

有明海における水質シミュレーションに関する基礎的研究

佐賀大学大学院工学系研究科
 佐賀大学低平地研究センター
 佐賀大学理工学部

○学 佐藤公俊
 正 荒木宏之 正 山西博幸
 正 古賀憲一 学 今村耕一郎 学 菅 杏里

1. はじめに

近年、有明海では水・底質環境の悪化による影響が懸念されており、その対策並びに回復を行うことが急務となっている。本研究では、数値モデルを用いて有明海における水質特性の把握を行ったものである。

2. 解析手法

水質シミュレーションには、既存の二次元流れ・物質輸送モデルを使用し、以下に反応項に関する基礎式、表-1にパラメーター一覧、図-1にモデルの概念図を示す。

$$\frac{d(DO \cdot V)}{dt} = +K_2 \cdot (C_s - DO) \cdot V - K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot V - K_{d2} \cdot COD_b \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V - K_{d3} \cdot COD_s \cdot \theta_3^{(T-20)} \cdot V - Y_1 \cdot K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot V - Y_2 \cdot K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot F(N,P) \cdot V - R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V + P \cdot F(N,P) \cdot V - SOD \cdot \frac{DO}{HS_SOD + DO} \cdot V \quad \cdot (1)$$

$$\frac{d(COD_d \cdot V)}{dt} = -K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot V \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$\frac{d(COD_s \cdot V)}{dt} = -K_{d3} \cdot COD_s \cdot \theta_3^{(T-20)} \cdot V + S_1 \cdot COD_s \cdot A_b - K_7 \cdot COD_s \cdot A_s \quad \cdot \cdot (3)$$

$$\frac{d(COD_b \cdot V)}{dt} = -K_{d2} \cdot COD_b \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot A_b - S_1 \cdot COD_b \cdot A_b + K_8 \cdot COD_b \cdot A_s \quad \cdot \cdot (4)$$

$$\frac{d(NH_3 \cdot V)}{dt} = +Y_4 \cdot K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot V + Y_2 \cdot K_{d2} \cdot COD_b \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V + Y_3 \cdot K_{d3} \cdot COD_s \cdot \theta_3^{(T-20)} \cdot V - UN_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N,P) \cdot V - UN_b \cdot K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot A_b - UN_b \cdot K_{d2} \cdot COD_b \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V - UN_b \cdot K_{d3} \cdot COD_s \cdot \theta_3^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V + UN_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \quad \cdot \cdot (5)$$

$$\frac{d(NO_2 \cdot V)}{dt} = +K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot \frac{DO}{DO + HS_nitr} \cdot V - K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V \quad \cdot (6)$$

$$\frac{d(NO_3 \cdot V)}{dt} = +K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V - K_6 \cdot NO_3 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

$$\frac{d(PO_4 \cdot V)}{dt} = +K_{d1} \cdot COD_d \cdot Y_{d2} \cdot V + K_{d2} \cdot COD_b \cdot Y_{d2} \cdot V + K_{d3} \cdot COD_s \cdot Y_{d2} \cdot A_b - UP_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N,P) \cdot V - UP_2 \cdot K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot A_b - UP_2 \cdot K_{d2} \cdot COD_b \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V - UP_2 \cdot K_{d3} \cdot COD_s \cdot \theta_3^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V - UP_3 \cdot K_{d1} \cdot COD_d \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V + UP_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

$$\frac{d(CHL \cdot V)}{dt} = +(P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot K_{11} \cdot F(N,P) \cdot K_{10} \cdot V - K_9 \cdot CHL \cdot V - K_9 \cdot CHL \cdot A \quad \cdot \cdot \cdot (9)$$

