

印旛沼の水質汚濁（COD）は、一次汚濁と二次汚濁で構成され、二次汚濁は主として植物プランクトンの発生のような沼内で発生した汚濁によるものと推定されました。植物プランクトンの発生量は、光、水温などの物理的要因の他に、窒素・リンなどの植物栄養塩類の多寡、食物連鎖を含む生物生態系のあり方等々が複雑に絡み合っています。二次汚濁（内部生産）の発生要因の一つになっている窒素・リンは、どんなことになっているのでしょうか。そして、窒素・リンは、集水域の発生源からどのようにして沼に流入しているのでしょうか。

まず、湖沼水質（COD）と窒素・リンとの関係からみることにしましょう。

1 全国湖沼における COD と窒素・リンとの関係

全国湖沼のうち、水面積 1km² 以上の天然湖沼について、COD と窒素・リンとの関係¹⁾をみると、図 15-1、図 5-2 のように、窒素・リン濃度の高い湖沼は COD も高くなっています。窒素・リンが、植物プランクトンの栄養源となって二次汚濁を引き起こしている可能性があります。印旛沼の窒素・リンは全国湖沼の中でも特に高く、注目されます。

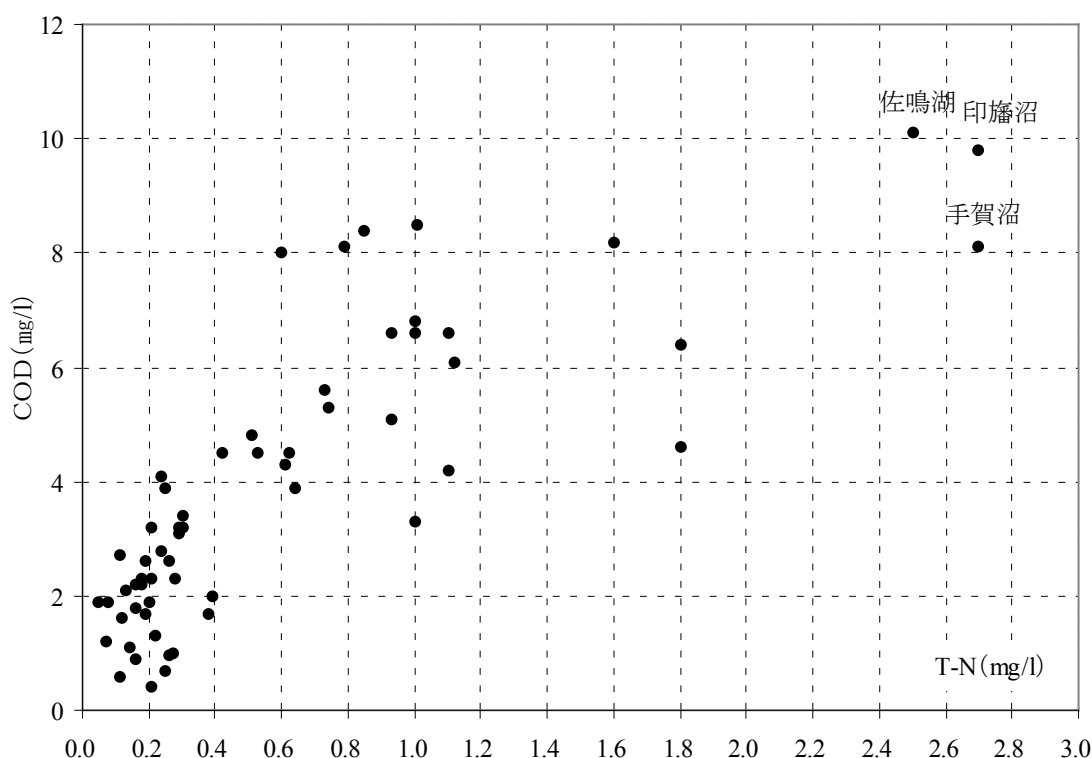


図 15-1 全国天然湖沼における COD と全窒素との関係¹⁾
(平成 13～18 年度平均値)

