(22)　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）

A CASE STUDY ON WATER POLLUTION CONTROL EFFECTS OF A CONSTRUCTED FEEDING PLACE SYSTEM IN LAKE IZUNUMA (2nd Report)

江成敬次郎*、鈴木　淳*
Keijiro ENARI*, Jun SUZUKI*
柴崎　徹**、　佐々木久雄***、
Toru SIBASAKI**, Hisao SASAKI***,

ABSTRACT;　Lake Izunuma is a famous place for the coming of migrating flying swans. But, the leftovers of foods which were fed to the waterbirds and their droppings are one of the causes of water pollution.

In order to prevent water pollution of Lake Izunuma, a feeding place system was constructed near the lake. It was reported in the previous report that a build-up of pollutants of 12kg T-N, 1.5kg T-P and 120kg COD were found in the feeding pond which is one of the components of the feeding place system. This means that the pollutants going to Lake Izunuma were reduced.

After this, the polluted water in the feeding pond was introduced into a plant field (constructed wetland) and purification by the plant, Zizania latifolia, which is a food for the swans, was attempted.

The purification rates of 2.6 g/m^2/day COD, 2.1 mg/m^2/day T-N and 0.11 mg/m^2/day T-P were obtained.

Key words; Waterbird, Constructed feeding place, Ramsar convention, Constructed wetland, Purification by the plant

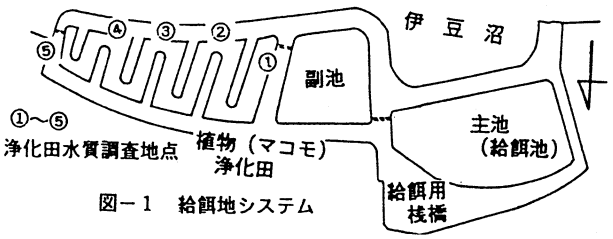
1．はじめに

昨年、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を構成する要素の1つである給餌池の汚濁負荷削減効果（給餌池に蓄積された汚濁物質負荷量）について報告した[1)]。その中で、渡り鳥飛来シーズン終了後の給餌池水質調査結果より、蓄積された汚濁量を求め、1シーズンの間に、少なくともCOD:120kg, T-N:12kg, T-P:1.5kgの負荷削減効果があったことを報告した。給餌地システムは、給餌池とその汚濁した給餌池の水を浄化するための浄化田が主要な施設である。浄化田においては、給餌池の汚濁水が導入され、そこでマコモという植物を利用して浄化を図り、その後沼に戻すことが意図されている。あわせて、生育したマ

＊　東北工業大学土木工学科
Department of Civil Engineering, Tohoku Institute of Technology
＊＊　伊豆沼・内沼環境保全財団
The Izunuma・Uchinuma Conservation Foundation
＊＊＊宮城県保健環境センター
Miyagi Prefectural Institute of Public Health and Environment

コモを次のシーズンにハクチョウなどの餌として利用することが意図されている。

本報告は、昨シーズン（'91年11月～'92年3月）汚濁した給餌池の水の、浄化田における水質浄化についての調査結果を考察したものである。



図－1　給餌地システム

2．環境保全型給餌地システムと浄化田[2)]

前報で述べたように、伊豆沼が平野部に位置しており、気候的には長期間湖面が凍結することがない地域の北限であるという特徴などから、伊豆沼はハクチョウ類、ガン・カモ類の飛来地として大きな役割を果たしている。他の飛来地が種々の要因でその機能を弱めつつある中で、ラムサール条約登録指定地である伊豆沼では、水鳥の生息環境を保全するための様々の努力が行われている。このような状況から考えると、伊豆沼への水鳥の飛来数は今後も増加するものと考えられる。

一方、伊豆沼は周辺を農地で囲まれ、流域に住む人間の生活との関わりも大きい。そのため、沼の水質悪化が進行している。大きな負荷として指摘されているのは流域からの生活排水の流入である。さらに水鳥の飛来は、その排泄物や給餌物の残りなどが汚濁負荷となることから、冬期間の負荷として看過し得ないものになっている。このため、水鳥などによる汚濁負荷の削減を直接の目的として、給餌地システムが伊豆沼の沼辺に設置された。この給餌地システムを構成する施設の一つが、浄化田である。

