、塩素、硫酸など多量のイオンが水の分子間に入り込むことによって、水の状態が変化している可能性も指摘されている。

このような深層水の性質の変化は未解明な部分であるが、その特性が今後、資源性としての可能性を秘めている部分である。

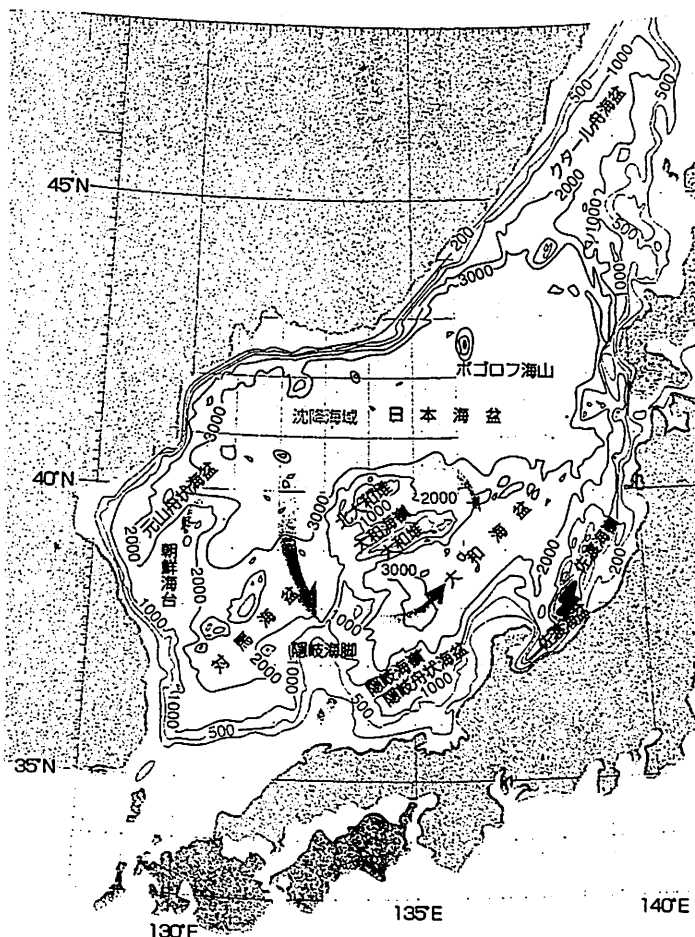
4. 日本海と日本海固有水について

日本海の広さは、面積約130万 k m^2 (日本国土の約3.5倍)であるが、地球上の海洋全体(36,100万 k m^2)と比べると、面積にして約0.3%である。日本海の最大水深は3,700m, 平均水深は1,350m, 海水の全容積は約175万 k m^3 である。

「日本海固有水」はウラジオストック近海を発源海域とし、冬季の冷却・蒸発により高密度化した水塊が、深さ1,000mに達する鉛直混合により生産されたものであり、反時計回りに循環することが予測されている。

大きな特徴は、①水温・塩分に変化がなく安定していること、②冬季の冷却攪拌は海中の溶存酸素量を増大させ、3,000mの深海でも6 $\text{m l} / \text{l}$ 近くもあり、同水深のオホーツク海、北太平洋の酸素量(2~3 $\text{m l} / \text{l}$)と比較しても著しく高いことである。

さらに、日本海の90%がこの固有水で占められ、年間を通して変化が見られない均質な水塊となっていることも他の地域にはみられない大きな特徴である。



図一六 日本海底の地形のあらましと上部固有水の循環
(野義夫(1977.9):日本海の謎, p.23, (株)築地書館と千手智晴
(1994.12):月刊海洋, Vol.26, pp794~801より引用, 加筆)

日本海固有水は文献によれば、以下のように分類されている。

●日本海固有水の分類

- ・Nitani(1972):深層水(5℃内外)・上部低層水(1℃程度)・下部低層水(0.5℃以下)
→ 水温による分類
- ・Sudo (1986):上部固有水(水深1,000m以浅)・深層水(同1000m以深)
→ 水温・塩分・溶存酸素から分類
- ・Gamo and Horibe(1983):深層水(水深2,000m以浅)・低層水(水深2,000m以深)

