

海底近傍における貧酸素期の酸素動態を考慮した 酸素消費モデルによる閉鎖性海域の環境改善評価

環境水域工学分野 笹山 知希

Abstract

沿岸域の環境悪化として、閉鎖性内湾の底層の貧酸素化が各地で問題となっている。沿岸海域における底層の貧酸素化は、第一には一連の富栄養化現象の結果として、第二には密度成層発達に伴う底層への酸素輸送遮断の影響により発生している。貧酸素化に対する効果的な改善施策を提案するためには、対象海域の貧酸素水塊形成機構を把握し、効果の事前予測を行う必要がある。特に貧酸素海域では、酸素消費基質の蓄積に伴う酸素消費ポテンシャルの増大が予想されるため、その予測は重要である。本研究では、貧酸素海域における底質による酸素消費特性を考慮した酸素消費モデルを構築し、モデルにより物理的な観点から底層の貧酸素化特性の評価を検討した。その結果、海域の鉛直混合を促進させる改善技術や、浅水化といった手法の適用が有効であることが示された。

1 研究背景

沿岸域の環境悪化が各地で問題となっている。大都市を抱える閉鎖性内湾の港湾海域においては、一連の富栄養化現象に伴い生ずる底層の貧酸素化により、極めて劣悪な環境下にある。大阪湾においても、平成16年から毎年夏季に行われている水質一斉調査 [1] によると、大阪湾湾奥部の港湾海域の非常に広い範囲で底層の貧酸素状態が確認されており、その改善は見られないのが現状である。

沿岸海域における底層の貧酸素化は、主として陸域からの過大な栄養塩負荷に起因する富栄養化現象の結果として発生するものである。次いで、夏季等に密度成層が発達し、底層への酸素輸送が遮断されることにも起因している。貧酸素水塊の形成および停滞により、底生生態系は直接的な悪影響を受ける。加えて、海上風による吹送流や移流などの物理過程により、貧酸素水塊の湧昇による青潮が発生すると、表層や浅海域においても魚介類を斃死させる。また、貧酸素水塊は海底からの栄養塩溶出を促進し、その栄養塩が内部負荷となり、赤潮などの富栄養化現象を助長、拡大する。以上のように、底層の貧酸素化は、沿岸域生態系に対して致命的な損害を与えると共に、赤潮や青潮、内部負荷など一連の富栄養化現象に対して正のフィードバック効果をもたらす。底層の貧酸素化は沿岸海域における深刻な環境問題であり、その改善は重要かつ早急な課題となっている。

底層の貧酸素化への対策としては、海底曝気（エアレーション）など、これまでに様々な試みが行われてきた [2]。しかし、持ち込む人為エネルギーが自然に比して非常に

小さいため、ほとんどの場合局所的な効果しか得られない [3]。実際に貧酸素水塊を解消し得る大規模なエアレーションを行うための費用は過大となって、貧酸素水塊発生防止により得られる利益と収支が釣り合わない。そこで近年では、自然エネルギーを用いた表層水供給装置の開発が行われている。遠藤ら [4] は、波の進入を利用して表層水を沖側底層へ輸送し、鉛直循環流を誘起する消波構造物の開発を行っている。しかし、貧酸素水塊の消滅機構は十分に解明されておらず、これらの改善技術に対する効果予測手法は未だ確立されていない。効果的な改善施策を提案するためには、対象となる海域の貧酸素水塊形成機構を把握し、その改善効果に関する事前予測を行う必要がある。

底質による酸素消費に関しては多くの研究事例が存在するが、貧酸素海域における酸素消費特性に特化した研究は少ない。遠藤ら [5] は、貧酸素化した底層水には十分な酸素量が存在しないために、未分解の有機物や還元物質が蓄積されており、そこに酸素が供給される際にはより多くの酸素が消費される、という酸素消費ポテンシャルの存在を指摘している。同様に、相馬ら [6] も貧酸素化ポテンシャルという概念を論じており、それを示し得る数値計算結果を示している。すなわち、貧酸素海域における酸素動態の予測を行うには、貧酸素期の底質が潜在的に有する酸素消費ポテンシャルを把握することが必要である。

このような背景から本研究では、底質による酸素消費に関して、貧酸素海域における酸素消費特性を考慮したモデルを構築する。底質による酸素消費過程には、生物的酸素消費過程、化学的酸素消費過程、物理的酸素消費過程の3

