

京都市下水道局 正 荒 井 均
 京郡大学工学部 正 宗 宮 功
 国立公害研究所 正 海老瀬 潜一

1. はじめに 有効な富栄養化防止策を講じるには、植物プランクトンと栄養塩類との密接で複雑な関連を解明する必要がある。本報告は、琵琶湖南湖に数理生態モデルを適用し、1976年4月から実施している南湖水質調査の実測データを用いシミュレーションを行うことによって生物と栄養塩類の挙動の検討を試みたものである。

2. 基礎方程式 南湖の生態系を構成する因子として表-1に示すごとく、動植物プランクトン(Z, P), 無機および有機態窒素(Inorg-N, Org-N), 総リン(T-P)の5因子を考慮する。動植物プランクトンの挙動の支配因子として増殖, 死滅, 流入・流出を考慮する。Inorg-Nについては, 植物プランクトンによる消費, 動植物プランクトンからの排泄, Org-Nの分解, 河川および降雨流入負荷, 底泥からの溶出およびまき上げによる回帰, 流入・流出を考慮する。Org-Nについては, Inorg-Nで考慮した項に沈降を加え, 底泥からの溶出およびまき上げによる回帰については無視する。T-Pについては, 河川および降雨流入負荷, 底泥からの溶出およびまき上げによる回帰, 沈降, 流入・流出を考慮する。表-2に, 使用パラメータの記号説明および適用した速度定数値・各種係数値を示した。

3. 南湖一括モデル このモデルでは富栄養化現象の再現に重点を置くという意味から, 南湖を一つの完全混合槽とみなし, 基礎方程式系を設定した。シミュレーション期間は1976年4月19日から1978年9月25日までである。計算は0.1日刻みで, Runge-Kutta-Gill法で行った。北湖からの諸因子の流入濃度, 栄養塩の底泥まきあげによる回帰量および河川流入負荷量, 水温等のデータは5日毎の平均値として与えた。なお, 栄養塩の底泥まきあげによる回帰量については, 濁度データから底泥まきあげ量を求め, これと底泥中の栄養塩含量, 栄養塩回帰率から算出した。Inorg-Nについては温度の影響を考慮した。また, 栄養塩の河川流入負荷量は河川流量に比例すると仮定し, 一方降雨量と河川流量とは比例関係にあると考え, 降雨量のみで重み付けし

表-1 モデルの基礎方程式

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= (G_p - D_p)P + \frac{Q}{V}(P_0 - P) \\ G_p &= \left\{ \mu_0 \left(1 - \frac{T^2}{289 + 8.5} \right) + (1-P)K_1 T \right\} \frac{L}{K_m + L} \cdot \frac{C_{TP}}{K_m + C_{TP}} \\ D_p &= K_2 T + C_3 \frac{K_{TP}}{K_m + P} \cdot Z + d \\ \frac{dZ}{dt} &= (G_z - D_z)Z + \frac{Q}{V}(Z_0 - Z) \\ G_z &= \alpha \cdot \alpha \cdot C_3 \frac{K_{TP}}{K_m + P} \cdot P, \quad D_z = K_3 T \\ \frac{dC_{IN}}{dt} &= -\beta G_p P + \beta(1-\alpha)C_3 \frac{K_{TP}}{K_m + P} \cdot P \cdot Z + f_0(C_{IN} - \beta P \cdot Z) \\ &\quad + \frac{RV_{IN}}{V} + W_{IN} \cdot \frac{A}{V} + UP_{IN} + RN_{IN} \frac{A}{V} + \frac{Q}{V}(C_{IN} - C_{IN}) \\ \frac{dC_{ON}}{dt} &= \beta G_p P - \beta(1-\alpha)C_3 \frac{K_{TP}}{K_m + P} \cdot P \cdot Z - f_0(C_{ON} - \beta P \cdot Z) \\ &\quad - d \cdot (C_{ON} - Z) + \frac{RV_{ON}}{V} + RN_{ON} \frac{A}{V} + \frac{Q}{V}(C_{ON} - C_{ON}) \\ \frac{dC_{TP}}{dt} &= \frac{RV_{TP}}{V} + W_{TP} \cdot \frac{A}{V} + UP_{TP} + RN_{TP} \frac{A}{V} \\ &\quad - d \cdot (C_{TP} - \delta Z) + \frac{Q}{V}(C_{TP} - C_{TP}) \end{aligned}$$