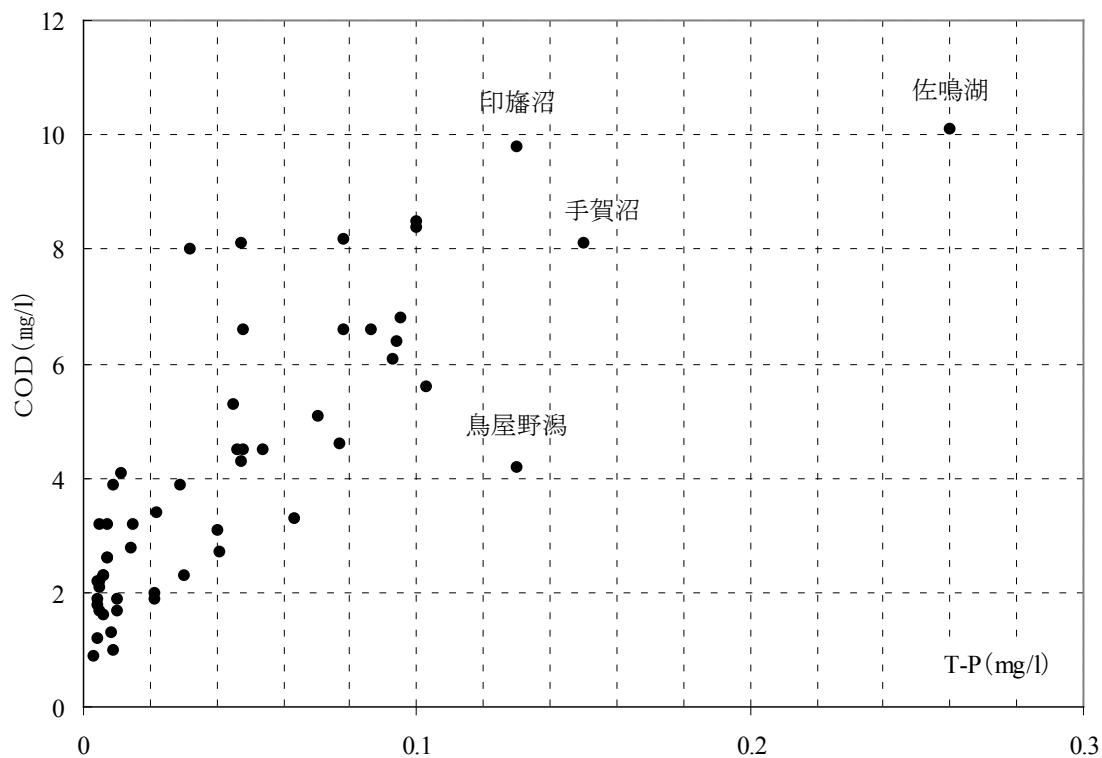


図 15-2 全国天然湖沼における COD と全リンとの関係¹⁾
(平成 18~19 年度平均値)

2 内部生産と植物プランクトンの動向

印旛沼における植物プランクトン数と COD の経年変化を重ねてみると、図 15-3 のように²⁾、水質汚濁の進んだ年次は植物プランクトンの発生の多い年次に当たり、また、植物の光合成に關与するクロロフィル a も、水質汚濁の進んだ年次に高い傾向³⁾にあります(図 15-4)。これらの事実から、内部生産は植物プランクトンによって引き起こされている、としてよいでしょう。

