

伊豆沼に設置された植物浄化田における 窒素・リン除去 NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL IN THE PLANT FIELD CONSTRUCTED IN LAKE IZUNUMA

江成敬次郎*, 杉山 智洋#, 柴崎 徹**,
Keijiro ENARI*, Tomohiro SUGIYAMA#, Toru SIBASAKI**

ABSTRACT; An evaluation was made of the effect of a plant (*Zizania latifolia*) field, which was constructed near Lake Izunuma, on the purification of nitrogen and phosphorus.

The results obtained from the investigation for three years are as follows:

1) The following ranges of rate constants of the first order reaction were obtained.

T-TN : $1.0 \sim 2.4 \times 10^{-2} (1/\text{day})$

T-TP : $0.58 \sim 3.0 \times 10^{-2} (1/\text{day})$

2) The removal rates of nitrogen and phosphorus and the growth of the plant in 1994 were larger than those in 1993.

3) It was supposed that the adsorption of phosphorus to soil particle caused a little large removal obtained in the early stage.

KEYWORDS: Constructed Wetland, Aquatic Plant, N and P Removal, Water Bird, Indian Rice.

1. はじめに

筆者等は1992年から伊豆沼に設置された給餌地システムの概要とそのシステムの伊豆沼への汚濁負荷削減効果について、報告してきた^{1)~3)}。まず、システムを構成する給餌池に蓄積された汚濁物質量の測定から、1シーズンの間('92年11月~'93年3月)に、少なくともCOD:265kg, T-N:25kg, T-P:1.2kgの負荷削減効果があったことを報告した。そして次に、白鳥の食餌植物であるマコモを利用して、この汚濁した給餌池の水の浄化を行ない、その結果を報告してきた。

ここでは、1992年以降、これまでの結果も含めて、システムを構成する浄化田の水質浄化機能について、栄養塩に着目して考察する。

2. 調査方法

浄化田を含む給餌地システムを図-1に示した。図中の番号は、浄化田の採水点を示す。

浄化田は、1992年6月から運用している。毎年5月下旬ないし6月上旬に給餌池の汚濁水を浄化田に導水し、約2ヵ月間湛水して浄化させた。そして8月初めに浄化田の水を入れ替え、二度目の導水をして11月中旬から下旬までの3ヵ月から3ヵ月半の間湛水して浄化させた。そこで、5月下旬から8月上旬までを第Ⅰ期、8月上旬から11月下旬までを第Ⅱ期として、以後の考察では分離して

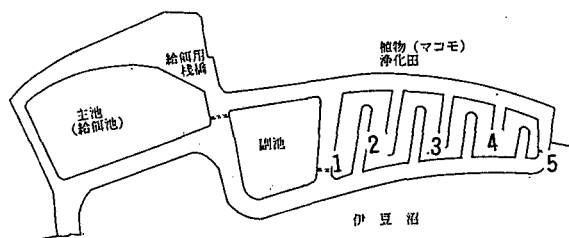


図-1 給餌地システム

* 東北工業大学土木工学科

Department of Civil Engineering, Tohoku Institute of Technology

現在、株式会社三水コンサルタント

SANSUI CONSULTANT Co., Ltd.

** 伊豆沼・内沼環境保全財団

The Izunuma・Uchinuma Conservation Foundation

いる。

マコモの植付けは、1992年に、一度苗で植え付けられたが、1993年には株で植え付けられ、翌年は、前年の株をそのままにして生育させた。株の植付けは、全面で約6000株(約1株/m²)である。

採水は、第Ⅰ期が5月下旬から8月初めまで、計8回、第Ⅱ期が8月上旬から11月下旬までの間にほぼ一週間に一度の割合で行なわれた。採水点は浄化田1～5の5地点である。また、浄化田5の地点では、水温、水深(但し1993、4年)を測定した。

3. 結果と考察

3.1 浄化田における水質濃度変化

結果の一例として、浄化田1～5の5地点におけるT-TN濃度、T-TP濃度の経日変化を図-2、図-3に示した。

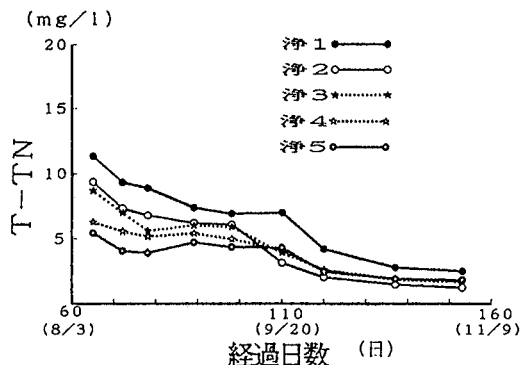


図-2 浄化田1～5のT-TN濃度変化
(94年度)

