

閉鎖性海域の水質浄化への海洋深層水の 利用について

STUDY ON APPLICATION OF DEEP SEAWATER FOR POSSIBLE OF
SEAWATER QUALITY IN AN ENCLOSED HARBOR AREA

鶴谷広一¹・小沢大造²・増山琢也²・高橋正征³・金山 進⁴・関本恒浩⁴
Hiroichi TSURUYA, Daizou KOZAWA, Takuya MASUYAMA, Masayuki Mac TAKAHASHI,
Susumu KANAYAMA and Tsunehiro SEKIMOTO

¹フェロー 工博 東海大学海洋研究所 (〒424-8610 静岡県清水市折戸3-20-1)

²正会員 (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 (〒102-0092 東京都千代田区3-16 住友半蔵門ビル6F)

³正会員 理博 東京大学大学院 総合文化研究科 (〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

⁴正会員 工博 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

As a study of deep seawater utilization, application for possible improvement of seawater quality in an enclosed harbor area was examined by a numerical analysis. The effect of direct discharge of deep seawater is compared with that of surface water discharge. Although deep seawater turned out to be more effective than the surface water, rather large discharge at least 100,000m³/day was required to achieve a significant improvement of water quality. As an another possible improvement of water quality using deep seawater, nutrient absorption by seaweed community in the enclosed area was evaluated.

Key Words : deep seawater, enclosed water, seaweed community

1. はじめに

海洋深層水は、わが国の新たな再生循環型資源として多くの可能性が広がつつある。水質浄化への利用もその可能性の一つと考えられる。

海洋深層水は、栄養塩が豊富であることによる「富栄養性」、安定した低水温を維持していることによる「低温性」、有機物をわずかしか含まず、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ことによる「清浄性」という3つの特性を有する。

海洋深層水の栄養塩濃度は、一般の沿岸域海水よりは高いが、水質の悪化が問題となるような閉鎖性水域よりは低いのが一般的であり、「低温性」と「清浄性」を活かした水質浄化への利用について検討することの意義は大きい。特に「低温性」については、閉鎖性海域における内部生産を抑制する効果、低温水で海底を覆って酸素消費および栄養塩溶出を抑制する効果などが期待できる。この反面、顕著な海域水温の低下は生態系に重大な影響を与える可能性があるため、水質改善に伴う水温低下などの副作用がどの程度の大きさで現れるかを試算することも重要な意義を有する。

本研究は、実在の閉鎖性水域を対象に海洋深層水による水質浄化に関する試算を行い、水域の自然再

生、環境創出といった今後の港湾・沿岸域事業への海洋深層水の活用の可能性を検討したものである。

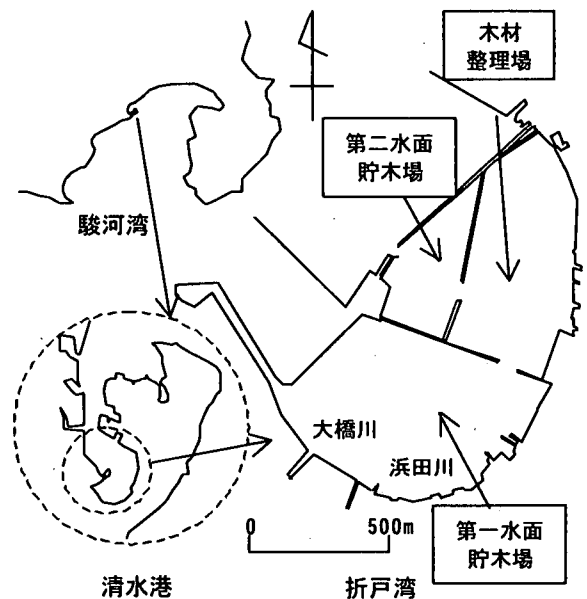


図-1 清水港折戸湾

2. モデルサイト

(1) 清水港折戸湾について

ケーススタディは静岡県折戸湾を対象とした。折戸湾は、図-1に示すように、静岡県清水港の最奥部に位置する。

折戸湾は、元来富士山を眺望できる景勝地であったが、長期にわたる貯木場としての使用に加えて、大橋川、浜田川の2つの小規模河川からの負荷のため水質および底質の悪化が生じており、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等から上がっている。