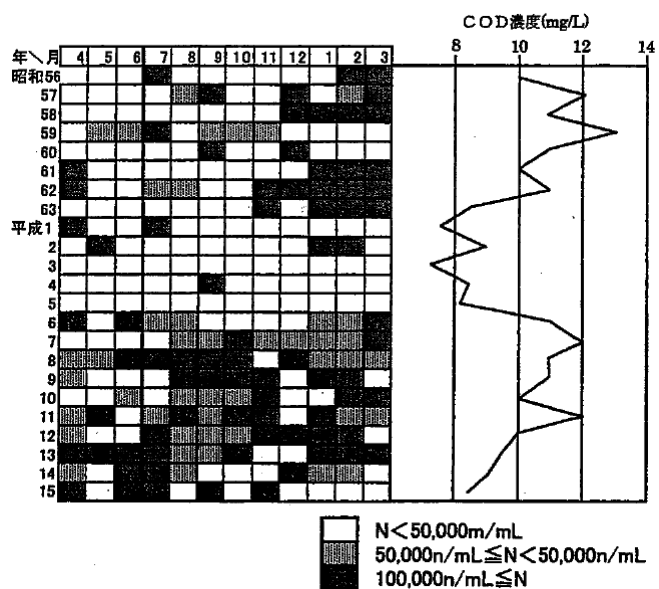


図 15-3 西沼における植物プランクトン総数と
COD の消長

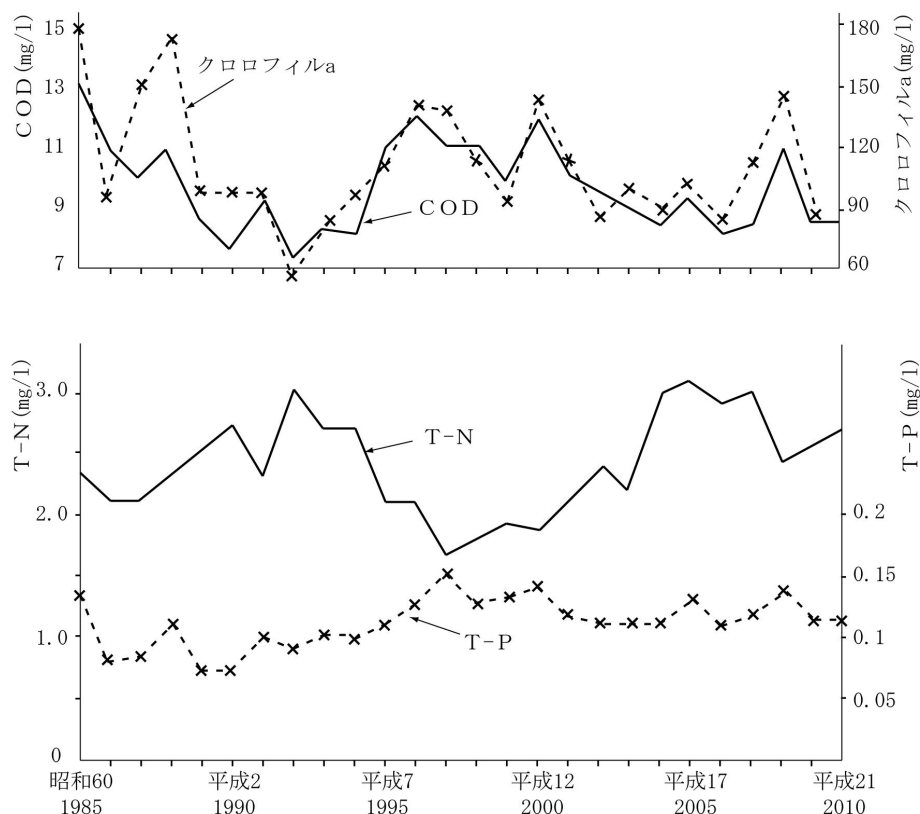


図 15-4 印旛沼の T-N、T-P、クロロフィル a と COD の経年変化³⁾

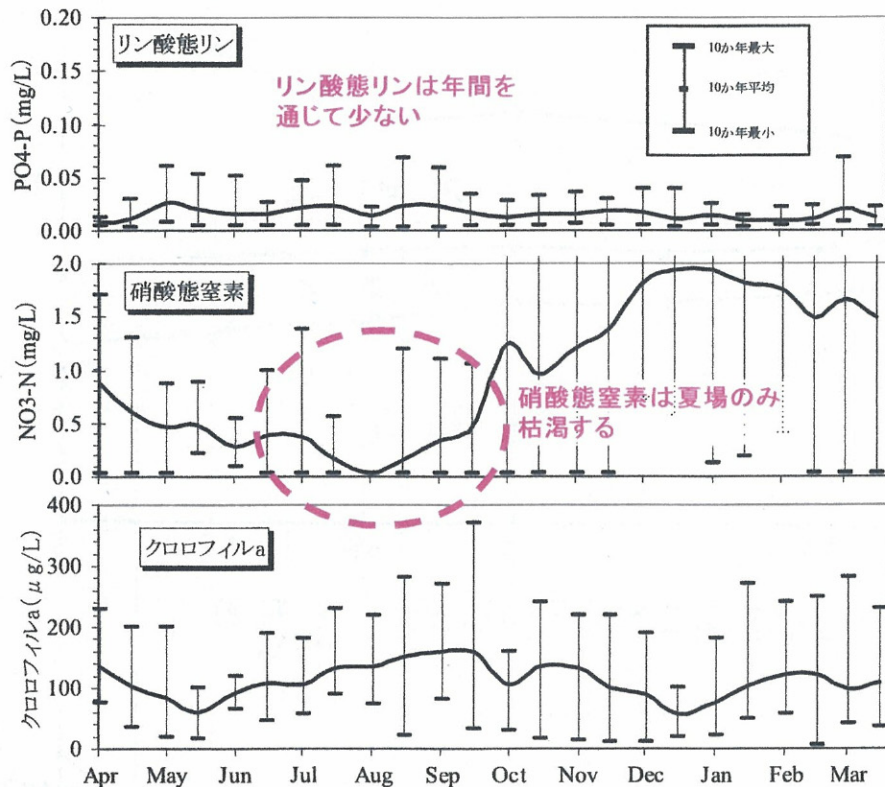
図 15-3、図 15-4で水質のきれいな平成元～5 年は、丁度、浮葉性水草のオニビシが異常繁茂して、沼水域の約 4 割を覆っていた時期に当たり（第 6 章）、オニビシによる遮光効果などによって植物プランクトンの増殖が抑制されたと考えられます²⁾。

3 内部生産と窒素・リン