- ①上部固有水は冬季に、40～43° N, 136° E以西のシベリア沖海域で、海面冷却による対流によって形成される。その形成量は水塊形成時の大気の状態に依存しており、寒冷な冬には大量に形成される(千手, 1992)。
- ②新しく形成された上部固有水はそれと同じ密度の深度まで沈降し、大陸に沿うように南下し、その大部分は大和堆西側海域に輸送されていると推測される。
- ③大和堆西側海域に移動した水塊は、大和堆によって大和海盆に直接流入することを妨げられるため、大和堆の北の縁を迂回するか、南側の隠岐海脚を乗り越えるような形で大和海盆へ流入する。この過程は非常にゆっくりしたものか、もしくは間欠的なものである可能性が強い。
- ④水塊形成域付近と大和海盆での溶存酸素量の変動から、この流動に要する時間として12～21か月が得られている(千手, 1992)。

5. 国内における海洋深層水の利活用

①利活用の現状

海洋深層水を資源として捕らえた利用研究は、1960年代後半にアメリカで提案され、1970年代に水産分野で有効性が立証された。その後、海洋温度差発電(OTEC)として発展していった。一方、我が国では1970年代後半から利用研究に着手され、1980年代後半に水産分野での有効性の実証、1990年代に入り、多分野での有効性が実証され、現在に至っている。

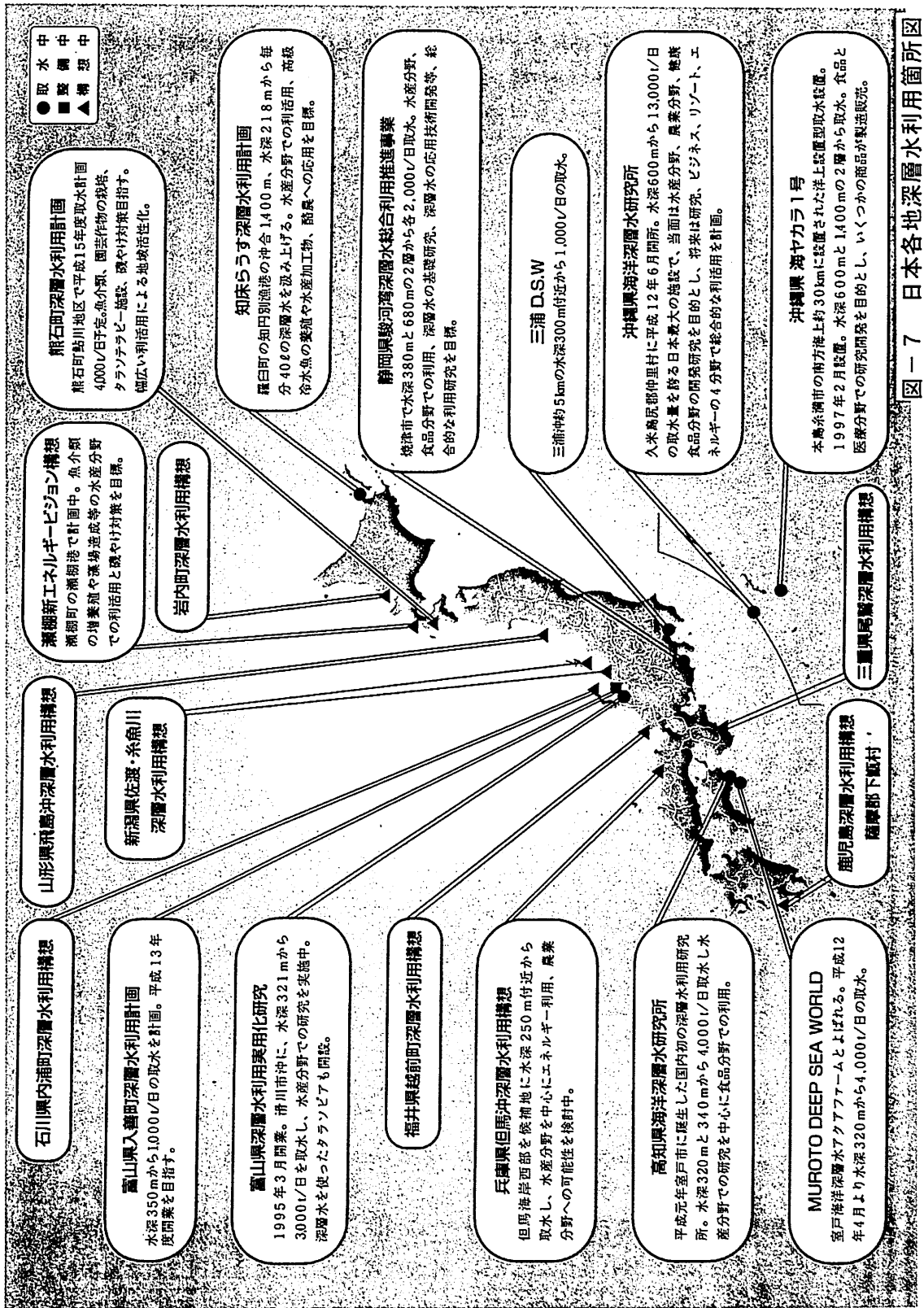
現在、海洋深層水を利活用できる研究開発施設は、日本国内に高知県室戸市、富山県滑川市・入善町、沖縄県久米島、静岡県焼津市、北海道羅臼町、神奈川県油壺の7箇所であり、水産分野での研究、食品分野における商品開発に成果を挙げている。また、地域の活性化を主眼において北海道、山形県、石川県、福井県、三重県、兵庫県、鹿児島県等、全国各地で深層水利活用構想が進行中である(図-7参照)。