また、当海域東岸の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、この貴重資源の有効かつ多目的な利用は地域振興の観点からも重要な課題となっている。

(2) 現状における折戸湾の水質・底質特性

a) 水質・底質の空間分布

当海域は、長期にわたる貯木場としての使用に加えて、2つの小規模河川の流入のため水質および底質の悪化が進んでおり、平成6年8月の静岡県清水港管理局の調査¹⁾によれば(図-2)、図-3のように湾内水の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。

DOに注目すると河川流入地点にあたるSt.3では表層が底層よりも低い値を示しており、河川負荷の影響を強調する結果となっているが、それ以外は底層のDOが低い測点が多く、第一水面貯木場内では昼間での測定でありながら2.0(mg/L)以下となっており、底泥による酸素消費が大きいことを示唆する結果となっている。

図-4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とともに、これらの影響が海底に集積されていることを示すものである。

以上のように当地点においては河川からの有機汚濁負荷と湾内に堆積した底泥の両者が水質悪化の要因となっている。

b) 一昼夜観測結果

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6日12:00から9月7日12:00にかけて一昼夜観測を行った。岸から直読式の多項目水質計を懸垂し、4時間毎に図-5に示す測点において水温、塩分、DOおよびクロロフィルaの鉛直分布を測定した結

果を図-6に示す。

当地点では夏場には表層水温が底層よりも2(°C)以上高くなるが、この調査時には水温の鉛直勾配はほとんどみとめられなかった。調査前日に降雨があったことも影響してか表層の塩分が20(‰)以下に低下している時間もある。

湾内の測点P1およびP2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、平成6年度の調査と符合している。やはり底泥による酸素消費の大

