

海域環境改善策の効果予測シミュレーション

九州大学大学院工学府 学生員 長山達哉
 正会員 山城 賢 吉田明德

1. はじめに

近年、博多湾において赤潮や貧酸素水塊の発生が問題となっており、様々な環境改善策が施されている。これまで博多湾の海域環境について環境評価を行った研究例は多く見られるが、環境改善策を施した際の水質改善効果について検討した例は見当たらない。本研究では海域の水質環境を評価するために数値モデルを用い、博多湾を対象に海域環境改善策を施した際の水質環境の改善効果の評価における数値シミュレーションの有効性について検討した。

2. 数値モデル概要

本研究で用いた数値モデルは、流動モデルと低次生産モデルを組み合わせたもので、流動モデルは、中辻ら¹⁾によるモデル(ODEM)を参考に防波堤等の構造物を考慮したモデルを作成した。支配方程式は連続の式、Navier-stokes の式および移流拡散方程式で、運動方程式には外力としてコリオリ力が考慮されており、移流拡散方程式は水温および塩分の偏差を解く。なお、水温については日射による海面からの熱収支および海面加熱による温度生成項を考慮している。低次生産モデルについては、図-1 に示すように、リン酸態リン(PO₄)、植物プランクトン態炭素(phyto)、DO 濃度(DO)、デトリタス態炭素(detritus)の4種のコンパートメントを対象としており、これらのコンパートメントに関する反応項を加えた移流拡散方程式を、前述の流動モデルと連動して陽解法により解く。以上の数値モデルにより求められる湾内の物質濃度を、博多湾の観測値および既存の資料をもとに水質項目(TP, TN, SS, COD)に換算した。

3. 海域概況および計算条件

博多湾は閉鎖性の強い海域であり、背後に福岡市を擁することから多量の生活・産業排水が流入し、富栄養化による環境被害も頻繁にみられる海域である。また、近年は人工島の開発も行われ、現在では埋め立てはほぼ完了している。

具体的な計算条件を表-1 に示す。低次生産モデルに関する定数や係数については、横山ら²⁾を参考に決定した。各コンパートメントは一定濃度の状態から計算を開始しており、河川および処理場からの負荷は計算開始5周期後から投入している。初期濃度、外海の水質濃度、河川流量および負荷(PO₄)については福岡市による報告書³⁾を参考にした。また、既存の資料から境界条件および観測値のデータを最も多く入手できた年が平成9年であったことから、夏季が最も植物プランクトンの増殖が大きく赤潮や貧酸素水塊が生じやすいと考えたことから、境界条件等は平成9年夏季のデータを利用した。ただし、地形データについては図-2 に示す埋め立て完了後の地形とした。この計算条件を基本

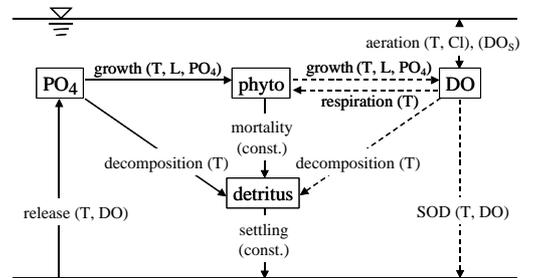


図-1 低次生産モデルの概要

表-1 計算条件

対象海域	博多湾(人工島埋立完了後)
水平格子間隔	$\Delta x = \Delta y = 300m$
水深方向分割数(層数)	6層(下層から 5, 5, 3, 3, 3, 3m)
潮位変動	M_2 潮(周期: 12時間25分)
潮位振幅	0.53m
計算時間	35周期
時間間隔	$\Delta t = 5s$
コリオリ係数	$f = 8.0 \times 10^{-5} / s$
水平渦動粘性係数	$A_H = 50m^2 / s$
鉛直渦動粘性係数	$A_V = 1.0 \times 10^{-4} m^2 / s$
水平渦動拡散係数	$K_H = 50m^2 / s$
鉛直渦動拡散係数	$K_V = 1.0 \times 10^{-4} m^2 / s$
デトリタスの沈降速度係数	$w_{settle} = 1.16 \times 10^{-3} m/s$
植物プランクトンの死滅速度係数	$k_{mortality} = 1.16 \times 10^{-6} / s$
半飽和定数	$K_s = 5.0 \times 10^{-4} molP/m^3$
デトリタスの分解に関する係数	$a_{dec} = 1.74 \times 10^{-7} / s$
デトリタスの分解に関する係数	$b_{dec} = 0.0693$
DOの初期濃度	$0.25 molO/m^3$
PO ₄ の初期濃度	$0.33 \times 10^{-3} molP/m^3$
phytoの初期濃度	$0.01 molC/m^3$
detritusの初期濃度	$0.053 molC/m^3$
外海のDO濃度	$0.22 molO/m^3$
外海のPO ₄ 濃度	$0.11 \times 10^{-3} molP/m^3$
外海のphyto濃度	$0.005 molC/m^3$
外海のdetritus濃度	$0.0265 molC/m^3$
外海の塩分濃度	33 ‰
外海の水温	20°C

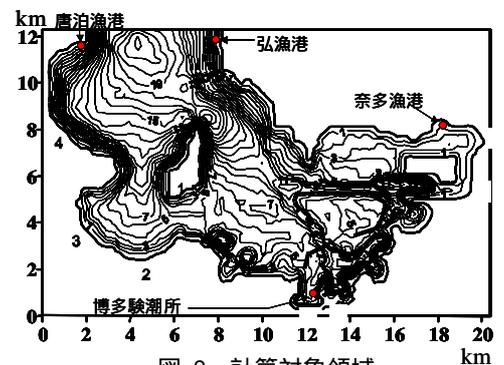


図-2 計算対象領域
 (博多湾: , などは流入点)