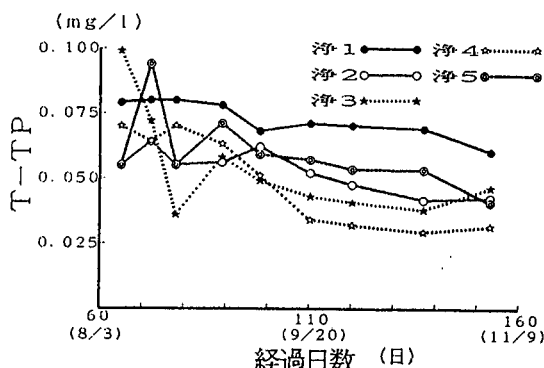


図-3 浄化田1～5のT-TP濃度変化
(94年度)

この浄化田は、連続流方式ではなく、回分方式で運用されている。従って、期間中は水の移動は原則的に生じていない。図-2、3より、浄化田の各地点で、T-TN濃度、T-TTP濃度ともに差が見られる。そしてT-TN濃度では、経日的にその差が縮小する傾向がみられ、T-TTP濃度では、ほぼ同程度の差で推移している。しかし、各地点の濃度の変化傾向は、ほぼ同様と考えられ、浄化田全体での物質質量変化は、平均値で考えることとした。

92年～94年の3年間について、浄化田における平均濃度変化を図-4～7に示した。また、T-TN濃度、T-TTP濃度のうちの溶解性成分の割合を、各期間の初めと終わりについて求めそれを表-1に示した。まず、図-4、5に示したT-TN濃度は、94年の濃度が92年、93年に比べて大きいことが特徴である。そして表-1から、94年第Ⅰ期の初めのTNについて、浮遊性成分が約2/3であり、さらに無機態窒素の割合が小さいことがわかる。これらのことから、94年に浄化田への導水にあたって給餌池の底部を攪拌し、底泥を意図的に混合させたことがT-TN濃度を大きくした原因と考えられる。92年、93年はほぼ同程度の濃度であり、変化の傾向も似ている。一方、T-TTP濃度については、第Ⅰ期で、94年とともに93年が大きな値を示している。94年の濃度が大きいことは、前述の原因が影響していると考えられるが、93年については原因を特定することはできなかった。

表-1 窒素・リンの溶存成分割合

	T-TN (mg/l)	D-TN の割合*	T-TTP (mg/l)	D-TTP の割合#
92年第Ⅰ期初め	1.10	88.1%	0.068	61.8%
第Ⅰ期終り	0.813	81.4%	0.068	45.6%
第Ⅱ期初め	1.31	73.3%	0.294	13.3%
第Ⅱ期終り	0.268	77.2%	0.035	42.9%
93年第Ⅰ期初め	4.05	42.4%	0.253	44.3%
第Ⅰ期終り	0.478	47.5%	0.028	32.1%
第Ⅱ期初め	1.62	71.5%	0.124	37.1%
第Ⅱ期終り	0.673	72.4%	0.049	32.7%
94年第Ⅰ期初め	13.8	33.9%	0.282	50.0%
第Ⅰ期終り	5.49	38.7%	0.070	41.4%
第Ⅱ期初め	8.24	78.4%	0.072	97.2%
第Ⅱ期終り	1.80	38.7%	0.044	56.8%

*: $(D-TN / T-TN) \times 100$

#: $(D-TTP / T-TTP) \times 100$

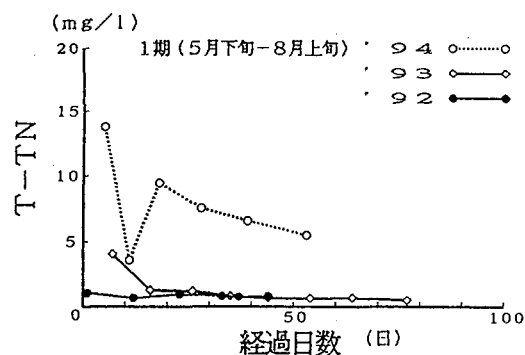


図-4 浄化田におけるT-TN濃度変化
(92~94年度、第I期)