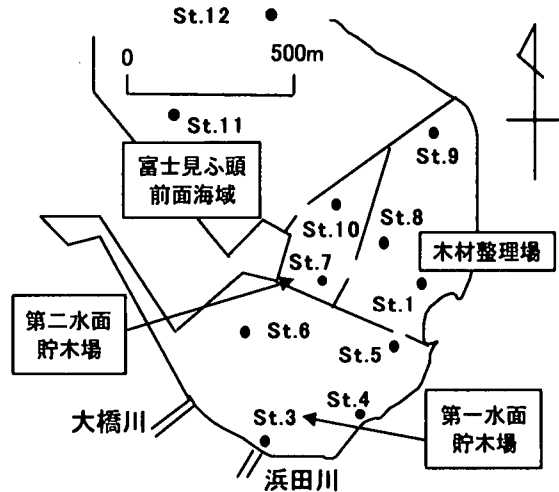


図-2 水質・底質調査測点

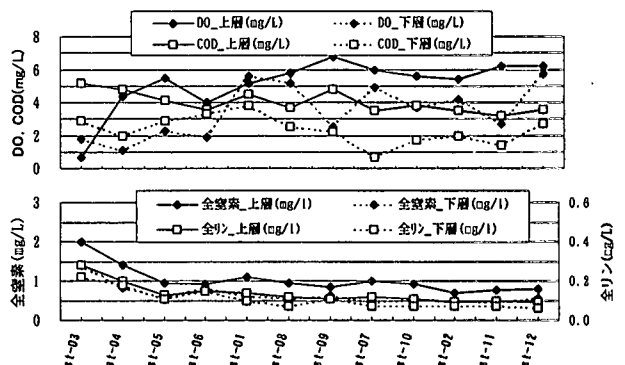


図-3 湾内の水質特性

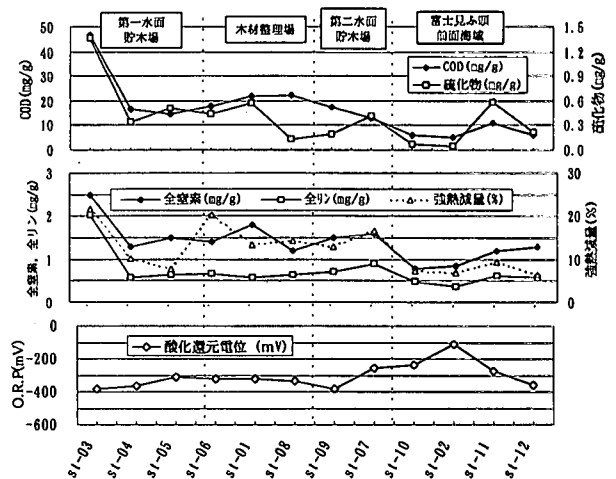


図-4 湾内の底質特性

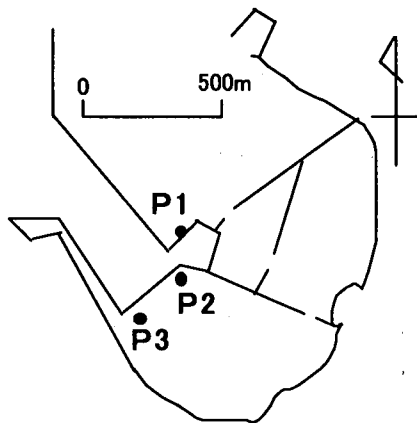


図-5 一昼夜観測測点

きいことが推測され、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。

湾内測点P1およびP2のDOを湾外測点P1のものと比較すると湾内における底泥酸素消費の大きさと内部生産の活発さが明瞭となる。

一方、クロロフィルa濃度は30($\mu\text{g/L}$)を超えることもあり、一次生産も活発に行われていることがわかった。

3. 海洋深層水による水質浄化に関する検討

(1) 水質予測モデル

海洋深層水による折戸湾の水質改善効果の試算には佐々木ら²⁾に準拠した水理・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

