

港湾・沿岸域における海洋深層水の活用に関する研究

Study on Utilization of Deep Seawater in Port and Coastal Zone

尾島啓介*・鶴谷広一**

OJIMA, Keisuke and TSURUYA, Hiroichi

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** 東海大学 海洋研究所 教授 (前 (財) 沿岸開発技術研究センター 理事)

The deep seawater has properties such as coldness, cleanness and eutrophy. By means of these properties, it attracts attention as recyclable resources. In recent, its utilization in the field of fishery, the energy, the environment and the industry creation, has been studied. In some of these fields, it is put to practical use. Considering whole concept of port and coastal zone in future, the deep seawater seems to be very important as a precious resource in Japan. Therefore it is necessary to conduct multidisciplinary and technological studies of utilization of the deep seawater.

In this paper, we investigate possibility of the water quality improvement by using the deep seawater as the case-study at the ORITO bay.

Key words : deep seawater, water quality improvement, eutrophy

1. はじめに

海洋深層水は、低温安定性、清浄性、富栄養性などの特性があり、現在、再生・循環型資源として注目され、水産、エネルギー、環境、産業創出等の様々な分野での利用可能性が研究され、一部分野では実用化している状況である。

一方、今後の港湾や沿岸域のあり方を考えるに当たっては、わが国の貴重な資源である海洋深層水の活用は重要な要素であり、その活用の方向について多面的な検討が必要である。このため、港湾・沿岸域における海洋深層水の活用について多面的技術的な検討を行うものである。

2. 海洋深層水の活用の現状と課題

海洋深層水については、すでに実用化、商品化されるなど深層水の持つ「富栄養性」「清浄性」「低温性」といった3つの大きな特徴を活かして、全国で利用、研究計画が検討され、国によるエネルギー開発や総合研究、事業化を目指し自治体、企業による地域の活性化の起爆剤として活発な活動が行われている。

平成元年に誕生した高知県海洋深層水利用研究所を初めとして、事業化着手、取水開始した施設は、国内で13を数え、水深200m～1400mの深層水を取水している。

2.1 海洋深層水の活用の現状

海洋深層水の活用は、現在のところ、飲料、食料添加、化粧品、海洋医療入浴剤が実用化、商品化されており、漁場回復、養殖、水産加工、医療分野、藻場造成への適用が研究段階となっている。

最近では大学での研究も活発に行われ、藻類、プランクトンなど海域の生物へ与える効果、深層水の特徴である「熟成性」や「ミネラル」が食品や人の健康へ与える影響についてなど研究が進められており、各分野に対する深層水の効果が明らかになってきている。

また、関連施設については、総合研究所の他、供給ターミナル、健康医療施設、物産館、養殖施設が建設されており、ホテルや淡水化プラントなども計画されている。

このように、海洋深層水は様々な利活用分野に幅を広げており、今後は、

- ・分水を受けるかたちで民間企業による商品製造、研究などの事業所の増加
- ・水産研究の進展による養殖施設の増加
- ・企業の共同体による独自の事業展開の可能性
- ・多段利用による深層水取水量の増加

といった、全国にある取水適地において事業化に向けた研究、それに伴う活用法の多様化がさらに進んでいくものと考えられる。

2.2 海洋深層水の課題

新たな資源として、多くの期待が集まる海洋深層水であるが、以下の課題が挙げられる。

まず、深層水は、地域によって成分、性質が異なっており、利用にあたっては各種の研究、試験及び調査結果をもとに取水地ごとに検証を行う必要がある。また、深層水自体の性質についても未解明な部分が多く、科学的な効果についての研究が必要であると考えられている。

次に、環境への影響として、一見無限の資源であるかのような深層水も世界的に利用が進めばかなりの取水量となり、深層水の再生循環への影響が考えられ、大気中

に放出される CO2 収支の影響や深層水を放流する際の海域環境へ与える影響についても考慮する必要がある。

特に、海域環境へ与える影響については、現在、室内試験、養殖試験等により、プランクトンや主要生物の生長について研究が行われているものの、それぞれの海域個々に有する生態系全体へ与える影響については、深層水によってどのように変化するか具体的には解明されていない状況にある。

今後、これらの深層水の特性や環境へ与える影響が解明されるものと考えられるが、事業実施の際には、深層水利用における経済性が大きな課題となる。

このため、取水効率や取水施設の低コスト化といった取水施設技術の向上、清浄性、有用物質をより効率的に利用するための淡水化技術の向上、さらには、取水から冷熱利用、研究用水、分水、放水まで効果的に利用しゼロエミッションを目指す多段利用を図ることが、取組むべき課題と考えられる。