② 海洋深層水の利活用分野

海洋深層水はそれが有する資源性から、様々な利活用が考えられている。このうち、現在、最も利活用が進んでいる分野は、食品と水産分野である。

海洋深層水の利活用分野と利用する資源的特性

- ① 水産分野：清浄性、富栄養性、低温安定性
 種苗生産、養殖・蓄養、海藻の生産、鮮度保持等
 例) クルマエビの養殖(沖縄)、ヒラメの養殖(高知)、サクラマスの養殖(富山)、エゾアワビの養殖(熊石)、ロブスターの蓄養(ハワイ)、etc
- ② 食品分野：清浄性、低温安定性、ミネラル特性、熟成性
 酒、ビール、焼酎、清涼飲料水(ミネラルウォーター、ジュース)、醤油、味噌、豆腐、菓子、塩、パン、麺類、蒲鉾、干物、御飯、お茶、etc



図一 7 日本各地深層水利用箇所図

- ③ 農業分野：清浄性，富栄養性，低温安定性，ミネラル特性
例) イチゴの栽培(ハワイ)，トマト栽培，カイワレ大根の栽培，etc
- ④ 健康・医療・美容分野：清浄性，低温安定性，ミネラル特性，熟成性
例) タラソテラピー(滑川)，化粧品・シャンプー(シューウエムラ，カネウ，コーセ)，
ウエットティッシュ，入浴剤，アトピー治療，床ずれ治療，etc
- ⑤ エネルギー・資源分野：清浄性，低温安定性
例) OTEC，冷房用冷却水利用，淡水生産，etc
- ⑥ 環境保全分野：清浄性，富栄養性，低温安定性
例) 磯やけ対策，二酸化炭素の固定化，etc

また，海洋深層水は，1) 海洋深層水という一つの物質が複数の多くの資源性を持つこと，2) それぞれの資源の密度が低い，といった特徴があり，さらに海洋深層水を汲み上げるにはかなりのコストがかかるという短所がある。このため，海洋深層水の利活用では，持っている資源性を次々と総合的に利用していく方法を考えており，これを多段利用あるいはカスケード利用と呼んでいる。その一例を，図-8に示す。