西印旛沼の水質汚濁について、COD と窒素・リンの年次変化を重ねてみると、図 15-4 のように³⁾、窒素は水質汚濁の進んだ（COD の高い）年次に低く、水質のきれいな（COD の低い）年次に高くなっています。つまり、窒素栄養は植物プランクトンの繁殖に対して十分にあり、植物プランクトンが繁殖すると窒素を吸収してその分だけ水中の窒素濃度を減らしているとみられます。

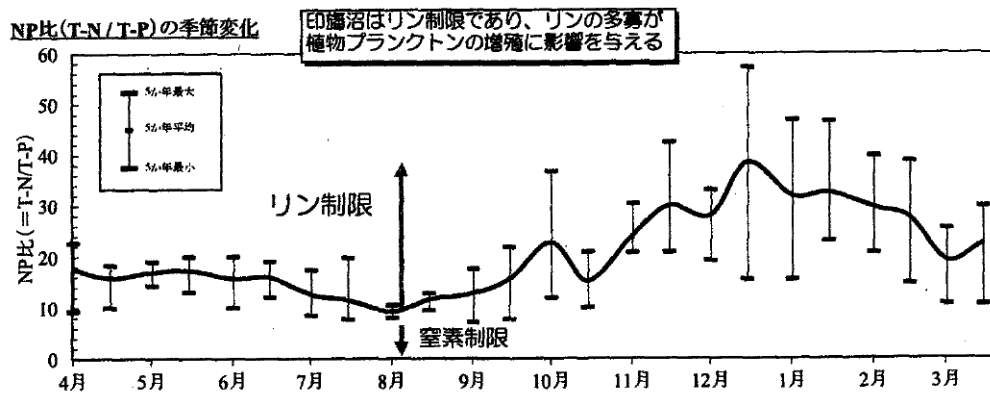
同様にリンと COD との関係をみると、水中リンの多い年次は COD も高い、つまりリン栄養分が多ければ、それだけ植物プランクトンの繁殖量が増加して水を汚す（COD を高める）とみられます。リン栄養は、植物プランクトンの発生に対して不足しているので、リンの量に見合った増殖をする、つまり植物プランクトンの発生量はリンによって制限されている、リンが植物プランクトン発生量の制限因子となっているとみられます。

