水環境からみた印旛沼、手賀沼の水草の近況と今後の課題

小 林 節 子*

1. はじめに

最近の環境問題への関心の高まりの中で、湖沼の水質汚濁の問題についても、「水質から水環境へ」の言葉に代表されるように、水辺への関心が高まり、水の質と共に水辺の自然性、親水性が強く求められるようになってきている。この背景のひとつとして、物質的豊さや利便性が社会の価値基準とされた時代から、心の豊さやゆとり、更には人生の質を求める方向へと社会が変化してきていることがある。

このような中で、最近では水草への関心も高まり、水草を用いたエコテクノロジーも注目されており、水草の価値が認識され始めているが、一方では水草の水質浄化機能に対して過大な期待がかけられがちでもある。

筆者は、これまで、印旛沼や手賀沼の水草、魚類、鳥類、プランクトンなどのここ20～30年の変遷を水質汚濁との関連からとらえ、水質の回復とは沼の生態系を正常な状態にもどすことであることを述べてきた[1,2]。

印旛沼では、最近水質の好転がみられるが、一方、1984年頃から浮葉植物のオニビシ一種だけが異常に増えている。それ以前の印旛沼は水質汚濁が進んだ1972年頃から、むしろ、水草の生育域が年々減少している状況にあったことから、現在の印旛沼の水質環境が、以前とは質的に異なる変化を来しているように見受けられる。オニビシの繁茂域の拡大による漁業への障害を除くため、1987年から刈り取り船による本格的な刈り取り作業が行われている。ここでは、オニビシの生育実態、刈り取り状況、オニビシを含めた湖内の窒素、リンの物質収支等について紹介する。

また、手賀沼では、水質汚濁が進んだ1972年頃には浮葉植物、沈水植物がほとんどなくなり、現在に至っている。手賀沼については、水草の現況分布調査およびホテイアオイの植栽・回収について紹介する。

この中で、水環境と水草本来の姿について考えてみたい。

2. 印旛沼の水草の近況

ここでは、1989年に実施したオニビシ調査[3]を中心に紹介する。

2.1 調査内容

・オニビシの季節変化把握調査

オニビシの生育状況の季節変化を把握するため、成長期（6月）、最盛期（9月）、衰退期（11月）に坪刈り調査（1m×1m内の植物の刈り取り）を行い、オニビシの重量、窒素含有量、リン含有量、有機物含有量（強熱減量として）等を調べた。

・全水草分布調査

最盛期（9月）に全水草の生育面積を測定し、主な出現種について坪刈り調査を実施した。生育面積の測量は光波測距儀、又は、電波測位機を用いた。坪刈り植物はヨシ、マコモ、ヒメガマ、ハス、アサザである。

2.2 調査結果

(1) 水草の種類と生育面積

1989年調査における印旛沼の水草の出現種類数は、沈水植物2種（マツモ、ハゴロモモ）、浮葉植物4種（オニビシ、アサザ、ガガブタ、トチカガミ）、抽水植物4種（ヨシ、マコモ、ヒメガマ、ハス）であり、総出現種類数は10種であった。

印旛沼では1940年代から1960年代前半には約33種類の水草がみられ、中でも沈水植物は18種類と豊富であったが[4]、その後の干拓・開発事業や周辺地域の都市化による水質汚濁により種類数が減少した。1981年調査[5]では総計17種が観察されているが、本調査では生育面積の測量に重点を置いたこともあって、沈水植物の確認種が少なくなっている。

