

## 生態系モデルを用いた有明海の水質計算

佐賀大学大学院 学○茂木裕介 佐賀大学低平地研究センター 正 山西博幸  
 佐賀大学低平地研究センター 正 荒木宏之 佐賀大学理工学部 正 古賀憲一

### 1□ はじめに

近年、有明海では大規模な赤潮の発生、タイラギなど魚介類の減少、水・底質環境の悪化等の問題が生じている。これらの対策並びに水・底質環境の回復を講ずる上で、有明海の物理・化学・生物学的特性とそれらが生態系に及ぼす影響について明らかにする必要がある。本研究では、生態系モデルを用いて有明海における水質特性について把握を行った。

### 2□ 数値計算モデル

#### 2□□ 流動モデル

流動モデルは連続の式、運動方程式、および塩分・水温の保存式を差分化することにより解く三次元モデルとした。計算領域は有明海全域を含む海域とし、全域を 900m 格子で一様に格子分割した (図-1)。また、層厚は鉛直方向に 2m 間隔で 11 層分割とした。開境界の潮位は、熊本県富岡港の調和定数を用いて調和解析を行い潮位境界条件とした。河川流入量は、有明海に直接流入する 1 級河川と諫早湾調整池からの排水を設定した。

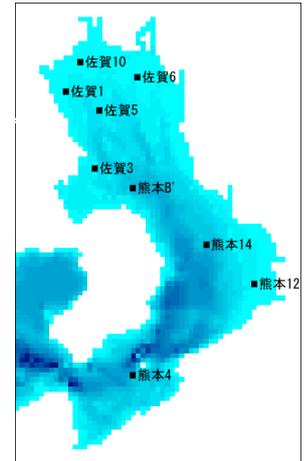


図-1 計算領域

#### 2□□□ 水質モデル

水質モデルは、植物プランクトン (珪藻・緑藻・藍藻)、動物プランクトン、デトリタス、懸濁態無機物、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、溶存態 COD、DO を取り扱う生態系モデルとした。水質モデルの基礎式を式(1)に示す。また、植物プランクトンに関する反応項を式(2)に示す。植物プランクトンは陸域からの藻類流入は無いものとし、増殖は Monod

型に水温と日射の補正を加えた。水質計算に用いた分散係数は、流動モデルによる塩分の計算結果と実測値との比較・検討を行い、塩分について最も再現性の良好な値を採用した (図-2 参照)。なお、水質再現期間は 2000 年 1 月 1 日から 2000 年 12 月 31 日の 1 年間である。

### 3□ 計算結果及び考察

図-3 に Chl-*a*、SS、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、DO、COD の実測値及び計算結果を示す。SS の実測値と計算値との乖離は小さく、概ね良好な再現結果が得られた。Chl-*a* 量の実測値は湾奥部のみであったが、本例に示す範囲内では計算結果との相関は良好である。なお、SS と Chl-*a* では、湾奥部での波や流れによる底泥の巻き上げの影響が強いため、周期的な濃度増減が見られる。これは、上げ潮時に底泥面を流れる水流による強い攪乱のために底泥とともに付着藻類が巻き上がるため、底層濃度が上昇するためである。その後、満潮時に水位上昇と鉛直拡散により深さ方向にほぼ濃度が一様となる。

$$\frac{dC}{dt} = \text{移流項} + \text{分散項} + \text{反応項} \quad (1)$$

$$\text{移流項} = -\vec{v} \cdot \nabla C - (w - w_s) \frac{\partial C}{\partial z}, \vec{v} = (u, v), \nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

$$\text{分散項} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

C : 水質項目    A<sub>H</sub> : 水平渦分散係数    K<sub>H</sub> : 鉛直渦分散係数  
 u, v, w : 流速成分    w<sub>s</sub> : 沈降速度

$$\frac{dP}{dt} = \text{増殖} - \text{死滅} - \text{捕食} - \text{沈降} + \text{巻き上げ} \quad (2)$$

$$= \mu_{\max} \left( \frac{T}{T_p} \right) \exp \left( 1 - \frac{T}{T_p} \right) \left( \frac{I}{I_{opt}} \right) \exp \left( 1 - \frac{I}{I_{opt}} \right) \exp(-K_I \cdot SS \cdot H) \frac{DIN}{K_N + DIN} \frac{PO_4}{K_P + PO_4} \cdot P$$

$$- K_D \cdot \theta_D^{(T-T_D)} \cdot P - K_G \cdot \theta_G^{(T-T_G)} \cdot \gamma_Z \cdot Z - \frac{K_S}{dH} (1 - f(vel)) P + K_R \cdot f(vel) \cdot PB$$

$$f(vel) = \begin{cases} 1 & (vel > vel_{cr}) \\ 0 & (vel < vel_{cr}) \end{cases}$$