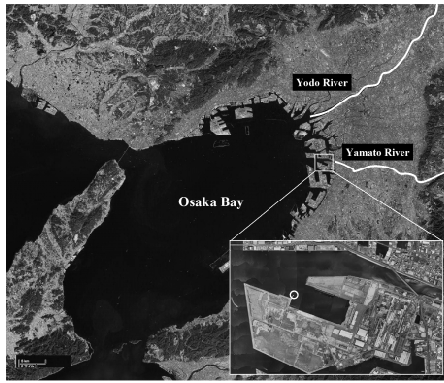
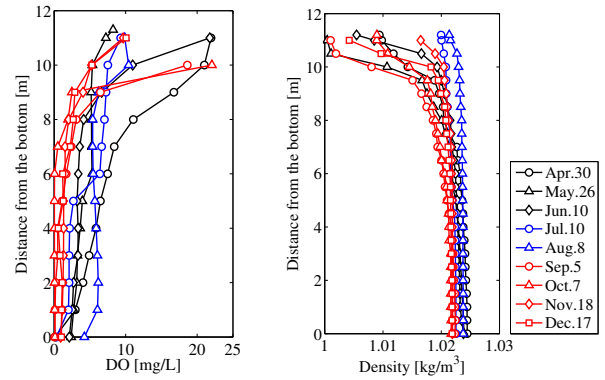


図-1 調査地点



(a) DO 濃度の鉛直分布 (b) 密度の鉛直分布
図-3 北泊地における水塊構造の季節変動

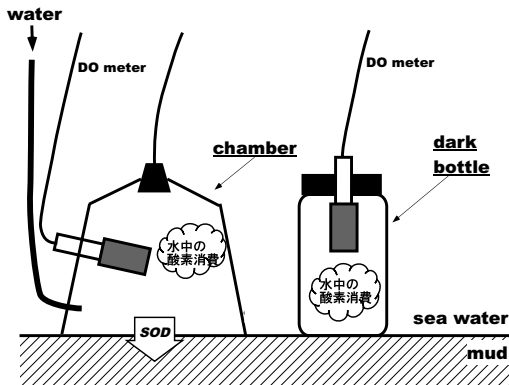


図-2 チャンバー法の概要

つの過程が存在すると考え、それを反映させたモデル構築を行う。また、本モデルを用いた酸素動態予測計算により、物理パラメータの観点から貧酸素化特性の評価を行い、閉鎖性海域の環境改善に関する一考察を検討する。

2 貧酸素海域における底質酸素消費の現地調査

2.1 調査対象地の概要

大阪湾の大和川河口域に位置する堺泉北港北泊地(図-1)において、底質による酸素消費の季節的な変動を見るために、2008年4月から12月まで調査を行った。北泊地はかつて泊地として利用されてきた静穏海域であり、流動は停滞し海水循環が起こりにくくなっている。また、河川からの淡水流入が多く、夏季に強固な密度成層構造を呈する水域である。以上の要因により、北泊地では夏季に底層の貧酸素水塊が顕著に発生している。調査地点付近の水塊構造として、DO濃度および密度の鉛直分布を図-3に示す。

2.2 調査方法

底質による酸素消費の測定方法にはチャンバー法を用いる(図-2)。チャンバー法とは、チャンバーと呼ばれる密閉容器を海底に沈め、それを底泥に着底させることで密閉空間を創出し、底層環境全体による酸素消費量を求める方法である。別途に、あらかじめ採水しておいた底層水で満たした暗瓶を用意し、チャンバーと同様に海底に沈めて底層水による酸素消費量を求める。チャンバーにより求めた底層環境全体による酸素消費量から、暗瓶により求めた底層水

による酸素消費量を差し引くことで、底質のみによる酸素消費量を求めることができる。

しかし、従来のチャンバー法とは条件が異なり、今回対象とするのは貧酸素海域であるため、底層は夏季に貧酸素あるいは無酸素状態となる。消費する酸素自体が存在しなければ、そこから酸素の消費を求めることはできない。そこで本研究では、チャンバーを海底に着底させた後に、あらかじめ採水して地上で曝気させておいた底層水をチャンパー内に送水することで、チャンパー内のDO濃度を十分に回復させてから、酸素消費の測定を行う。

