

海洋深層水の活用による内湾環境改善に関する検討

Utilization of Deep Seawater for Improving Water Quality And Environment in Enclosed Bay

増山琢也*・小沢大造**

MASUYAMA Takuya and KOZAWA Daizo

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 理事

Deep seawater has three main properties such as “pure”, “cold”, and “nutrient rich”. In this paper, the possibility to improve water quality and environment in an enclosed bay are investigated with numerical analysis. It is revealed that deep seawater is more effective for improving water quality in an enclosed bay than the surface seawater owing to the “pure” and “cold” advantages.

Key Words : deep seawater, pure, cold, nutrient rich, water quality

1. はじめに

海洋深層水とは、補償深度（光合成が行える限界の深度：およそ水深200m）以深の海水を指し、「清浄性」、「低温性」、「富栄養性」の三大特性を有しており、飲料水、化粧品等への利用により、一般にも良く知られている。国内における海洋深層水の研究は、1986年の旧科学技術庁による「海洋深層資源の開発に関する研究」により始められ、資源分野、エネルギー分野、水産分野等の利用が進んでいる。

本論文では、港湾・沿岸域での海洋深層水の活用方法として、閉鎖性海域の浄化を取り上げ、効果の把握およびその機構についての研究結果を述べるとともに、実施に向けての課題を述べる。

2. 海洋深層水の特徴

光が十分に届く海面付近では、植物プランクトンの光合成により窒素やリン等の無機栄養塩類から有機物が生産され、その有機物は動物プランクトンや魚等の餌となり、魚等の死骸や糞は細菌により再び無機栄養塩に変換されるという循環を繰り返している。しかし、水深が増すに従い光の量が少なくなるため植物プランクトンが生きていくことが出来なくなり、それらの捕食者である動物プランクトン、魚も生存が困難となり、上部から有機物（死骸や糞等）が沈降するのみとなる。それらの有機物も沈降の過程で細菌により分解されるため、海洋深層水はほとんど有機物が無く、無機栄養塩に富んだ水となる。また、光の影響を受けないことから、低温のままほとんど変化がない。これらにより「清浄性」、「低温性」、「富栄養性」という海洋深層水の三大特性が成り立っている。さらには、海洋深層水にはミネラルが豊富であるという「ミネラル特性」や「熟成性」も有している。

海洋深層水の活用は、これらの特性を活かしたもので

あり、水産分野では「富栄養性」「清浄性」を活かした養殖、エネルギー分野では「低温性」を活かした温度差発電・冷房、資源分野では「ミネラル特性」、「熟成性」を活かした食品として活用されている。

本研究では、海洋深層水の持つ「清浄性」、「低温性」に着目し、港湾・沿岸域での活用方法として、富栄養化が進んだ閉鎖性海域に海洋深層水を放流し、清浄な水による希釈効果に加え、低温性により内部生産を抑制し、酸素消費および栄養塩溶出を抑制することによる海域浄化を取り上げ、その可能性について、数値シミュレーションによる水質改善予測により把握した。

