

VII-139

数値モデルによる琵琶湖・赤野井湾の流れ場・水質変動解析

Computational Flow and Water Quality Analysis in Akanoi Bay-Lake Biwa

日本学術振興会特別研究員

正員 山敷庸亮

京都大学環境質制御研究センター

正員 松井三郎

同上

山下尚之

1. はじめに

らん藻類増殖における湖水の混合の影響を探るために、流体モデルと生態モデルを同時に解析するモデルを作成し、琵琶湖赤野井湾に適用した。

2. 基礎式

本モデルにおいては(1)流れ場(2)温度場(3)溶存態栄養塩(4)粒子態栄養塩(5)光(6)増殖速度(7)植物プランクトン濃度、の順で計算を行っている。

(1)流れ場の計算式

1方程式LESを用いた。

$$\frac{D(\rho_{(T,C)} u_i)}{Dt} + (-1)^j \rho C_f u_k \\ = \mu_{(T,C)} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial \rho R_i}{\partial x} + \rho_{(T,C)} F$$

$$i, j = 1, 2, 3; \quad k = 2, 1 \text{ for } i = 1, 2, \quad cf = 2\Omega \sin \phi = 0.000086$$

乱流エネルギーのSGS成分の輸送方程式

$$\frac{\partial k_{SGS}}{\partial t} + C_{kSGS} = D_{kSGS} + P_{kSGS} + P_{w_{kSGS}} + G_{kSGS} - \varepsilon_{SGS}$$

$C_{kSGS}, D_{kSGS}, P_{kSGS}, P_{w_{kSGS}}, G_{kSGS}, \varepsilon_{SGS}$ はそれぞれ k_{SGS} の移流項、拡散項、shearによる生成項、風による生成項、浮力による生成項、散逸率である。 $P_{w,G}$ はそれぞれ次のようなモデル化を行った。

$$G_{kSGS} = \alpha_{SGS} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} g, \quad \alpha_{SGS} = \frac{\nu_{SGS}}{Pr_{densitySGS}}, \quad \nu_{SGS} = C_k \Delta_m k_{SGS}^{1/2}$$

$$C_k = 0.05, \Delta_m = \text{filter size} (= dz), g = 9.81 (m/s^2)$$

$$P_w = C_w \tau_w, \quad C_w = 0.02, \tau_w = \frac{\rho_{air}}{\rho} C_D W^2, \quad C_D = 0.001(1 + 0.07W)$$

(2) 温度場の計算式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_{(T,C)} T) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_{(T,C)} u_j T) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_T}{Pr_{SGS}} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + P_T$$

ここに、 Pr, Pr_{SGS} はそれぞれ層流・乱流プラントル数で、6.0と3.0を用いた。

(3) 溶存態栄養塩の計算式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{M}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u_j M}) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_{SGS}}{\sigma_{SGS}} \right) \frac{\partial \overline{M}}{\partial x_j} \right] + P_M - C_M$$

栄養塩の濃度を M 、空間平均濃度を $\overline{M}$ 、生成項・消散項を P_M, C_M とし、以下のような拡散型の方程式によって表す。ただし σ, σ_{SGS} はそれぞれ層流・乱流シュミット

数である。

(4) 懸濁態栄養塩

上式に沈降速度を組み入れ、懸濁態栄養塩の運動を記述する。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{M}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u_j M}) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_{SGS}}{\sigma_{SGS}} \right) \frac{\partial \overline{M}}{\partial x_j} \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho w_j \overline{M}) \delta_j + P_M - C_M$$

ここに、 w_s は沈降速度であり、Stokes式により求めた。

(5) 光強度

各メッシュ毎に消散係数を

$\varepsilon = \Sigma g_M M$ によって計算し、メッシュ毎に有効光強度を以下の式(1)により計算する。

$$I_k = I_{k+1/2} \exp \left(-\varepsilon_k \frac{Dz_k}{2} \right)$$

この式を水面から順次積分していくことにより光量を求める。

(6) 増殖速度

増殖速度は窒素・燐・有効光量の関数で示した。

$$G_p = \mu_{max} f(IP) f(IN) f(L) f(T)$$

ここに、 IP, IN, L はそれぞれ溶存態燐・溶存態窒素、光強度である。

$f(L) = \frac{1}{I_0} \exp \left(-\frac{I}{I_0} + 1.0 \right)$ 関数はそれぞれ左の通りである。

$f(T) = \left[\frac{T}{T_0} \exp \left(-\frac{T}{T_0} + 1.0 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$ K_{IP}, K_{IN}, I_0 はそれぞれ文献1)を参考にして与えた。

