

諫早湾干拓締切堤が諫早湾の成層と貧酸素水塊の消長に与えた影響について

九州大学大学院 学生員 田所 壮也 九州大学大学院 Lisa Orrheim・秦培植
九州大学大学院 フェロー 矢野 真一郎

1. はじめに

近年、諫早湾では毎年のように貧酸素水塊が発生し、環境悪化が懸念されている。その要因については今日まで様々な研究がなされている。例えば、永尾ら(2010)は浮遊系-底生系結合生態系モデルを用いた結果、諫早湾内においては締切堤が仕切られる前後で、溶存酸素を表層から底層へ供給する物理的指標である鉛直拡散係数が低下したことが貧酸素水塊の容積を増加させた可能性を示した。これは物理・化学・生物過程を組み込んだ計算に基づく評価であり、それぞれの過程の影響を個別に評価していなかった。

一方、田所ら(2017)は溶存酸素(DO)の輸送が鉛直乱流拡散係数のみで規定される鉛直 1 次元の水柱モデルを用いた計算で評価を試みた。一般的に鉛直混合が強く底層の貧酸素水塊が解消する大潮期には堤防の影響が大きく、鉛直混合が弱いため貧酸素水塊が発生しやすい小潮期では小さかったため、締切堤の存在が貧酸素水塊の発達強化に物理的には寄与していない可能性を示した。しかしこれは鉛直混合のみを考慮した場合であり、内湾における輸送のもう一つの過程である潮流による輸送、すなわち水平方向の移流については考慮されていなかった。

そこで、締切堤が貧酸素水塊の消長に与えた影響を、溶存酸素の物理的な輸送のみを考慮した 3 次元モデルを用いて評価し、田所ら(2017)が行った鉛直水柱モデルとの比較から水平移流の影響評価を行った。

2. モデルの概要

まず、矢野ら(2015)が使用した Delft3D-FLOW による有明海と八代海を結合した 3 次元流動モデルを用いて、諫早湾締切堤がある場合とない場合についてそれぞれ計算を行った。河川からの淡水流入については、一級河川は時間流量を、主要な二級河川は比流量法で時間流量をそれぞれ与えた。ただし、締切堤の存在による物理的な影響のみを抽出するために、締切堤がある場合は南北排水門から、締切堤がない場合は諫早湾奥部に流入する一級河川の本明川からの淡水流入は考慮していない。さらに密度成層が形成する条件は塩淡成層・水温成層の両方を考慮し、モデルをより現実に近づけるために島原で観測された風場の観測データも組み込んだ。この物理場の計算結果を用いて、汎用型水質モデルである Delft3D-WAQ の生化学反応を除いたモデルにより DO の 3 次元計算を行った。

DO の計算については物理的輸送のみを考慮する

ために、基礎式として次式で表される 3 次元輸送方程式を用いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

ここで、 C : DO 濃度, t : 時間, x, y, z : 各座標, u, v, w : 各方向の流速成分, K_h : 水平乱流拡散係数, K_v : 鉛直乱流拡散係数である。海面における境界条件は、海表面からの再曝気を考慮して次式をフラックスとして用いた。

$$R_{ea} = k(C_s - C) \quad (2)$$

ここで、 R_{ea} : 再曝気フラックス, k : 再曝気係数 ($=0.55[\text{day}^{-1}]$), $C_s = C_s(S, T)$: 飽和酸素濃度である。一方、底面における境界条件は底泥の酸素消費を考慮し、有明海の底泥を用いた実験結果である阿部ら(2003)による酸素消費速度 $0.98[\text{gO}_2/\text{m}^2/\text{day}]$ をフラックスとして与えた。

3. 結果と考察

本研究では、図-1 に示す九州農政局の観測地点で検討を行うが、本稿では紙幅の関係で諫早湾の中央に位置する B3 地点についてのみ示す。計算は 2006 年 3 月 1 日から 3 ヶ月を助走期間とし、出水期にあたる 6 月 1 日より 8 月末までの 3 カ月間を比較対象期間とした。

