

富山県立技術短期大学 正 奥 川 光 治
京都大学工学部 正 宗 宮 功

1. はじめに 筆者らは、琵琶湖南湖に数理生態モデルを設定しシミュレーション解析を行っているが、その目的は富栄養化現象の機構の解明であり、実測値との比較を行うことによりいかなる因子の影響が大きいのか検討したり、実測不可能で、不確定な因子をシミュレーションで解析することである。本報告は、前報で紹介した基礎方程式に改良を加えた上で、河川からの流入負荷量の推定法について検討を試みたものである。

2. 基礎方程式 改良点は、①絛リンの挙動を無機態リンと有機態リンに分けて考える、②富栄養化現象は動物プランクトンの増殖という二次的な有機汚濁現象を含むので、CODの収支式をモデルに導入する、等である。改良された基礎方程式を表-1に、使用した記号の説明を表-2に示す。

3. 河川からの流入負荷量の推定法 河川からの流入負荷が南湖の水質変化に大きな影響を及ぼしていると考えられるので、その推定法を2通り設定し検討した。河川の負荷量は流量に関係し、流量は降水量に関係するので、いずれの方法も降水量を与えることにより河川の負荷量を推定しようとしたものである。

3.1 原単位法 河川の負荷量は流域の汚濁源別に原単位を与えて算定された汚濁発生負荷量に流達率を乗じ年間総量として求められることが多い。しかし、常に一定の速度で河川からの負荷があるのではなく、降水量、先行晴天日数、施肥期等の影響を受けて変動するものと考えられる。ここでは、年間総負荷量は一定とし、平均日負荷量の3割は降雨に関係なく流出する基底負荷量、7割は降水量に比例して変動する負荷量と考えて式 $R = R_0 \cdot \{0.3 + 0.7 \cdot (n/n_0) \cdot (F_0/F)\}$ を与えた。ここに、 R 、 R_0 ：日負荷量および平均日負荷量、 n 、 F ：ある一定期間の総日数および総降水量、 n_0 、 F_0 ：一定期間内のある期間の日数および降水量である。本解析では $n = 360$ または 375 、 $n_0 = 15$ とし、15日毎に負荷量を変動させた。

表-1 基礎方程式

$$\begin{aligned} \dot{P} &= (G_P - D_P) \cdot P, & \dot{Z} &= (G_Z - D_Z) \cdot Z \\ \dot{C}_{IN} &= -\beta_P \cdot G_P \cdot P + S_N \cdot \beta_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z + D_{Cmps, N} \\ &\quad + [RV_{IN} + RN_{IN} + W_{IN} \cdot \exp\{r_{IN} \cdot (T - 20)\} \cdot A] / V \\ \dot{C}_{ON} &= \beta_P \cdot G_P \cdot P - S_N \cdot \beta_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z - D_{Cmps, N} - d(C_{IN} \cdot \beta_Z \cdot Z) \\ &\quad + [RV_{ON} + RN_{ON} + W_{ON} \cdot \exp\{r_{ON} \cdot (T - 20)\} \cdot A] / V \\ \dot{C}_{IP} &= -\gamma_P \cdot G_P \cdot P + S_P \cdot \gamma_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z + D_{Cmps, P} \\ &\quad + (RV_{IP} + RN_{IP} + W_{IP} \cdot A) / V - d_{IP} \cdot C_{IP} \\ \dot{C}_{OP} &= \gamma_P \cdot G_P \cdot P - S_P \cdot \gamma_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z - D_{Cmps, P} \\ &\quad + (RV_{OP} + RN_{OP} + W_{OP} \cdot A) / V - d(C_{OP} - \gamma_Z \cdot Z) \\ \dot{C}_{SC} &= S_C \cdot \delta_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z + D_{Cmps, C} - f_{SC} \cdot \exp\{k_{SC} \cdot (T - 20)\} \cdot C_{SC} \\ &\quad + [RV_{SC} + RN_{SC} + W_{SC} \cdot \exp\{r_{SC} \cdot (T - 20)\} \cdot A] / V \\ \dot{C}_{PC} &= \delta_P \cdot G_P \cdot P - S_C \cdot \delta_P \cdot (1 - \alpha_S) \cdot G'_Z \cdot Z - D_{Cmps, C} \\ &\quad + (RV_{PC} + RN_{PC}) / V - d(C_{PC} - \delta_Z \cdot Z) \end{aligned}$$