3. 水質改善予測

3.1 モデルサイト

水質改善予測を行うにあたり、検討を行うモデルサイトとして清水港折戸湾を選定した（図-1）。

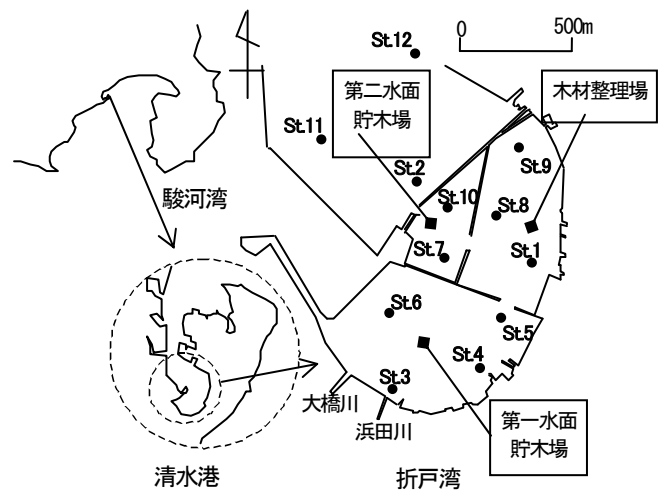


図-1 清水港折戸湾

折戸湾では、江戸時代には海苔・牡蠣の養殖が盛んであったが、明治以降、貿易港、工業港としての重要性が

増すとともに、貯木場として利用されたため、水質・底質の悪化が生じている。しかし、近年では、木材は現地でカットされ製品として輸入される等貯木場としての機能が低下する一方、かつての白砂青松より望む富士山の風景の復活を望む地元の要望も高く、かつ三保半島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、海洋深層水を用いた海域浄化の検討対象としては、最適な場所である。

3.2 折戸湾の現況

折戸湾は、長期にわたる貯木場としての使用に加え、大橋川・浜田川から流入する負荷により水質および底質の悪化が進んでいる。平成6年8月に行った旧清水市港湾局の調査結果を図-2に示す。^{1),2)}

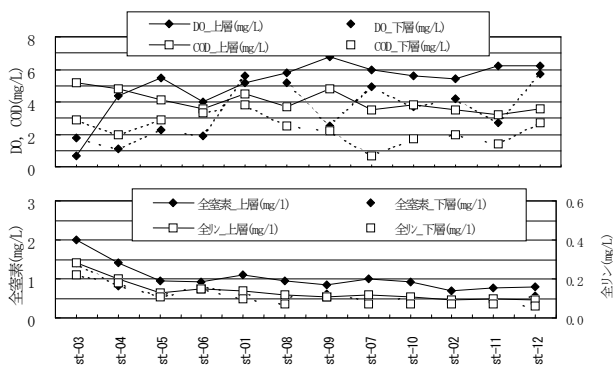


図-2 湾内の水質特性

湾奥部ではCOD5mg/L以上、DO2mg/L以下、全リン、全窒素も高い値を示しており、富栄養化が進んでいることが判る。特に河川流入地点に近いほど濃度が高く、底層よりも上層の方で悪化が進んでいることから、水質に関しては河川からの流入負荷が大きな影響を及ぼしていることが判る。また、底泥についても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、流入河川の影響の大きさと富栄養化の深刻さが現れている。

3.3 水質予測モデルと検討条件

海洋深層水による水質改善効果の試算には佐々木³⁾らが提唱した水理・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、デトリタス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。佐々木らは流動場の計算にσ座標系のモデルを用いているが、本研究ではレベルモデルを用いた。

検討にあたり、海洋深層水の外、外海表層水を放流した場合、覆砂を行った場合、河川からの流入負荷を0とした場合についても検討を行い、海洋深層水による効果を従来工法と比較することで評価することとした。

検討条件として、海洋深層水は水深300mを、外海表層水は水深20mを想定し、それぞれ水温、無機塩類濃度、プランクトン濃度等を設定した。

流入河川の流量および有機汚濁などの負荷量については、旧清水市による定期観測に基づいて設定した。

生態系モデルの諸係数は基本的には佐々木らのものと同じ値を用いたが、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¹⁾などを参照し、現況との整合が得られるように適宜調整した。

数値計算領域は図-3に示す範囲であり、水平方向は100m格子、鉛直層厚は0.5m/層とした。海洋深層水および外海表層水は最下層から、河川水は表層から流入させることとした。

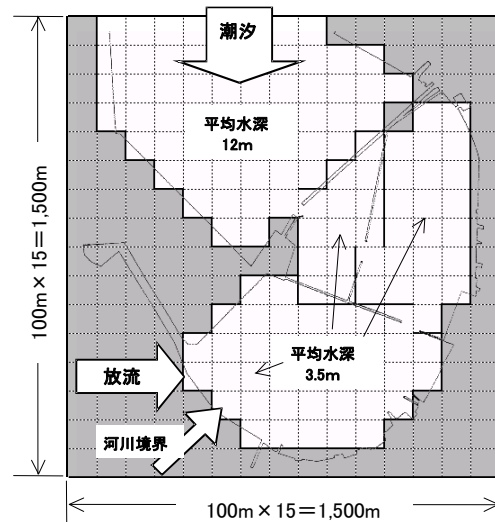


図-3 計算領域

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。気象条件は、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行った結果、20日間までには全ての検討ケースで一定パターンに落ち着いた。

