

水質シミュレーションモデルによる印旛沼の水質改善対策の検討

平間幸雄

1 はじめに

富栄養化の観点から印旛沼の水質改善対策の効果の概略を把握し、対策の方向性を明らかにすることを目的として、検討を行った。

本報告は、千葉県環境研究センターのプロジェクト研究「印旛沼をモデルとした特定流域圏における環境改善と再生に関する研究」の一部として行った、水質シミュレーションモデルによる水質改善対策の検討に関する部分を取りまとめたものである。

次章に、第4期湖沼水質保全計画策定に使用した水質シミュレーションモデルの改良について、第3章に、改良モデルによる印旛沼の水質改善対策の検討結果について記載した。

2 印旛沼の水質シミュレーションモデルの改良

湖沼の浄化対策を検討するためには、水質に関与すると考えられる要素・プロセスをモデル化し、対策による水質改善効果を定量的に推定することが必要である。

印旛沼の第4期湖沼水質保全計画（計画期間：2001~2005年度）策定に使用した水質シミュレーションモデル¹⁾の作成に当たっては、外部条件の時間変化を3期計画（計画期間：1996~2000年度）モデルより細かく設定するなど、より現実に近いモデルとすることを試みた。しかしながら、水質の季節変化を十分には再現できておらず、特に、夏季の藍藻類の増殖とそれに伴うCODの上昇を再現できていないなど、モデルの信頼性に問題が残っていた。このため、各水質項目の再現性を詳細に検討したところ、無機態窒素の供給速度が過小に評価されていたため、窒素制限の度合いが過大になっており、藍藻類の増殖とそれに伴うCODの上昇を再現できていないと考えられた。水中の無機態窒素濃度に影響を与える因子としては、脱窒による除去、有機物の分解による供給、底泥からの溶出による供給などが考

えられる。このうち、脱窒速度に注目して、パラメータと水質項目の再現性との関係について検討を行い、実際に水質シミュレーションの計算を行う際に適当と思われるパラメータの値を求めた。

2・1 印旛沼の第4期湖沼水質保全計画策定に使用した水質シミュレーションモデルの概要¹⁾

4期計画の策定に当たっては、水質予測の精度を向上させるため、3期計画策定に使用したモデル²⁾の改良を行った。主な改良点は以下のとおりである。

- ① 従来、流入水量、気象条件は月平均値を用い、負荷量は年間を通じて一定としていたが、より細かく日単位で設定した。
- ② 空間分割を、従来の5ボックスから、200m間隔の格子で約270のメッシュに細分化した。
- ③ 植物プランクトンの種類を、従来の藍藻、珪藻に緑藻を加え、3種類とした。

4期計画モデルの概要を以下に示す。

2・1・1 排出負荷量算定システム

フレームデータ、排出負荷原単位などの編集及びこれらのデータからブロック別（流域別・市町村別）排出負荷量の算出を行うサブシステムである。

2・1・2 流入水量・負荷量算定システム

本システムは、ブロック別に算出された排出負荷量を流域別に集計し、沼に流入する1日ごとの水量・負荷量を推計するサブシステムである。算出手順の概要は以下のとおりである。

- ① 年間排出負荷量の算出（排出負荷量算定システムによる）
- ② 流達率と年間流入負荷量の設定（流達率は1とする。ただし、河川浄化施設、取水などによる除去負荷量は、排出負荷量から差し引く。）
- ③ 公共用水域水質測定結果からL-Q式（流量と負荷量の関係式）を設定
- ④ 降雨データから日流量の計算（タンクモデルによる；実測値と比較して検証する）

- ⑤ ③と④の結果を用いて日負荷量を計算する。
- ⑥ ⑤で得られた日負荷量合計に対する、②で得られた年間負荷量の比率を求める。
- ⑦ ⑥で得られた比率を補正係数として、⑤で得られた日負荷量に乗ずる。

日流量は、印旛沼流域を 9 流域に分割し、各流域ごとに降雨量、蒸発散量から 4 段タンクモデルを用いて計算を行う。降雨量は気象庁アメダスの観測地点である佐倉の値を用いた。タンクモデルのパラメータは、河川流量の計算値を実測値と比較して調整した。

2・1・3 湖沼内モデル

モデルの構造は 3 期計画策定に使用したもの²⁾とほぼ同じであるが、近年、緑藻類が優占する時季がみられるため、植物プランクトンの種類を、従来の藍藻、珪藻に緑藻を加え、3 種類とした。