図-2 に締切堤がある場合とない場合の DO の比率のイソプレットを示す。両者の比率とは次式で示される rDO のことである。

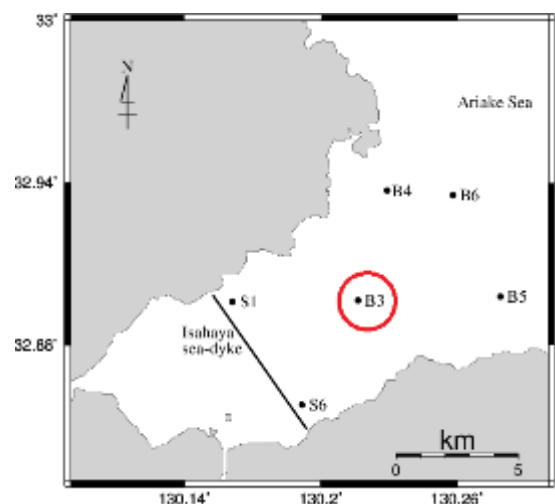


図-1 比較検討地点

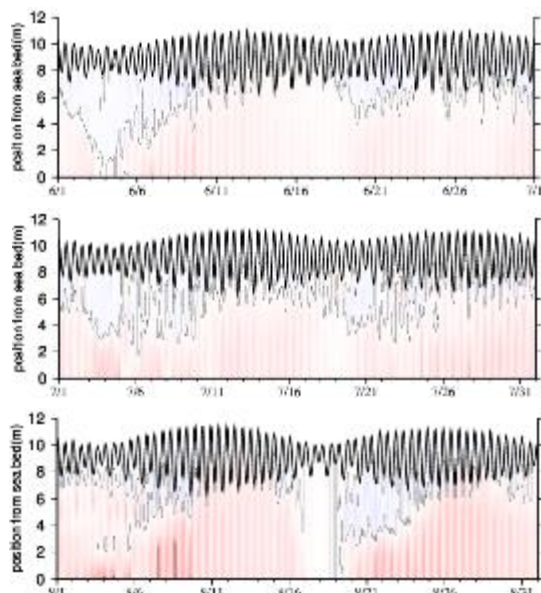


図-2 DO 比率のイソプレット(3次元モデルの場合)
[上段から 2006 年 6 月, 7 月, 8 月の結果]

$$rDO = \frac{DO_{\text{with}} - DO_{\text{without}}}{DO_{\text{with}}} \times 100 \quad (3)$$

ここで, DO_{with} は締切堤がある場合の DO, DO_{without} は締切堤がない場合の DO である. この結果から, 表層付近では正值(寒色)に, 底層付近では負値(暖色)になる傾向がある. この傾向は小潮期から大潮期に向かう時間帯において多く見られるが, 大潮期から小潮期に向かう時間帯には解消する傾向が見られた.

図-3 に田所ら(2017)が行った水柱モデルにより本稿第 2 章で述べた境界条件を用いた DO 計算を行い, 締切堤がある場合とない場合の DO の比率のイソプレットを示している. 全体的には締切堤が存在することで, DO が低くなる傾向にあることが分かる. また大潮と小潮で比較すると, 大潮期には減少率が大きくなり, 小潮期には小さくなる傾向があった.

次に図-2 と図-3 を比較検討すると, 6 月 1 日から 7 月の中旬ごろまでは, 概ね同じような傾向を示しているが, 7 月の中旬から 8 月の下旬までは水柱モデルの方が減少率は大きくなっていることが読み取れる. この要因としては 3 次元モデルが水柱モデルと違って水平移流を考慮しており, 堤防の存在による貧酸素化への影響が周辺との水塊の交換により緩和されているためと考えられる. また, 図-4 に有明海に注ぐ一級河川の合計流量を示しているが, 3 次元モデルと水柱モデルの差が表れた時期が大規模な出水の後であることが分かる. 例えば, 6 月 26 日ごろの出水や 7 月 21 日から 27 日にかけての出水の後に見られた.