ここで、 $G_P = \{p \cdot \mu_0 \cdot (-T^2/289 + T/8.5) + (1-p) \cdot \mu_0 \cdot r_1 \cdot T\} \times \{L / (R_0 + L)\} \cdot \{G_N / (R_{ZN} + C_{ZN})\} \cdot \{C_P / (R_{ZP} + C_{IP})\}$
 $G_Z = d \cdot \alpha_S \cdot C_g \cdot R_{PP} / (R_{PP} + P)$, $G'_Z = G_Z / d \cdot \alpha_S$
 $D_P = R_2 \cdot T + G'_Z \cdot Z / P + d$, $D_Z = R_3 \cdot T$

表-2 記号の説明

$P, Z, C_{IN}, C_{ON}, C_{IP}, C_{OP}, C_{SC}, C_{PC}$: 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, 無機態リン, 有機態リン, 溶解性COD, 浮遊性CODの濃度, 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, p : 植物プランクトン群集中の珪藻の割合, μ_0, μ_c : 珪藻および珪藻を除いた植物プランクトン群集の最大増殖速度, T : 水温, L : 日射量, R_1 : 珪藻を除いた植物プランクトン群集の増殖速度の温度影響に関する定数, R_2, R_3 : 植物および動物プランクトンの呼吸速度, $R_{IN}, R_{ON}, R_{IP}, R_{OP}$: 日射量, 無機態窒素, 無機態リン, 飼養効果に関するMichaelis定数, C_g : 動物プランクトンが周囲の水をろ過する速度, α_S : 動物プランクトンの同化率, d : 沈降速度, d_{IP} : 無機態リンの化学的反応による沈降速度, $\alpha, \beta_P, \gamma_P, \delta_P$: 植物プランクトン中のC/Chl.a比, N/Chl.a比, P/Chl.a比, COD/Chl.a比, $\beta_Z, \gamma_Z, \delta_Z$: 動物プランクトン中のN/C比, P/C比, COD/C比, S_N, S_P, S_C : 動物プランクトンの排泄物中のInorg-N/T-N比, Inorg-P/T-P比, S-COD/T-COD比, V : 南湖容積, A : 南湖湖底面積, $D_{Cmps, N}, D_{Cmps, P}, D_{Cmps, C}$: 有機態窒素, 有機態リン, 浮遊性CODの無機化速度, 溶存化速度, $f_{IN}, f_P, f_C, f_{SC}, R_{IN}, R_P, R_C, R_{SC}$: 20°Cにおける無機化速度, 溶存化速度および定数, $RV_{IN}, RV_{ON}, RV_{IP}, RV_{OP}, RV_{SC}, RV_{PC}, RN_{IN}, RN_{ON}, RN_{IP}, RN_{OP}, RN_{SC}, RN_{PC}$: 河川, 降雨からの負荷速度, $W_{IN}, W_{ON}, W_{IP}, W_{OP}, W_{SC}, W_{PC}$: 底泥からの溶出速度および定数

3.2 タンクモデル法 南湖流域を23の河川流域に分割し、各流域にタンクモデルを設定して流出解析を行い、得られた流量から式 $L = a \cdot Q^b$ を使って負荷量を算出した。ここに、 L : 負荷量, Q : 流量, a, b : 定数である。 a, b の値は既存のデータから各流域ごとに求めた。負荷量は1日毎に算出したのち5日間ずつ平均をとり富栄養化シミュレーションの入力として与えた。両推定法で算出された負荷量の経日変化を図-1に示す。また、表-3には年間総負荷量と総降水量を示す。原単位法では年間総負荷量は年毎に変わらないが、タンクモデル法では降水量の多少により年毎に変動するのが特徴である。