本報告で用いたモデルは、生態系モデルの内の、植物プランクトンのみを考慮した生物系モデルに分類される³⁾。状態変数としたのは、クロロフィル a (藍藻、珪藻、緑藻)、非生物態 COD、非生物態有機態窒素、無機態窒素、非生物態有機態りん、無機態りんの各濃度で、考慮に入れた物質循環過程は、①植物プランクトンの生産、細胞外分泌、呼吸、枯死及び沈降、②有機物の分解、③有機物の沈降、④ COD、窒素、りんの底泥からの溶出などである。モデル化した沼内の物質循環過程の概略を図 1 に、物質収支式を表 1 に示す。

前述のとおり、空間分割を、従来の 5 ボックスから、200m 間隔の格子で約 270 のメッシュに細分化した。平均水深が約 1.7m と浅いため、鉛直方向は 1 層モデルとした。

沼内での移流・拡散による水質分布の変化を算出するために、水質計算に先立ち、流動計算を行う。流動計算は日単位で行い、各メッシュの平均水深、タンクモデルで計算された河川流量を入力データとする。水質計算は、流動計算で得られた流動場、流入負荷量算定システムで得られた日負荷量及び水温、日射量を入力データとして行う。水温も日単位で設定する必要があるが、公共用水域水質測定計画に基づく調査は月 2 回に限定されているため、気

温と水温の 1 次回帰式を求め、アメダスによる気温から水温を推定した。日射量については、印旛沼に最も近い観測地点である気象庁館野高層気象台(つくば市)における全天日射量の平均値を用いた。表 2 の物質循環パラメータ等の数値は、既存の文献を参考にし、計算結果の実測値再現性を考慮しながら調整した。4 期計画の目標値設定に使用した値を表 2 に示す(参考として、手賀沼の値も掲載した)。

2・2 検討の概要

印旛沼の 4 期計画策定に使用した水質シミュレーションモデル¹⁾において、水温 t °C における脱窒速度定数は、以下のように設定されており(ここでは、表 2 の γ_{Ni} を k と表記した)、

$$k_t = k_{20} * \exp(a(t - 20))$$

k_{20} : 20 °C における脱窒速度定数(day⁻¹)

a : 温度依存係数

全窒素の再現性に配慮して調整を行った結果、 $k_{20} = 0.15$, $a = 0.24$ としている。これらの値を用いて水質計算をした場合、T-N の再現性は比較的良好であるが、COD、T-P の再現性はあまりよくないこと、温度依存係数 a の値 0.24 は、一般的な反応速度の温度依存性と比べて、かなり大きな値であるという問題点がある。ここでは、これらの値を上限とし、 $k_{20} = 0 \sim 0.15$, $a = 0.1 \sim 0.24$ の範囲で水質の再現計算を行い、計算値と実測値の相関係数を目安として、適当と思われるパラメータの値を求めた。

2・3 結果と考察

脱窒速度定数を変えた場合の COD、T-N、T-P の計算値と実測値の相関係数を表 3 に示す。

20 °C における脱窒速度定数 k_{20} (day⁻¹)、温度依存係数 a のいずれも、値が小さくなると、COD、T-P の再現性が向上する一方、T-N は計算値が低めとなって再現性が低下するという相反する傾向が見られる。COD、T-N、T-P の再現性のバランスに配慮して表 3 の中からパラメータを選択すれば、(k_{20} , a) = (0.03, 0.2), (0.05, 0.15) などの組み合わせが適当と思われる。

脱窒速度定数を変えた場合の COD 濃度の時系列変化の比較例を図 2 に示す(上段が 4 期計画策定時

のパラメータを使用した場合)。まだ十分とは言えないが、脱窒速度定数を低めに設定することにより、1995年、98年、99年、2000年の夏から初秋にかけてのピークの再現性が改善されている。

この時の計算値と実測値の相関係数は、最も小さいT-Pでも、 $r(142,0.01) \approx 0.216$ より大きく、1%水準で有意である。また、これらの値から、印旛沼の平均水深を1.63m、平均無機態窒素濃度を

