

千葉工業大学 学 員 ○大島史彦, 今井洋介, 三品智和
 千葉工業大学 村上和仁
 千葉工業大学 正 員 瀧 和夫
 哈爾濱工業大学 胡 翔

1. はじめに

閉鎖性湖沼における富栄養化現象に関与する環境因子の解析と水質の将来予測を目的として、対象水域の藻類量や栄養塩等の変動特性を組み込んだ生態系モデルを作成し、手賀沼の水質シミュレーションを行った。また、モデルにおける各入力値の変化に対する感度解析により内部生産、すなわち植物プランクトン濃度の増殖量に大きく影響する因子を解明し、効果的な水質改善のための手段を検討した。

2. 方法

2.1 シミュレーション

平成5年4月から平成7年3月までの手賀沼（手賀沼中央）の実測値データを基にして、藻類の増殖に影響を及ぼすと考えられる水温、無機態リン、無機態窒素、日射量等の1年間の変動を時間変化で表わすシミュレーションモデルを作成した。得られた計算値を以下に示す生態系モデルに入力して植物プランクトン量(Chl-a): A ($\mu\text{g/l}$)について解析した。なお、手賀沼は水深が浅いため、全体を完全混合状態とみなし、1ボックスの生態系モデルを適用した。植物プランクトンの挙動を簡略し定式化すると、(1)式に示したような生態系モデルとなる。

$$dA/dt = [\text{増殖}] - [\text{死滅}] - [\text{沈降}] \quad (1)$$

$$\text{ここで、} [\text{増殖}] = \mu A \quad (2)$$

$$[\text{死滅}] = K_d \cdot T \cdot A \quad (3)$$

$$[\text{沈降}] = \nu_A / Z \cdot A \quad (4)$$

ここに、 μ ：比増殖速度（ $= \mu_{\max} \cdot \Phi_T \cdot \Phi_I \cdot \Phi_S$ ）、 $\mu_{\max}$ ：最大比増殖速度 (day^{-1})、 Φ_T ：水温に関する影響関数（ $= T \cdot T_c^{-1}$ ）、 Φ_I ：栄養塩に関する影響関数（ $= N \cdot (K_N + N)^{-1} \cdot P \cdot (K_P + P)^{-1}$ ）、 Φ_S ：照度に関する影響関数（ $= (L \cdot L_c^{-1}) \cdot \exp(1 - L \cdot L_c^{-1})$ ）、 T ：

水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_c ：最適水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 N ：無機態窒素 (mg/l)、 P ：無機態リン (mg/l)、 K_N ：無機態窒素に関する半飽和定数 (mg/l)、 K_P ：無機態リンに関する半飽和定数 (mg/l)、 L ：日射量 (lux)、 L_c ：最適日射量 (lux)、 K_d ：植物プランクトンの死滅定数 (day^{-1})、 ν_A ：植物プランクトンの沈降定数 (day^{-1})、 Z ：水深 (m) とした。また、各係数は文献値を参考にして、表1の値を適用した。

表1 生態系モデルの諸係数

係数	値
$\mu_{\max}$	1.18~5.65
T_c	10~25
K_N	0.1
K_P	0.05
L_c	30000
K_d	0.01
ν_A	0.05

2.2 感度解析

次に、本研究で用いた生態系モデルの各パラメーターの変化に対する感度について検討を行う。植物プランクトン量を Y 、各検討項目入力値を u とすると、感度関数は次式で定義される。

$$Y_u = \partial Y / \partial u \quad (5)$$

検討項目 u は水温、無機態リン、無機態窒素、日射量、そしてこれらの積として求められる比増殖速度とした。

2.3 将来予測

感度解析の結果からモデルに大きく影響を及ぼす因子を抽出し、植物プランクトンの増殖抑制のための効果的な手段を検討した。さらに、その手段に従った条件で水質シミュレーションを試みた。

キーワード（閉鎖性湖沼、生態系モデル、シミュレーション、感度解析）

〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 TEL：047-478-0452 FAX：047-478-0474