この浄化田は、水鳥の飛来シーズン中に汚濁した給餌池の水を浄化するために、マコモという植物を利用し、所謂湿地による廃水浄化を行う施設である。給餌地システムとその中の浄化田の概要を図－1に示す。浄化田の長辺から堤防が互い違いに突き出ており、これによって、浄化田の中で流れが左右に迂回し、全体で約220mの流路延長が確保されるようになっている。しかし、浄化田を連続的に流すためには、伊豆沼との間に水位差が常に確保されていなければならないが、実際にはこれを確保することができなかったため、回分的な導水を行なった。すなわち、一度浄化田に導水後は一定期間湛水状態にしておき、水質変化の状況を判断して、水を沼に戻し、残りの汚濁水を再び浄化田に導水するという操作を行なった。

マコモの植栽は、'92年6月6日におおよそ1m²当り1～4本の割合でなされ、浄化田全体で、約6000本の苗が植えられた。そして、6月22日に最初の導水を行なった。

3．マコモの特性と伊豆沼・内沼での位置付け[2)]

マコモは草丈1~3mで、種子または根茎で越冬する、大型抽水性多年草である。その茎は直立して堅く、中空で成長して稈状になる。根茎は、株の根元から40～50cmまでの浅い泥中を横走し、円筒形、多節という特徴がある。また、根茎の各節よりひげ根を輪生する。根茎の内部には白色～淡紫色の薄い隔壁がある。

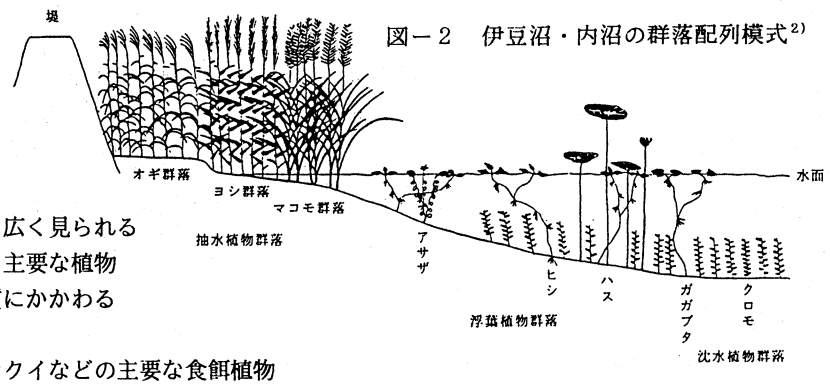
花期は8~10月でその果実は家畜飼料として利用されていた。冬期に地上部は枯死するが翌年5~6月頃根茎先端の越冬芽より新芽を出す。また、幼苗の病株がアスパラガスの代用として食用に利用されることもある。

以上のような形態的特徴と生活環を、マコモは持っているが、その生育適性条件は、止水性で、ヘドロ状の環境を好み、水深0.2~0.5mが良好であるとされている。このような環境に生育する他の大型抽水植物に、ガマ、フトイ、アシなどがあるが、ガマ、フトイより物質生産量が多いと言われている。伊豆沼・内沼における水生植物群落の配列模式を図－2に示す。抽水植物群落の中では最も沼側に位置しているが、水位上昇による沈水には強いとされている。

このような特性を持つマコモが、伊豆沼・内沼ではどのように位置付けられているかを述べる。

これまで、伊豆沼・内沼のマコモは家畜の飼料に用いられたこともあったが、基本的には単なる水田や水路の雑草であった。しかし、最近の調査・研究の結果、マコモは伊豆沼・内沼のような湖沼環境を維持する

上で、欠かせない植物であることが次第に明らかにされてきた。それによると、その役割は次のようにまとめられている。



図－2　伊豆沼・内沼の群落配列模式[2)]

① 遠浅な水辺環境に広く見られる抽水植物帯の最も主要な植物
② 湖面の水質、底質にかかわる浄化植物
③ ハクチョウやヒシクイなどの主要な食餌植物
④ 鳥や昆虫などをはじめとする動物の生息環境　⑤ 湖沼環境を維持する構成要素