多段利用の概念図

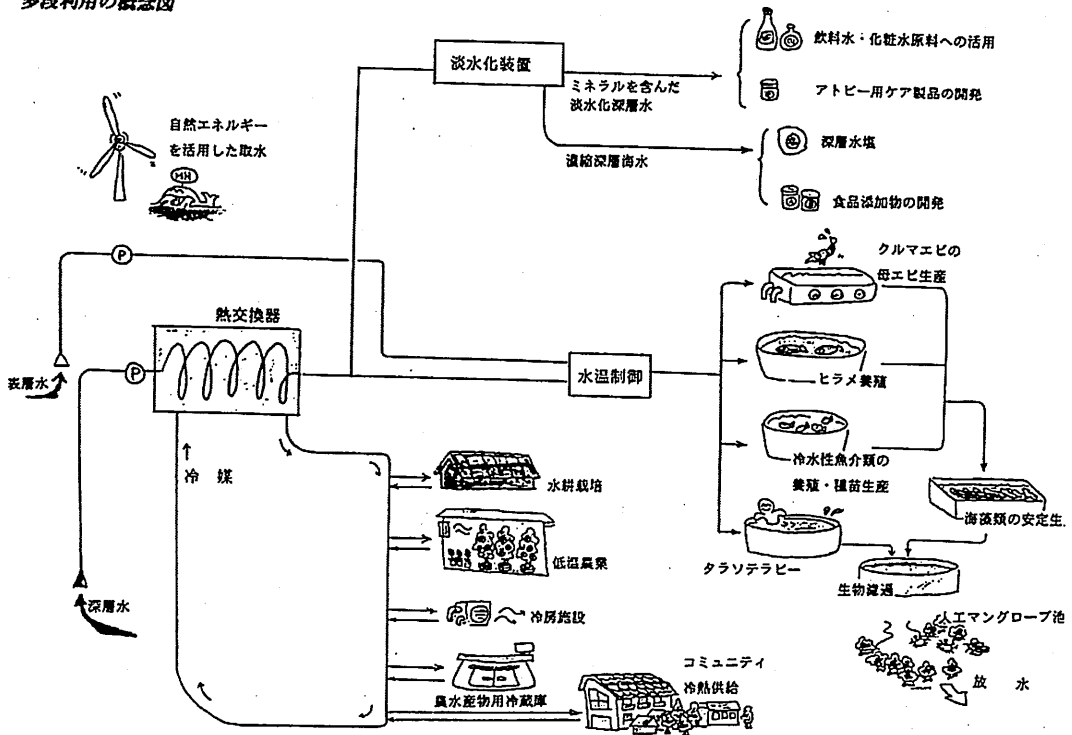
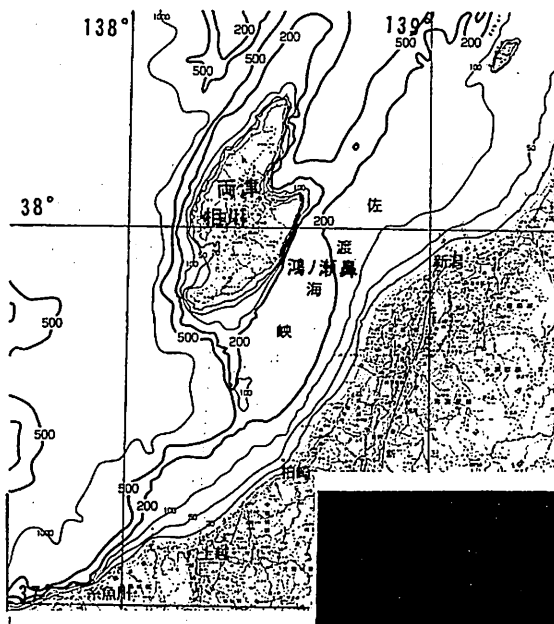


図-8 深層水の多段利用例

6. 新潟県における海洋深層水の開発

本県において取水適地といわれる箇所は，佐渡の周辺海域と糸魚川周辺の2箇所，このうち，佐渡では前浜地区にあたる畑野町松ヶ崎から多田地区で取水計画が進行中である。



<佐渡海峡>

佐渡島の沢崎鼻と対岸の米山崎を
結ぶ線並びに佐渡島の姫崎と信濃川
河口左岸を結んだ線で囲まれる海域。
最深部は佐渡海盆の中の537mで
ある。角田岬と鴻ノ瀬鼻間が最短距離
で約32kmある。



図-9 佐渡と佐渡海峡図(縮小版)