表-1 パラメーター一覧

K ₂	曝気係数 (1/s)
C _s	飽和DO濃度 (mg/l)
COD _d	溶解性COD (mg/l)
COD _b	SS性COD (mg/l)
COD _s	底層COD (mg/l)
K _{d1}	20℃におけるCOD _d 分解速度 (1/day)
K _{d2}	20℃におけるCOD _b 分解速度 (1/day)
K _{d3}	20℃におけるCOD _s 分解速度 (1/day)
θ ₁	COD _d 分解に関する温度補正係数
θ ₂	COD _b 分解に関する温度補正係数
θ ₃	COD _s 分解に関する温度補正係数
Y ₁	アンモニアに関する菌体収率
K ₄	20℃における硝化速度 (1/day)
NH ₃	アンモニア (mg/l)
θ ₄	硝化行程に関する温度補正係数
Y ₂	亜硝酸に関する菌体収率
K ₅	NO ₂ からNO ₃ への変換速度 (1/day)
NO ₂	亜硝酸 (mg/l)
NO ₃	硝酸 (mg/l)
θ ₅	NO ₂ からNO ₃ への変換に関する温度補正係数
SOD	底泥の酸素消費量 (mg O ₂ /l)
HS_SOD	底泥の酸素消費に関する半飽和定数
IN	無機態窒素量 (mg N/l)
KSN	植物光合成制限の窒素に関する半飽和定数
KSP	植物光合成制限のリンに関する半飽和定数
PO ₄	オルトリン酸 (mg/l)
S ₁	再懸濁速度 (m/day)
K ₇	沈降速度 (m/day)
H	水深 (m)
T	水温 (℃)
Y ₄	COD _d の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _d)
Y ₂	COD _b の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _b)
Y ₃	COD _s の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg COD _s)
UN _b	植物によるアンモニアの摂取 (mg N/mg O ₂)
UN _p	バクテリアによるアンモニアの摂取 (mg N/mg COD)
P	光合成による酸素生成率 (mg O ₂ /l/day)
R ₁	植物の呼吸による酸素消費率 (mg O ₂ /l/day)
θ ₁	植物の呼吸に関する温度補正係数
F(N,P)	光合成に関するN/P制限項
HS_NH ₃	バクテリアによる窒素摂取に関する半飽和定数 (mg N/l)
R ₂	動物・バクテリアの呼吸による酸素消費率 (mg O ₂ /l/day)
θ ₂	動物・バクテリアの呼吸に関する温度補正係数
HS_nitr	硝化行程に関する半飽和定数
K ₆	脱窒速度 (1/day)
θ ₅	脱窒速度に関する温度補正係数
UP _b	植物によるリンの摂取 (mg P/mg O ₂)
UP _p	バクテリアによるリンの摂取 (mg P/mg COD)
Y _{d2}	COD _d のリン含有率 (mg P/mg COD _d)
Y _{d2}	COD _b のリン含有率 (mg P/mg COD _b)
Y _{d2}	COD _s のリン含有率 (mg P/mg COD _s)
HS_PO ₄ +P	バクテリアによるリン摂取に関する半飽和定数 (mg P/l)
CHL	クロロフィル-a (mg/l)
K ₁₀	クロロフィル/C比 (mg CHL/mg carbon)
K ₉	クロロフィルの死滅速度 (1/day)
K ₉	クロロフィルの沈降速度 (m/day)
K ₁₁	初期生成時におけるC/O ₂ 比 (mg carbon/mg O ₂)
V	体積 ()
A _b	巻き上げに関する底面積 ()
A _s	沈降に関わる底面積 ()
A	クロロフィルの沈降に関わる底面積 ()

本モデルは、有機物の指標としてCODを用い、これを溶解性・懸濁性に分けた。窒素の指標としては $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$ ・ $\text{NO}_3\text{-N}$ 、リンの指標として $\text{PO}_4\text{-P}$ 、藻類の指標としてChl-aを用いた。本モデルにおいてはChl-aのCOD換算は個別に算定するものとした。各パラメータにおいては文献を参考に設定した。

解析対象領域を有明海全域とし、その領域を500mメッシュに区切り、外海との海水交換は早崎瀬戸で与えた。また、干潟域には移動境界を設定した。実測値として、毎月大潮満潮時に佐賀県・福岡県・熊本県が行っている浅海定線調査値を用いた。各一級河川において、L-Q回帰式から求まる汚濁負荷を与え、開境界には、早崎瀬戸付近の浅海定線観測値を与えた。計算期間は1995年1月から1995年10月とした。潮流シミュレーション、塩分を用いた物質輸送シミュレーションを行い、流速・塩分に関しては図-2,3が示すように良好な再現結果を得た。本シミュレーションでの移流項と分散項は上記の計算結果を用いたものである。

