

—水生植物による水質浄化シミュレーションモデルについて—

(株)竹中工務店 正会員 ○茅野 秀則 篠崎 守 田村 賢治 中ノ郷 康秀

1. はじめに 湖沼等の水域に流入する栄養塩負荷の低減をはかる為、湖沼に近接する内湖および水路に水生植物を栽培し、栄養塩の吸収、除去を行なう水域浄化システムを提案している。その浄化効果を定量的に把握する為には、BOD、DO等の水質指標および窒素やリン等の栄養塩の動態とそれにとむ植物プランクトン、動物プランクトン、栽培する水生植物の生産過程の変動特性をシミュレーションする動力学モデルが適していると考えられる。Di Toroらのモデルを基に霞ヶ浦・山王川実験場で行なった水質浄化水槽実験の結果によってシミュレーションモデルを検討したのでここに報告する。本モデルは、水域浄化システムの地域への適用にあたって用いる基本設計モデルとして検討したものであり、規模、汚水負荷量、水生植物の初期投入量等を設定し、地域の自然環境条件を計算条件として、浄化水量、水質、回収する植物体の重量を数値計算するものである。

2. シミュレーションモデルの概要 本モデルは、水域をボックスに分割し、ボックスごとに完全混合すると仮定した一次元モデルであり、図-1に示す生態モデルに基づいてつくられている。設定した基本式の一部を(1)式~(3)式に示す。

①植物プランクトン(クロロフィルa量: L_1)

$$\frac{\partial(A \cdot L)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial(A \cdot L)}{\partial x} \right) - U \frac{\partial(A \cdot L)}{\partial x} + (G_P - D_P) A \cdot L - (S_e/h) \cdot A \cdot L \quad (1)$$

ここで A : 流路断面積, D : 拡散係数, G_p : 植物プランクトンの生長速度, D_p : 植物プランクトンの消費速度, S_t : 植物プランクトンの沈降速度, h : 水深, U : 流速

栄養塩の濃度変化については、有機態から無機態への変化、動植物プランクトンの増減による変化と水生植物の生長による吸収がある。窒素については $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ および有機態窒素に区分し、リンについては、無機態リンと有機態リンに区分した。

② $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度: (L5)

$$\frac{\partial(A \cdot L_s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial(A \cdot L_s)}{\partial x} \right) - U \frac{\partial(A \cdot L_s)}{\partial x} + K_{45} \cdot A \cdot L_4 - (1 - \alpha) \cdot Q_{NP} \cdot A \cdot L_1 - \frac{A \cdot K_{N1} \cdot K_{N2} \cdot L_5}{h} - \frac{S_H \cdot (1 - \alpha_H) \cdot Q_{NH} \cdot G_H \cdot A \cdot L_{10}}{S \cdot h} \quad (2)$$

ここで K_{as} :硝化速度, α :植物プランクトンによる $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ のとり込み比率, Q_{np} :植物プランクトン中の窒素/クロロフィル a 量比, L_t : $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度, K_{N1} :底質の状態定数, K_{N2} :脱窒素速度定数, S_H :水生植物の栽培面積, α_H :水生植物による $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ のとり込み比率, Q_{WH} :水生植物の窒素/水生植物の重量比, G_H :水生植物の生長率

③水生植物 (L₀:水生植物の現存量)

$$\frac{d(L_{10})}{dt} = (G_H - D_H) \cdot L_{10} \quad (3)$$

ここで $G_H = K_H \cdot (F_{RH})^{C_1} \cdot (T_{TH})^{C_2} \cdot \beta_H \cdot (L_4 + L_5)^{C_3} \cdot (L_7)^{C_4}$, $F_{RH} = R_0 / R_{WH}$, $T_{TH} = T / T_{BH}$ D_H :水生植物の枯死率, R_0 :水生植物を照す全日射量, R_{WH} :水生植物の基準日射量, T :水温, T_{BH} :基準水温, K_H :水生植物の増殖速度定数, F_{RH} :全日射量影響因子, T_{TH} :水温影響因子, $C_1 \sim C_4$:各影響係数

3. 水槽実験

(1) 実験の概要 実験は、水生植物として、ホテイアオイを用い、茨城県山王川の河川敷に設置されている水槽において行った。幅3m×長さ6m×水深(1m±0.5m)のコンクリート製水槽であり、それぞれに攪拌エアレーション装置が設置してある。予備水槽において、水生植物の事前栽培を行ったのち、実験用水槽に約9m²の河川水を取り入れ、10日間前後の自然放置による栽培を行った。主な測定項目は、水質としてPH、SS、COD、NH₄-N、NO₃-N、有機態-N、無機態-P、有機態-P、クロロフィルa量、水温と植物体の重量、含水率、N:P含有率である。

