

有明海の水質に関する数値計算

佐賀大学低平地研究センター 正 ○荒木宏之* 正 山西博幸
佐賀大学理工学部 正 古賀憲一 日本理水設計（株） 佐藤公俊

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、数値計算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。

$$\frac{d(DO \cdot V)}{dt} = +K_2 \cdot (C_s - DO) \cdot V - K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V - K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V - K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot A_b - Y_1 \cdot K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot V - Y_2 \cdot K_5 \cdot NO_2 \cdot \theta_5^{(T-20)} \cdot V - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)} \cdot F(N, P) \cdot V - R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V + P \cdot F(N, P) \cdot V - SOD \cdot \frac{DO}{HS_SOD + DO} \cdot V \quad \dots \quad (1)$$

$$\frac{d(COD_d \cdot V)}{dt} = -K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V + K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot V_b \quad \dots \quad (2)$$

$$\frac{d(COD_s \cdot V)}{dt} = -K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + S_1 \cdot COD_b \cdot A_b - K_5 \cdot COD_s \cdot A_s \quad \dots \quad (3)$$

$$\frac{d(COD_b \cdot V_b)}{dt} = -K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot V_b - S_1 \cdot COD_b \cdot A_b + K_5 \cdot COD_s \cdot A_s \quad \dots \quad (4)$$

$$\frac{d(NH_3 \cdot V)}{dt} = +Y_d \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot V + Y_s \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot V + Y_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot A_b - K_4 \cdot NH_3 \cdot \theta_4^{(T-20)} \cdot V - UN_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N, P) \cdot V - UN_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot A_b - UN_b \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V - UN_b \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot \frac{NH_3}{NH_3 + HS_NH_3} \cdot V + UN_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \quad \dots \quad (5)$$

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

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

$$\frac{d(PO_4 \cdot V)}{dt} = +K_{d3} \cdot COD_d \cdot Y_{d2} \cdot V + K_{s3} \cdot COD_s \cdot Y_{s2} \cdot V + K_{b3} \cdot COD_b \cdot Y_{b2} \cdot A_b - UP_p \cdot (P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot F(N, P) \cdot V - UP_b \cdot K_{b3} \cdot COD_b \cdot \theta_{b3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot A_b - UP_b \cdot K_{d3} \cdot COD_d \cdot \theta_{d3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V - UP_b \cdot K_{s3} \cdot COD_s \cdot \theta_{s3}^{(T-20)} \cdot \frac{PO_4}{PO_4 + HS_PO_4} \cdot V + UP_p \cdot R_2 \cdot \theta_2^{(T-20)} \cdot V \quad \dots \quad (8)$$

$$\frac{d(CHL \cdot V)}{dt} = +(P - R_1 \cdot \theta_1^{(T-20)}) \cdot K_{11} \cdot F(N, P) \cdot K_{10} \cdot V - K_8 \cdot CHL \cdot V - K_9 \cdot CHL \cdot A \quad \dots \quad (9)$$

表-1 パラメータ一覧

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 _s	SS性COD(mg/l)
COD _b	底層COD (mg/m ²)
K _{d3}	20°CにおけるCOD _d 分解速度(1/day)
K _{s3}	20°CにおけるCOD _s 分解速度(1/day)
K _{b3}	20°CにおけるCOD _b 分解速度(1/day)
θ _{d3}	COD _d 分解に関する温度補正係数
θ _{s3}	COD _s 分解に関する温度補正係数
θ _{b3}	COD _b 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°C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 ₆	沈降速度(m/day)
H	水深 (m)
T	水温 (°C)
Y _d	COD _d の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg CODd)
Y _s	COD _s の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg CODs)
Y _b	COD _b の窒素含有率 (mg NH ₃ -N/mg CODb)
UN _b	植物によるアンモニアの摂取 (mg N/mg O ₂)
UN _b	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 ₆	脱窒速度に関する温度補正係数
UP _p	植物によるリンの摂取 (mg P/mg O ₂)
UP _b	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 CODd)
Y _{s2}	COD _s のリン含有率 (mg P/mg CODs)
Y _{b2}	COD _b のリン含有率(mg P/mg CODb)
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 ₈	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(m ³)
V _b	底泥体積(m ³)
A _b	巻き上げに関する底面積(m ²)
A _s	沈降に関わる底面積(m ²)
A	クロロフィルの沈降に関わる底面積(m ²)

キーワード：有明海, COD, 数値計算, 水質モデル, 底泥

* 連絡先：〒 840-8502 佐賀市本庄町1番地 佐賀大学低平地研究センター TEL0952-28-8571

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 $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$ ・ $\text{NO}_3\text{-N}$ 、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換算は個別に算定した。各パラメーターにおいては文献¹⁾を参考にして設定した。