4. 結果と考察

図-4に湾口、湾央、湾奥部の任意点におけるCODの実測値と計算結果の一部を示す。湾口・湾奥部の計算結果は実測値よりやや高いものの、経年的な挙動は再現できている。湾奥部の計算結果はCODが次第に減衰していき、河川からの負荷が大きくなる降雨期にも若干の上昇は見られたものの、減衰が続く結果となった。これは底泥由来CODの過小評価、各パラメータの不適合が考えられる。計算値と実測値との良好な結果を得るためには、さらに境界条件、パラメータ値の検討を行う必要がある。

謝辞

データ提供などの便宜を図っていただいた九州地方整備局、佐賀県・福岡県の関係者各位に厚くお礼申し上げます。また生研機構・地域コンソーシアム「有明海」プロジェクト及び佐賀大学有明海研究（低平地クラスター）より補助を受けた。ここに、記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1)水理学公式集：土木学会

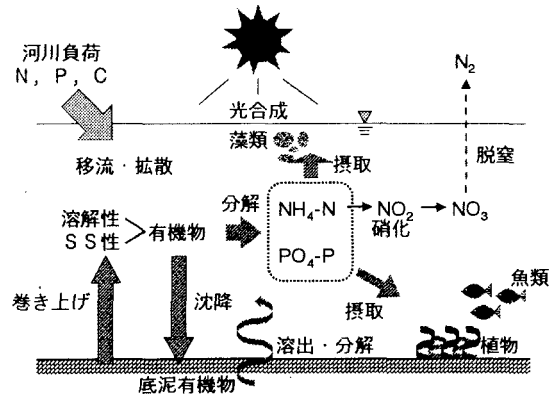


図-1 モデル概念図

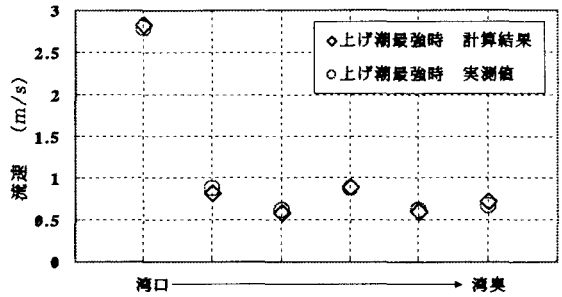


図-2 流速の計算結果と実測値

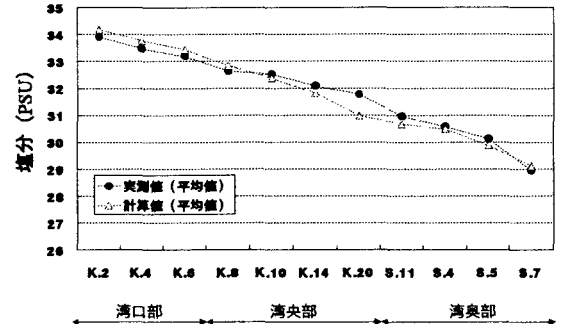


図-3 塩分の計算結果と実測値

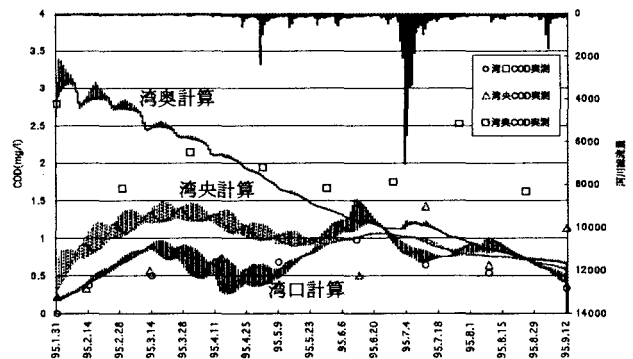


図-4 湾奥・湾央・湾口におけるCOD計算結果と実測値