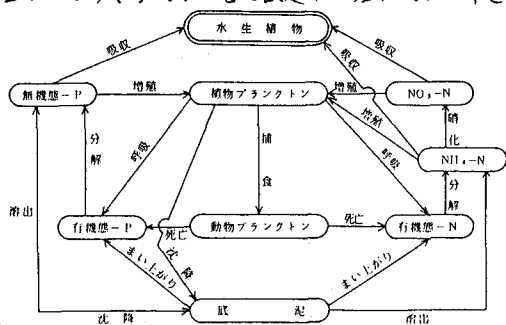


図-1 生態モデル

(2) 実験結果 実験は

昭和56年9月〜昭和57

年9月にかけて4回行。

た。その結果の一部(オ

3回実験)について、実

験開始日と終了日におけ

る窒素、リンの物質収支

を図-2に示す。窒素に

ついては、溶解性 $\text{NO}_3\text{-N}$

+ $\text{NO}_2\text{-N}$ が植物体によく

吸収されており、 $\text{NH}_4\text{-N}$ +有機態-Nは、あまり吸収されていないことがわかる。また、一部が沈殿物および懸濁性-Nに変化していることもみられる。リンについては、懸濁性-P、溶解性-Pとも植物体へ(1は、沈殿物となって水中から減少していることがみられる。

4. シミュレーション計算

水槽実験の実測データに対して、本モデルによるシミュレーション計算を4ケース行い、その実用性を検討した。結果の一部について、実測値(プロット点)とともに図-3(ケース1)に示す。ホテイアオイの生長量に関する計算値は、実測値と若干のずれがみられる点もあるが、実測値の生長傾向をよく近似している。植物プランクトンについては、値が小さいこともあり全体として、よく近似している。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は概ね実測値の減少傾向をよく近似しており、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と有機態-Nの含量については、実測値の比率が不明なため、正確なシミュレーションはできないが、傾向はよく近似している。有機態-P、無機態-Pについては、有

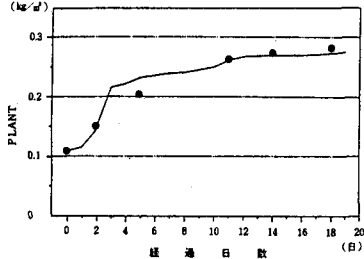


図-3(1) ホテイアオイの生長量 (Case-1)

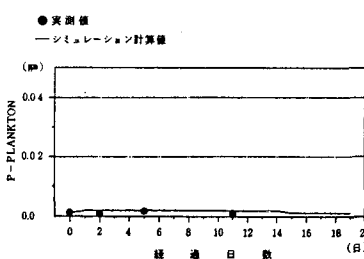


図-3(2) 植物プランクトン(クロロフィルa量)の濃度 (Case-1)

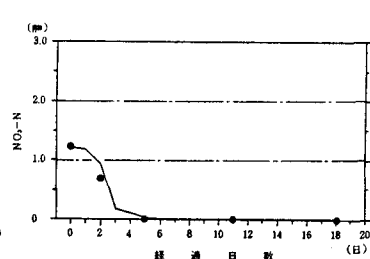


図-3(3) $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度 (Case-1)

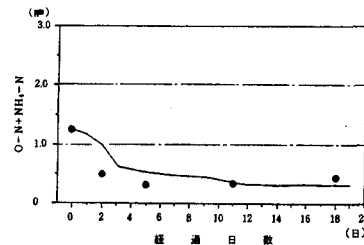


図-3(4) 有機態-N+ $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度 (Case-1)

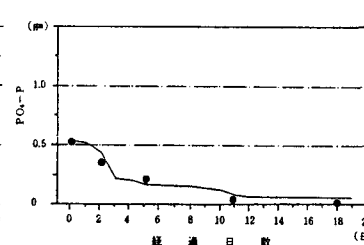


図-3(5) $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度 (Case-1)

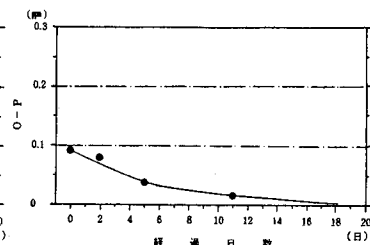


図-3(6) 有機態-Pの濃度 (Case-1)

機態-Pのゆるやかな濃度低下、無機態-Pの急激な濃度低下についてよく近似している。全体として、このシミュレーション計算はそれぞれの変動パターンをよく近似していると考えられ、設定したパラメータの値が適正であったことを示している。また、4ケースについて、このようによく近似していることは、本シミュレーションモデルの実用性を示すものと考えられる。

5. まとめ

本モデルは、水域浄化システムの地域への適用にあたって用いる基本設計モデルとして、実用化の段階に達したと考えられる。今後は規模を大きくしたテストプラントによる実験を行ない、さらに精度の高いシミュレーションモデルとするものである。