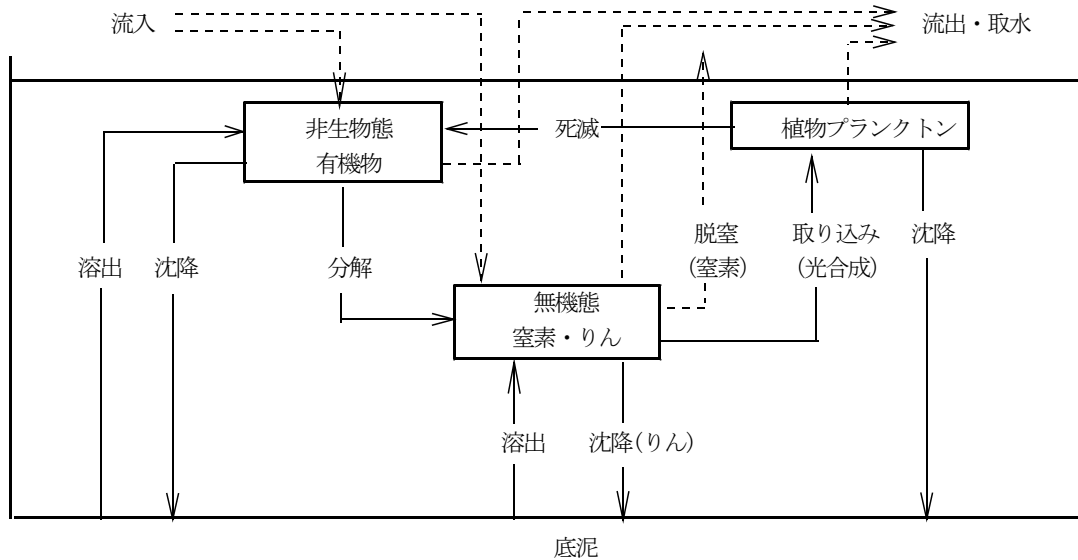


図1 沼内の物質循環過程の概略

表1 物質収支式（移流項を除く）

クロロフィルa	$dChl/dt = Pr(1-\epsilon) - kr \cdot Chl - kd \cdot Chl - v_{p1} \cdot Chl/h - Chl \cdot q/V$
非生物態COD	$dC_o/dt = Lc/V - C_o \cdot q/V - \gamma_{C_o} \cdot C_o - \nu_{C_o} \cdot C_o/h + R_{C_o}/h + (k_d \cdot Chl + Pr \cdot \epsilon) \cdot \alpha_{C_{chl}}$
非生物態有機態窒素	$dN_o/dt = L_N(1-TN_i)/V - N_o \cdot q/V + (k_d \cdot Chl + Pr \cdot \epsilon) \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{CN} - \gamma_{N_o} \cdot N_o - \nu_{N_o} \cdot N_o/h$
無機態窒素	$dN_i/dt = L_N \cdot TN_i/V - N_i \cdot q/V - Pr \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{CN} + kr \cdot Chl \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{CN} + \gamma_{N_o} \cdot N_o - \gamma_{N_i} \cdot N_i + RN_i/h$
非生物態有機態りん	$dP_o/dt = L_P(1-TP_i)/V - P_o \cdot q/V + (k_d \cdot Chl + Pr \cdot \epsilon) \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{NP} - \gamma_{P_o} \cdot P_o - \nu_{P_o} \cdot P_o/h$
無機態りん	$dP_i/dt = L_P \cdot TP_i/V - P_i \cdot q/V - Pr \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{NP} + kr \cdot Chl \cdot \alpha_{C_{chl}}/\alpha_{NP} + \gamma_{P_o} \cdot P_o - \nu_{P_i} \cdot P_i + RP_i/h$

光合成項 $Pr = \mu_{max} \cdot N_i / (N_i + KN) \cdot P_i / (P_i + KP) \cdot f(I) f(T) \cdot Chl$

$f(I) = (I/I_{opt}) \exp(1 - I/I_{opt})$ $f(T) = (T/T_{opt}) \exp(1 - T/T_{opt})$

μ_{max} : 最大比増殖速度
 KN : 窒素の半飽和定数
 KP : りんの半飽和定数
 I : 照度 I_{opt} : 最適照度
 T : 水温 T_{opt} : 最適水温

Chl: クロロフィルa濃度 (藍藻、珪藻、緑藻) $\alpha_{C_{chl}}$: 植物プランクトンのCOD/クロロフィルa
 C_o : 非生物態COD濃度 α_{CN} : 植物プランクトンのCOD/窒素
 N_o : 非生物態有機態窒素濃度 α_{NP} : 植物プランクトンの窒素/りん
 N_i : 無機態窒素濃度 kr : 植物プランクトンの呼吸速度定数
 P_o : 非生物態有機態りん濃度 kd : 植物プランクトンの枯死速度定数
 P_i : 無機態りん濃度 ϵ : 植物プランクトンの分泌量/光合成量
 q : 取水率, V : メッシュ体積, h : メッシュ平均水深