植物プランクトンが吸収可能な硝酸態窒素 (NO_3^-) とリン酸態リン (PO_4^{3-}) ならびに植物プランクトンが光合成をする体成分のクロロフィル a について季節的推移をみると、図 15-5 のように⁴⁾、リン酸態リンは年間を通して少なく、硝酸態窒素は植物プランクトン発生量の多い（クロロフィル a の多い）夏季には極端に少なく、植物プランクトン発生量の少ない冬季は逆に多くなっています。



データ出典：公共用水域水質測定、上水道取水口下地点（西印旛沼）、1995（H7）～2004（H16）年度、月2回計測。同じ測定回のデータで10カ年最大・最小・平均を算出し、経時変化をプロットしたものである。

図 15-5 リン・窒素・クロロフィル a の季節変化⁴⁾



※上水道取水口下地点（西印旛沼）の近年5か年（'97～'01年度）のデータ（公共用水域水質測定）

図 15-6 NP 比の季節変化⁴⁾

植物プランクトンの体構成成分は、リンの約 7.2 倍の窒素をもっているのので、沼水の窒素・リンは、およそ NP 比 7～10 程度以上であればリン制限と考えてよいでしょう。NP 比は、図 15-6 のように、年間を通じておよそ 10 以上であり、印旛沼もリンが制限因子となっていることが分かります。しかし、アオコの多量発生期にあたる 8 月の NP 比は小さく、かつ窒素 (NO_3) はゼロに近いほど少ないので、夏季だけは窒素も制限因子になっている

と考えられます⁴⁾。したがって、印旛沼のアオコの発生量(内部生産)は、季節によって窒素・リン双方の濃度に影響されていると言ってよいでしょう。内部生産を抑制するためには、窒素・リン双方の削減が必要になります。

4 集水域の窒素・リン

集水域の汚濁発生源から排出された窒素・リンが、河川と経て印旛沼に流れ着くまでの過程について、前章で用いた COD の解析と同じ手法を用いて追ってみることにしましょう。

(1) 窒素・リン発生源の様子

窒素・リンの発生源から排出される汚濁量³⁾は、図 15-8、図 15-7 のように、年々減っています。とくに、生活系の汚濁負荷量は、昭和 55 (1980) 年度に、窒素 (T-N)2,717kg/日、リン(T-P)400kg/日であったものが、平成 21 (2009) 年度には窒素(T-N)862kg/日、リン (T-P)111.7kg/日にまで激減しています³⁾。その要因は、この間に下水道の普及によって生活系の汚濁量が減ったことが大きいと考えられます。

その反面、田畑山林、市街地等から排出される面源系の窒素・リン汚濁負荷量は、かえって増加の傾向にあり、昭和 55 (1980) 年度に、窒素 (T-N)1,620kg/日、リン (T-P)76kg/日であったものが、平成 21 (2009) 年度には、窒素 (T-N)2,144kg/日、リン(T-P)115.5kg/日に増加しています³⁾。

発生源における窒素・リンの排出負荷量は、下水道の普及による生活系の汚濁負荷量削減対策が限界に近づくにつれて、今後ますます面源系負荷量削減の重要性が増してくるでしょう。