全生育面積は1981年の365ha に対して、1989年はオニビシ刈り取り分を含めて595ha に増えている（図1）。これはオニビシの異常繁茂によるものであ

*千葉県水質保全研究所

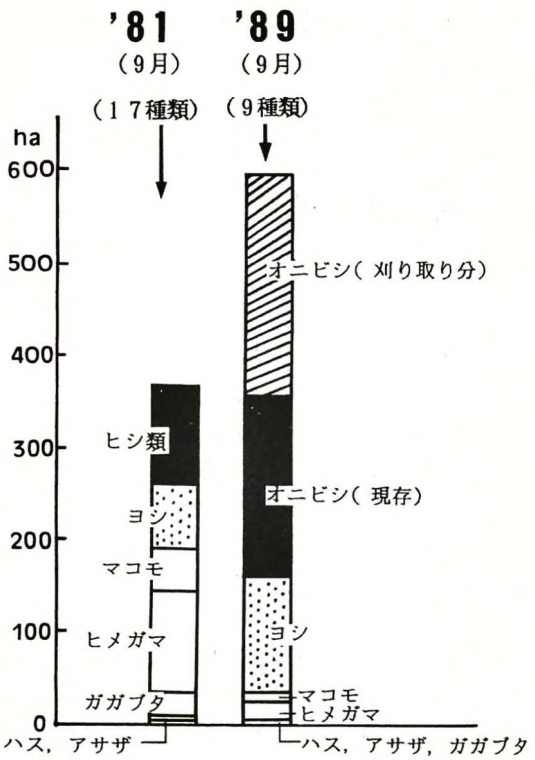

図1　印旛沼の水草の生育面積

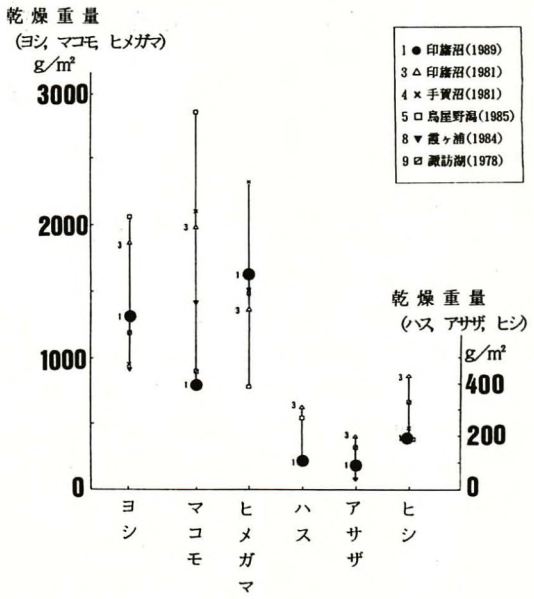

図2　各水域における水草の単位面積当たりの乾燥重量

り、生育面積の73%はオニビシが占めている。この他に生育面積の増加が大きいのはヨシ（72ha→123ha）であり、逆に減少が大きいのはマコモ（46ha→9ha）、ヒメガマ（107ha→19ha）、ガガブタ（26ha→0.1ha）である。

(2)　生育密度、窒素・リン含有量、および、現存量

最盛期（9月）の調査における生育密度（単位面積当たりの乾燥重量）、および、窒素、リン含有量を、1981年の調査並びに他湖沼の結果[5−10]と比較して図示した（図2～図4）。図中で№1が本調査結果であり、ヒシの値は本調査ではオニビシの値である。生育密度はヨシ、マコモ、ヒメガマの方がハス、アサザ、ヒシよりも大きい。一方、窒素含有量とリン含有量はハス、アサザ、ヒシの方が大きい。また、いずれの値も1981年調査および湖沼によってかなりの幅があり、本調査結果は一部を除き、平均より低い方に位置していた。

最盛期の調査結果を用いて算出した印旛沼全体の水草の現存量（オニビシ刈り取り分を含む）は、乾燥重量で2,791トン、窒素で46.4トン、リンで4.33トンであった。

(3)　オニビシの刈り取り

印旛沼でオニビシが異常に増殖し始めたのは1984年頃からであり、北印旛沼を中心に年々繁茂域が広がっていった。表1はこれまでに行われた調査で示されている北印旛沼のオニビシの生育面積である[11,12]。この中で、1981年の値はヒシ、ヒメビシ、オニビシの合計であるので、この時のオニビシの生育面積を約10haとみると、1984年までの3年間で約15倍に増加したことになり、更に、1985年までの1年間の増加量も大きく、1985年にはほぼ一定の量に達した様子がうかがえる。

オニビシの増殖により漁業に支障が生じたことから、1987年から刈り取り船によるオニビシの本格的な刈り取り事業が行われている。刈り取りは図5の数値の年度から開始し、同一場所を3年間連続して刈り取る計画で進められている。これはオニビシの発芽は種子が落ちてから4年目にはゼロになるとい

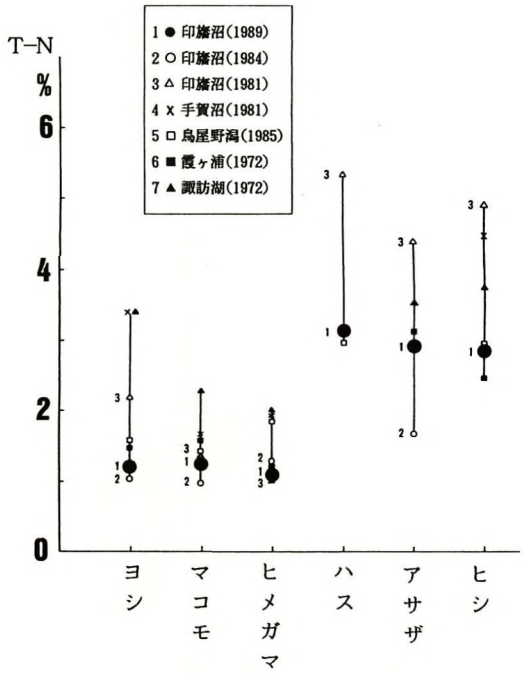

図3　各水域における水草の窒素含有量

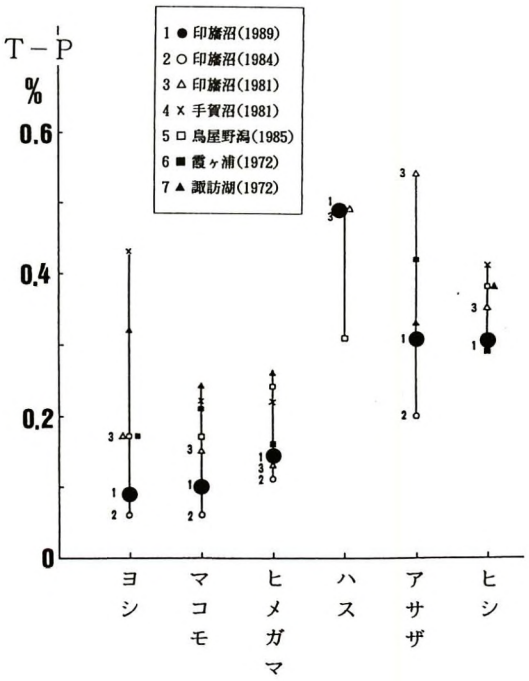

図4　各水域における水草のリン含有量

う研究結果[13]に基づくものである。また、水面下30cmから上部を刈り取れば、その後は同一茎から新葉がでないことが確かめられていることから、水面下約1mから上部を刈り取っている。