γ_{C_o} : 非生物態CODの分解速度定数 ν_{p1} : 植物プランクトンの沈降速度 L_c : COD流入負荷量
 γ_{N_o} : 非生物態有機態窒素の分解速度定数 ν_{C_o} : 非生物態CODの沈降速度 L_N : T-N流入負荷量
 γ_{P_o} : 非生物態有機態りんの分解速度定数 ν_{N_o} : 非生物態有機態窒素の沈降速度 L_P : T-P流入負荷量
 γ_{N_i} : 脱窒速度定数 ν_{P_o} : 非生物態有機態りんの沈降速度 TN_i : T-N流入負荷量のうち
 R_{C_o} : 非生物態CODの溶出速度 ν_{P_i} : 無機態りんの沈降速度 無機態窒素の占める割合
 R_{N_i} : 無機態窒素の溶出速度 TP_i : T-P流入負荷量のうち
 RP_i : 無機態りんの溶出速度 無機態りんの占める割合

表2 第4期湖沼水質保全計画の目標値設定に使用したパラメータ等の値

パラメータ等	単位	数 値	
		印旛沼	手賀沼
μ_{max} (藍藻)	1/day	1.5	1.5
(珪藻)		0.6	1.0
(緑藻)		1.0	1.0
K_N	mg/L	0.10	0.10
K_P (藍藻)	mg/L	0.005	0.005
(珪藻)		0.005	0.020
(緑藻)		0.005	0.010
T_{opt} (藍藻)	°C	30	28
(珪藻)		10	10
(緑藻)		22	22
I_{opt} (藍藻)	MJ/m ² /day	8	8
(珪藻)		4	4
(緑藻)		6	6
α_{Chl}	-	40	40
α_{CN}	-	9	8
α_{NP}	-	8	8
k_r	1/day	0.02exp(0.0693(t-20))	0.02exp(0.0693(t-20))
k_d	1/day	0.02exp(0.0693(t-20))	0.02exp(0.0693(t-20))
ϵ	-	0.1	0.1
γ_{Co}	1/day	0.10exp(0.0695(t-20))	0.05exp(0.0695(t-20))
γ_{No}	1/day	0.05exp(0.0695(t-20))	0.10exp(0.0695(t-20))
γ_{Po}	1/day	0.05exp(0.0695(t-20))	0.10exp(0.0695(t-20))
γ_{Ni}	1/day	0.15exp(0.24(t-20))	0.06exp(0.0695(t-20))
v_{pl} (藍藻)	m/day	0.1	0.05
(珪藻)	m/day	0.5	0.1
(緑藻)	m/day	0.1	0.05
v_{Co}	m/day	1.0	0.5
v_{No}	m/day	1.0	0.5
v_{Po}	m/day	1.0	0.5
v_{Pi}	m/日	1.0	0.1
R_{Co}	mg/m ² /day	99.0exp(0.0698(t-20))	70.0exp(0.0698(t-20))
R_{Ni}	mg/m ² /day	32.5exp(0.0698(t-20))	110exp(0.0698(t-20))
R_{Pi}	mg/m ² /day	5.10exp(0.0698(t-20))	10.0exp(0.0698(t-20))

注) t : 水温 (°C)

0.5mg/L として 20 °Cにおける平均脱窒速度を求めると、24 ~ 41mg/m²/day となり、水質がそれほど改善されていなかった時期の手賀沼の底泥を用いた実験から算定された脱窒速度⁴⁾⁵⁾の 30mg/m²/day 及び 29.8 ~ 60.2mg/m²/day と同程度かやや低めであり、平均水質に見合った値になっていると考えられる。以上のことから、印旛沼における脱窒速度定数としては、上記の選択された値を採用するのが概ね妥当と思われる。

現状においては、COD、T-Pの再現性とT-Nの再現性を両立させるのは困難であるが、実際の窒素供給量が計算上の値より大きいと仮定すれば、両者をともに良く再現することが可能と思われる。印旛沼流域における主要な窒素供給源の一つに畑地があるが、藤村⁶⁾は、第5期湖沼水質保全計画において採用された畑地の窒素負荷原単位は、実際より

もかなり過小に見積もられている可能性があるという指摘している。畑地の窒素負荷原単位が現行の値より大きくなれば、COD、T-Pの再現性とT-Nの再現性を無理なく両立させ得る可能性がある。

また、近年、印旛沼の窒素濃度が上昇傾向にあることが注目されており、この原因の一つとして、降水量の増加に伴う畑地からの窒素流出量の増加が推測されている⁷⁾。4期計画モデルでは、面源負荷については、降水量に応じて1日ごとの排出負荷量を設定しているものの、年間総負荷量は原単位法により算定された一定値としている。また、畑地の原単位自体も、降水量を反映してはいるが、平年値を用いており、年ごとの降水量の変化に対応可能なものとはなっていない。そのため、短期的な降水量の変化に伴う排出負荷量の変化を表現できるモデルとすることが、今後の課題として挙げられる。