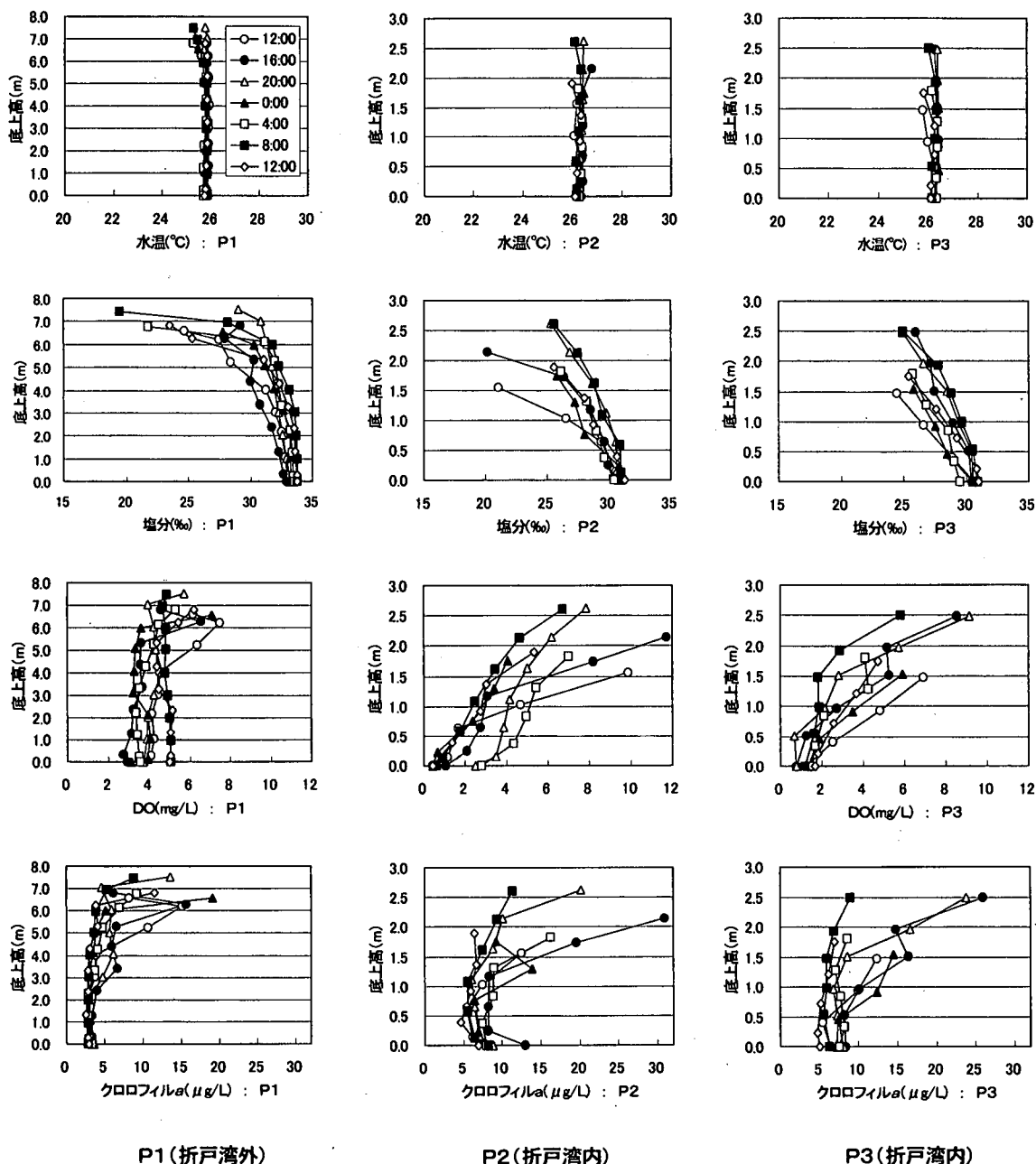


図-6 一昼夜観測結果

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²⁾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ている。

(2) 深層水の直接放流による水質改善効果の試算

a) 検討条件

海洋深層水や表層外海水を湾内に導入した場合の水質改善効果を試算した。

海洋深層水は、駿河湾沖での測定結果より、深度300(m)を想定し、水温を8.0(°C)、4.3(mg/L)と仮定した。栄養塩濃度は富山湾深層水のデータより、無機態窒素0.36(mg/L)、無機態リン濃度0.056(mg/L)とした。動・植物プランクトン濃度、デトリタス濃度はともに0とした。

表層外海水は、水温25(°C)、DO6.0(mg/L)、無機態窒素0.3(mg/L)、無機態リン濃度0.03(mg/L)とした。植物プランクトン濃度、デトリタス濃度はともに1(mg/L)、動物プランクトン濃度は0.1(mg/L)とした。

流入河川の流量および有機汚濁等の負荷量は、清水市の定期観測結果から得られた平均的な負荷量を与えた。

数値計算領域は図-7に示す範囲であり、水平方向は100m格子、鉛直層厚は0.5mとした。深層水および表層水は最下層から、河川水は表層から放水した。

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。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た。一定パターンの日周変動を示すようになるまでの期間は放水流量によって異なるが、今回の計算期間の20日間までは全てのケースで一定パターンに落ち着いた。

生態系モデルの諸係数は基本的には佐々木ら²⁾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。

b) 導水流量と水質改善効果

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の予測結果を放水流量に対して整理したものが図-8である。ここでは、非生命体有機物濃度と動・植物プランクトン濃度の和をCODに換算している。比較のため、湾内の底泥による酸素消費および栄養塩の溶出を0としたケース、河川流入水の非生命体有機物濃度を0としたケースの結果を併せ示した。