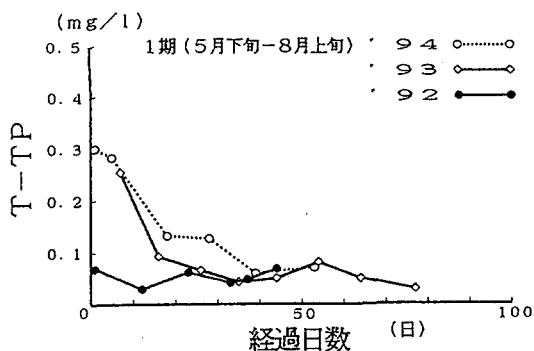


図-6 浄化田におけるT-TP濃度変化
(92~94年度、第I期)

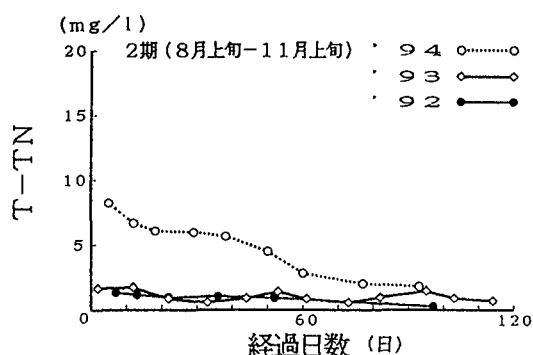


図-5 浄化田におけるT-TN濃度変化
(92~94年度、第II期)

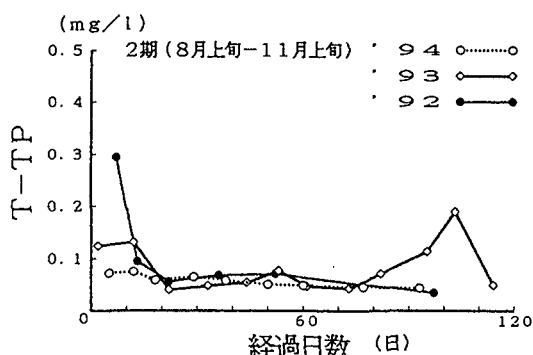


図-7 浄化田におけるT-TP濃度変化
(92~94年度、第II期)

3.2 浄化田におけるN, P除去

浄化田の水深の変化を測定した93年、94年の水質データを用いて、TN, TPの浄化田における除去速度を算定した。これは、平均水質濃度にその時の水深を乗じて浄化田単位面積辺りのN, P量を求め、その経日変化を一次反応として除去速度を算定したものである。一例として、第I期の浄化田におけるT-TN, T-TP量の経日変化を図-8~11に示す。これらのデータを最小二乗法で一次反応近似させ、反応速度定数を求めた。その結果を表-2に示す。

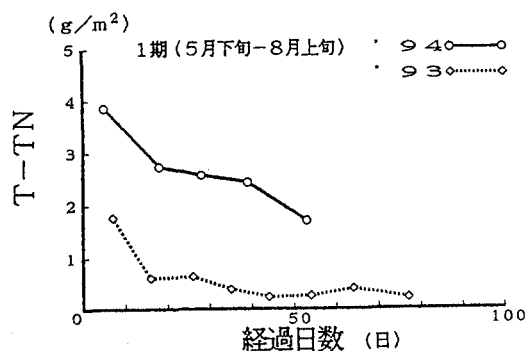


図-8 浄化田におけるT-TN量変化
(93~94年度、第I期)

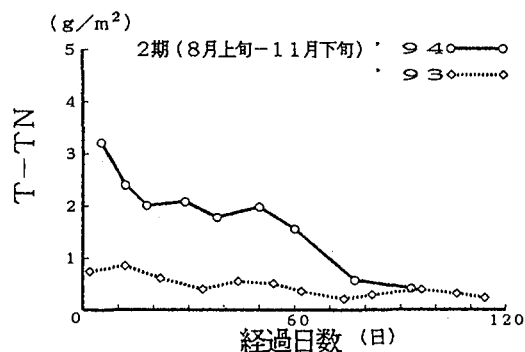


図-9 浄化田におけるT-TN量変化
(93~94年度、第II期)

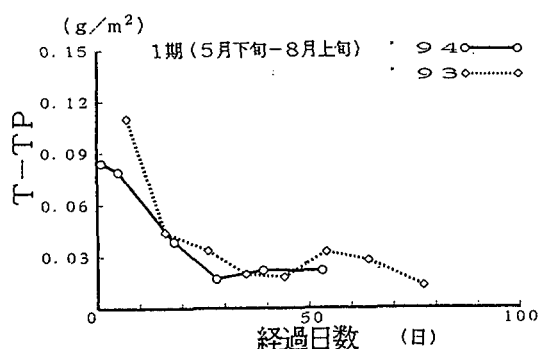


図-10 浄化田におけるT-TP量変化
(93~94年度、第I期)