P : 植物プランクトン濃度(μg/l)    μ<sub>max</sub> : 最大比増殖速度(1/day)    T : 水温(°C)    T<sub>p</sub> : 増殖最適水温(°C)    I : 日射量(cal/cm<sup>2</sup>/day)    I<sub>opt</sub> : 最適日射量(cal/cm<sup>2</sup>/day)    K<sub>I</sub> : 光減衰係数(m<sup>2</sup>/g)    SS : SS(mg/l)    H : 水深(m)    DIN : NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N(mg/l)    K<sub>N</sub> : 無機態窒素の半飽和定数(mg/l)    PO<sub>4</sub> : PO<sub>4</sub>-P(mg/l)    K<sub>P</sub> : リン酸態リンの半飽和定数(mg/l)    K<sub>D</sub> : 死滅速度係数(1/day)    θ<sub>D</sub> : 死滅に関する温度補正係数    T<sub>D</sub> : 死滅最適水温(°C)    K<sub>G</sub> : 捕食速度係数(1/day)    θ<sub>G</sub> : 捕食に関する温度補正係数    T<sub>G</sub> : 捕食最適水温(°C)    γ<sub>Z</sub> : 植物プランクトンと動物プランクトン換算係数(μg/mg)    Z : 動物プランクトン(mg/l)    K<sub>S</sub> : 沈降速度(m/day)    dH : 水深メッシュ幅(m)    K<sub>R</sub> : 巻き上げ速度(m/day)    PB : 付着藻類濃度(μg/l)    vel : 流速(m/s)    vel<sub>cr</sub> : 限界巻き上げ流速(m/s)