DOに注目すると、覆砂(底泥の影響を0とした)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な結果となっ

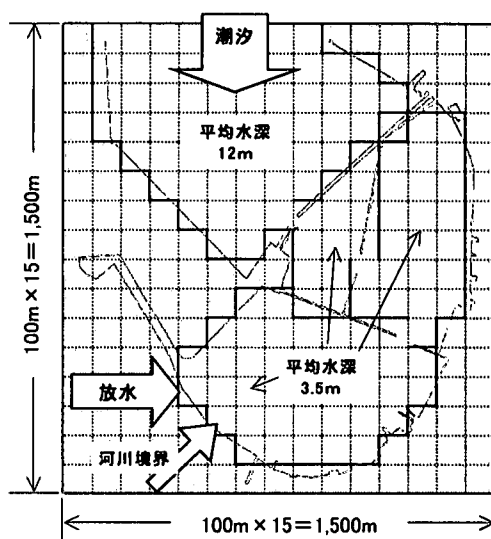


図-7 計算領域

ている。現地調査結果からもみとめられたように当該地点における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、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。深層水のケースは放水量が大きくなるとDOが低下しているが、これは深層水自体のDOが4.3(mg/L)であることから、流量が大きくなると次第にこの値に近づく傾向を示したものと考えられる。

CODに注目すると、深層水は同じ量の表層外海水に対して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1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であると考えられる。水温の結果と対比してみると深層水のケースが顕著なCOD低減効果を呈する放流量では10(°C)前後の水温低下が生じている。今回の水質モデルは他の多くのものと同様、植物プランクトンの生産速度や底泥の酸素消費および栄養塩溶出速度は水温が10(°C)下がると半分に低減するように温度依存性を設定している。これによって深層水はCODに対して良好な改善効果を示すが、その一方で、10(°C)の水温低下が生態系に及ぼす影響の重大さは非常に深刻な課題を投げかける。

また、放水流量から見ても、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3(mg/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は深層水で20万(m³/日)、表層水で40万(m³/日)という大きなものとなり、事業規模、コストという観点も重要となる。

c) コストについて

海洋深層水および表層外海水の直接放流によって明確な水質改善効果を得るためには、日量10万m³以上の大流量が必要となることがわかったが、これらが現在の社会情勢の中でどのような意味を持つのかを今少し明確にする目的で費用の概算を行った。