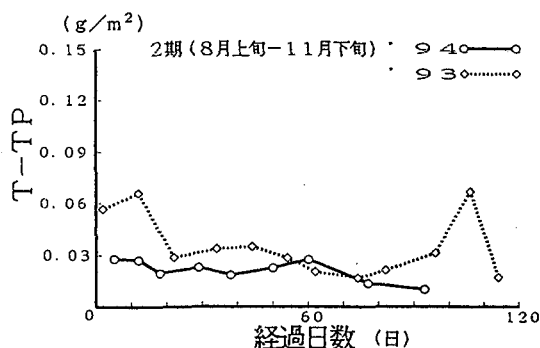


図-11 浄化田におけるT-TP濃度変化
(93~94年度、第II期)

表-2 反応(除去)速度定数と相関係数

		第I期(6~8月)	第II期(8~11月)
T-TP	93年度 (相関係数)	2.41×10^{-2} ($r=-0.828$)	1.01×10^{-2} ($r=-0.842$)
	94年度 (相関係数)	1.52×10^{-2} ($r=-0.964$)	2.07×10^{-2} ($r=-0.923$)
D-TP	93年度 (相関係数)	2.69×10^{-2} ($r=-0.823$)	1.13×10^{-2} ($r=-0.915$)
	94年度 (相関係数)	1.11×10^{-2} ($r=-0.879$)	3.19×10^{-2} ($r=-0.988$)
T-TN	93年度 (相関係数)	2.13×10^{-2} ($r=-0.775$)	5.79×10^{-3} ($r=-0.435$)
	94年度 (相関係数)	3.00×10^{-2} ($r=-0.862$)	8.94×10^{-3} ($r=-0.769$)
D-TN	93年度 (相関係数)	2.82×10^{-2} ($r=-0.777$)	1.19×10^{-3} ($r=-0.880$)
	94年度 (相関係数)	3.41×10^{-2} ($r=-0.968$)	1.23×10^{-2} ($r=-0.808$)

まず、相関係数をみると、93年II期のT-TPの相関係数が低い、その他は0.77以上であり、現場のデータとしては十分考察に耐えられるものであると考えられる。また、93年と94年では濃度がかかなり異なっていたが、どちらの場合も良好な相関係数が得られたことから、浄化田におけるN、Pの除去は、ほぼ一次反応で表すことができると考えられる。

T-TNの速度定数は、 $1.0 \sim 2.4 \times 10^{-2}$ の範囲であった。また、D-TNの速度定数は、 $1.1 \sim 3.2 \times 10^{-2}$ の範囲であった。各期ごとに比較しても、意図的に底泥を混合させた94年第I期を除いて、D-TNの速度定数の方が大きな値となった。このことは、浄化田における窒素の除去が、単なる浮遊性窒素の沈殿のみによるものではないことを示している。また、各期ごとの比較をすると、93年は第I期と第II期とでT-TN、D-TNともに約2.5倍の差があり、第I期の値が大きい。一方、94年はT-TNでは差が小さいものの、D-TNでは差が3倍となっており、しかも第II期の方が値が大きくなっている。

T-TPの速度定数は、 $0.58 \sim 3.0 \times 10^{-2}$ の範囲であり、D-TPの速度定数は $1.1 \sim 3.4 \times 10^{-2}$ の範囲であった。このように、TPの場合は例外なくD-TPの速度定数の方が大きい値となっている。そして、93年、94年ともに、第I期の方が大きな値となっており、その差も2.5倍～3.6倍と大きな数値である。

3.3 浄化田の浄化機能についての考察

浄化田における窒素、リンの除去は、溶解性成分の除去が大きいことから、湛水による単なる物理的沈殿によるものではなく、化学的・生物学的作用によるものと考えられる。そこで、ここでは浄化田に植栽した植物である、マコモの生育状態と関連させて浄化田の窒素・リン除去機能を考察する。

浄化田におけるマコモ草丈の経日変化を図-12に示す。マコモの草丈は、いずれの年も8月の中旬頃に最高となり、その後低下するという変化傾向を示している。また、92年は最大草丈が約160cmであったが、93年は約200cm、94年は約220cmとなった。また、93年は経過日数の早い時期に草丈の大きな伸長をみせ、7月初旬にはほぼ最大草丈に近い値となっている。これに対して94年は、最大草丈になる8月上旬まではほぼ一定の割合で伸長している。