オニビシの刈り取り面積は、1987～1991年度は北印旛沼を中心とし150～250ha/年であったが、1992年度には西印旛沼だけで行われ、86haへと減少している（図6）。これは、5年間の刈り取りにより北印旛沼のオニビシの大部分が消失したことによる。開水面となった後にアオコの発生が著しい。自然に対する人為的コントロールの難しさを示している。また、生育密度（陸揚げ重量/刈り取り面積）は、1991年度から急激に減少していることがわかる。なお、オニビシ刈り取りによる湖内からの栄養塩類の除去量（1987～1989年）は年間流入負荷量[14]に対して、窒素、リン共に0.3～0.5%である。

表1　北印旛沼のオニビシの生育面積の推移

年・月	生育面積（ha）	調　査　方　法	文献
1981・9	25（ヒシ類）	測量	5
1984・7	145	ランドサット画像解析	11
1985・9	236	航空写真	12
1986・8	194	ランドサット画像解析	11
1987・7	274	ランドサット画像解析	11
1989・9	274(刈り取り分を含む)	測量	3

・北印旛沼水面積　626ha

(4)　オニビシの季節変化

単位面積当たりの乾燥重量は9月の値が6月、11月よりも大きく、この9月の重量の増加は主に茎・根部の増加によっていた（図7）。

乾燥重量当たりの窒素含有量、リンの含有量（図8）は共に、葉＞茎・根であった。また、6月＞9月＞11月であり、成長初期における含有率が高かった。

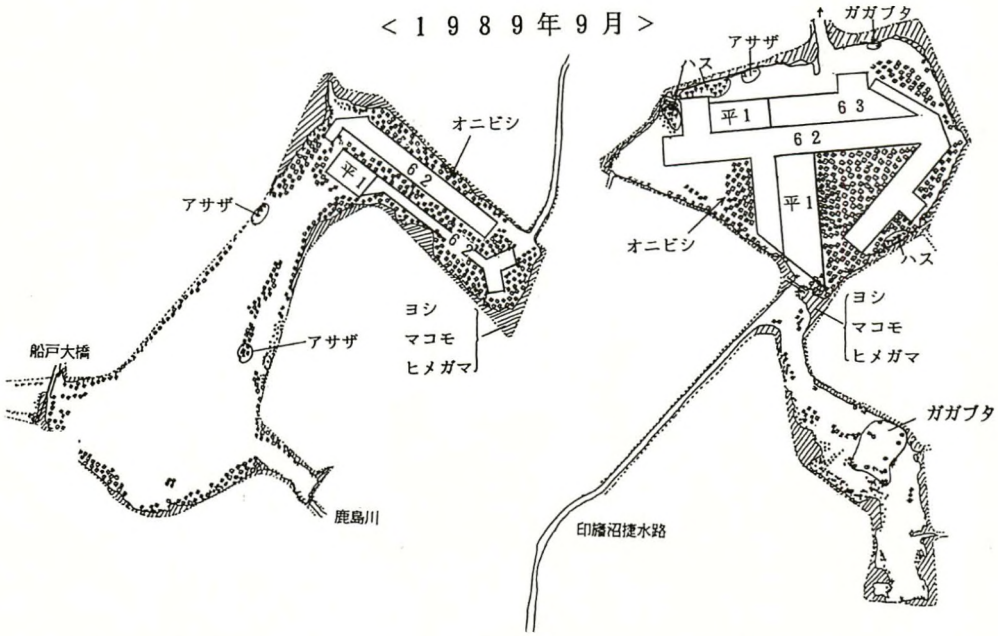

図5　オニビシの刈り取り区域（分布は1989年9月）．図中の数値は刈り取り開始年度

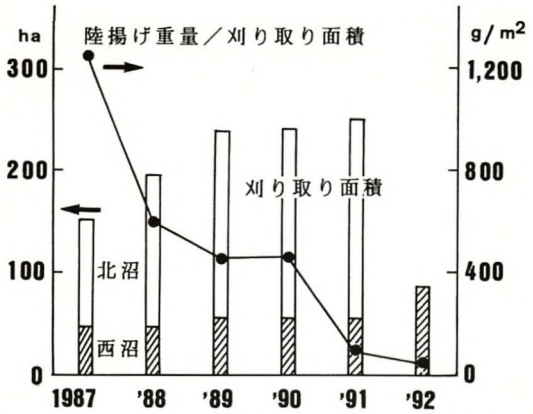

図6　オニビシの刈り取り面積と陸揚げ重量/ 刈り取り面積（印旛沼漁業組合資料から作成）

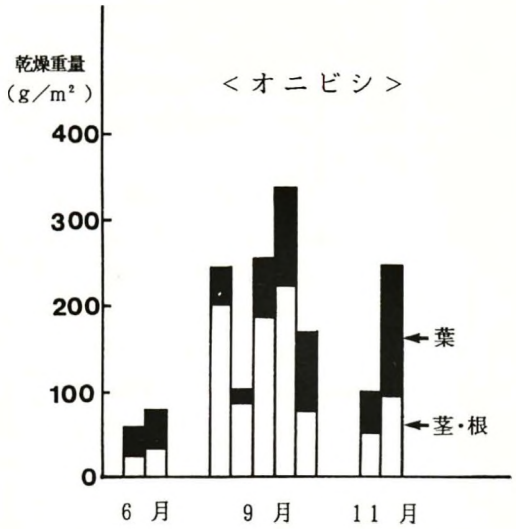

図7　オニビシの単位面積当たりの乾燥重量（北印旛沼）

(5)　オニビシを含めた窒素、リンの物質収支

印旛沼におけるオニビシを含めた窒素、リンの物質収支を求めた（図9、10）。ここで、オニビシの生産速度と分解速度以外の既存の調査データ[15−17]を用いた。オニビシの分解速度は9月と11月の調査結果から求めた1日当たりの乾燥重量の減少量に、9月と11月の窒素およびリン含有量の平均値を乗じて求めた。オニビシの生産速度は6月と9月の調査