表3 脱窒速度定数を変えた場合の計算値と実測値の相関係数

COD					T-N				
k_{20} \ a	0.1	0.15	0.2	0.24	k_{20} \ a	0.1	0.15	0.2	0.24
0	0.404	0.404	0.404	0.404	0	0.112	0.112	0.112	0.112
0.02	0.387	0.381	0.372	0.363	0.02	0.228	0.283	0.326	0.353
0.03	0.381	0.373	0.361	0.347	0.03	0.261	0.322	0.364	0.386
0.05	0.370	0.358	0.339	0.313	0.05	0.303	0.370	0.407	0.423
0.10	0.347	0.323	0.277	0.216	0.10	0.346	0.420	0.450	0.458
0.15	0.325	0.283	0.208	0.120	0.15	0.358	0.438	0.466	0.470

T-P				
k_{20} \ a	0.1	0.15	0.2	0.24
0	0.284	0.284	0.284	0.284
0.02	0.270	0.263	0.256	0.247
0.03	0.264	0.256	0.245	0.232
0.05	0.253	0.245	0.227	0.201
0.10	0.233	0.211	0.172	0.118
0.15	0.212	0.178	0.111	0.024

$t^{\circ}\text{C}$ における脱窒速度定数

$$k_t = k_{20} * \exp(a(t-20))$$

k_{20} : 20°Cにおける脱窒速度定数

a: 温度依存係数

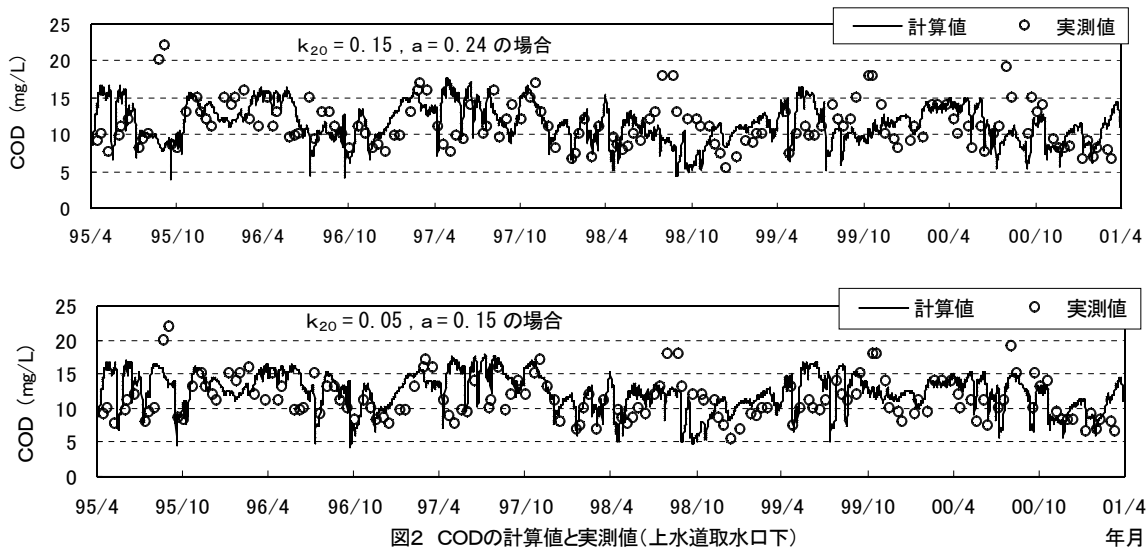


図2 CODの計算値と実測値(上水道取水口下)

3 印旛沼の水質改善対策の検討

3・1 検討の概要

既存モデルによる試算結果を整理した結果、印旛沼の水質改善に有効な対策は、流入汚濁負荷量の削減であり、沼内対策はあまり有効ではないと推定された⁸⁾。そのため、流入負荷削減対策の水質改善効果について、上述の改良モデルにより、詳細な検討を行った。水質の計算に当たっては、5期計画の基準年度である2005年度の実績負荷量⁹⁾を基準とし、気象条件も同年度のデータを使用した。

