

## 閉鎖性水域における流動・水質モデルのパラメータ最適化に関する検討 Study on Parameter Optimization of Flow and Water Quality Model in Closed Water Body

○濱上 邦彦\*, 葛城 遥佳\*, 原田 昌佳\*\*, 尾崎 彰則\*\*\*, 田畑 俊範\*\*, 平松 和昭\*\*

HAMAGAMI Kumihiko, KATSURAGI Haruka, HARADA Masayoshi, OZAKI Akinori, TABATA Toshinori, HIRAMATSU Kazuaki

### 1. はじめに

近年ため池をはじめとする閉鎖性水域では、都市化の進展により富栄養化が進行し、アオコの発生が度々問題となっている。アオコ発生メカニズムを解明する一助として、現地での水理現象を定量的に把握することが重要である。本研究では、低次生態系モデルを組み合わせた流動・水質モデルを構築することによって水域の水質変動を把握した。現地の水理現象をより高精度に再現するため、遺伝的アルゴリズムを用いて最適となるパラメータ値を探索し、現地観測結果と比較・検討することで、水質モデルの再現度を向上した。

### 2. 流動・水質モデルの概要

#### 2-1 流動モデル

モデルの適用地は盛岡市高松の池である。水温成層度の異なる 2016 年および 2017 年に行った現地観測結果をキャリブレーションデータとして用いる。モデル断面は、鉛直 2 次元平面とした。流動モデルには、非圧縮性流体、ブシネスク近似を仮定した連続の式(1)式と運動方程式(2)式, (3)式を用いた。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + S_u \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{\text{eff}} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{\text{eff}} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \beta(T - T_0)g + S_v \tag{3}$$

ただし、 $u$  : 流速の  $x$  方向成分,  $v$  : 流速の  $y$  方向成分,  $\rho_0$  : 基準密度,  $p$  : 重力以外による圧力,  $\nu_{\text{eff}}$  : 実効動粘性係数,  $\beta$  : 体膨張係数,  $T$  : 温度,  $T_0$  : 基準温度,  $g$  : 重力加速度,  $S$  : 生成項である。水域は乱流と仮定し、乱流モデルとして  $k-\epsilon$  モデルを採用した。乱流エネルギー  $k$ , エネルギー散逸率  $\epsilon$  の輸送方程式は(4)式, (5)式で示される。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\nu_{\text{eff}}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\nu_{\text{eff}}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G - \epsilon \tag{4}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\nu_{\text{eff}}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\nu_{\text{eff}}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} G - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \tag{5}$$

ただし、 $G = \nu_t \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\}$ ,  $C_1=1.44$ ,  $C_2=1.92$ ,  $\sigma_k=1.0$ ,  $\sigma_\epsilon=1.3$  である。

温度の拡散方程式は、(6)式で示される。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_T \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{dQ_z}{dy} \right)^* \tag{6}$$

ただし、 $c_p$  : 等圧比熱,  $\nu_T$  : 温度拡散率,  $Q_z$  : 水中での熱流束である。

#### 2.2 水質モデル

水質モデルでは、植物プランクトン、動物プランクトン、懸濁態有機物、溶存態有機物、リン酸

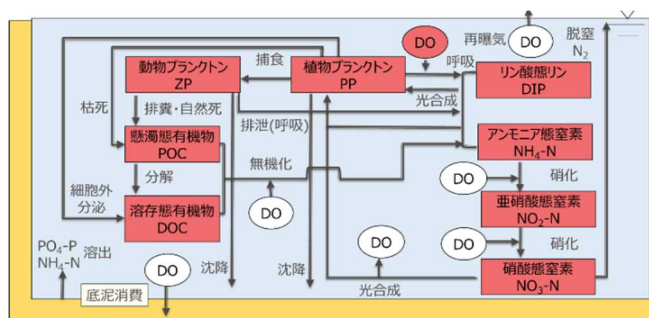


Fig.1 水質モデルの概要  
Outline of water quality model

\*岩手大学農学部 Faculty of Agriculture, Iwate University; \*\*九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University;

\*\*\*九州大学熱帯農学研究センター Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University; キーワード : 水温成層, 藍藻, 溶存酸素, 鉛直分布

態リン, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素, 溶存酸素(DO)の 9 つを考慮した. 各々拡散方程式は(7)式で示される. 概要を Fig.1 に示す.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right)^* \quad (7)$$

ただし,  $C$ : 各変数濃度,  $K_x, K_y$  はそれぞれ水平, 鉛直方向の渦動拡散係数であり, 右辺第 3 項の生物化学的な時間変化項は Fig.1 に示す各々の関係性を考慮して構成した.