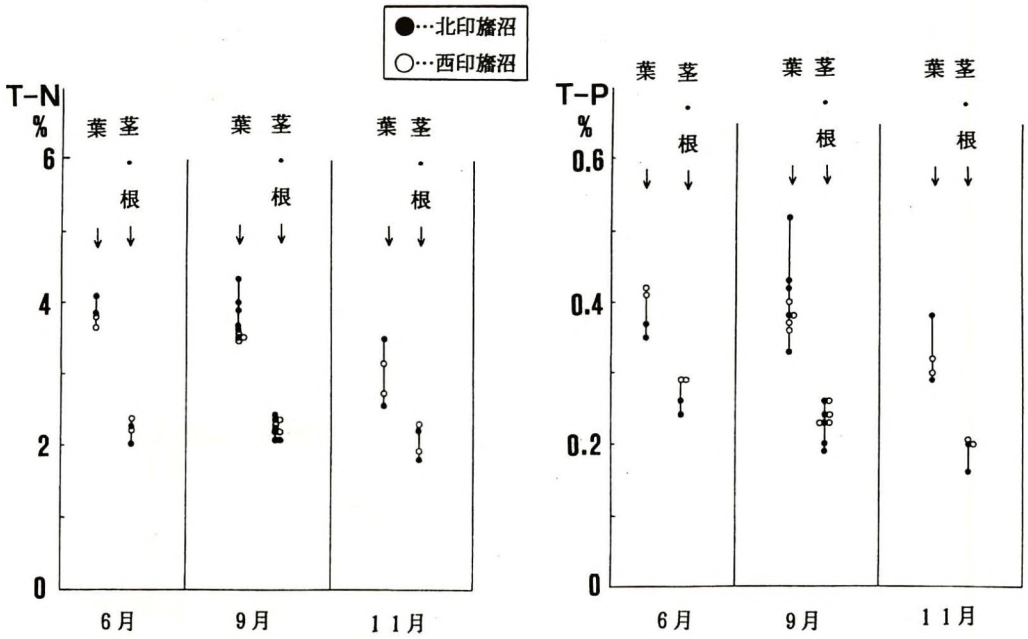

図8　オニビシの季節別、部位別の窒素、リン含有量

結果から求めた1日当たりの乾燥重量の増加量に6月と9月の窒素、リン含有量の平均値を乗じ、これに先の分解速度を加えて正味の生産速度とした。

なお、ここで得られた窒素の生産速度（45mg N/㎡・d)は、土谷[18] が霞ヶ浦で得た値（40mg N/㎡・d）とほぼ等しかった。分解速度は本調査の値（17mg N/㎡・d）は土谷の値（30mg N/㎡・d）より低い値であった。

得られた物質収支から次のことが言える。

・Org-N と Org-P の現存量は、オニビシの方が植物プランクトンより大きいが、生産速度と分解速度は植物プランクトンの方が大きく、生産速度はオニビシの20～30倍、分解速度は80～120倍である。

・植物プランクトンやオニビシが栄養塩として利用する Inorg-N および PO_4-P をみると、両者の生産に必要な Inorg-N は河川からの流入量と同程度であるがPO_4-P は流入量のほぼ5倍である。

・これらのことからみると、植物プランクトンとオニビシの間の栄養塩類摂取の関係は、窒素については両者の競合は起こりにくいと考えられるが、リンについては競合が生じるのではないかと考えられる。従って、栄養塩類の面からみると、オニビシの増加は水質汚濁の原因となる植物プランクトンの発生を抑制しているのではないかと考えられる。

(6)　オニビシの異常繁茂の要因

印旛沼ではなぜオニビシ一種のみが優占して繁茂域を拡大したのか、その原因を明確にすることは困難であるが、以下のようなことが挙げられる。

①　生嶋ら[13] によるとオニビシは次のような点で、他の水草より群落を維持する能力が大きいとされる。

・オニビシの種子は他の水草に比べて大型であり、発芽後の成長が有利である。

・日照量が少ない年は種子数は減少するが、種子の大きさに変化がない。

・ある年に生産された発芽可能な種子は、翌年に全部発芽せず、予備的な種子集団を持つ。

②　水草の植生は生育場所の底質土壌粒子の大きさや有機物含有量と密接な関係があることが指摘されている[19]。図11は1987年に調査を行った印旛沼底質の上層0～60cm中の砂質土の割合を表したも