4. 結論

物理的な過程のみを考慮した数値モデルにより締切堤が諫早湾の DO の鉛直分布に与えた影響の評価と, 3 次元モデルと水柱モデルとの比較を行った. 前者より, 締切堤は全体的には DO を減少させている

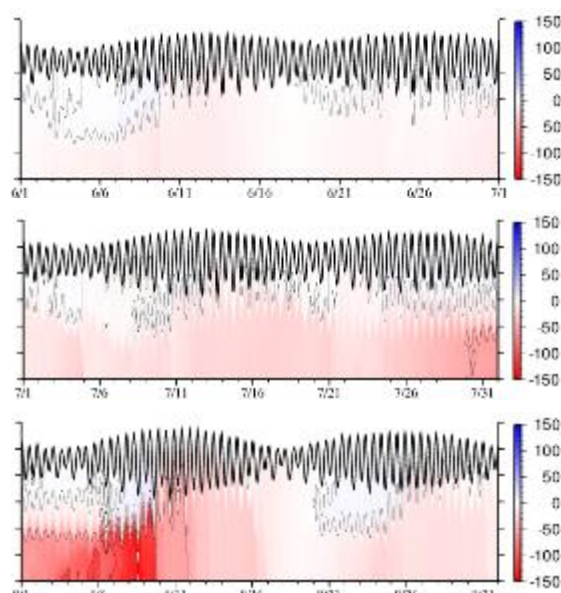


図-3 DO 比率のイソプレット(水柱モデルの場合)
[上段から 2006 年 6 月, 7 月, 8 月の結果]

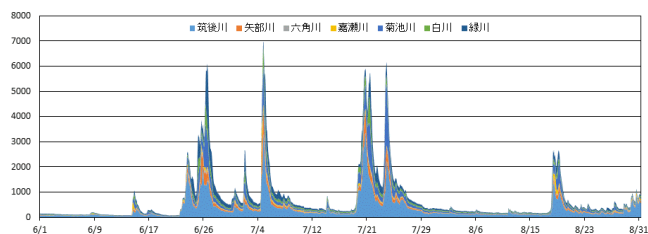


図-4 有明海に注ぐ一級河川の合計流量(2006 年)

が, その度合いは大潮期には大きく, 小潮期には小さいことが明らかになった. また後者より出水が小さいときは両者の差は小さく, 大規模な出水が起こった後については差が大きくなることが分かった. 今後は, 表層付近で発生する植物プランクトンの光合成による酸素放出や有機物の分解による酸素消費を考慮した低次生態系モデルを用いての影響評価と物理的な過程の寄与についての評価を試みたい.

[謝辞] 本研究は科研費基盤研究(B)(24360200)により実施された.

[参考文献]

- 1) 永尾謙太郎, 竹内一浩, 畑恭子, 堀家健司, 木村奈保子: 有明海の長期的な環境変化に伴う貧酸素水塊の発生状況に関する数値実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1136-1140, 2010.
- 2) 田所壮也, Lisa Orrheim, 秦培植, 矢野真一郎: 諫早湾干拓事業が成層と貧酸素水塊の発達に与えた影響評価について, 日本流体力学会年会 2017, 2017.
- 3) 矢野真一郎, 西村圭右, Camilla RANLUND: 諫早湾干拓締切堤による鉛直混合能の変化が有明海の塩成層構造に与えた影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I_1243-I_1248, 2015.
- 4) 阿部淳, 松永信博, 児玉真史, 徳永貴久, 安田秀一: 有明海西部海域における高濁度層の形成と酸素消費過程, 海岸工学論文集, Vol.50, pp.996-970, 2003.