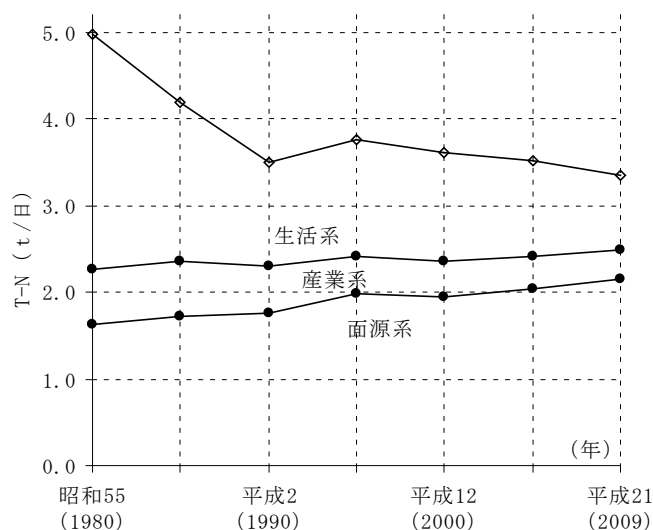


図 15-7 全窒素発生源負荷量の推移³⁾

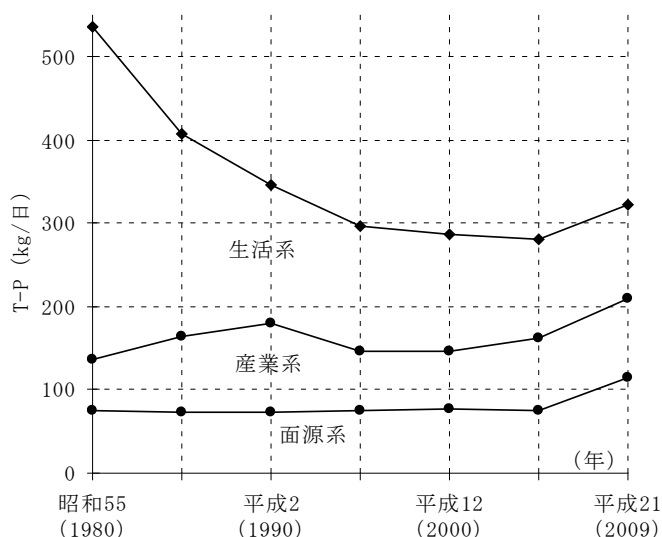


図 15-8 全リン発生源負荷量の推移³⁾

(2) 河川の窒素・リン汚濁状況

発生源から排出された窒素・リンは、河川を流れる間に変化します。前章の有機汚濁（COD）について用いた手法⁵⁾によって、発生源から排出された窒素・リンが変化せずにそのまま下流に流れたとして計算した時の濃度（計算値）と、実際に河川の窒素・リン濃度を測定した値（実測値）とを比べてみると、図 15-9、図 15-10の通り⁵⁾です。