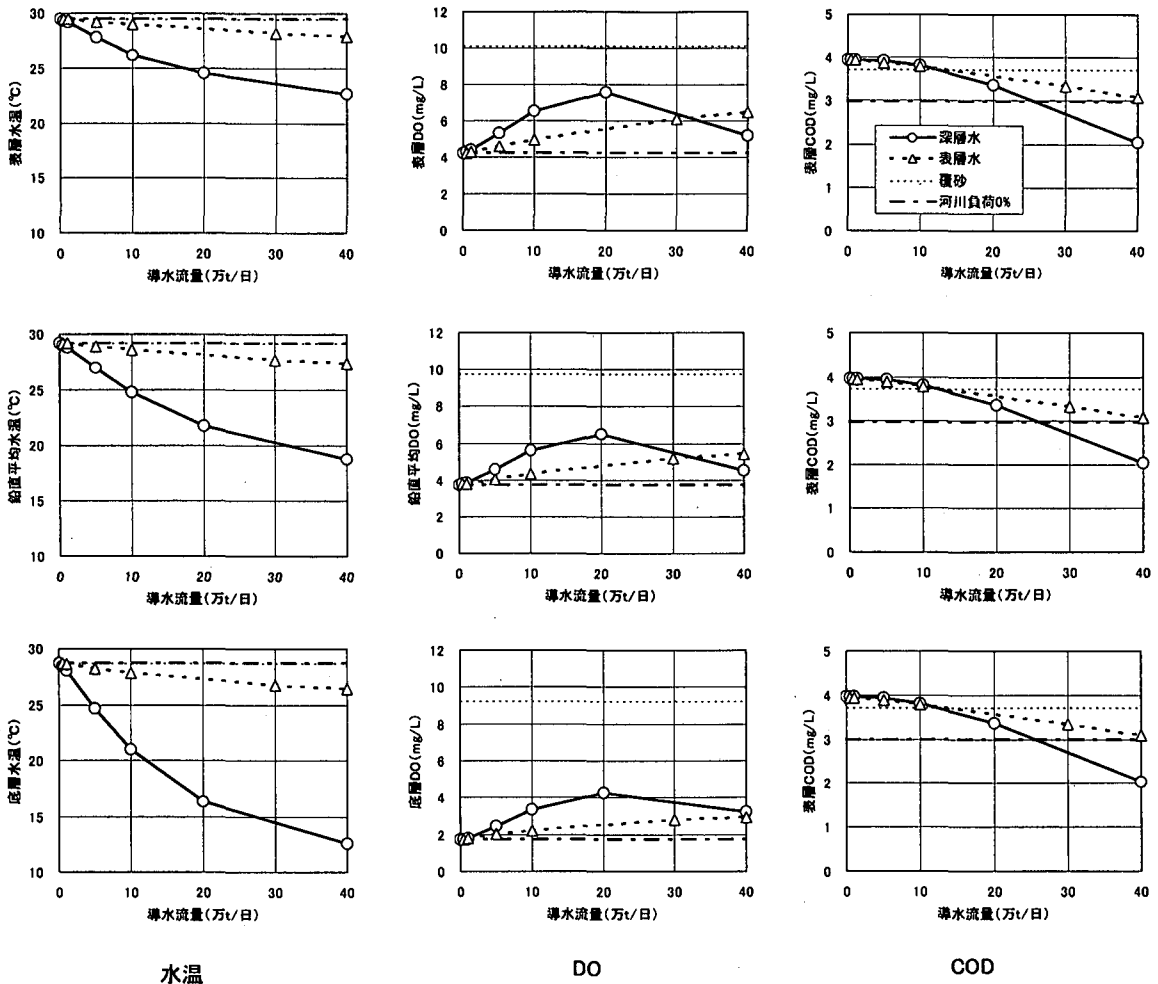


図-8 海洋深層水、表層外海水の直接放流による湾内水質の変化予測結果

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

深層水の取水口は、深さ300m、汀線からの水平距離で3,000mの位置に想定した。直径1.2mの大口径管1系統で三保半島を埋設で横断することを想定した。海中部は深度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、これ以外は高密度ポリエチレン管とした。

表層水の取水口は、深度20m、離岸距離850mとした。管径は1.8mで材質は深層水と同様である。

詳細は省略するが、イニシャルコスト(請負ベースでの建設費)は、深層水が74億円、表層水が67億円という概算結果となった。ランニングコスト(ポンプ運転、維持管理費等)は、深層水の場合が年間3.3億円、表層水の場合で年間6.3億円と試算された。また、表層水はこれに加えて貝ガラの撤去・処分費を考慮する必要がある、条件にもよるが年間1.7億円に及ぶ可能性がある。

(3) 藻場を介した水質浄化への利用について

海洋深層水の直接導入による水質浄化は、費用対効果の問題に加えて周辺海域の環境への影響などが

ら実現までには慎重な検討が要求されるが、現実的な規模での深層水の水質浄化への活用方法としては、藻場の成立可能な条件を海洋深層水の放流によって創出し、これらによる栄養塩の吸収、水中での一次生産の制御によって次第に水質を改善して行く方法が考えられる。ただし、ここで考える藻場形成は、貧栄養海域への深層水放流による肥沃化とは異なり、環境水中の栄養塩を藻場に吸収させることを目的とするものである。