### 2.3 境界条件

流れに関する境界条件には, 水面, 側面, 底面に壁法則を採用し, また, 風の作用による水面へのせん断応力も考慮した. 熱の境界条件に関しては, 水表面では短波放射以外の熱流束を, 底部および両側面では断熱面での境界条件を与えた. 水質モデルの境界条件としては, 水面での再曝気による酸素の取り込み, 底泥での堆積有機物の分解に伴う酸素の消費, リン酸態リンと硝酸態窒素の溶出を考慮した.

### 2.4 未知変数の最適化

モデルの再現度を向上させるため, 単純遺伝的アルゴリズム(SGA)による, 最適パラメータ探索を行った. 植物プランクトン量に関わる 11 個のパラメータの組を 1 つの個体とし, 41 個体で計算を行った. 適応度の計算では, 現地観測 2 日分の再現計算に関して 10 分毎の植物プランクトン濃度分布 (鉛直方向に 4 点) との誤差二乗和の全時間積算値が小さいものを適応度が高い個体と判断した. また, 選択ではルーレット戦略, エリート保存戦略を採用し, 交叉, 突然変異を経て, 世代の更新とし, 収束条件を 2 回連続で満たしたとき, 計算終了とした.

## 3. 観測結果

2016 年は, 第 12 世代目で, 2017 年は, 第 8 世代目で収束判定を満たした. 結果を Table 1 に示す. また, 2016 年における植物プランクトンと DO の観測結果とパラメータを反映させた計算結果を Fig.2 に示す. 植物プランクトンは, 現地観測結果と比較して, 全体的に変化量の小さい分布となったが, 日周期での鉛直分布を定性的に再現できたことから, SGA の有効性が確認された. また, DO は植物プランクトンの光合成や呼吸の影響を強く受け, 植物プランクトン濃度に大きく依存することが確認できた. 低次生態系モデルによる成層状態の異なる流れ場における植物プランクトンの増減に関するモデルの妥当性が確認された.

## 4. まとめ

流動・水質モデルにおける植物プランクトンの計算に関わるパラメータを, SGA により探索した. その結果, SGA の有効性とモデルの妥当性を確認できた.

Table 1 最大適応度をとったパラメータ値  
Parameters which lead to the largest fitness

パラメータ		2016 年	2017 年
$v_{PP}$	PP の沈降速度(m/d)	0.257	0.500
$\alpha_1$	0°Cにおける最大生長速度(1/d)	0.227	0.290
$\alpha_2$	0°Cにおける呼吸速度(1/d)	0.00500	0.00675
$\alpha_3$	0°Cにおける枯死速度(1/d)	$9.90 \times 10^{-5}$	$3.27 \times 10^{-5}$
$\alpha_4$	0°Cにおける最大摂取速度(1/d)	0.0662	0.0776
$\beta_1$	光合成に関する温度係数(°C <sup>-1</sup> )	0.0340	0.0302
$\beta_2$	呼吸に関する温度係数(°C <sup>-1</sup> )	0.0492	0.0810
$\beta_3$	枯死に関する温度係数(°C <sup>-1</sup> )	0.0975	0.0759
$\beta_4$	摂取速度に関する温度係数(°C <sup>-1</sup> )	0.0835	0.0200
$C_{PP}$	PP 初期値(mg/L)	0.550	0.479
$C_{DO}$	DO 初期値(mg/L)	8.51	8.31

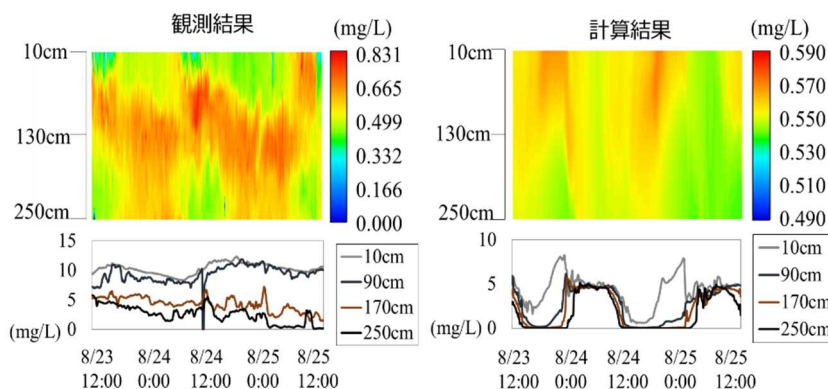


Fig.2 植物プランクトン(上)と DO(下)の時系列変化  
Variation of amount of phytoplankton and DO