ケースとして、まず計算結果と観測値との比較を行い、次いで環境改善策の効果予測を行った。なお、計算時間については、事前に湾内の物質濃度の変動がほぼ定常になるまで計算を行ったところ、30 潮汐(約 15 日間)でほぼ定常となったこと、藤田ら⁴⁾および柳⁵⁾によると博多湾の滞留時間が15~20 日程度であることから、本研究では計算時間を前駆計算を含め 35 潮汐とした。

4. 水質環境の再現

基本ケースにおける計算結果の一例を図-3 に示す。図-3 は表層における TP の濃度分布であり、平成 9 年の観測値を併せて示している。これより、湾奥に向かい濃度が高くなるという閉鎖性海域の特徴は再現できており、湾奥の濃度の計算値は概ね観測値に近い値となった。ただし、湾口付近の濃度は観測値に比べ大きな値となっており、この原因については、初期濃度や外海濃度、低次生産モデルにおけるコンパートメントの数や種類および各種定数等の設定によるものと考えられる。

5. 海域環境改善策の再現

博多湾においては平成 5 年度より下水処理場の高度処理が進められており、処理排水中の TP の削減に伴う海域中の TP の低減が確認されている。そこで、海域環境改善策の一例として下水処理場からの排水による PO₄ 負荷を 50% 削減した際の海域水質環境の変化について検討した。負荷を削減した場合の TP の減少率(%)を図-4 に示す。図中の値は減少率を表しており、色が濃いほど減少率が高い。これより、主に湾奥および防波堤内側において TP が減少し、最大で約 9%の削減効果がみられた。図-5 に図-4 中の観測点の位置における平成 9 年から平成 14 年までの TP の観測値を示す。図中には同じ位置における負荷量削減前の計算値と削減後の計算値を示している。観測値は経年的に大きく変動しつつ減少しており、平成 14 年には平成 9 年の約 45%程度となっている。博多湾では平成 9 年から平成 14 年までの間に排水の高度処理だけでなく湾奥部で覆砂や作濤等の環境改善事業が行われており、加えて湾奥の人工島も建設中であったため、観測結果から高度処理の効果のみを把握することは困難である。一方、計算では負荷量のみを変化させて高度処理による効果を求めていることから、観測値と直接比較することでこの計算結果の妥当性を検証することはできない。したがって改善効果の推定精度については、より詳細な検討を行う必要がある。

6. おわりに

博多湾を対象に数値モデルを用い海域環境改善策の効果を検討した。その結果、湾口付近の物質濃度は過大評価となるものの湾中央から湾奥については比較的よく再現でき、負荷量を削減することで排水の高度処理の効果を実測することができた。今後は高度処理の効果の推定精度について検証するとともに、覆砂・作濤等の改善工法を施した場合の水質環境の変化についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 中辻啓二(1994)：大阪湾における残差流系と物質輸送，水工学シリーズ 94-A-9
- 2) 横山長之(1993)：海洋環境シミュレーション 水の流れと生物，白亜書房，pp.85-169
- 3) 福岡市(2001)：アイランドシティ環境影響評価レビュー報告書，826p.
- 4) 藤田健一(2001)：水 - 底質予測モデルの開発と気象要素が底層の溶存酸素濃度に及ぼす影響に関する研究，九州大学学位論文，pp.57-134
- 5) 柳哲雄(2001)：沿岸海域の富栄養化機構，Ship&Ocean Newsletter/No.11，pp.2-3

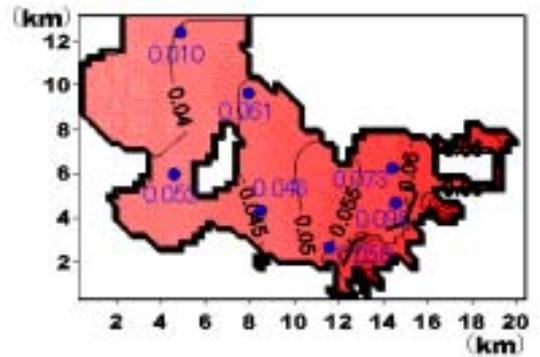


図-3 TP 濃度の計算値及び観測値(mg/l)

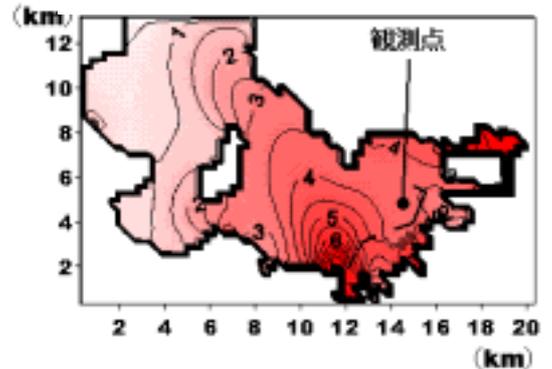


図-4 負荷削減による TP の減少率(%)

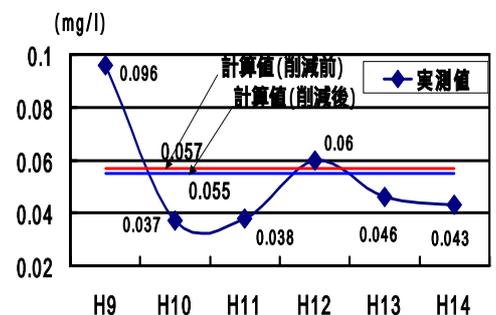


図-5 負荷削減による TP の変化の相違