3. 結果および考察

3.1 シミュレーション

実測値データを基に各因子の年間の周期性を見出し、近似式等を使用してシミュレーションモデルを作成した。その計算値と植物プランクトン量の初期値として $\text{Chl-a} = 800 (\mu\text{g/l})$ を(1)式に入力してシミュレーションを行い、平成7年4月から平成8年3月の植物プランクトン量の実測値と照合した結果を図1に示した。相互相関係数： r は0.79であった。また、同結果の相関グラフを4～9月、10～3月に分けると図2および図3のようになる。4～9月の春期から夏期にかけての相関係数は0.86で、高い精度でシミュレートしているのに対し、10月～3月の秋期から冬期にかけての相関係数は0.68で、やや精度が落ちた。秋冬の増殖は、植物プランクトンの種構成の変化など、この生態系モデルに組み込まれていない因子が影響を及ぼしていると考えられる。

3.2 感度解析

生態系モデルにおける水温、無機態リン、無機態窒素、日射量、比増殖速度の感度解析結果を図4に示した。年間を通して比増殖速度は感度が高かった。比増殖速度に組み込まれている因子のなかでは、無機態リン、無機態窒素、日射量の順で植物プランクトンの増殖を促進する影響を及ぼすことがわかった。水温については、4月から12月にかけて負の値を示すことから植物プランクトンを抑制する影響を及ぼすが、12月以降は正の値を示し特に3月に増殖を促進する影響を及ぼしていることがわかった。

3.3 将来予測

感度解析の結果から、環境因子のなかで最も感度の高かった無機態リンを削減することが植物プランクトンの増殖を抑える有効な手段であると考え、1年間の無機態リンの濃度を1%、3%、5%削減した場合について、シミュレーションを行った。図5に平成8年4月から平成9年3月までの実測値と、無機態リンの濃度を削減した設定での計算値を比較した結果を示した。無機態リンの濃度を1%削減した場合、夏期以降の植物プランクトンの増殖を削減しない場合に比べて28%抑制でき、3%、5%削減した場合、植物プランクトンは増殖することなく、それぞれ58%、72%抑制することが可能であった。したがって、無機態リンの削減は植物プランクトンの増殖および内部生産を抑制し、富栄養化現象の対策として効果的であると考えられた。

4. まとめ

生態系モデルを用いて植物プランクトンの挙動を高い精度で再現することができた。感度解析は植物プランクトン量と環境因子の相互関係の検討を可能にし、それを基に将来予測を行った結果、無機態リンの削減が内部生産の抑制に効果的であることがわかった。今後、過去に蓄積されたデータや知見を整理し、さらなる数値実験と検討を重ねることで、生態系モデルは水質予測手法および水質改善効果の評価手法としてきわめて有効になるものと考えられる。

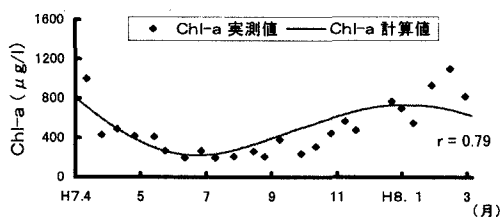


図1. 手賀沼におけるシミュレーション結果

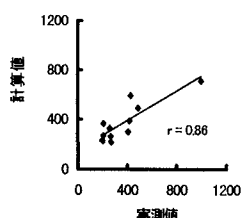


図2. $\text{Chl-a} (\mu\text{g/l})$
実測値と計算値の比較 4月～9月

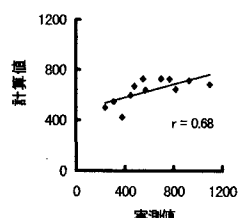


図3. $\text{Chl-a} (\mu\text{g/l})$
実測値と計算値の比較 10月～3月

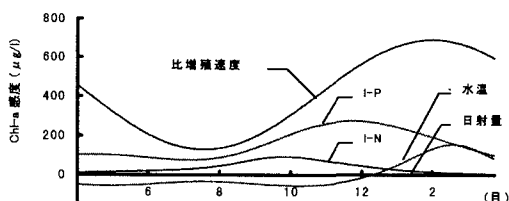


図4. 生態系モデルの感度解析

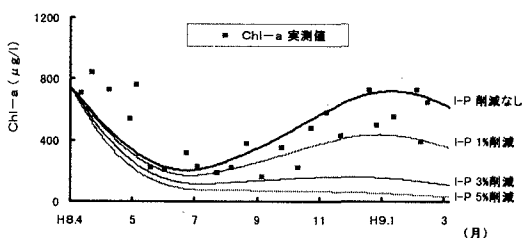


図5. 無機態リン削減に伴う水質の将来予測