3・2 対策の効果の概略の把握

具体的な対策の検討に先立ち、対策の効果の概略を把握するため、流入負荷量を一定の割合で削減した場合の沼内水質を試算した。

2005年度の実績負荷量を基準とし、流入負荷量

を20～100%削減した時の印旛沼(上水道取水口下)のCOD濃度(年平均値)を図3に示す。

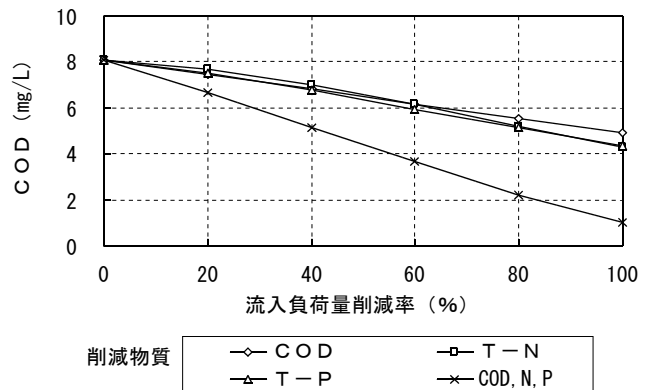


図3 印旛沼(上水道取水口下)の水質予測値(年平均値)

COD, 窒素, リン流入負荷量を単独で削減した場合の効果は、ほぼ同等で、100%削減時の沼内COD濃度は、4～5mg/Lと予測される。窒素は、冬季に硝酸の形で過剰に存在するため、削減率が小さい領域では、COD, リンと比べて、沼内COD濃度の改善効果がやや小さい。

COD, 窒素, リン流入負荷量を同時に削減した場合、沼内のCOD濃度は、ほぼ直線的に低下し、100%削減時の沼内COD濃度は、1mg/Lと予測される。この値は、底泥からの溶出及び沼の水面部分への降雨による負荷の寄与分と考えられる。

なお、既存モデルによる試算⁸⁾では、COD流入負荷量の削減は、窒素, リン流入負荷量の削減ほど沼内COD濃度の改善に有効ではないという結果となっており、今回の改良モデルによる試算結果とは異なっている。その理由としては、排出負荷原単位の見直しにより、市街地等からのCOD排出負荷量が既存モデルよりかなり大きな値として見積もられていることが考えられる。

3・3 個別対策の効果の検討

様々な流入負荷削減対策の効果の評価するため、2005年度実績負荷量(ケース0)を基準とし、対策を行った場合の沼内水質を計算した。

対策ケースと排出負荷量を表4に、水質予測結果(上水道取水口下における年平均値)を表5に示す。

3・3・1 生活排水対策

①下水道整備・接続の促進(ケース1): 単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理人口(生活雑排水未処理人口)の排水をすべて流域下水道に取り込んだ場合(下水道普及率91.5%)

②高度処理型合併処理浄化槽の設置促進(ケース2): 生活雑排水未処理人口の排水をすべて高度処理型合併処理浄化槽で処理した場合

③単独処理浄化槽等の合併処理浄化槽への転換(ケース3): 生活雑排水未処理人口の排水をすべて通常型合併処理浄化槽で処理した場合

3ケース(ケース1～3)の生活排水対策の内、ケース1(生活雑排水未処理人口の排水をすべて流域下水道へ)が最も水質改善効果が大きい(COD 8.1 → 6.8mg/L, T-N 2.9 → 2.5mg/L, T-P

0.110 → 0.092mg/L)。

④生活用品の負荷削減(ケース4): 生活用品(歯磨き剤)の切り替えによるリン負荷削減(削減量28.5kg/日¹⁰⁾; 生活系負荷量の24%, 総負荷量の8%)では、COD 8.1 → 7.9mg/L, T-P 0.110 → 0.103mg/Lとなる。

3・3・2 流入河川対策

河川水のリン除去施設設置(ケース5): 桑納川に、手賀沼流域に設置されている施設と同様のリン除去施設を設置した場合(リン濃度1mg/L, 処理水量1000m³/日, リン除去率80%の施設¹¹⁾を10基設置すると仮定→8kg/日削減; 総負荷量の2.2%), 削減負荷量が小さいため、沼内水質は、ほとんど改善されない。

3・3・3 面源負荷対策

ここで試算を行った、ケース6,7は、非現実的で、極端な条件設定ではあるが、大気由来及び畑地からの窒素負荷が、沼の水質にどの程度影響を与えているかを見積もるために計算を行った。

①大気由来の窒素負荷削減(ケース6): 面源負荷の40%, 全負荷量の25%, 858kg/日¹²⁾を削減した場合には、COD 8.1 → 7.5mg/L, T-N 2.9 → 2.2mg/Lと予測される。