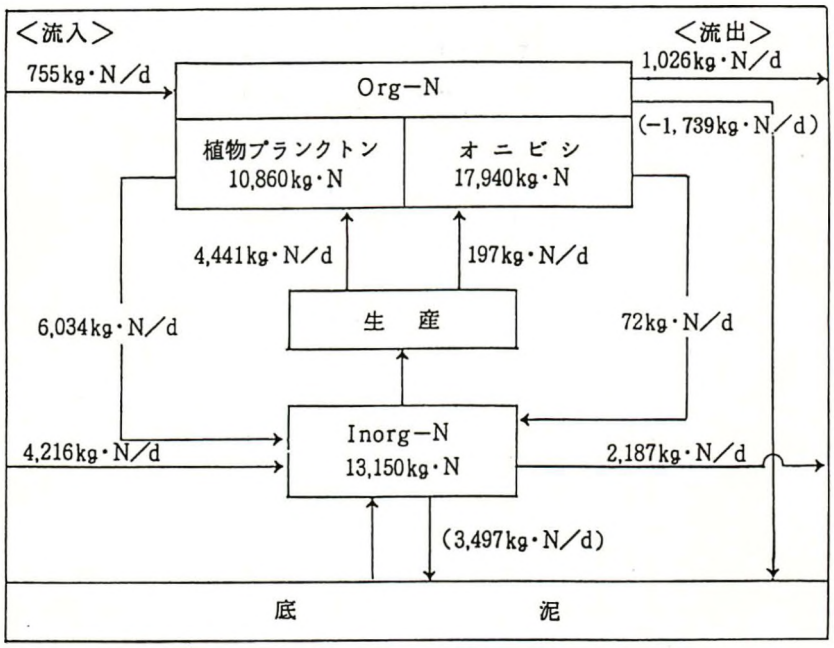

図9　印旛沼の窒素の物質収支（オニビシ成長期：6～9月）
図中の（ ）内の数値は差し引き残差である。

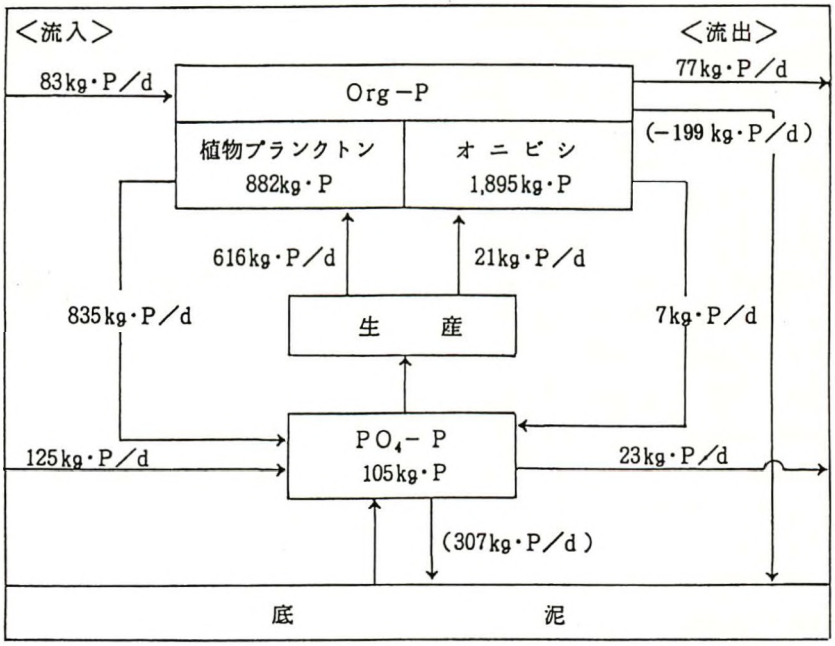

図10　印旛沼のリンの物質収支（オニビシ成長期：6～9月）
図中の（ ）内の数値は差し引き残差である。

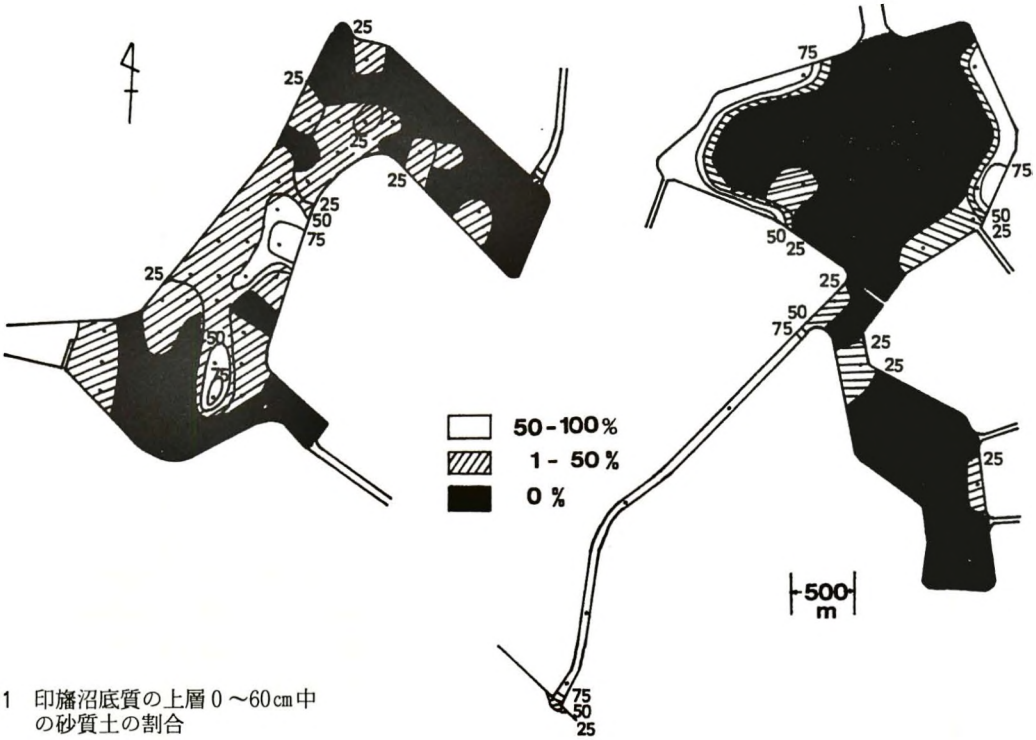

図11　印旛沼底質の上層0～60㎝中の砂質土の割合

のである[20]。これをみると、砂質の割合が0％である泥質部の分布とオニビシの生育域（図5）とはよく一致している。砂質部は有機物含有量が少なく、泥質部は有機物含有量が多いことから、オニビシの生育には有機物含有量が多い泥質土が適しているのではないかと考えられる。