3. 沿岸域における海洋深層水技術のあり方

海洋深層水の特徴である「低温性」「富栄養性」「清浄性」は様々な利用可能性を有しており、港湾・沿岸域における活用技術については下図に示すイメージが考えられる。それぞれに異なった特性を異なる領域において機能させ、総合的に利用することにより、人々の賑わいの場、または憩いの場の創出が実現できるような活用方法が考えられる。



図-1 港湾・沿岸域における深層水の活用技術イメージ

3.1 港湾・沿岸域の課題と対策

現在、港湾・沿岸域における課題は、海域環境に係る諸問題が挙げられ、それぞれの対策は以下に示すとおりと考えられる。

- ① 埋立等開発による海域環境の悪化
 - ・水・底質浄化技術の開発
- ② 富栄養化による赤潮の発生
 - ・窒素・リンの排出規制

- ・赤潮プランクトンの発生機構の解明
- ③ 藻場・干潟の減少
 - ・造成技術の開発
 - ・ミチゲーション
- ④ 環境の変化による海生生物の減少
 - ・漁場回復
 - ・養殖

これらの課題は生物の住み良い環境、人々が海に親しみ、海で憩うための環境を創造することが求められ、深層水を効果的に利用できれば、海域環境の改善策となりうるものであると考えられる。

3.2 港湾・沿岸域における海洋深層水のあり方

港湾・沿岸域においては、環境に係る問題がクローズアップされており、海洋深層水技術のあり方を考えた場合、海域浄化への利用可能性が重要なキーワードとして挙げられる。そこで、ケーススタディとして、閉鎖性海域の水質浄化について検討を行った。

海域の主な浄化工法は、導水による栄養塩の拡散または海藻による栄養塩の吸収などの水質浄化、浚渫または覆砂による底質浄化、さらには、緩傾斜護岸や浅場・干潟造成による海浜整備の3つの工法に分類できる。この中で、深層水の利用による水質浄化としては、深層水が有する特性から以下の効果があるものと考えられる。

- ・富栄養性

海域の汚濁の要因である窒素とリンについて、表1に示すとおり深層水の栄養塩濃度は、水質汚濁海域に比べ、窒素で約5分の1、リンでは約2分の1から約4分の1となっている。

→汚濁海域の栄養塩濃度を希釈する効果

表-1 深層水と汚濁海域の栄養塩濃度

	窒素(mg/l)	リン(mg/l)
海洋深層水 ¹⁾	0.20~0.36	0.037~0.056
東京湾 ²⁾	1~2	0.08~0.2

また、深層水の栄養塩は、魚介類、海藻、植物プランクトンの生長を促す効果が研究で明らかにされている。

→生態系全体の活性化による水質浄化効果

- ・清浄性

深層水は、有機物をわずかしき含まず、細菌やバクテリアも繁殖しにくい極めて清浄な水である。

→海域の有機物量を希釈することにより、CODを低下させる効果

- ・低温性

深層水は、表層水に比較して水温が低いため、海底付近に拡がる。

→底質からの栄養塩の溶出防止

このように海洋深層水は、表層水では得られない特徴を有しており、さまざまな効果が期待されるものである。しかしながら、水質浄化をテーマとした場合、次のような課題について検討する必要がある。

①生態系へ与える影響

深層水の利用により、既存の生態系に影響を与える要因となるため、現状の海域生物等を的確に把握し、影響の程度を可能な限り予測する必要がある。

②深層水の供給量

水質浄化にあたっては、目標とする水質に対して効果が得られる必要供給量を把握する必要がある。

③栄養塩濃度と水質汚濁及び赤潮発生の関係

海域の水質汚濁の原因（窒素、リン、COD等）を明らかにするとともに、赤潮の発生機構についても把握する必要がある。

4. 海洋深層水活用のケーススタディ

海洋深層水の港湾への活用のケーススタディとして、海洋深層水の低温性および清浄性に注目し、水域環境改善への展開を考え、その可能性についてケーススタディを実施した。ケーススタディの対象地点は、水質改善の必要と考えられる閉鎖性の水域であること、近くに深層水の取水が可能な海域があることを勘案し、静岡県清水港内にある折戸湾とした。