3.4 予測結果

水質悪化が最も進んでいる湾内最奥部の第一水面貯木場区間について水温、DOおよびCODの予測結果を放流量に対して整理したものが図-4である。覆砂は、湾内の底泥による酸素消費および栄養塩の溶出を0、河川負荷0は、河川流入水の非生命体有機物濃度を0とした解析結果を示した。

水温に着目すると、底層の温度下降が際立っており、期待どおり、海洋深層水に放流により海底の温度が低下していることが判る。

DOに注目すると、覆砂のケースによる改善効果が最も大きいのがこれに次いで海洋深層水放流のケースが良好

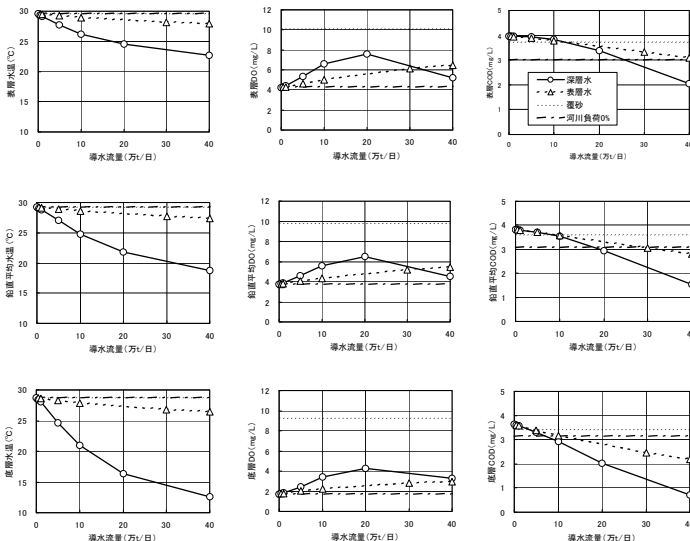


図-4 海洋深層水、外海表層水の直接放流による湾内水質の変化

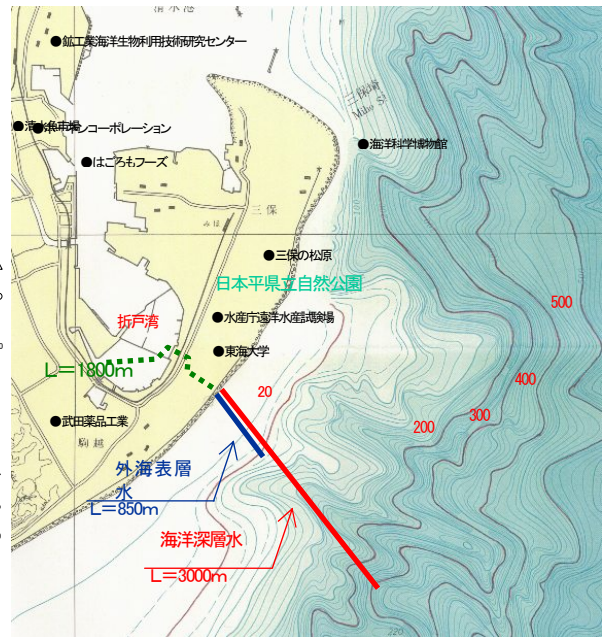


図-5 取水ルート

な結果となっている。現地調査結果からも判るように底層の貧酸素化は底泥が主たる原因であり、覆砂のケースはこの影響を0としたことで、また、海洋深層水のケースは海底の水温を低下させたことで貧酸素化抑制効果を示した。

CODに注目すると、海洋深層水は同じ量の外海表層水に対して2倍程度のCOD低減量を示していることがわかる。これは、有機汚濁の希釈に加えて水温低下による一次生産の抑止、海底温低下による底泥からの栄養塩溶出の低減という効果によるものと考えられる。