これに対してアサザの分布域をみると（図5）、砂質部に生育している。浮葉植物のうちでアサザが生き残っているのは、生育に適する土壌条件がオニビシと異なるためではないかと考えられる。

③　北印旛沼の窒素、リンの水質濃度が最近高くなっていることから[21]、栄養塩類濃度の条件もオニビシの繁茂に有利に作用しているのではないかと考えられる。

3.　手賀沼の水草の近況

3.　1　水草の分布調査

ここでは、1992年に千葉県環境部水質保全課と共同で実施した水草分布調査の概略を紹介する。

(1)　調査内容

9月に全水草の生育面積の測量を行った。また、同時に主な水草について坪刈り調査を行い、重量、窒素含有量、リン含有量、有機物含有量等を調べた。

(2)　結果の概要

①　水草の種類と生育面積

1992年調査における手賀沼の水草の出現種は、ヨシ、マコモ、ヒメガマ、ハスの抽水植物4種のみであり、1981年調査の結果と同様であった。手賀沼の沿岸帯のほとんどはヨシ、マコモ、ヒメガマが混在して生育しているが、ヨシは上沼に多く、また、下沼の一部水域ではマコモ、あるいは、ヒメガマが優占する水域がある（図12）。1992年調査の全生育面積は50haあり、そのうちヨシが最も多い。1981年の全生育面積は55haであるので、生育面積はあまり変化がないが、内容をみると1992年はマコモの減少が大きくなっている（図13）。

②　ホテイアオイの植栽・回収

手賀沼の水質浄化事業のひとつとして、1982年

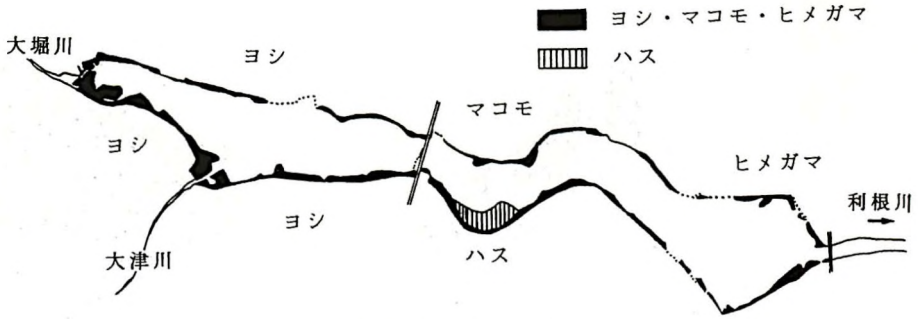

図12　手賀沼の水草の分布（1992年）

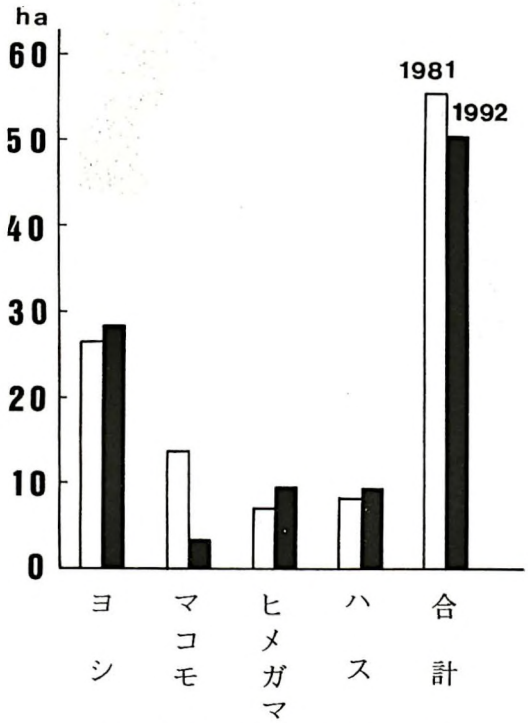

図13　手賀沼の水草の生育面積の比較

度からホテイアオイの植栽・回収が行われている。この事業は毎年6月初旬に手賀沼内にホテイアオイを植栽し、9月下旬から10月に刈り取り回収しているもので、現在の植栽面積は1ユニット900㎡単位で10ユニットであり、合計9,000㎡である(図14)。表2には、これによる沼からの窒素、リンの除去量をアオコ回収による除去量と共に示した。これらを合わせた除去量は窒素、リン共に年間流入負荷量の約0.1%である。

4.　水環境と水草

印旛沼のオニビシの刈り取り、手賀沼のホテイアオイの植栽・刈り取りによる沼からの窒素・リンの除去量は、いずれも年間流入負荷量に対して1%以下であった。表3はこの他の植物を用いた場合として、花き植物、稲、ヨシ原の水質浄化効果を試算したものである[22]。これらを用いた場合の水質浄化効果としては、植物体の刈り取りによる水中からの窒素、リンの除去に加えて、土壌への沈積、吸着による水中からのCOD、窒素、リンの除去がある。これらの試算には、用水濃度として手賀沼水および、手賀沼流入河川の大堀川の水質を用い、除去率

表2　手賀沼におけるホテイアオイとアオコ回収による年間の窒素、リンの除去量（1985～1989年の平均値）

	乾燥重量（kg）	窒素除去量（kg）	リン除去量（kg）
ホテイアオイの植栽、回収（9000㎡）	14737	474.5	81.1
水面清掃船、バキュームカーによるアオコ除去	4694	309.3	35.2
アオコ分離脱水装置による除去	892	65.6	6.6
合計（年間流入負荷量に対する割合%）	20323	849.4（0.10%）	122.9（0.11%）