4.1 清水港折戸湾について

ケーススタディの対象地点である折戸湾は、図-2に示すように、静岡県清水港の最奥部に位置する。

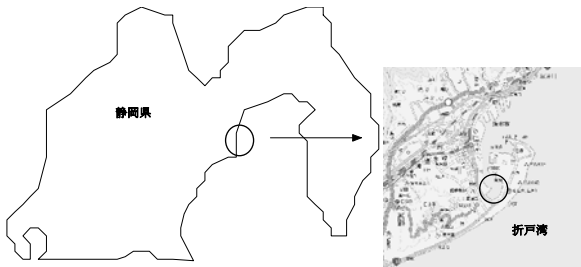


図-2 折戸湾位置図

折戸湾は、元来富士山を眺望できる景勝地であったが、戦後、長期にわたって貯木場として使用されてきたため、底泥・水質の悪化が著しい。しかし、この貯木場は木材の消費減少に伴うアジア諸国からの輸入量が減少し、現在では利用率が小さく、程なく廃止される予定である。

今後、当地の美しい沿岸環境を取り戻そうという声が周辺住民から上がっている。対象海域東岸の三保地区の背後には海洋深層水の取水適地である駿河湾が控えており、湾内の水質浄化にこれを用いることの可能性の検討は、海洋深層水の多目的利用を地域振興の起爆剤として

期待する上でも重要である。

4.2 現状における折戸湾の水質

当該海域は、閉鎖性が強いことに加えて長期にわたり貯木場として使用され、2つの小規模河川も流入しているため水質および底質の悪化が進んでいる。平成6年8月に図-3に示す測点において静岡県清水港管理局によって実施された調査結果³⁾によれば、図-4のように湾内

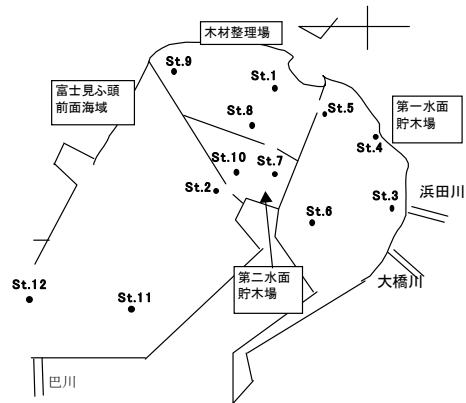


図-3 環境調査測点位置図

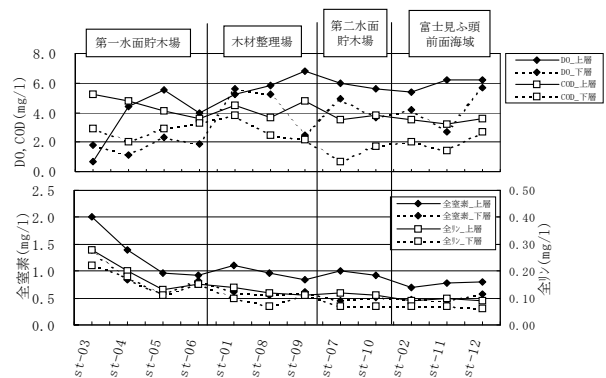


図-4 湾内水の水質調査結果³⁾

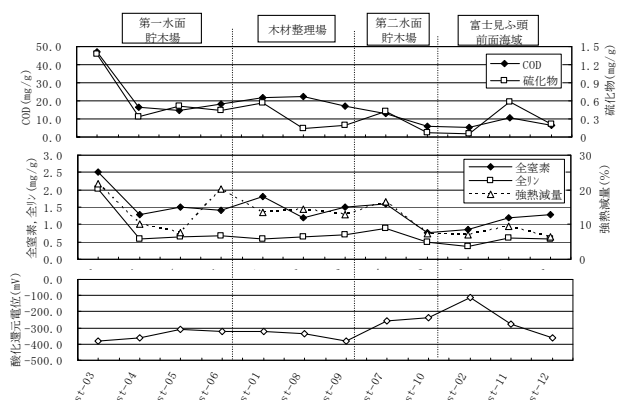
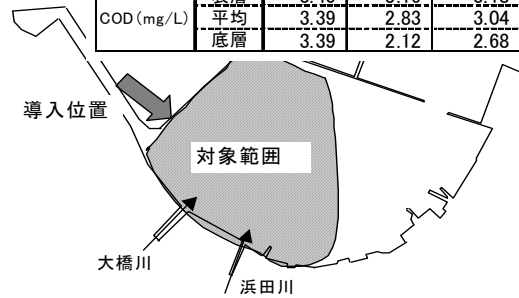


図-5 底質の調査結果³⁾

水の水質CODは湾内全域で3.0(mg/l)以上、最も湾奥の河川流入地点近傍では5.0(mg/l)以上となっている。全窒素については0.7~2.0(mg/l)、全リンで0.1~0.3(mg/l)と高い

表-2 水質改善効果試算結果

DO(mg/L)	表層	現況	深層水	表層水
		平均	3.26	5.56
COD(mg/L)	平均	2.77	4.80	3.49
	底層	1.20	3.62	2.21
	表層	3.40	3.16	3.18
	平均	3.39	2.83	3.04
	底層	3.39	2.12	2.68