従って、第I期に相当する期間では、93年の草丈の伸長が早いことがわかる。93年の第I期にTNの速度定数が大きくなっているのは、この時期のマコモの生長が大きかったことが影響しているのかもしれ

ない。第Ⅱ期に相当する期間では、マコモの地上部の生長はほぼ終わり、地下茎が充実すると言われている。これに関するデータが得られれば、第Ⅱ期の除去速度定数との関係が考察できるであろう。しかし、測定上の課題があって、今の段階ではデータが得られていない。今後の課題である。TPの速度定数が常に第Ⅰ期で大きいことは、TPの除去には、吸着というプロセスの関与が大きいことを示しているのかもしれない。

93年と94年のマコモの生長量を比較すると、94年の方が大きい。今、窒素・リンの除去速度定数を、第Ⅰ期、第Ⅱ期について単純に平均するとT-TNが93年：1.72, 94年：1.80, T-TPが93年：1.36, 94年：1.95と、いずれも94年の速度定数が大きな値となっている。そして、T-TNよりT-TPの数値の方が差が大きいことは、別報⁴⁾で述べているように、窒素の除去には植物による吸収以外の機構が関与しており、リンの除去は植物の吸収に大きく依存しているためと考えられる。

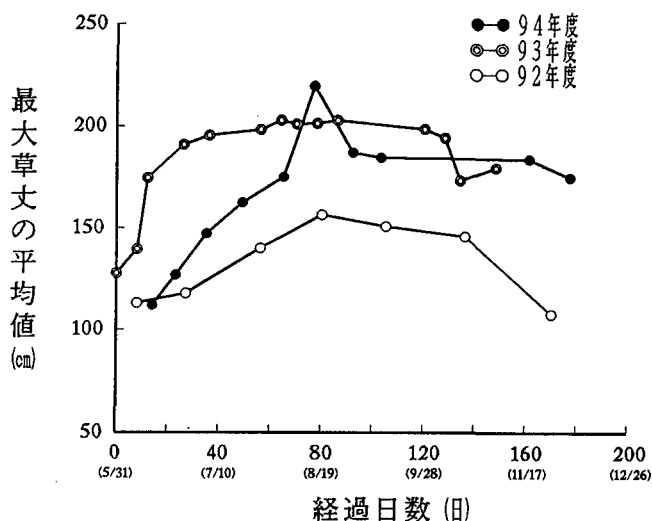


図-12 浄化田におけるマコモ草丈の変化 (92～94年度)

4. おわりに

1992年から1994年までの3年間、マコモを利用した浄化田の水質浄化機能を調査した。窒素、リンについてその結果をまとめると次のようである。

◇廃水を一定期間湛水させる方式で運用された浄化田での、全窒素・全リンの除去は、ほぼ一次反応で表された。

◇反応(除去)速度定数は次の範囲で値が得られた。

T-TN: $1.0 \sim 2.4 \times 10^{-2}$ (1/日)

D-TN: $1.1 \sim 3.2 \times 10^{-2}$ (1/日)

T-TP: $0.58 \sim 3.0 \times 10^{-2}$ (1/日)

D-TP: $1.1 \sim 3.4 \times 10^{-2}$ (1/日)

◇94年のマコモの生育は93年の生育より大きく、全窒素・全リンの除去速度も大きかった。しかし、マコモの生育と窒素・リンの除去との間に明確な、直接的な関係は得られなかった。

◇リンの除去が第Ⅰ期に大きいことから、リンの除去には土壌への吸着の関与が大きいことが推察された。

参考文献

- 1) 江成敬次郎他(1992): 伊豆沼に設置された給餌地の汚濁負荷削減効果についての調査研究、環境システム研究、Vol. 20, p. 386-390.
- 2) 江成敬次郎他(1993): 伊豆沼に設置された給餌地システムの汚濁負荷削減効果についての調査研究(第2報)、環境システム研究、Vol. 21, p. 135-139.
- 3) 江成敬次郎他(1994): 伊豆沼に設置された給餌地システムの汚濁負荷削減効果についての調査研究(第3報)、環境システム研究、Vol. 22, p. 84-89.
- 4) 杉山智洋、江成(1995): 水生植物(マコモ)の水質浄化機能についての考察、環境システム研究、Vol. 23, (掲載予定)