（我孫子市のデータから作成）

は花き植物[23]、稲[24]、ヨシ原[25] の値を用いた。

これをみると、植物を用いた水質浄化効果は、年間、1ha 当たり最大で COD は2400人分、窒素は760人分、リンは580人分の雑排水（生活に伴って排出される負荷のうち、し尿分を除いたもの）負荷に相当する結果となった。このようなことからみると、植物を用いた水質浄化方法は、大量の負荷の処理には向かないが、小流域や集落単位に用いる場合には効果があると考えられる。例えば、日本の1農家当たりの水田所有面積は、将来的に大体30a に収束する傾向にあるといわれていることからみると[26]、1農家5人とすると自らの生活排水は自らの農地で充分処理できることになる。

以上のような植物による水中からの窒素やリンの除去効果は、いわば、貨幣価値に換算できる効果である。しかしながら、本来、植物の持つ機能は経済外の価値にあるのではないかと思われる。例えば、1）生態系全体の食物連鎖が正常に行われるための一次生産者としての役割、2）炭酸同化作用による二酸化炭素の吸収と酸素の供給、3）昆虫、魚類、水鳥等の生育場所、4）栄養塩類の競合による植物プランクトンの発生抑制、5）景観、親水性、等である。

このような、水草本来の持つ自然調和機能ともいうべき経済外的価値についても、十分な評価が必要である。

最近は水草への関心が高まり、水草を用いた水質浄化法が多く取り入れられるようになってきている。人々の目が水草に向けられるようになってきたことは喜ばしいことではあるが、その反面、人間が出した汚れの責任を

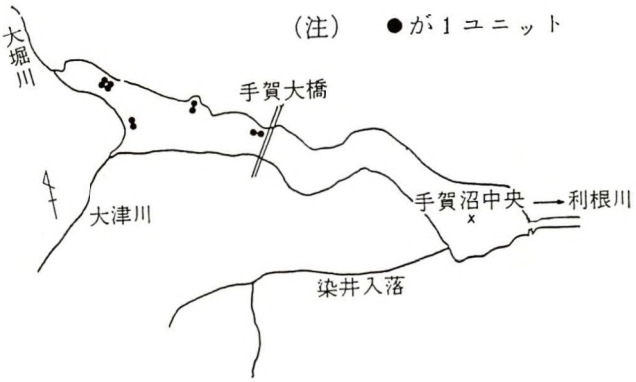

図14　ホテイアオイの植栽位置

表3　植物栽培による COD、窒素、リン除去量の算定

	植物体と土壌による除去量（kg/ha・年）			相当する雑排水人口（人分）			備　考	
	COD	窒　素	リ　ン	COD	窒　素	リ　ン	用 水 量	用水の水質（mg/l）
花卉植物（年2回） 夏：サルビア 冬：キンセンカ	330	270	30	50	240	190	（m³/ha・年） 60000	手賀沼水 COD：18.0 T-N：4.30 T-P：0.44
水　田 ・通年型青刈り（年4回） ・標準稲作	660 60	830 120	80 20	90 10	760 110	580 110	（m³/ha・年） 120000 10000	同　上
ヨ シ 原	16700	310	30	2380	280	200	（m³/ha・年） 10000	大堀川河川水 COD：14.2 T-N：8.43 T-P：1.33
ホテイアオイ		520	90		480	620	手賀沼内に植栽	

㈱　手賀沼流域人口44万人（1989年）

表4 湖沼法第一次指定5湖沼の諸元

	COD(mg/l) (1990年度、75%値)	湖沼面積 (km²)	流入負荷量/ 貯水量（g/万m³・d）			人口密度 (人/km²)
			COD	窒 素	リ ン	
手賀沼	19	6.5	11907	4038	580	3060
印旛沼	10	11.6	3300	1250	129	1290
児島湖	10	10.9	6594	2861	372	1230
霞ヶ浦	9.3～9.4	220	368	124	10.5	480
琵琶湖	2.6～5.5	673	22	7.8	0.5	300

全面的に水草に負わせるような安易な考え方は避けなければならないと思われる。

手賀沼ではホテイアオイの植栽・回収を既に10年間実施しており、これにより多くの人々が水質浄化に関心を寄せ、また、浮葉植物が生育できない手賀沼にとっては清涼剤でもあった。今、ホテイアオイの植栽も見直しの時期にきているが、この機において、今後は水草にも本来の姿を与えるべきではないかと思われる。水草も生来の自然環境の中で生育してこそ、自然のサイクルの中での水質浄化機能が完結されるものと思われる。

表4は湖沼水質保全特別措置法に基づく第一次指定5湖沼の諸元をまとめたものである[22]。1974年以来全国湖沼の中でワースト1の水質である手賀沼は、単位貯水量当たりの流入負荷量をみると飛び抜けて高い。また、流域の人口密度は琵琶湖の約10倍である。このような数値からみると、手賀沼流域は、東京近郊という地の利のために、都市化が高度に進み、高人口密度となり、小さな湖盆の中に大量の汚水が流れ込んできている構図が明らかである。

このような湖沼の水質浄化を図るには、小手先の浄化対策では不可能であり、それ相応の負荷の削減を図らなければならない。筆者らは行政と共同で既にその方策を提示しており[27]、これは社会的な合意ができれば不可能なことではないと考えている。

手賀沼の汚濁は、1960年代から始まり1972年から1973年にかけて一挙に進んだものであり、他湖沼もほぼ同時期に汚濁が進んでいる。今、まず、汚濁が進む前の水質回復をめざすことが大事であるが、それは、とりもなおさず、印旛沼では水草の正常な生育につながり、手賀沼では浮葉植物の回復につながる。湖沼の水質浄化とは、水草が正常に生育できる状況をとりもどすことであり、それにより正常な生態系をとりもどすことである。是非とも回復していきたいものである。

