

物質循環を考慮した博多湾のCOD拡散シミュレーション

九州大学大学院○学生員 劉 容 伶 九州大学工学部 正員 小松 利光
九州大学大学院 学生員 矢野真一郎 九州大学工学部 正員 朝位 孝二

1. はじめに 博多湾は閉鎖的な水域で外海水との交換率が低い上人口や産業が臨海部に集中して陸上からの汚染負荷が多いため、有機汚染が著しい海域となっている。海域の有機汚染の主たる原因は陸上からの有機物質負荷によるが、底泥からの有機物の溶出や、海域内の基礎生産による負荷も大きいものと思われる。本研究は、博多湾をモデル海域とし、物質収支の式に2層レベルモデルを用いて、水質指標の水平ならびに鉛直方向の分布に影響を及ぼす要因のうち主なものをとりあげ、これらの変化による水質指標の分布への影響を明らかにすると同時に、それらの要因の適切な取扱い法について検討を試みたものである。

2. 解析モデル 海域の有機物汚染の指標として用いられるCODは非保存性であり、内部生産や底泥からの溶出等を考慮する必要がある。CODは光の届く表層(有光層)では内部生産が活発に行なわれるが、光の届かない深い層(無光層)では行われない。このことを考慮して物質収支式は、有光層と無光層で上下2層に分割する2層レベルモデルを採用する。有光層の厚さは、湾奥の最もCODが高い海域で透明度が約2.0mを示すことより、補償深度として透明度の2倍をとり4.0mと設定した。博多湾におけるCODの生産を支配する栄養塩はリンであることから全リン濃度T-Pを制限栄養塩とした。潮流に関しては非定常平面2次元単層モデルにより計算を行った。計算に用いた基礎式を表-1に示す。

表-1 潮流計算と水質シミュレーションの基礎式

1. 運動方程式及び連続式 $\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{(h+\zeta)} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{(h+\zeta)} \frac{\partial M}{\partial y} - fN =$ $-g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(V_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(V_y \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\gamma^2}{(h+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (1)$ $\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{M}{(h+\zeta)} \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{N}{(h+\zeta)} \frac{\partial N}{\partial y} + fM =$ $-g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(V_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(V_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\gamma^2}{(h+\zeta)^2} N \sqrt{M^2 + N^2}$ $\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (3)$ ここで、ζは潮位、hは平均水深、M、Nはx、y方向の線流量、U、Vはx、y方向の水深平均流速、qは淡水流入量、νは平面2次元粘性係数、fはコリオリ係数、γ^2は海底摩擦係数、P_i、COD_iは各層のT-PとCODの濃度($i=1, 2$、1は上層、2は下層)、h_iは一潮汐の平均層厚($i=1, 2$)、Kは水平方向分散係数、K_zは鉛直混合係数、Q_p、Q_cはT-P、CODの流入負荷、S_p、S_cはT-P、CODの沈降速度、SS_p、SS_cはT-P中、COD中の懸濁態の割合、K_cはCODの生産速度、D_cはCODの分解速度、γ_p、γ_cはT-P、CODの底泥からの溶出速度である。	2. 水質モデル式 $\frac{\partial P_1}{\partial t} + U \frac{\partial P_1}{\partial x} + V \frac{\partial P_1}{\partial y} = \frac{1}{h_1 + \zeta} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K(h_1 + \zeta) \frac{\partial P_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(h_1 + \zeta) \frac{\partial P_1}{\partial y} \right) \right]$ $- S_p SS_p P_1 + (Q_p - q P_1) \frac{h_1 + \zeta}{h_1 + h_2 + \zeta} - K_z (P_1 - P_2) \quad (4)$ $\frac{\partial P_2}{\partial t} + U \frac{\partial P_2}{\partial x} + V \frac{\partial P_2}{\partial y} = \frac{1}{h_2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K h_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K h_2 \frac{\partial P_2}{\partial y} \right) \right]$ $+ S_p SS_p (P_1 - P_2) + (Q_p - q P_2) \frac{h_2}{h_1 + h_2 + \zeta} + K_z (P_1 - P_2) + \gamma_p \quad (5)$ $\frac{\partial C_1}{\partial t} + U \frac{\partial C_1}{\partial x} + V \frac{\partial C_1}{\partial y} = \frac{1}{h_1 + \zeta} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K(h_1 + \zeta) \frac{\partial C_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(h_1 + \zeta) \frac{\partial C_1}{\partial y} \right) \right]$ $- S_c SS_c C_1 + (Q_c - q C_1) \frac{h_1 + \zeta}{h_1 + h_2 + \zeta} - K_z (C_1 - C_2) + K_c P_1 - (h_1 + \zeta) D_c C_1^2 \quad (6)$ $\frac{\partial C_2}{\partial t} + U \frac{\partial C_2}{\partial x} + V \frac{\partial C_2}{\partial y} = \frac{1}{h_2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K h_2 \frac{\partial C_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K h_2 \frac{\partial C_2}{\partial y} \right) \right]$ $+ S_c SS_c (C_1 - C_2) + (Q_c - q C_2) \frac{h_2}{h_1 + h_2 + \zeta} + K_z (C_1 - C_2) - h_2 D_c C_2^2 + \gamma_c \quad (7)$
--	--