②畑地からの窒素負荷削減(ケース7): 面源負荷の48%, 全負荷量の30%, 1035kg/日を削減した場合には、COD 8.1 → 7.4mg/L, T-N 2.9 → 2.1mg/Lと予測される。

3・3・4 現時点で実施可能と思われる対策を最大限行った場合(ケース8)の水質予測

ケース1+小規模通常型合併処理浄化槽を高度処理型合併処理浄化槽へ転換+畑地からの窒素負荷量50%削減の対策を行った場合でも、COD 8.1 → 6.3mg/L, T-N 2.9 → 1.9mg/L, T-P 0.110 → 0.088mg/Lとなり、次節の目標値COD年平均値5mg/Lには達しない。

なお、「畑地からの窒素負荷量50%削減」という対策は、印旛沼流域水循環健全化会議の「農地系みためし行動」の成果の普及を想定したものである。

3・4 目標の設定と必要な対策量の検討

印旛沼の水環境保全の長期的な目標については、

印旛沼流域水循環健全化会議において検討が行われており、いくつかの評価指標が示されているが、CODについては、年平均値 5mg/L が提案されている。この値を目標とし、達成に必要な対策量を求めると、現時点で実施可能な対策を最大限行った場合（ケース8）に加え、産業系及び面源のCOD、りん負荷量を 35 %削減する必要があると試算される（ケース9）。

3・5 まとめと今後の課題

印旛沼の水質改善に有効な対策は、流入汚濁負荷量の削減であると考えられ、導水等の沼内対策は、あまり有効ではないと推定される⁸⁾が、流入汚濁負荷削減による水質改善も容易ではなく、沼内のCOD年平均値を 5mg/L にするためには、COD・窒素・りんの流入負荷量を同時に 40 ~ 45 %程度削減する必要があり、生活排水対策以外の面源負荷等の削減対策も必要になると試算された。

今後の水質改善対策については、以下のことが考えられる。

- ① 生活排水対策は、実施可能な対策として、引き続き重要であるが、それだけでは限界があり、面源負荷の削減が必要となる。具体的には、畑地での施肥量削減による窒素負荷削減、市街地からの降雨に伴うCOD、りん負荷削減対策として、雨水浸透施設の設置、雨水調整池の活用などが考えられる。
- ② りん負荷量については、産業系（特定事業場）の比率も高いため、個々の事業場についてのより詳細な検討が必要である。生活排水対策の一つとして、りん除去型合併処理浄化槽の普及も考えられる。
- ③ 現行モデルでは、沼内の生物は、植物プランクトンしか考慮されていないが、動物プランクトン、水生植物、魚類等、現行モデルでは考慮していない生物による水質への影響及びこれらの生物を利用した水質改善対策の検討、並びに、それらの効果を評価するため、これらの生物をモデル化することも、今後の課題として挙げられる。

文献

- 1) 国土環境株式会社：平成 13 年度 湖沼水質保全計画策定業務報告書（2002）
- 2) 平間幸雄，小林節子：印旛沼・手賀沼の水質予測の試算（2），千葉県水質保全研究所年報（平成9年度），59-62（1998）
- 3) 環境庁：湖沼水質管理指針策定調査，72-81（1983）
- 4) 上田真吾，小倉紀雄：手賀沼における底泥の脱窒活性と沼の浄化に果たす役割，陸水学雑誌，50(1)，15-24（1989）
- 5) 松山為時，小倉紀雄：手賀沼における間隙水成分の鉛直分布と窒素動態について，日本陸水学会 第 67 回大会 講演要旨集，109（2002）
- 6) 藤村葉子：畑地等からの汚濁負荷原単位と流出率の検討，千葉県環境研究センター年報第 7 号（平成 19 年度），114-115（2009）
- 7) 平間幸雄，小倉久子，飯村晃：印旛沼・手賀沼に関する情報の整理と解析（1）印旛沼の最近の水質，千葉県環境研究センター年報第 6 号（平成 18 年度），122-123（2008）
- 8) 平間幸雄：印旛沼の水質浄化対策の効果に関する検討，千葉県環境研究センター年報第 3 号（平成 15 年度），110-111（2005）
- 9) 千葉県水質保全課：印旛沼の第 5 期湖沼水質保全計画に係る資料（2006）
- 10) 上治純子，藤村葉子，小倉久子：歯磨き剤等生活用品中の窒素，リン等の汚濁負荷，全国環境研究会誌，33（2），93-99（2008）
- 11) 上治純子，藤村葉子：印旛沼・手賀沼流入河川における凝集沈殿によるりん除去法の検討（IV），千葉県環境研究センター年報第 6 号（平成 18 年度），144-145（2008）
- 12) 千葉県環境研究センター：印旛沼をモデルとした特定流域圏における環境改善と再生に関する研究 報告書，89（2008）