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、ここでは、深層水を海底放流することにより折戸湾内に藻場の生息に適した環境が形成される様子を概略的に俯瞰する目的で、今回用いた数値モデルで評価可能な項目のうちCODと水温を選定し、代表種に対する目安値をクリアする領域の形成状況をまとめた。

代表種としてはアカモク、ワカメ、アラメ、カジメを選定し、CODは「港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル」³⁾に示された上限値に基づき、アカモクおよびワカメに対する3.7(mg/L)、アラメに対す

る2.7(mg/L), カジメに対する2.2(mg/L)の3段階を設定した。ただし, これらの値は共生マニュアルに記載されているCODアルカリ法による値を酸性法に換算したものである。

水温の目安値としては, ワカメの生存水温の上限⁴⁾といわれている22(°C), アラメの成長適水温⁵⁾といわれている18(°C)の2段階を設定した。

1辺が開境界, 他の3辺が閉境界となった250m×250mの正方形領域を対象に計算した。水平方向格子間隔は5m, 鉛直分割層厚は0.25mとし, 開境界となっている1辺から潮汐を入力しつつ, 領域中央の海底部で四方に深層水を放流した。入力条件, 境界条件および諸係数は, 直接放流に関する検討と同一である。

図-8に, 放水流量1,000(m³/日)および5,000(m³/日)のケースについて, 海底面上に形成される各目安値をクリアする領域の面積を示す。数千(m³/日)規模の放水量で藻場形成を補助する環境の創生に寄与できる可能性が認められる。

4. おわりに

海洋深層水の有効利用に関する可能性の一つと考えられる閉鎖性海域の水質浄化への利用に関する初動的な検討を行った。

深層水による水質浄化を閉鎖性海域への直接放流, すなわち海水交換という発想の延長線上で捉えた場合, 明確な水質改善効果を得るためには10万(m³/日)以上という大きな流量が必要となり, 周辺海域環境への影響の懸念や費用対効果の問題から多くの課題を投げかける結果となった。

現実的な規模での深層水の水質浄化への活用方法として, 栄養塩の吸収し, 水中での一次生産を制御するための藻場形成の補助について検討した。数千(m³/日)という規模の放水量で藻場形成に有意に反映させることができる可能性が認められた。

大規模放流に関する課題としては, 温度差発電などのエネルギー利用により低温性がある程度緩和されたものを用いる多段利用の検討, 多目的利用によ

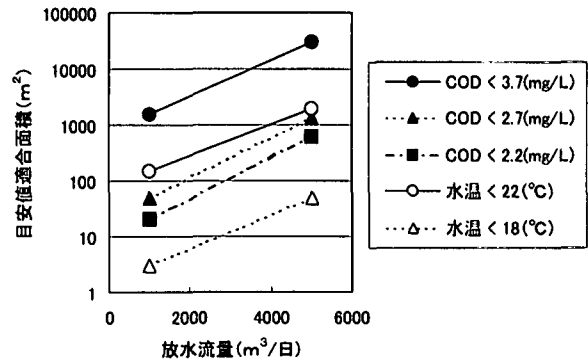


図-9 深層水放流量と藻場形成補助効果

る費用対効果の向上などが考えられる。

藻場を介した浄化案については, 藻場群落の自律的拡大への深層水の有効利用法およびその評価方法の検討が課題として挙げられる。

また, 深層水に潜在する可能性のある水質・底質浄化効果の検討も重要な課題である。

謝辞: 最後に, 本研究を進めるにあたって, 「港湾・沿岸域における海洋深層水の活用に関する研究会」の委員の皆様より貴重な御意見・御指導を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

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) 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.
- 3) (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.
- 4) (社)日本水産資源保護協会: 水生生物生態資料, 1981.
- 5) 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.