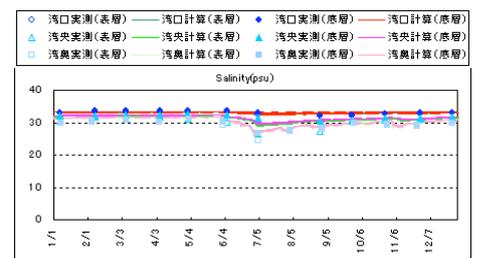


図-2 塩分の計算結果

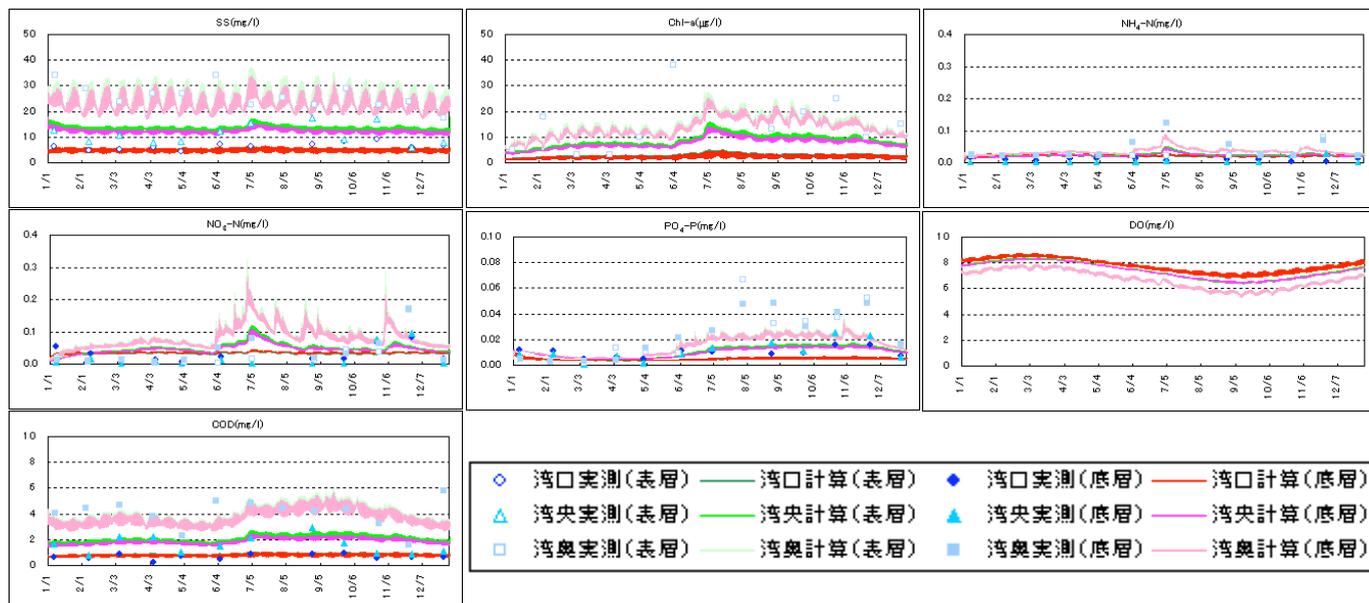


図-3 各水質項目の実測値及び計算結果

SSとDOを除く他の水質項目については、夏期に上昇し、冬期に減少する季節変動の再現性が得られた。なお、NH<sub>4</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nに短期的な濃度増加が認められるが、これは降雨時の陸域からの流入負荷によるものである。NO<sub>3</sub>-Nは年間を通して、計算値が実測値より若干高い傾向が認められる。また、湾奥部のPO<sub>4</sub>-Pは夏期から秋期において、計算値が実測値より低い傾向が認められるが、これは底泥からの溶出を過小評価したためであると考えられる。このことから、NO<sub>3</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの精度向上には、DOの再現性を向上させることにより、夏期に底層の嫌気化による脱窒およびPO<sub>4</sub>-P溶出の改善が必要といえる。CODの実測値と計算値との差は小さく、概ね良好な再現結果が得られた。

図-4 に有明海湾奥部における底質の中央粒径d<sub>50</sub>の水平分布を示す。図から東部海域では粒径が大きく細砂質であり、西部海域ほど粒径が細かく、シルト・粘土質となる。吸着能の大きい微細粒子が多く堆積する西部海域では有機物量も多くなる<sup>1)</sup>。図-5 に2000年の1年を通した懸濁態有機物の沈降量分布の計算結果を示す。図より懸濁態有機物(植物プランクトン+デトリタス)は、湾奥部で有明海全体の54%が沈降し、その分布は、西部海域ほど大きい。このことは、先に示した現地堆積状況とほぼ一致する結果と言える。

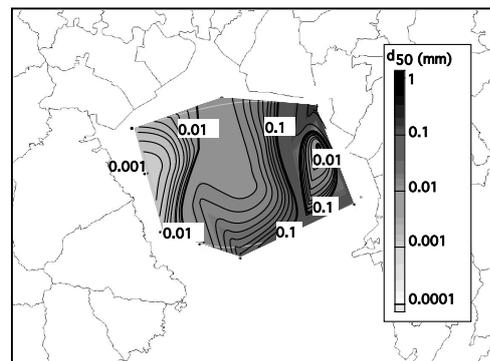


図-4 底質の中央粒径 d<sub>50</sub> の水平分布

4. まとめ

本研究では、生態数値計算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。水質計算を行った結果、各水質項目について概ね良好な再現性を得た。これは、有明海における水環境の保全・回復を講じる上での基礎的知見となる。本研究を遂行するにあたり、生研センター・地域コンソーシアム(代表：林)、佐賀県委託研究費(代表：林)、科研費基礎研究(B)(2)(代表：山西)および佐賀大学有明海総合研究プロジェクトから補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 山西ら：有明海湾奥部での水質・底質特性に関する研究、環境工学研究論文集、vol.39、pp.219-227、2002。

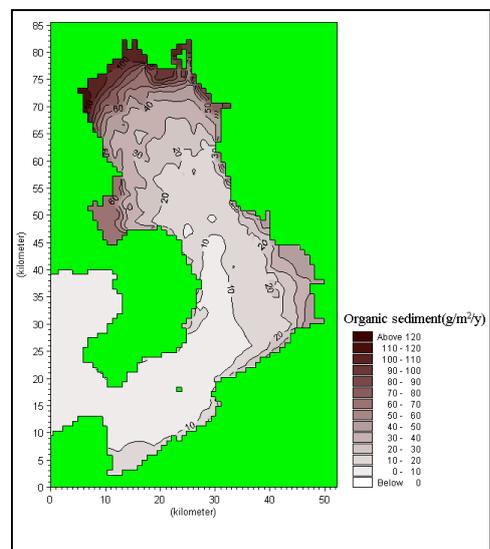


図-5 懸濁態有機物の沈降量分布