表4 対策ケースと排出負荷量

ケース	対策内容	COD排出負荷量 (kg/日)				T-N排出負荷量 (kg/日)				T-P排出負荷量 (kg/日)			
		生活系	産業系	面源	合計	生活系	産業系	面源	合計	生活系	産業系	面源	合計
0	2005年度実績(基準ケース)(下水道普及率78.0%)	1797	621	5606	8024	910	391	2146	3447	118	125	114	356
1	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて流域下水道(下水道普及率91.5%)	349	583	5606	6538	456	342	2146	2944	57	119	114	289
2	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて高度処理型合併処理浄化槽	695	621	5606	6922	752	391	2146	3289	120	125	114	359
3	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて通常型合併処理浄化槽	754	621	5606	6981	999	391	2146	3536	120	125	114	359
4	生活用品(歯磨き剤)の切り替えによるりん負荷削減 (削減量28.5kg/日)	1797	621	5606	8024	910	391	2146	3447	89	125	114	328
5	桑納川に, りん除去施設設置(りん濃度1mg/L, 処理水量 1000m ³ /日, りん除去率80%, 10基設置→8kg/日削減)	1797	621	5606	8024	910	391	2146	3447	110	125	114	348
6	大気由来の窒素負荷削減(面源負荷の40%, 全負荷量の 25%, 858kg/日削減)	1797	621	5606	8024	910	391	1288	2589	118	125	114	356
7	畑地由来の窒素負荷削減(面源負荷の48%, 全負荷量の 30%, 1035kg/日削減)	1797	621	5606	8024	910	391	1111	2412	118	125	114	356
8	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて流域下水道(下水道普及率91.5%) +小型合併処理浄化槽→高度処理型合併処理浄化槽 +畑地由来の窒素負荷を50%削減	305	583	5606	6494	271	342	1629	2241	57	119	114	289
9	ケース8 +産業系・面源のCOD, りん負荷を35%削減	305	379	3644	4328	271	342	1629	2241	57	77	74	208

表5 水質予測結果(上水道取水口下における年平均値)

ケース	対策内容	予測水質(mg/L)		
		COD	T-N	T-P
0	2005年度実績(基準ケース)(下水道普及率78.0%)	8.1	2.9	0.110
1	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて流域下水道(下水道普及率91.5%)	6.8	2.5	0.092
2	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて高度処理型合併処理浄化槽	7.6	2.8	0.111
3	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて通常型合併処理浄化槽	7.7	3.0	0.112
4	生活用品(歯磨き剤)の切り替えによるりん負荷削減 (削減量28.5kg/日)	7.9	2.9	0.103
5	桑納川に, りん除去施設設置(りん濃度1mg/L, 処理水量 1000m ³ /日, りん除去率80%, 10基設置→8kg/日削減)	8.1	2.9	0.110
6	大気由来の窒素負荷削減(面源負荷の40%, 全負荷量の 25%, 858kg/日削減)	7.5	2.2	0.104
7	畑地由来の窒素負荷削減(面源負荷の48%, 全負荷量の 30%, 1035kg/日削減)	7.4	2.1	0.102
8	単独処理浄化槽, し尿処理場利用, 自家処理 →すべて流域下水道(下水道普及率91.5%) +小型合併処理浄化槽→高度処理型合併処理浄化槽 +畑地由来の窒素負荷を50%削減	6.3	1.9	0.088
9	ケース8 +産業系・面源のCOD, りん負荷を35%削減	5.0	1.9	0.070

Examination of measures to improve water quality of Lake Inbanuma
by water quality simulation model

Yukio HIRAMA

富栄養化の観点から印旛沼の水質改善対策の効果の概略を把握し, 対策の方向性を明らかにすることを目的として, 第4期湖沼水質保全計画策定に使用した水質シミュレーションモデルを改良し, 改良モデルを用いて印旛沼の水質改善対策について検討を行った。

印旛沼の水質改善に有効な対策は, 流入汚濁負荷量の削減であると考えられ, 導水等の沼内対策は, あまり有効ではないと推定されるが, 流入汚濁負荷削減による水質改善も容易ではなく, 沼内のCOD年平均値を5mg/Lにするためには, COD・窒素・りんの流入負荷量を同時に40~45%程度削減する必要があり, 生活排水対策以外の面源負荷等の削減対策も必要になると試算された。

キーワード : 印旛沼, 水質改善, 水質シミュレーションモデル