2.3 酸素消費動態の調査結果

上述のチャンパー法により得られた、底質による酸素消費に伴うDO濃度の時間変化を図-4に示す。底質による酸素消費動態は、8月に最も急激な減少傾向を示し、次いで10月にも減少傾向が強い。これらの時期は底層の貧酸素化が顕著な時期と一致しており、貧酸素環境下における酸素消費は非常に大きいことがわかる。一方で12月に関しては、酸素消費動態が最も小さく、後半の計測領域ではDO濃度があまり減少していない。この頃は底層のDO濃度が豊富に存在している時期であり、底質には酸素消費基質があまり存在していないと考えられる。

以上のように、現地調査により貧酸素海域の夏季における酸素消費動態を計測した結果、貧酸素期の酸素消費動態は急激な減少傾向を示しており、本調査では底質による酸素消費ポテンシャルを計測できたと考えられる。

3 底質による酸素消費モデルの構築

3.1 モデル概要

貧酸素海域における底質による酸素消費過程には、生物・化学・物理的酸素消費過程という3つの過程が複雑に混在していると考えられる[8]。それを踏まえ本研究では、底質による酸素消費モデルの構築にあたり、拡散方程式および反応速度式に基づいたモデル構築を採用する[7]。

3.1.1 基礎方程式

底層直上水中のDO濃度の時間変化は以下のように表す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (D_w + D_t) \frac{\partial C}{\partial z} \right\} \quad (1)$$

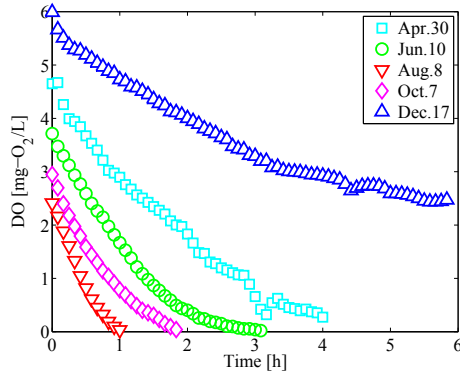


図-4 チャンバー内の DO 濃度の時間変化

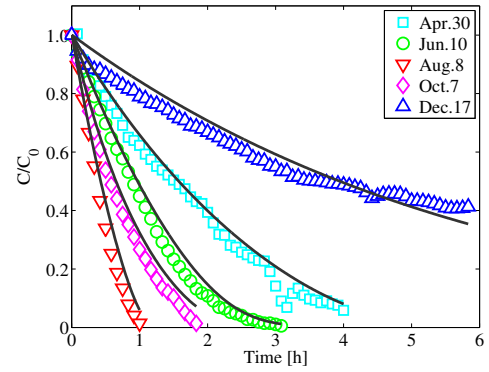


図-5 底質による酸素消費の再現結果

$$D_w = (11.7 + 0.344T + 0.00505T^2) \times 10^{-10} \quad (2)$$

ここに、 T は水温 () , D_w (m^2/s) は分子拡散係数, D_t (m^2/s) は乱流拡散係数である。

また、堆積物間隙水中の DO 濃度の時間変化は以下のよう表す。ただし、右辺第一項は生物的酸素消費過程を表し、現地海域の底層 DO 濃度が $1mg/L$ と貧酸素化している際には、生物活性がないと仮定し、この項は用いないこととする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_s \frac{\partial C}{\partial z} \right) + R \quad (3)$$

$$D_s = \frac{D_w}{1 + 3(1 - \phi)} \quad (4)$$

$$R = -K_B \frac{C}{C + C_{HS}} - K_C C \quad (5)$$

ここに、 ϕ は間隙率, D_s (m^2/s) は間隙水中における拡散係数である。また、 R は酸素消費項を表し、 K_B ($g/m^2/s$)、 K_C (m/s) は生物および化学的酸素消費係数、 C_{HS} (mg/L) は DO 濃度に関する半飽和定数である。