放流量は、例えば湾内のCOD平均値を環境基準におけるC類型とB類型の閾値である3mg/L以下に低減（河川負荷量を0とすることにほぼ等しい）するのに必要な流量で見ると、海洋深層水で20万m³/日、外海表層水で40万m³/日であり、食品、水産等他分野での使用量に比べ非常に大量な水が必要であることが判明した。

低温の海洋深層水は、第一貯木場→木材整理場→第二水面貯木場→堤防外へ流れるにつれ、湾内水との混合により水温が上昇するものの、周辺環境への影響および生態系への影響の評価は今後の課題である。

3.5 コスト試算

海洋深層水および外海表層水の直接放流によって水質改善を行う場合のコスト試算を行った。

湾内のCODを3.0mg/L以下に低下させるための必要流量、すなわち海洋深層水に対しては20万m³/日、外海表層水については40万m³/日の流量を対象とした。

取水ルートを図-5に示す。海洋深層水では、直径1.2mの大口径管で三保半島を埋設で横断することを想定した。海中部は水深50m以深を露出管、それ以浅を埋設管と想定した。管の材質は陸域埋設部はヒューム管、それ以外は高密度ポリエチレン管とした。外海表層水の取水管は、直径は1.8mで材質は海洋深層水と同様である。

初期投資額は、海洋深層水が74億円、外海表層水が67億円であるが、ランニングコスト（ポンプ運転、維持管理費等）は、海洋深層水で3.3億円/年、外海表層水で6.3億円/年となり、さらに外海表層水では取水管に付着する貝ガラの撤去・処分費を考慮する必要があり、1.7億円/年のコストが更に必要となる。試算として、例えば10年間で比較した場合、海洋深層水は約107億円、外海表層水は147億円となり、海洋深層水が非常に有利な結果となるが、絶対額としては高値であり、費用対効果の面で課題が残った。

4. 小規模取水、多段利用の検討

多種の特性を有する海洋深層水を海域浄化だけのために大量に放流すること及び費用対効果の面から、大量放流による浄化法に対して、一般の理解を得ることは非常に困難であると思われる。そこで、低コストで、多種の特性を有効活用する方策として、少量で海域浄化する方策について検討を行った。また、大量取水する場合には、取水した海洋深層水を種々の分野で段階的に利用する多段利用についても検討を行った。

4.1 小規模取水

折戸湾では、河川からの流入負荷の影響が大きいため、それを低減しつつ、少量の海洋深層水で海域浄化するために、①河川からの流入負荷はリビングフィルターで軽減し②少量の海洋深層水を湾奥部に放流し、周囲に藻場を形成し、これらによる栄養塩の吸収、水中での一次生産の抑制によって徐々に水質を改善する複合利用について検討した。（図-6）