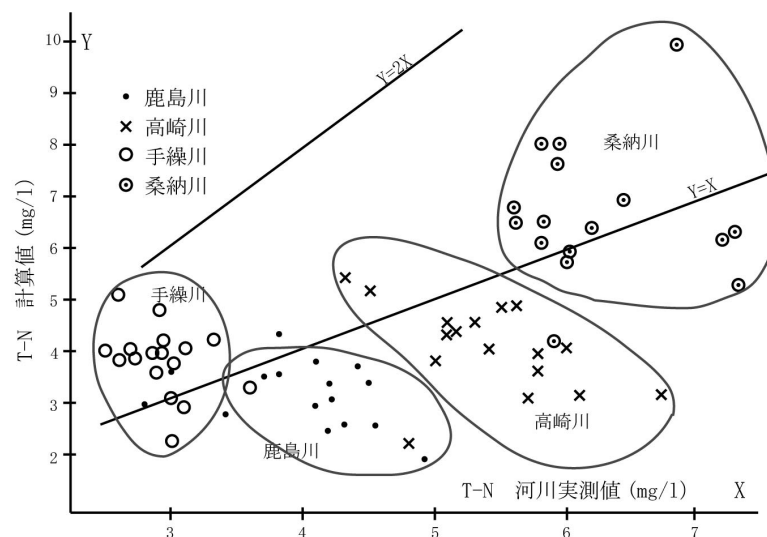


図 15-9 全窒素の河川実測値と計算値の関係⁵⁾

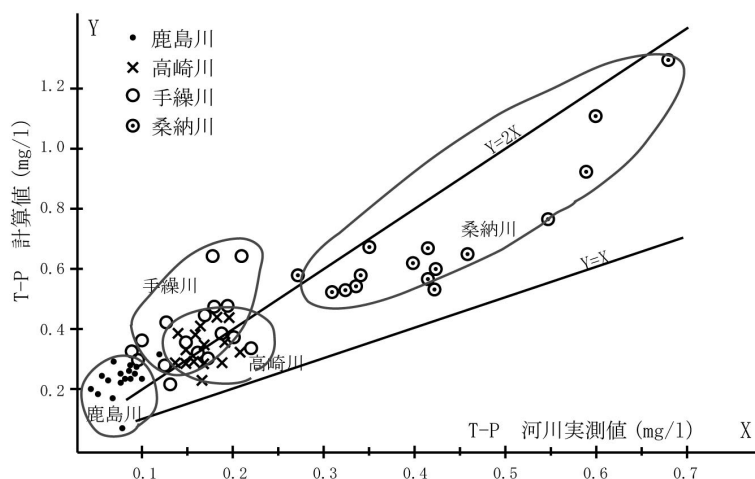


図 15-10 全リンの河川実測値と計算値の関係⁵⁾

窒素は、計算値（Y）と実測値（X）が同じ $Y=X$ 線の近くにあり、有機汚濁（COD）のような強い自浄作用(第 14 章、図 14-4)はみられません。これを河川別にみると農耕地の多い鹿島川、高崎川では、むしろ計算値（Y）よりも実測値（X）の方が高く、河川を流れる間に窒素汚濁が進んでいます。計算に用いた汚濁発生源以外のどこかに窒素汚濁源があるのでしょう。窒素汚濁発生源の一つとして考えられるものは、次章で述べる谷津の湧水による窒素汚濁が有力です。

リンについては、図 15-10のように、 $Y=2X$ つまり河川を流れる間に発生源から排出されたリンがおよそ半分近くに減っています。この傾向は、有機汚濁（COD）の動向（第 14 章図 14-4）とよく似ていて、リンは河川の自浄作用を受けていると考えられます。河川別にみると、市街地の少ない鹿島川は $Y=2X$ よりさらに浄化され、市街地の多い桑納川は自浄作用の小さいことが分かります。鹿島川などの河川は、火山灰土壌の強いリン吸収力によってリンは土砂中の粘土に吸収され、流れの途中で沈殿などの影響を受けているためと考えられます。

(3) 印旛沼に流入する窒素・リン

印旛沼の水は、単に流入河川の水が混合したものと仮定して、沼水の窒素・リン濃度を計算すると、図 15-11のように、実測値（X）は計算値（Y）より低くなっています⁵⁾。河川から流入した窒素・リンは、沼内で植物プランクトンなどに吸収され、一部は沈殿して水系から除かれたためです。このことは、窒素・リン濃度の高い河川水が湖沼に流入して濃度の低い沼水として流れ出し、窒素・リンはその差分だけ湖沼内に残留することを意味し、湖沼の富栄養化が進むことになります。

なお、COD は、内部生産のために、実測値（X）は計算値（Y）より大幅に高くなり、かつ X と Y は、正の相関関係を示しています。このことは、内部生産があっても流入河川の COD を減らせば沼の COD は減少することを示しています。