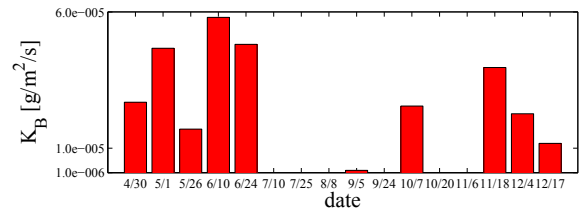
3.1.2 計算条件

計算領域に関しては、計算格子幅 $dz = 0.01$ (m)、計算格子数は 20 (うち堆積層は 6) とする。計算時間に関しては、計算時間刻み $dt = 0.1$ (s)、計算ステップ数は各調査日の計測時間に合わせる。また、本モデルの構築あたり、未知の係数である K_B 、 K_C 、 C_{HS} および D_t を求める必要がある。算出に際しては最小二乗法による近似解を求めた。その結果より、乱流拡散係数は $D_t = 5.7 \times 10^{-5}$ (m^2/s) を用いる。 K_B および K_C の算出結果は後述する。

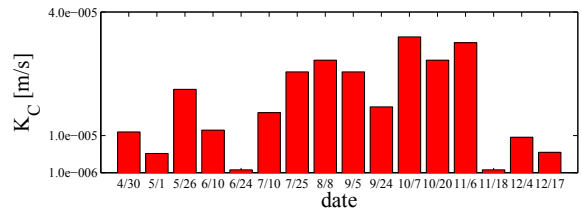
3.2 計算結果

3.2.1 モデルによる底質酸素消費の再現結果

本モデルによる酸素消費動態の再現結果を図-5 に示す。酸素消費の計測開始時の DO 濃度は調査日によって異なる



(a) 生物的酸素消費係数 K_B



(b) 化学的酸素消費係数 K_C

図-6 K_B および K_C の季節変動

ため、初期条件の影響の除去を目的に、DO 濃度を初期 DO 濃度で除した値を示す。季節毎に異なる酸素消費の傾向を概ね再現しており、再現性は良好であると考えられる。また、図-5 には示していないが、全調査データに関して再現計算を行っており、全体を通して良好な再現性を得ている。

3.2.2 酸素消費係数の季節変動

最小二乗法による K_B および K_C の算出結果を図-6 に示す。 K_B は春から夏にかけて増加傾向を示している。モノ型の近似が生物的酸素消費過程を表し得ると仮定すれば、水温が上昇し、表層における植物プランクトン増殖量が増加する時期と一致し、生物活性の高まりが反映されていると考えられる。 K_C は K_B よりも少し遅れる形で、夏から秋にかけて増加傾向を示している。1 次反応型の近似が化学的酸素消費過程を表し得ると仮定すれば、底層の貧酸素水塊が発達し、底層が還元環境に向かう時期と一致し、還元物質等の酸素消費基質の蓄積が反映されていると考えられる。以上の観点から、本モデル構造は生物・化学的酸素消費過程を表現し得ると考えられる。

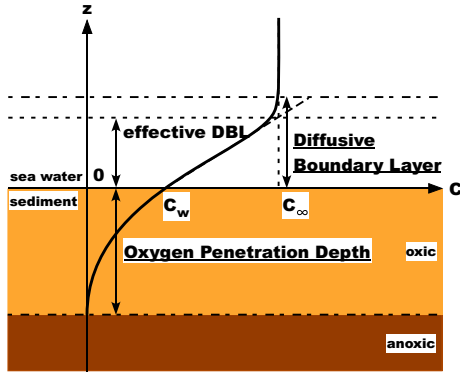


図-7 水-堆積層境界近傍における DO 鉛直分布の概念図

4 底質酸素消費モデルを用いた酸素動態予測

4.1 水-堆積層境界近傍の DO 濃度鉛直分布の解析

4.1.1 酸化層厚さ (OPD) の概要

酸素は、エネルギー効率が最も高い最終電子受容体であり、底生生物群集による有機物の無機化では最初に酸素が利用される [9]。しかし、堆積物は上層水により大気と遮断されており酸素の供給が制限されているために、酸素は堆積物表層 (酸化層) にしか存在していない。沿岸域の堆積物では、酸化層の厚さは通常 1~5mm 程度とされている [10]。OPD の模式図を図-7 に示す。本モデルの再現性を検証するために、水-堆積層境界近傍における DO 濃度の鉛直分布を計算した。