藻場形成に必要な条件は、基質、地形、流速、濁り（照度）、水温、塩分、栄養塩濃度、CODなど多くの項目に

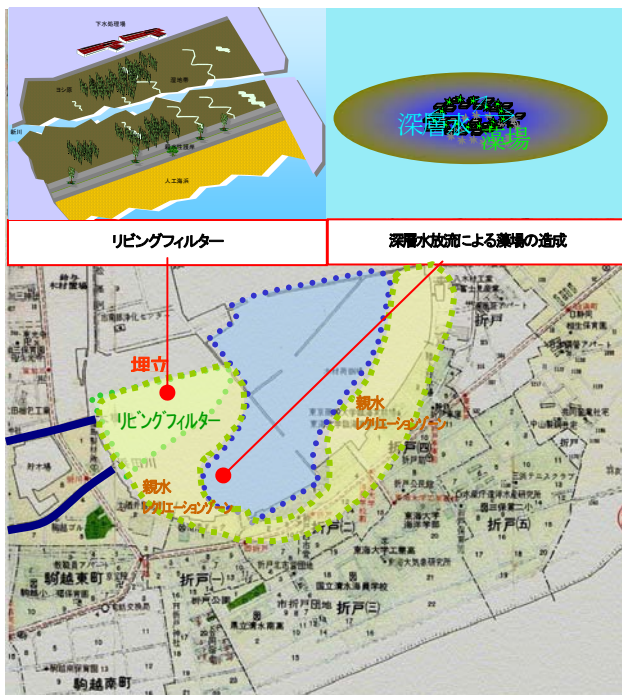


図-6 複合利用案

わたり、これを厳密に評価して藻場生息域の形成状況を判断することは困難を極めるため、今回の検討では、海洋深層水を海底放流した場合のCODと水温の変化を数値モデルで評価することにより、藻場の生息に適した環境が形成される可能性を評価した。^{4)~6)}

検討を行った海藻草類の代表種として、アカモク、ワカメ、アラメ、カジメを選定し、それぞれの生息環境として、以下を設定した。

- アカモク：COD上限値 3.7mg/L, 水温上限値 28℃
- ワカメ：COD上限値 3.7mg/L, 水温上限値 22℃
- アラメ：COD上限値 2.7mg/L, 水温上限値 18℃
- カジメ：COD上限値 2.2mg/L, 水温上限値 8℃

1辺が開境界、他の3辺が閉境界となった250m×250mの正方形領域中央部の海底部で四方に海洋深層水を放流した場合の解析結果を行い、CODと水温の分布状況を把握した。

その結果、放流量5000m³/日によりアカモク、ワカメの生息環境をクリアできる面積が数ha形成可能であることが把握できた。ただし、海洋深層水には藻や魚介類に対する成長性や藻場の復活等の効果があるとされており、低温性以外の特性による藻場の成長も期待できる。これらの効果を把握するには、小規模の現場実験を行い、それらを解明していく必要がある。

4.2 多段利用

今回検討を行ったように海洋深層水を海水交換的に大量に取水する場合、費用に対する効果が明瞭に把握できないため、事業化に対する世の中の理解を得ることは非常に困難と推測される。投資に対する明確な効果を得る

には、大量取水した海洋深層水を少量で収益性の高い食品・水産分野等へ配水する、あるいは発電の冷却水として一次利用した後、浄化に活用する等が考えられる。

清水港は、①折戸湾の浄化、②港湾域でのエネルギー利用、③低温倉庫等の漁業利用、④三保を中心とした観光利用、⑤東海大学等での研究利用に加え、⑥近隣地区での農業利用も可能である。

今後、地元の意向をヒアリングしながら、海洋深層水による地域活性と海域浄化の方向性を検討していく必要がある。

5. おわりに

海洋深層水の「低温性」、「清浄性」の特性を活かし、有機汚濁の希釈効果と水温低下による一次生産の抑止及び底泥からの栄養塩溶出低減により閉鎖海域の浄化が可能であることが把握できた。しかし、明確な水質改善効果を得るためには10万m³/日オーダーの量が必要であり、コスト等の面で実現へのハードルは高い。

今後は、多段利用、複合案による小規模取水での検討が必要であり、そのためには、小規模の現場実験により低温性以外の効果の把握や環境への影響を明確にしておく必要がある。さらに、これらの検討には、机上検討に比べ費用も高いため、自主研究レベルではなく国・地方自治体および関係機関による取組が不可欠であり、それを後押しする地元の海洋深層水を活用した海域浄化、地域振興に対する熱意を盛り上げていく必要がある。

謝辞：2年間にわたる自主研究の成果を本論文にまとめた。委員長である高橋正征東京大学教授をはじめ、各委員の方々より貴重なご意見・ご指導を頂いた。また、解析の実施においては五洋建設(株)のご協力を頂いた。ここに記して、心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 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, 1995.
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター:平成13年度港湾・沿岸域における海洋深層水の活用に関する自主研究報告書, 2001.
- 3) 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.
- 4) (財)港湾空間高度化センター:港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル, 1998.
- 5) (社)日本水産資源保護協会:水生生物生態資料, 1981.
- 6) 栗原康 編著:河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 1988.