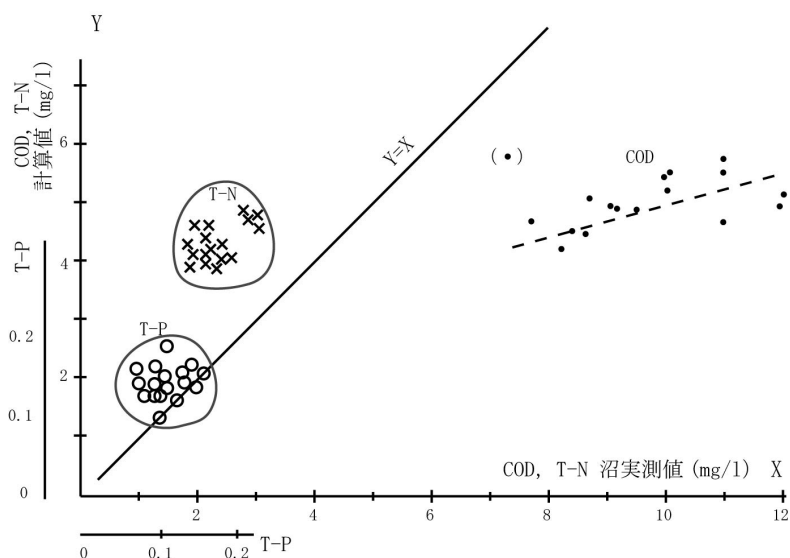


図 15-11 印旛沼水質汚濁の実測値と計算値との関係⁵⁾

5 複雑な印旛沼の水質汚濁機構

印旛沼に流入した窒素・リンなどの無機栄養塩類は、植物プランクトンの成長を助長します。植物プランクトンは、光エネルギーを受けて光合成を行って増殖し、動物プランクトンの餌となり昆虫や魚など水中の動物に摂取され、さらに鳥類などの餌となっています。この一連の食物連鎖によって生物は相互に結ばれ、水草などが加わって湖沼の生物生態系が形成されています。植物プランクトンの光合成は、生物生態系を維持するために必要なエネルギー源の出発点です。

バランスのとれた生物生態系をもつ富栄養湖は、植物プランクトンの発生量が多く、豊富なエサを求めてたくさんの魚類・鳥類などが集まります。かつての印旛沼は、トップクラスの水域面積当たり漁獲高を誇り（第 12 章）、モク採りをするほどの水草が繁茂し、カモなどの野鳥の宝庫でした。しかも多量のアオコ発生・残留腐敗による水質の悪化はみられませんでした。しかし現状は、多量の植物プランクトンの遺骸が残り、水質の二次汚濁を引き起こしています。

印旛沼の水質汚濁は、このように生物の作用が色濃く反映しています。バランスのとれた生物生態系を持つ富栄養湖の状態にすることが、印旛沼の水質保全にとって大切なことです。しかし、言葉では簡単であってもその中身は大変複雑です。印旛沼内の生きものを 1 種類ずつ分けて、その生き物を人為的に増やしたり減らしたりすることは簡単ですが、自然の状態のように多くの生きものが同居して食う食われるの関係を保ちながら個々の生物の好む生息環境を整え、かつ相互にバランスをとることは簡単ではありません。現在は、この複雑な課題に直面しています。

また、窒素・リンなどの一次汚濁の抑制が重要ですが、効果的な手法の難しい面源系汚濁発生源の対策が残されたままです。中でも湧水の窒素汚濁のように、実態把握の不十分な発生源の課題が含まれています。これらの課題は、印旛沼の水質改善にとってますます重要になるでしょう。

文献

- 1) 全国湖沼環境保全推進協議会（2009）：全国湖沼資料集（第 21 集）
- 2) 小林節子・平間幸雄（1998）：印旛沼の最近の水質の変化について（1）植物プランクトンの発生の特徵、千葉県水保研年報
- 3) 千葉県水質保全課資料
- 4) 印旛沼流域水循環健全化会議資料（湯浅、印旛沼本）
- 5) 白鳥孝治（2005）：印旛沼の水質の現状と課題、NPO 法人水環境研究所 年報 No.1