水草にとってよい環境と、人間にとってよい環境は、本来、同じはずだと思うからである。

参考文献

1）小林節子：湖沼の生態系の変遷―印旛沼の開発と汚濁―（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）．公害と対策 16：742-750，877-886，1065-1077（1980）

2）小林節子：手賀沼の汚濁と生態系（Ⅰ，Ⅱ）．用水と廃水 24：965-976，1209-1220（1982）

3）小林節子，宇野健一，吉澤正，藤本千鶴，藤村葉子：印旛沼の水生植物調査―オニビシの繁茂拡大について―．水保研資料 No.56，千葉県水質保全研究所（1991）

4）笠井貞夫：印旛沼の現状と水生植物の種類．理科教育センターニュース 6(4)：9（1967）

5）千葉県環境部水質保全課：印旛沼・手賀沼におけるプランクトン等実態調査報告書（1982）

6）松本史郎：鳥屋野潟（新潟市）の水質および堆積物に及ぼす高等水生植物の影響．水草研会報 27：2-15（1987）

7）野原精一，土谷岳令，岩熊敏夫，上野隆平，花里孝幸：霞ヶ浦江戸崎入水草帯における水生大型植物の生産．国立公害研究所研究報告（96）：59-71（1986）

8）桜井善雄：霞ヶ浦の水生植物のフロラ，植被面積および現存量―特に近年における湖の富栄養化に伴う変化について―．国立公害研究所研究報告（22）：229-279（1981）

9）嶋田典司，小島道也，渡辺幸雄，佐藤幸夫：印旛沼

の水，底質，水生植物および魚類中の窒素，りん含量について．千葉大学環境科学研究報告 12：25-30（1987）
10）渡辺義人，桜井善雄：湖沼の物質循環系における高等水生植物の役割．水草研会報 17：13-20（1984）
11）石山 隆：リモートセンシングによる印旛沼の環境調査，リモートセンシング講習会テキスト．千葉大学映像隔測研究センター（1989）
12）千葉県環境部水質保全課：印旛沼におけるヒシ採取に伴う水質等影響調査（1985）
13）生嶋 功，栗原真理：富栄養水域で群落を維持するオニビシのストラテジー．水草研会報 37：8-10（1989）
14）千 葉 県：印旛沼に係る湖沼水質保全計画（1987）
15）千 葉 県：印旛沼水質管理計画（1982）
16）千 葉 県：公共用水域水質測定結果（1989）
17）千葉県環境部水質保全課：印旛沼，手賀沼におけるプランクトン等実態調査報告書（1984）
18）土谷岳令：霞ヶ浦・高浜入の物質収支におけるヒシ群落の役割．水草研会報 13：6-8（1983）
19）宝月欣二：手賀沼湖沼植物の生態学的研究概報．植物学雑誌 61：17-21（1948）
20）小林節子，宇野健一，吉澤 正：印旛沼底質の土質と浮泥層厚―湖沼水質保全計画に関する調査研究―．昭和62年度千葉県水保研年報 99-106（1988）
21）小林節子，宇野健一，吉澤 正：印旛沼，手賀沼のCOD，窒素，りんの水質特性―内部生産CODと窒素，りんのCODへの変換率について―．公害と対策 26：1417-1426（1990）
22）小林節子：湖沼の窒素，リン水質目標導入の背景と浄化技術の動向―手賀沼を例として―．産業公害 28（6）：576-584（1992）
23）宗宮 功，津野 洋，池田健志，神村正樹：下水二次処理水による花き植物の水耕栽培に関する研究．下水道協会誌論文集 27（316）：45-51（1990）
24）森川昌記，松岡義浩：水質汚濁が稲作に及ぼす影響 第2報 水田における汚濁成分の動態．千葉農試研報 25：137-144（1984）
25）西村 肇(編)：柏市を水辺の自然空間のある街にするために（第二次報告書）―大堀川の水質と周辺環境整備をどうすすめるか―．柏市（1977）
26）祖田 修：コメを考える．岩波新書（1991）
27）小林節子，西村肇：湖沼のリン循環諸過程の現況把握にもとづいた湖沼のCOD水質予測法．水環境学会誌 16（10）：711-722（1993）

○浅井康宏著「緑の侵入者たち 帰化植物のはなし」
（朝日選書、1993年5月、294p、1，300円）

日本の帰化植物は約800種に達するそうだ。本業（歯科の臨床学）のかたわら帰化植物の研究に打ち込んでこられた著者が、そのさまざまな姿を興味深く描いたのが本書である。はじめは帰化植物概説ともいうべき部分で、いろいろな侵入経路やその後の消長などから帰化植物の類型化を試み、その特性や人間生活とのかかわりにふれている。次の「Ⅱ日本からの進出者たち」は、日本の植物が海外でどのように活躍（？）しているかを描いており、世界各地に足を運ぶ著者の幅広い調査活動があって初めて書きえた新鮮な章である。「Ⅲ帰化植物あれこれ」はなじみの深い日本の帰化植物誌ともいえる。

よく知っているつもりの植物群につぎつぎと新参者が加わっていることに驚く。最後は「帰化植物ノート」となっており、ここで水生の帰化植物についても10ページ余りが割かれている。50種を超える帰化水草（広義）をリストアップした上で、水生帰化植物が在来種に与えるインパクトの大きさにふれ、学術研究用やアクアリウム用に導入された外来植物の逸出防止に細心の注意が必要であることを訴えている。ホテイアオイやカナダモ類については今までに詳しい研究が行われてきたが、そろそろ帰化水草学として課題を整理してもよい時期だと思いながら読み終えた。

（角野 康郎）