表-2 (続)

$RN_{IN}, RN_{ON}, RN_{TP}$: Inorg-N, Org-N, T-Pの降雨負荷速度 ($mg/m^2 \cdot day$), $mg/m^2 \cdot day$, $mg/m^2 \cdot day$ 平均的な負荷速度は 1.84, 0.94, 0.101, W_{IN}, W_{TP} : Inorg-N, T-Pの底泥からの溶出速度 ($mg/m^2 \cdot day$, $mg/m^2 \cdot day$), 10.3, 2.4 (20°C) Inorg-Nについては温度の影響を考慮

表-2 基礎方程式に用いた記号の説明

$P, P_0; Z, Z_0; C_{IN}, C_{ON}; C_{TP}, C_{TP_0}$: 植物プランクトン, 動物プランクトン, 無機態窒素, 有機態窒素, 総リンの濃度および流入濃度 (mg/L , mg/L , mg/L , mg/L , mg/L)
 t : 時間 (day), T : 水温 ($^{\circ}C$), L : 日射量 ($cal/cm^2 \cdot day$)
 Q : 流量 (m^3/day), V : 容積 (m^3), A : 湖底面積 (m^2)
 $G_p, G_z; D_p, D_z$: 植物および動物プランクトンの増殖および死滅速度 (day^{-1})
 P : 藻類群集中の生産の割合, μ_0, μ_2 : 生産および死滅を除いた藻類群集の最大増殖速度 (day^{-1}), 0.45, 0.80, K_1 : 生産を除いた藻類群集の増殖速度の温度影響に関する定数 ($^{\circ}C^{-1}$), 0.035, K_2 : 日射量に関する Michaelis 定数 ($cal/cm^2 \cdot day$), 86, K_m : 無機態窒素に関する Michaelis 定数 (mg/L), 25, K_m : 総リンに関する Michaelis 定数 (mg/L), 10, K_2 : 植物プランクトンの呼吸速度 ($^{\circ}C \cdot day^{-1}$), 0.005, K_3 : 動物プランクトンの呼吸速度 ($^{\circ}C \cdot day^{-1}$), 0.0018, C_3 : 動物プランクトンが周囲の水をろ過する速度 ($L/mg \cdot day$), 0.25, K_{TP} : 餌食効果に関する Michaelis 定数, 60, α : 動物プランクトンの同化率, 0.66
 α, β : 植物プランクトン中の $C/CHL.a$ 比 ($mgC/\mu gCHL.a$) および $N/CHL.a$ 比 ($mgN/\mu gCHL.a$), 0.05, 10, γ, δ : 動物プランクトン中の C/C 比 (mgN/mgC) および P/C 比 (mgP/mgC), 200, 26, d : 沈降速度 (day^{-1}), 0.03, f_0 : 有機態窒素の分解速度 (day^{-1}) 温度の影響を考慮, $0.03 \exp\{0.0693(T-20)\}$
 $RV_{IN}, RV_{ON}, RV_{TP}$: Inorg-N, Org-N, T-Pの河川流入負荷速度 (mgN/day , mgP/day , mgP/day) 平均的な負荷速度は 1.88×10^9 , 4.70×10^8 , 1.73×10^8 , UP_{IN}, UP_{TP} : Inorg-N, T-Pの底泥まきあげによる回帰速度 ($mgN/m^2 \cdot day$, $mgP/m^2 \cdot day$)

て与えた。モデルの検証に用いた実測値は、南湖22~25地点の値を各調査日毎に平均したものである。

シミュレーションによる成果は次のようである。①植物プランクトン(図-1)の季節変化の傾向は大略再現されている。ただ、1978年6月に実測値にみられないピークがある。②動物プランクトンについても全般的な傾向は再現されている。③Inorg-N(図-2)については、冬高夏低の季節変化傾向はよく把握されている。なお冬季に計算値が高くなりすぎている。④Org-Nの季節変化、T-P(図-3)の季節変化と絶対値も大略把握できている。⑤植物プランクトンが増加するときにはInorg-Nが減少するという傾向は把握されている。⑥総窒素(Inorg-N + Org-N)の変動は、Inorg-N、Org-Nのそれほど激しくなく、ゆるやかな曲線を描く。