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、分散係数を求めた。なお、流速・塩分に関してはすでに良好な再現結果を得ている²⁾。

3. 結果および考察 図-2に計算ケース1として、有明海へ流入する負荷を外海由来のものと河川由来のもののみで計算を行った結果を示す。湾口・湾中央部における計算結果においては、良好な再現結果が得られたが湾奥部の計算結果は実測値よりも低い値となり、また、湾口・湾中央部と同濃度に収束する結果となった。このことから有明海への流入負荷として河川由来の負荷のみでは湾奥部のCODの水質変動を再現できないことがわかる。モデルの整合性を高めるためには、底泥との物質変換、湾奥部での内部生産を考慮しなければならないことがわかる。

次に計算ケース2として、CODを溶解性のものと懸濁性のものとに分画し、底泥からの巻き上げ・沈降を考慮に入れた計算結果を図-3に示す。底泥からのCOD供給を考慮に入れることにより、湾奥部における再現性が向上したことがわかる。

4. おわりに 有明海の水質に関する数値解析に基づくいくつかの知見を述べた。ここでは紙面の都合上、CODのみについて言及したが、その他の水質項目に関しても現在検討を実施している。今後は、浮泥・底泥、藻類などを考慮した生態工学モデルへの拡張を視野に研究を進めていく予定である。

【謝 辞】 データ提供などの便宜を図っていただいた国土交通省九州地方整備局、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)土木学会編（1999）：水理公式集

2) 荒木ほか（2001）：土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，第VII部門，pp.418-419。

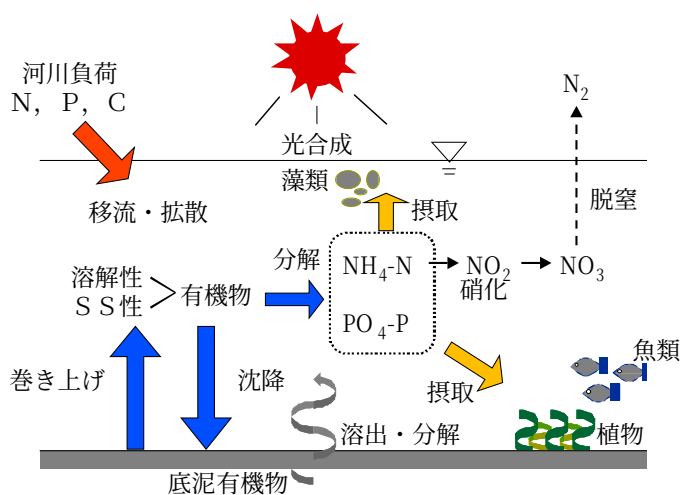


図-1 モデル概念図

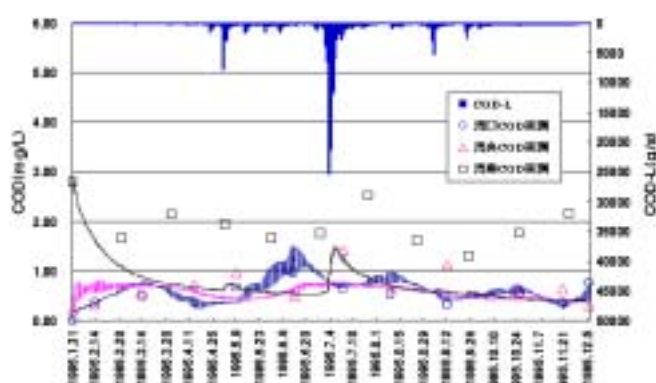


図-2 COD 計算結果（河川負荷のみ）

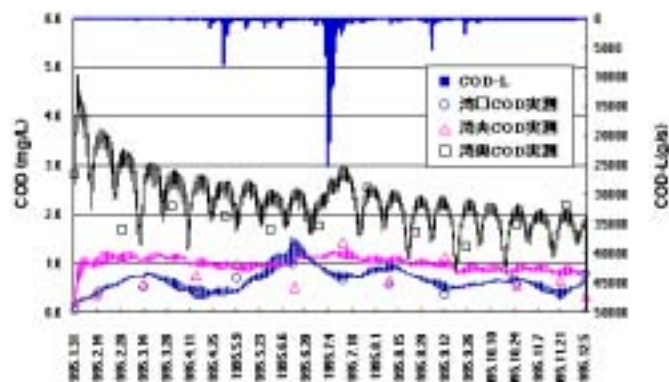


図-3 COD 計算結果（巻き上げ・沈降考慮）