4.1.2 計算条件

計算領域に関しては、計算格子幅 $dz = 0.5$ (mm)、計算格子数は 20 (うち堆積層は 10) とする。計算時間に関しては、計算時間刻み $dt = 2.5 \times 10^{-4}$ (s)、計算ステップ数は DO 濃度の安定を確認して 480000 とする。乱流拡散係数は $D_t = 1.0 \times 10^{-6}$ (m²/s) を用いる。水温、塩分および酸素消費係数に関しては、それぞれ計測データを用いる。初期条件としては、case.1 では飽和 DO 濃度の半分の濃度を与え、case.2 では現地海域における底層の DO 濃度を、それぞれ与えた。

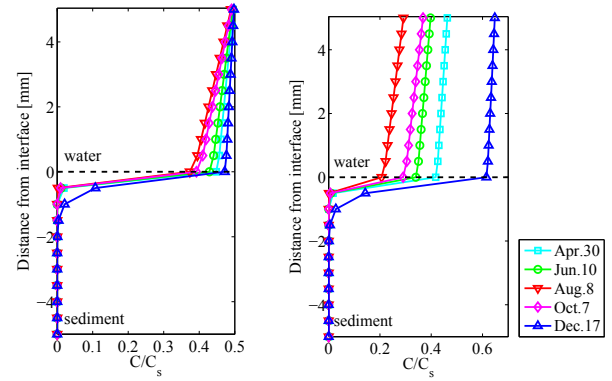
4.1.3 再現結果

OPD の再現結果を図-8 にそれぞれ示す。図-8 (a) によると、明確な酸化層が現れるのは 12 月のみであった。これは、酸素消費による影響が過大であるために、堆積層内で DO が消費されてしまったためと考えられる。また、図-8 (b) によると、底層直上水中の DO 濃度の大小の順位が同じであることがわかる。これにより、現地海域の底層 DO 濃度には、やはり底質による酸素消費の影響が支配的であることが示唆される。

4.2 貧酸素海域における環境改善に関する検討

4.2.1 貧酸素水塊の生成機構

貧酸素水塊は底層付近の水塊中における酸素収支の結果生成される [11]。ここで、鉛直 2 次元モデルを用いて、貧酸素水塊の生成機構を考えてみる。水平方向に一様性を仮



(a) case.1

(b) case.2

図-8 OPD の再現結果

定すると、容積 (m³) の底層水塊中の DO 濃度の時間変化は以下ようになる。

$$V \frac{\partial C_b}{\partial t} = AK_z \frac{(C_s - C_b)}{\Delta h} - VCR \quad (6)$$

ここに、ここに、 A (m²) は底層水と上層水の境界面積、 K_z (m²/s) は鉛直拡散係数、 C_s (mg/L) は上層の溶存酸素濃度、 Δh (m) は底層と上層との距離、 h (m) は底層の水深、 R (1/s) は底層の酸素消費速度係数である。また、右辺第一項は鉛直拡散による酸素供給、第二項は水塊内の酸素消費を表す。 C_s を境界条件とした時、 C_b がどこまで低下するかという問題を考えると、その解である C_∞ は式 (6) の左辺を 0 とすれば容易に得られる。

$$C_\infty = \frac{C_s}{1 + \frac{h^2 R}{K_z}} \quad (7)$$

ただし、 $V = Ah$ 、 $\Delta h = h$ とする。式 (7) は、底層水の貧酸素化の度合いは、上層の溶存酸素濃度 C_s が低いほど、底層の酸素消費速度係数 R が大きいほど、鉛直拡散係数 K_z が小さいほど、底層水の厚さ h が厚いほど、ひどくなることを示している。

本研究で構築したモデルを用いて、海域における DO 鉛直分布を計算により求め、底層の貧酸素化が発生する要因の検討を行った。ここでは、海域における酸素収支の主要な物理過程として、気液界面における再曝気、水中での鉛直拡散、底質による酸素消費を対象とし、各過程を規定する物理パラメータの変動に伴う貧酸素水塊の挙動の評価を行った。計算の対象地は現地調査を行った北泊地とし、想定する環境としては、不成層場と成層場の 2 パターンを考える。

4.2.2 計算条件

気液界面における DO の再曝気は以下のように表す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K(C_s - C) \quad (8)$$

ここに、 K (1/s) は再曝気係数であり、北泊地に関する文献値を参考に $K = 3.47 \times 10^{-6}$ (1/s) とする。また、酸素消費 R と再曝気 K の関係を表す無次元数として、以下の自