潮流計算と水質計算のための計算条件を表-2に示す。湾口における境界条件は、上げ潮時に $C_1=1.8\text{mg/l}$ 、 $C_2=1.3\text{mg/l}$ 、 $P_1=0.023\text{mg/l}$ 、 $P_2=0.016\text{mg/l}$ を与えて、下げ潮時には無限遠方の条件を用いた。計算に用いた各パラメータの値は表-3に示す。海域の区分については図-1に示した。計算方法は、水質モデル式(4)、(5)、(6)、(7)式についてSplit Operator Approachを採用し、移流項には高精度の6-point schemeを、拡散項には中央差分法を用い、1周期の平均濃度が定常になるまで計算した。また場所毎の水平2次元粘性係数

表-2 潮流・水質計算の計算条件

(1) 潮流計算	
計算格子間隔	$\Delta x = \Delta y = 300$ (m)
時間格子間隔	$\Delta t = 10.0$ (sec.)
コリオリ係数	$f = 0.81 \times 10^{-4}$ (sec. ⁻¹)
海底摩擦係数	$\gamma^2 = 0.0026$
外海との境界条件	$\zeta = 0.57 \cos(2\pi t/T)$ (m)
周期	$T = 12$ hour 25 min.
(2) 水質計算	
計算格子間隔	$\Delta x = \Delta y = 900$ (m)
時間格子間隔	$\Delta t = 300.0$ (sec.)

表-3 水質計算の各パラメータの値

	西部海域	中部海域	東部海域
γ_c (mg/m ² /日)	16.4	15.1	16.7
γ_p (mg/m ² /日)	0.89	2.12	6.39
S_c (m/日)	0.17	0.17	0.17
S_p (m/日)	0.22	0.22	0.22
SS_c	0.21	0.21	0.21
SS_p	0.35	0.35	0.35
K_c (g/m ² /日)	40.5	40.5	40.5
D_c (g/m ³ /日)	0.053	0.053	0.053

ν_t 、水平方向分散係数 K 、鉛直混合係数 K_z の評価には次の評価式を用いた。

$$\nu_t = K = \alpha V_m h \quad (8)$$

$$K_z = \beta \frac{\kappa}{6} \overline{u_*} h \left(\frac{2}{h_1 + h_2 + \zeta} \right) \quad (9)$$

ここで、 V_m 、 $\overline{u_*}$ は一潮汐間の最大潮流流速と平均海底摩擦速度、 $\kappa = 0.41$ である。(8)式は矢野らにより開発された ν_t 、 K の推定法¹⁾ であり、それによると博多湾においては $\alpha = 70$ が最適値である。また(9)式中の β については計算結果を実測値にfittingさせることにより決定した。

3. 計算結果 図-1 に示した7つの地点

について図-2 (a), (b), (c), (d) に示したように一次元的に分布を表すことにより計算結果と実測値の比較を行った。その結果、 β の最適値として $\beta = 0.02$ を得た。

4. おわりに

本研究により物質循環モデルによる博多湾の水質予測が可能となった。T-P についてかなりの一致がみられるが COD については誤差を生じている。これは単層モデルのための水平方向分散係数を用いたことや、潮流を単層モデルにより計算していることなどに起因しているものと考えられる。多層モデルにおける水平方向の分散係数や鉛直混合係数の評価法については今後の研究課題としたい。最後に本研究に使用した物質循環に関するパラメータのデータをいただいた(財)九州環境管理協会に深甚なる感謝の意を表します。また、適切な助言をいただいた九州大学工学部助教授中村由行先生にも心から感謝の意を表します。

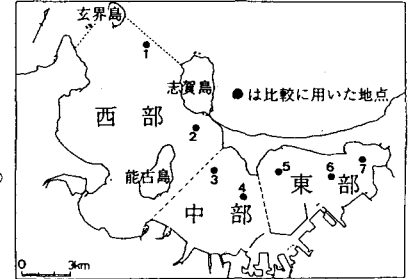


図-1 海域の区分と比較地点

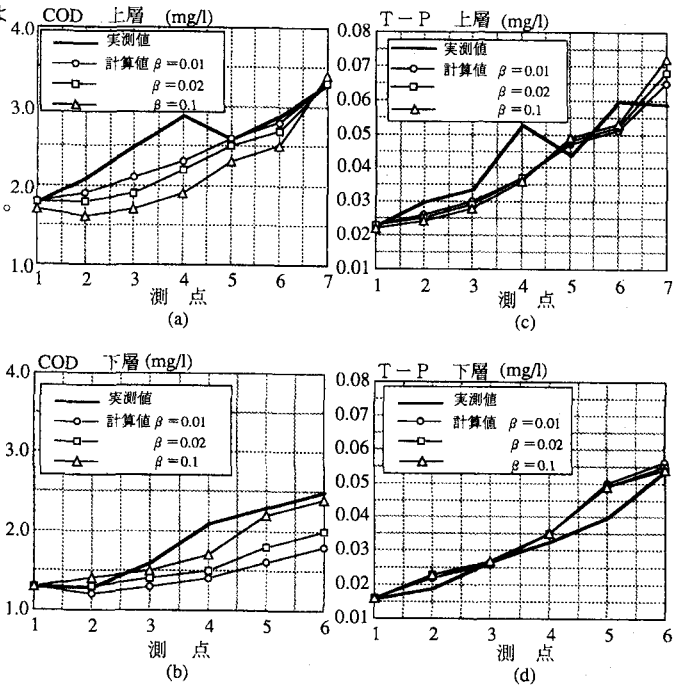


図-2 計算結果と実測値の比較

参考文献 1). 矢野真一郎・小松利光・松永康司・朝位孝二：内湾における渦動粘性係数・渦動拡散係数の評価法について，土木学会第47回年次講演会概要集，pp. 1262-1263, 1992