値を示しており、富栄養化が進んでいることがわかる。いずれも河川流入地点に近いほど濃度が高く、底層よりも表層のほうで悪化が進んでいることから、水質に関しては流入河川からの負荷が大きな影響を及ぼしていることがわかる。図-5は湾内底質に対する調査結果であるが、湾奥、河川流入地点に近いほどCOD、硫化物、全窒素、全リン、強熱減量が高く、酸化還元電位は低くなっており、やはり流入河川の影響の大きさと富栄養化の深刻さを示すものとなっている。

また、水質諸量の日周変化特性、特に深夜および明け方におけるDOの低下状況を把握する目的で、平成13年9月に一昼夜の予備観測を実施した。岸から直読式の多項目水質計を懸垂し、4時間毎に代表地点の水質鉛直分布を測定した。湾奥部の測点では、ほとんどの時間帯で底層部のDOが2.0(mg/l)以下、低いときには1.0(mg/l)以下となる時間もあり、底泥による酸素消費がかなり大きいことが推測された。観測中には、海底からの気泡の発生を目撃することもあった。

一方、クロロフィルa濃度は30(μg/l)を超えることもあり、1次生産も活発に行われていることがわかった。

4.3 深層水導入による効果の試算

折戸湾に海洋深層水を導入した場合の水質改善効果の試算には、水理・水質一体の水質予測モデルを用いた。静水圧近似の3次元密度流モデル(レベルモデル)によって流動場を計算しつつ、DO、動・植物プランクトン濃度、有機物濃度および栄養塩濃度を従属変数とする低次生態系モデルにより水質変化を計算するものである。低次生態系モデルは佐々木⁴⁾のモデルに準拠した。

夏場の代表的な晴天日の気象データを繰り返し与える条件下で、現況再現計算および海洋深層水や表層外洋水を湾内に導入した場合の水質改善効果の試算を行った。

流入河川の流量および有機汚濁等の負荷量については、清水市による定期観測に基づいて設定した平均的な負荷量を与え続けた。

計算領域の沖側端、清水港中央部では全ての従属変数を一定値に固定する境界条件を与え、潮汐は周期12時間、片振幅50cm(中潮程度)の正弦波を連続して入力した。計算は水平格子間隔100mとし、鉛直層数5層として、20日間にわたって行ったが、10日程度で一定パターンの日周変動を示すようになった。

植物プランクトンの光合成速度、有機物の分解速度、底泥の酸素消費速度、栄養塩溶出速度などについては、既往の調査結果³⁾を参照しつつ、現況再現性が得られるように適宜調整した。

表-2は、湾奥部のエリアを対象に、CODとDOの平均値(日周変動パターンが一定になった後の日平均値)を比較したものである。①現状、②海洋深層水100,000(m³/日)導入、③表層外洋水100,000(m³/日)導入の3ケース

を比較すると、海洋深層水による水質改善効果が表層外洋水によるものと比べて大きいことがわかる。海洋深層水は、水中有機物を希釈する効果に加えて、水温が低下することによる内部生産および酸素消費の抑制、底泥の活性の抑制、さらに密度流効果による海水拡散の促進といった効果があることがわかった。

5. 今後の課題

海洋深層水の利活用の一環として、深層水による海域の浄化について、折戸湾をモデルにケーススタディを実施した。その結果、海洋深層水による水質改善の可能性があることがわかった。

本研究では、種々の仮定の下での水質の解析結果であり、数値解析における各パラメーターの影響度も含め、多くの課題が残されている。それらは、①深層水供給量、②改善目標としての水質の設定法、③費用対効果、④深層水の多段利用における海域浄化の位置づけなどである。今後、底質の改善、藻場・干潟などとの併用による海域改善手法なども含めて総合的な海域環境改善メニューの一つとしての検討を行う必要がある。また、水質と水温の変化による生態系への影響の検討も必要である。

本論文に示した内容は、標題と同名の沿岸開発技術研究センターの自主研究会〔委員長；高橋正征(東京大学教授)〕の成果を抜粋したものである。ここに記して関係者の方々に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人日本海洋開発産業協会：未利用海洋深層水利用システムに関する調査研究, 139 p., 1997. 3.
- 2) 総量規制専門委員会：第5次水質総量規制の在り方について, 1999. 11.
- 3) 静岡県清水港管理局：, 平成6年度港内水質浄化対策調査業務委託報告書, 137 p., 1995. 3.
- 4) 佐々木淳・佐貫宏・磯部雅彦：東京湾における富栄養現象の再現計算, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1036-1040, 1998.