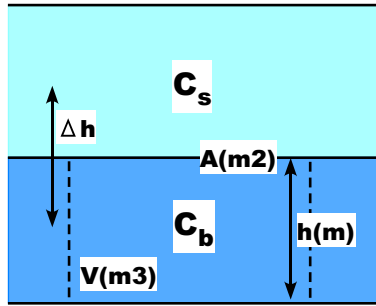


図-9 酸素動態に関する鉛直 2 次元モデルの模式図

浄係数を用いた。

$$Fair = \frac{K}{R} \quad (9)$$

拡散係数 D_z (m^2/s) と酸素消費速度 R (m/s) に関して、それぞれのオーダーを変動させて計算を行い、DO 飽和度の推移を求めた。なお、拡散係数に関しては、水深 H (m) で除した拡散速度 D (m/s) として扱った。

$$D = \frac{D_z}{H} \quad (10)$$

成層時の拡散係数に関しては、成層強度を表す無次元数であるリチャードソン数 Ri の関数として以下のように表し、 Ri の変動に伴う DO 環境の推移を求める。

$$D_z = D_t \times (1.0 + 3.33Ri)^{-1.5} \quad (11)$$

ここに、 $D_t = 1.0 \times 10^{-4}$ (m^2/s) とする。

計算領域に関しては、計算格子幅 $dz = 0.2$ (m)、計算格子数は 60 (うち堆積層は 5) とする。計算時間に関しては、計算時間刻み $dt = 60$ (s) とする。

4.2.3 不成層場における検討

冬季の不成層環境下を想定した、海域における底層の DO 環境変動に関する計算結果を図-10、図-11 に示す。この計算結果は、自浄係数 $Fair$ が大きいほど、拡散速度 D が大きいほど、底層の貧酸素化は解消されることを示している。一方、 $Fair$ および D が小さいほど、底層の貧酸素化が進行する。また、 D が 1.0×10^{-8} 以下の領域では、 $Fair$ の変動に関わらず底層の貧酸素化が顕著であることも示している。これは、海域における乱流拡散係数は 1.0×10^{-5} 前後であり、それと比して拡散の影響が弱いため、上層からの酸素供給が阻害されるためである。

4.2.4 成層場における検討

夏季の成層環境下を想定した、海域における底層の DO 環境変動に関する計算結果を図-12、図-13 に示す。この計算結果は、自浄係数 $Fair$ が大きいほど、リチャードソン数 Ri が小さいほど、底層の貧酸素化は解消されることを示している。一方、 $Fair$ が小さいほど、 Ri が大きいほど、底層の貧酸素化が進行する。また、 $Fair$ が 10 以下の領域では、 Ri のい変動に関わらず底層の貧酸素化が顕著であることも示している。これは、成層化の影響により、表