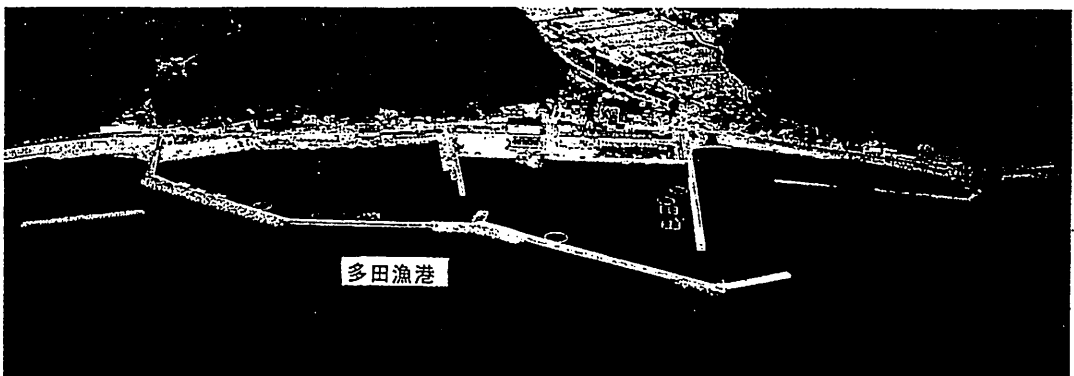


写真-1 佐渡松ヶ崎海岸(上・写真右端は鴻ノ瀬鼻)と多田漁港(下)の全景写真

◎佐渡海峡の海水の水温・塩分特性

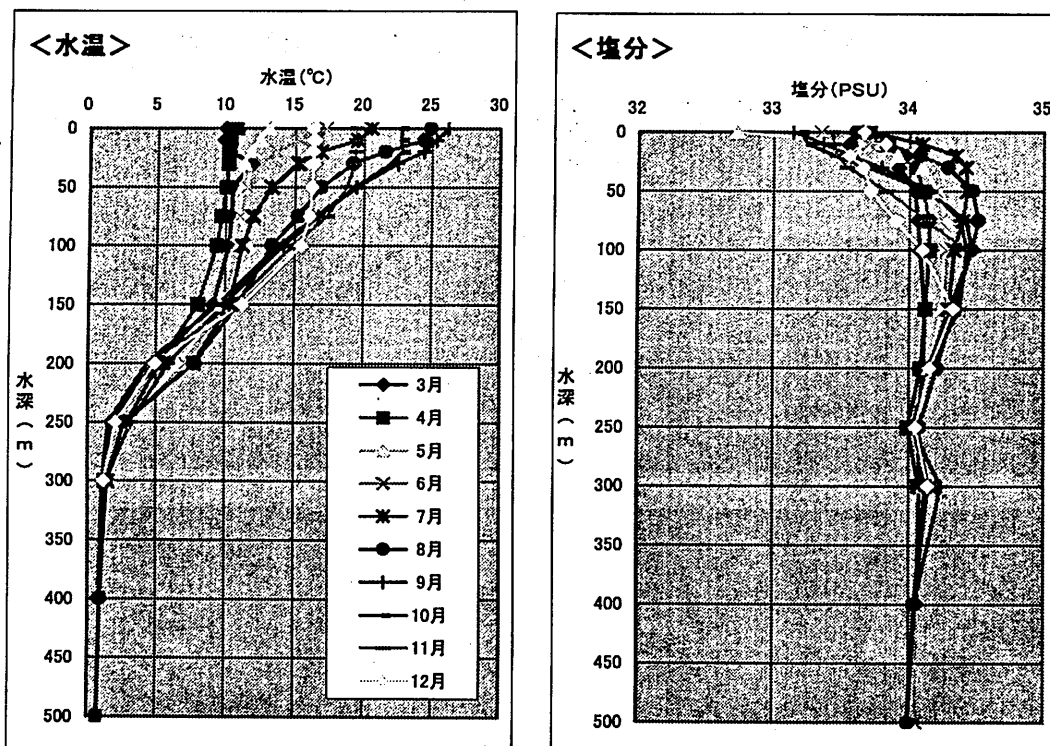
佐渡海峡(東経138°31', 北緯37°48')の水温・塩分垂直分布状況の観測結果を、図-10に示す(観測は新潟県水産試験場越路丸による定点観測資料)。

- ①水温は概ね水深150m付近までは月ごとに変化しており、季節的な変動が大きい。表層海水の水温が最も低くなる月は3月～4月で約10°C、最も高くなるのは8～9月で25～28°Cである。

②水深150mから300m付近までは、年間を通して水温はほぼ一定勾配で低下する傾向があり、季節的な温度変化は小さい。水深300m以深の水温は1°C以下ではほぼ一定している。水深300m付近までは水温躍層に相当する。

③塩分濃度は水深150mから上で季節的な変化が大きく、また、その変動パターンに年毎に違いはあるが、概ね32~34%の間である。水深150m以深では、表層ほどの変化はなく、34%前後の値を示す。さらに、水深300mを越えると、塩分濃度には季節的な変化や年による変化はほとんどなく、安定している。

過去10年間(S63~H9) 月別、水深別 平均



※ 赤泊沖南東約7マイル St(N37° 48'、E138° 31'、水深538m)
 ※ 水深400m、500mの値はH9年度の値

図-10 1988~1998年間の佐渡海盆の水温と塩分濃度の月別平均値

参考文献・資料

- ・高橋正征(監修), 吉田秀樹(2000.8): よくわかる海洋深層水, (株)コスモトゥーワン
- ・新潟県水産海洋研究所: 漁況海況予報事業結果報告書, 1990~1999年度
- ・月刊海洋 (2000.8): 総特集 海洋深層水—取水とその資源利用—, 号外 No.22
- ・月刊海洋(1994.12): 日本海—水と物質の循環—, Vol.26, No.12, 海洋出版(株)
- ・中島敏光(2000.1~12): 21世紀の資源/海洋深層水を利用する, 養殖
- ・海洋深層水利用研究会(1997~2000): 海洋深層水全国大会 講演要旨集