4. おわりに この南湖一括モデルにより、南湖水質の季節変化の傾向、植物プランクトンと栄養塩(Inorg-N)との関連をある程度再現できたので、モデルの基礎方程式系はほぼ妥当なものといえる。なお、今後の課題として、①南湖を一つの完全混合槽とみなしたがゆえに地域特性が反映されていない、②リンの挙動をT-Pのみで表示したが無機態リンと有機態リンに分けて考える必要がある、③富栄養化を有機汚濁の観点からとらえ、C O Dの式をモデルに導入することを検討すべきである、等のことが挙げられる。これらの諸点を改善してモデルの精度を上げるべく努める所存である。

〈参考文献〉 DiToro et al: A Dynamic Model of the Phytoplankton Population in the Sacramento - San Joaquin Delta (Environmental Engineering and Science Pro-

gram, 1970)
 荒井均:琵琶湖南湖における水質挙動に関する研究(京都大学修士論文, 1979), 奥川光治:琵琶湖南湖における栄養塩類の挙動に関する研究(京都大学修士論文, 1978)

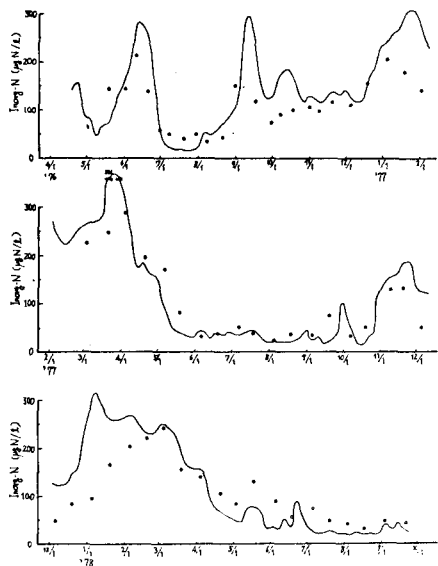


図-2 Inorg-Nのシミュレーション結果

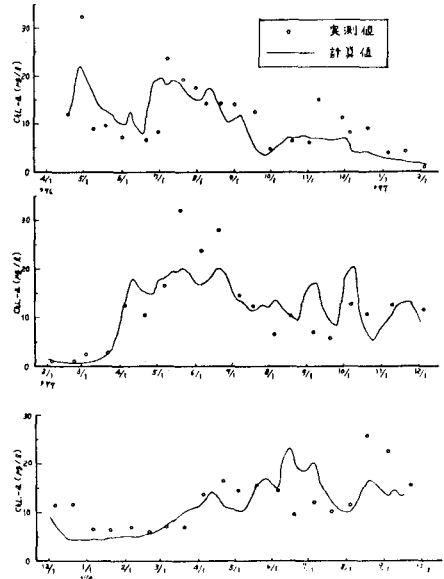


図-1 植物プランクトンのシミュレーション結果

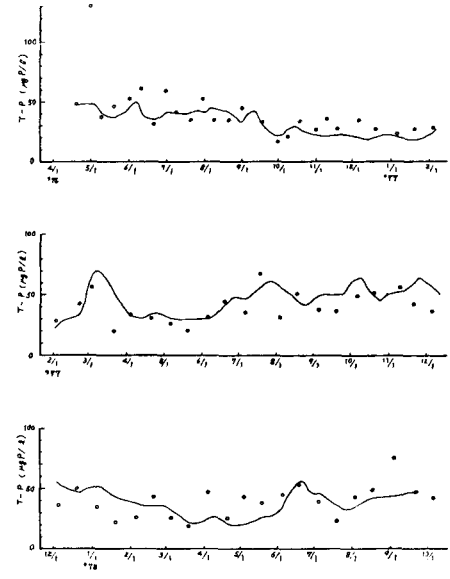


図-3 T-Pのシミュレーション結果