(7) クロロフィルaの輸送方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{Chla}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u_j Chla}) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_{SGS}}{\sigma_{SGS}} \right) \frac{\partial \overline{Chla}}{\partial x_j} \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho w_j \overline{Chla}) \delta_j + P_M - C_M$$

ただし、 $\overline{Chla}$ はクロロフィルa濃度の空間平均値である。沈降速度の計算にはStokes式を用いたが、密度は植物プランクトンの種類により変化し、光合成速度に従った簡単な関数でモデル化を行った。増殖速度等は文献1)を参考にした。

3. 数値解析手法

離散化はArakawa Schemeを、圧力緩和にはSOLA

SURF法を用いている。時間積分にはAdams-Bashforth法を用い、陽的に計算を行った。離散化には有限差分法を用いているが、3次元ベクトルを1次元ベクトルに直して高速化とメモリの節約を行った。プログラムは全てC++を用いて記述され、UNIX-OS上で計算を行っている。

4・計算条件

アオコ発生水域である琵琶湖赤野井湾に本モデルを適用した。赤野井湾を20X20x0.5m、メッシュ数で最大100x80x7に分割した。代表流入河川からインレットを与え、水質変化を追った。流入流量は以下に示す

河川名	流量M3/s	Det-P μ G/l
法竜川	0.756	140
天神川	0.15	200
守山川	0.13	100

初期の湖のリン:P濃度は5 μ g/lとし、Chl-aは10 μ g/lとした。また、各河川の流入部付近に50 μ g/lのChl-aブルームを設定した。

5・結果

Fig1-5に流入後5時間の結果を示した。あらかじめChl-a濃度を与えたが、アオコの浮上と、それに伴う照度の減少・増殖速度の減少・リンの増加に伴う増殖速度の増加等が流れ場と共に動的に解析出来た。

ただし現在のところ計算機能力の制限より長期間予測が十分に行われず、今後アルゴリズムの改良による高速化を行う必要がある。

6・考察・展望

琵琶湖研究所の95年の観測によると、赤の井湾の流入河川近傍でアオコの大量発生が起こっている。本計算はあくまで初期濃度を仮定した短期間のものであるが、今後長期予測を行っていく方針である。今後、琵琶湖研究所と共同作業により現地観測等を推進し、モデルの完成に努める予定である。

文献1)岩佐義朗編・湖沼工学,山海堂

Fig-1 Light Intensity

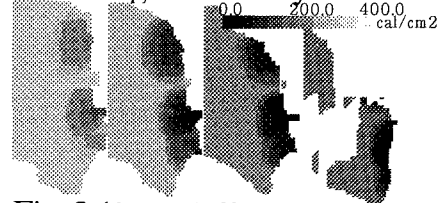


Fig-2 Growth Rate

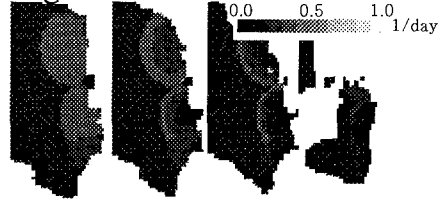


Fig-3 I-P

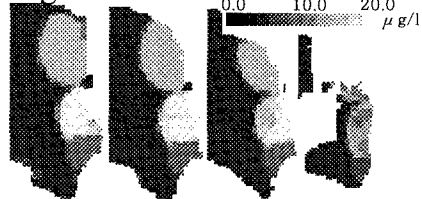


Fig-4 Det-P

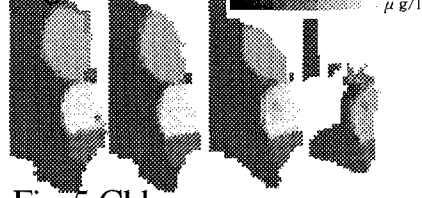


Fig-5 Chl-a