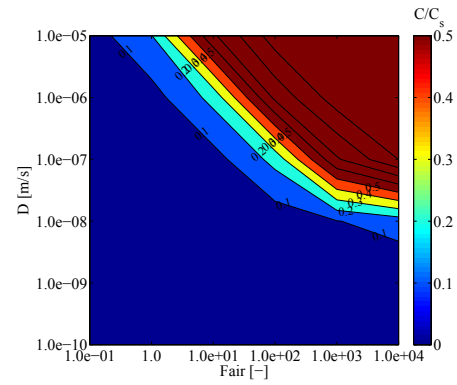


図-10 D および Fair の変化に伴う貧酸素強度の変動

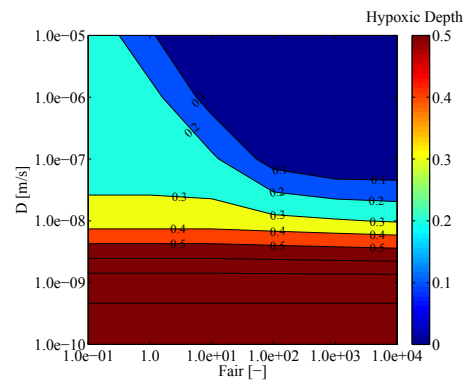


図-11 D および Fair の変化に伴う貧酸素領域の変動

層からの酸素供給が制限されているために、 $Fair$ がある程度大きい際には酸素消費の影響が現れやすくなるためである。

4.2.5 貧酸素化改善手法の方向性の検討

以上の検討より、貧酸素水塊の改善手法の方向性に関する検討を行う。貧酸素化に影響を与える物理パラメータである、自浄係数 $Fair$ と拡散速度 D をそれぞれ大きくする方向性が、貧酸素化の解消につながるということが示唆された。 $Fair$ に関しては、式(9)より K を大きくするか R を小さくすることになる。しかし、再曝気を規定する K は環境によりある程度定まっているものであり、人為的に大きく変動させることは難しい。 R を小さくすることは、海域における富栄養問題を解決し、汚濁負荷の流入を低減することで可能になると考える。しかし、これは決して容易な課題ではない。また、 D に関しては、式(10)より D_z を大きくするか H を小さくすることになる。鉛直混合を促進させることで、底層の貧酸素化を解消しようというこれまでの試みは、方向性としては正しいことになる。 H を小さくするという点では、浅水化という手法が考えられる。 D という拡散速度のオーダーを直接変動させることができなくとも、水深を小さくすることで、その影響を大きくすることが可能であると考えられる。ただし、鉛直混合を促進させる際には、貧酸素領域の拡大が懸念されるため、海域の貧酸素メカニズムを十分に把握した上で、貧酸素化に

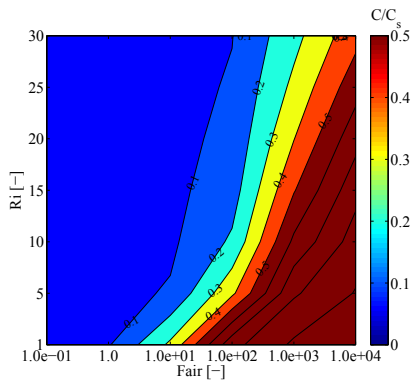


図-12 Ri および Fair の変化に伴う貧酸素強度の変動

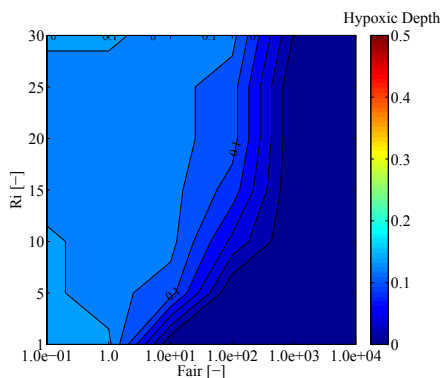


図-13 Ri および Fair の変化に伴う貧酸素領域の変動

に対する改善手法を適用するべきであることは確かである。
5 結論

本研究で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

1) 貧酸素海域である北泊地において現地観測を行い、底質による酸素消費を計測した結果、貧酸素期の酸素消費動態は酸素消費ポテンシャルの影響により急激な減少傾向を示すことがわかった。

2) 底質による酸素消費に関して、反応速度式および拡散方程式に基づき、生物・化学・物理的酸素消費を考慮したモデル構築を行った。本モデルによる底質酸素消費の再現性は良好であり、酸素消費係数の季節変動特性からも、本モデルは貧酸素期の酸素消費特性を表現できていると考えられる。

3) 本モデルを用いて水-堆積層境界近傍における DO 濃度の鉛直分布を計算した結果、1mm 程度の酸化層が確認できた。既往研究と比較して領域は小さいものの、過大な酸素消費の影響を考慮すると、本モデルの妥当性が確認できた。

4) 貧酸素水塊の改善手法の方向性としては、酸素消費速度 R を小さく、あるいは拡散速度 D を大きくするような手法が有効であることが示唆された。現実的には、鉛直混合の促進や浅水化による D の増大が考えられるが、貧酸素領域の拡大が懸念されるため、海域の貧酸素構造を把握した上での環境改善技術の適用が望ましい。