4. 南湖一括モデル このモデルでは、簡略化のため南湖を1つの完全混合槽とみなし、基礎方程式を適用した。シミュレーション期間は1976年4月から3年間であり、計算は京都大学大型計算機M-200を使用しHamming法によった。諸水質の北湖からの流入濃度、珪藻の割合、水温、日射量等のデータは5日毎に与えた。モデルの検証に用いた実測値は、採水間隔10~20日、採水地点14~22地点で得られたデータも、各調査日毎に平均化したものである(ただし、動物プランクトンのデータは採水間隔1月、採水地点4地点である)。シミュレーションで得られた結果は以下のとおりである(図-2参照)。

①原単位法, タンクモデル法いずれの方法にせよ、河川の負荷量の変動を降水量と関係づけることにより、よりよくシミュレートできた。しかし、各種反応速度定数値や係数値の不確実性から、両法の特徴を生かしたシミュレーションはできていない。

②実測値との適合性は1年目はよいが、2, 3年目、とくに3年目はあまりよくない。長期予測と関連して重要な問題である。

③動植物プランクトンは他の項目に比べ、あまりよくシミュレートできなかった。

5. おわりに 河川からの負荷量の変動を降水量と関係づけることにより、南湖水質の季節変化の傾向をある程度再現できた。しかし、河川の負荷量の推定はむずかしく、タンクモデル法、原単位法いずれがよいか判断しがたい。工場排水や生活排水のような人為的汚濁はほとんど降雨に関係なく発生すると考えられるので、タンクモデル法と原単位の考え方を組み合わせるのも一つの方法であり、今後の課題である。また、長期間シミュレーションやプランクトンの挙動、さらに各種反応速度定数や係数の設定値、温度効果等の影響の度合も今後検討していく必要があると思われる。なお、本研究は建設省琵琶湖工事事務所、京都市水道局の協力を得ていることを付記する。

〈参考文献〉

- 1) 荒井, 宗宮, 海老瀬: 琵琶湖南湖の水質変化特性の研究(その5), 第34回年講(1979)
- 2) 宗宮, 海老瀬, 奥川: Eutrophication Simulation in the Southern Basin of Lake Biwa, 環境衛生工学研究論文集, 第1巻(1979)

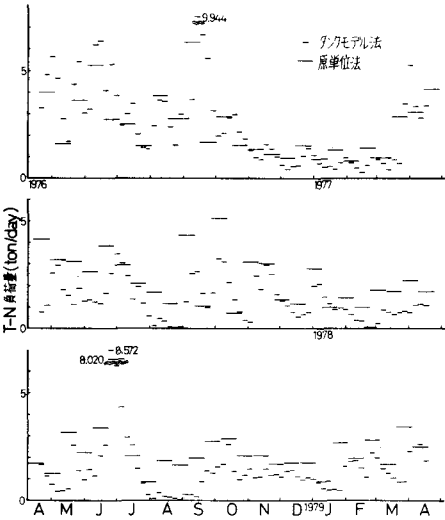


図-1 河川負荷量の経日変化

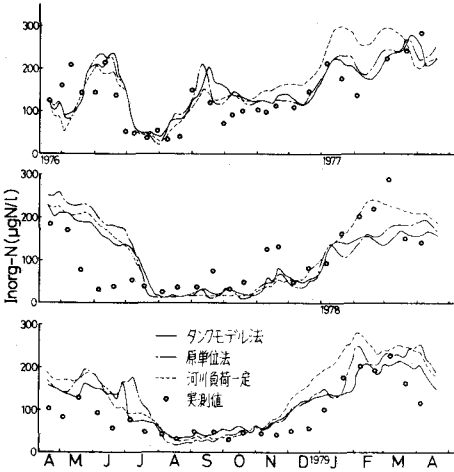


図-2 シミュレーション結果

表-3 タンクモデル法により算出された負荷量

	T-N	T-P	T-COD	降水量 mm
1年目	$9.138 \times 10^5 (1.06)$	$1.337 \times 10^5 (2.12)$	$1.807 \times 10^4 (1.45)$	2072
2年目	$4.725 \times 10^5 (0.55)$	$5.112 \times 10^4 (0.81)$	$7.122 \times 10^4 (0.57)$	1138
3年目	$5.159 \times 10^5 (0.60)$	$6.072 \times 10^4 (0.96)$	$8.327 \times 10^4 (0.67)$	1249

単位 kg/year, ()内は原単位法に対する比率