参考文献

- [1] 大阪湾再生水質一斉調査ホームページ：
www.kkr.mlit.go.jp/plan/suishin/suishitutyosa/index.html
- [2] 佐々木洋之・佐々木淳・武田真典・岡野崇裕・足立有平 (2006): 閉鎖性水域におけるマイクロバブル発生装置を用いた溶存酸素供給効果の把握, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.1171-1175.
- [3] 小松利光・岡田知也・中村由行・中島信一・長谷部崇・藤田和夫・井芹寧 (1999): 閉鎖性水域底層への表層水供給による水質改善効果, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.1111-1115.
- [4] 遠藤徹・重松孝昌 (2007): 密度成層場における VCF 堤体誘起流の挙動に関する実験, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.1236-1240.
- [5] 遠藤徹・重松孝昌 (2009): 港湾海域における底質の酸素消費特性の季節変化に関する研究, 土木学会論文集, Vol.B2-65, No.1, pp.1051-1055.
- [6] 相馬明郎 (2007): 「きれいな海」から「豊かな海」へ “干潟・浅海域と湾中央” 及び “底生系と浮遊系” のカップリング (内湾複合生態系モデル) から見てきたもの, 海洋理工学会誌, Vol.13, No.1, pp.49-60.
- [7] 土木学会 (2004): 環境工学公式・モデル・数値集, 土木学会環境工学委員会, 社団法人土木学会, pp.318-319.
- [8] 中村由行 (1993): 底質の酸素消費過程における濃度境界層の役割, 水環境学会誌, 第 16 巻 第 10 号, pp.732-741.
- [9] 宗林由樹 (2008): 水圏環境化学序論, 京都大学化学研究所, pp.1-6.
- [10] Revsbech, N.P.・B.B. Jorgensen (1986): Microelectrodes: their use in microbial ecology, Advances in Microbial Ecology, Vol.9, pp.293-352.
- [11] 柳哲雄 (2004): 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響, 海の研究, 13, pp.451-460.

討議

- 討議 [貫上佳則 教授]

生物学的および化学的酸素消費は、どのようにして分けたのか。

- 回答：チャンバー法により得られた底質による酸素消費曲線に対し、モノ型および一次反応型の反応速度式から構成される式(5)を用いたフィッティングを行うことにより、最小二乗法に基づいて数値的にそれぞれの係数値の量的関係を決定している。

生物的酸素消費と生物量との関係はどうなっているのか。

- 回答：底質における生物量に関しては、今回は調査を行っていない。そのため、両者の関係を見ることはできない。

化学的酸素消費と硫化水素との関係はどうなっているのか。

- 回答：底層水質に関する水質分析は調査毎に行っているが、硫化水素の直接的な計測は行っていない。そのため、両者の関係を見ることはできない。

図-8は水-堆積層境界近傍における酸化層の“再現”結果と記載されているが、室内実験等により再現したものの測定結果を示しているということか。もし計算結果であれば、再現結果という表現は不適切ではないか。

- 回答：図-8は計算データを示しており、再現実験等を行った結果ではない。“再現”結果という表現は不適切であり、計算結果と記載する方が適切であると考えられる。

- 討議 [西岡真稔 准教授]

最良な定式化の手法を提案するにあたっての本研究における判断基準とは、再現性の良し悪しではなく、生物・化学・物理という過程を反映した式の構築という、概念的な部分に重点が置かれているように感じられる。

- 回答：本研究における底質による酸素消費モデルの概念としては、生物・化学・物理的な酸素消費過程を表現し得るモデルの構築を重視している。確かに、式(5)を用いた再現結果が精度上最も有用である、とは必ずしも言い難いのは事実である。そのような観点から考えると、概念的な部分を重要視しているといえる。

生物・化学的酸素消費過程を律速するパラメータである K_B および K_C に関して、それぞれの独立性は必

ずしも保障されていないのではないかと。 K_B および K_C を正確に求めたいのであれば、どちらかの影響がないような実験を行った上でフィッティングの工程を行うべきであり、本研究の手法では精度上限界があるのではないかと。

- 回答：本研究では現地データのみを用い、フィッティングにより同時に K_B および K_C を求めているため、精度上の限界が存在するのは事実であると考えられる。しかしながら、現地データと実験データとは性質が異なることが予想されるため、実験では必ずしも現場における現象の本質を把握できるとは言い難い。今回は現地の生データを解析するという点を重視しているため、多少の独立性の欠如は止むを得ないと考えている。

- 討議 [貫上佳則 教授]

半飽和定数である C_{HS} の値はどの程度か。

- 回答：およそ0.2前後の値を示すことが最も多く、最小値で0、最大値で5.14となっている。