これらの役割の内、ここでは②と③の役割について考察する。

表－1　マコモ増殖田における生育例

	調査日	6月7日	7月13日	8月17日	9月28日	11月16日
普通苗	草丈（cm）	93.3	116.1	180.4	192.4	190.3
	茎数	1.1	3.2	15.2	25.0	23.0
	葉数	5.2	12.7	71.9	130.0	132.0
	地下茎数	0～1	1～2	15	24	57
	生重（g）	37.4	120.5	1160.0	4100	5100

通常のマコモの生育状況を示す一例として、マコモ増殖田（これは、後述するようにマコモの復元のために設置されている）における生育調査の結果を表－1に示す。これによると、生重の変化が、6月の37.4gから11月の5100gへと約136倍にもなっている。そして、これに伴って栄養塩類が吸収されれば、かなりの水質浄化が期待できることになる。なお、マコモの水質浄化効果の一例として、N除去速度：0.5~0.6g／m^2・日、P除去速度：0.1g／m^2・日の値が報告されている[3)]。一方、草丈は8月までに当初の約2倍に達したが、その後は伸びが鈍り、9月に最高値192.4 cmとなった。また、茎数、葉数は7月から9月にかけて急増し、その後は増加が見られない。これに対して、地下茎数は、8月以降増加しており特に、9月末から11月に急増している。

このことから、マコモの成長を次のようにまとめることができる。すなわち、マコモは9月末から10月初めまでは葉や幹などの上部栄養器官の成長を続け、その間生殖成長を行い、さらに10月中旬以降、上部栄養器官からの養分を転流して、地下栄養器官である地下茎の栄養成長を促進させているということである。そして冬季に、このように充実した地下茎がハクチョウなどの餌となっている。さらに、前述したようにマコモの地下茎が株の根元から40~50cmまでの浅い泥中を横走するという特性も、ハクチョウが倒立して嘴の届く範囲、つまり採餌できる範囲60~80cmという条件に適っているといえる。

以上のように、伊豆沼・内沼においてマコモはハクチョウ類など水禽類の採餌植物として重要な役割を持っている。

しかし、伊豆沼・内沼の周辺では最近マコモの現存量が次第に減少してきている。これは、1980年の洪水によってマコモが長期間沈水し、その多くが枯死してしまい、さらに残ったマコモをハクチョウなどが採食してしまったためである。この傾向はその後も続き、1991年現在マコモがまとまって分布している地域は、4.3haとなっている。これは、1980年洪水前の78年の分布面積（61.8ha）に比較して、約7%に過ぎない。しかるに、柔らかい泥質で適当な水深というマコモの生育適地は、遠浅の地形を作っている伊豆沼・内沼に広く分布していると考えられる。事実、伊豆沼の管理水位から推定すると、マコモの生育適地面積は伊豆沼・内沼全体で約50haになり、これは洪水前の分布面積レベルに近い値である。このようなことから、現地伊豆沼・内沼では現在、いくつかの方策でマコモの復元に取り組んでいる。

4．結果と考察

4．1　浄化田における水質変化

前述したように'92年6月22日に、給餌池の水を浄化田に導いた。以後、マコモの地上部の成長が終わる11月半ばまでの間、合計１２回、浄化田の５地点（図－１参照）から採水しその水質を測定した。この間、８月上旬に浄化田の水を入れ替えているので、８月４日までを第Ⅰ期、それ以降を第Ⅱ期として水質変化を考察した。

第Ⅰ期のＣＯＤ，Ｎ，Ｐ，ｐＨの経日変化を図－３～７に示した。　ＣＯＤについては、まず、第Ⅰ期初期において各採水地点間における差が大きくその後徐々に地点間の差が小さくなる傾向が見られる。１日目（６月２２日）に、浄化田１、２から３、４、５へとＣＯＤが低くなっているのは、浄化田への導水時に、流れを追いながら採水したことが原因している。つまり、浄化田を流下するのに伴って、ＣＯＤが減少していることを示している。しかし、浄化田１、２のＣＯＤは第Ⅰ期間全体として減少傾向は見られず、浄化田３、４、５ではむしろ増加傾向が見られた。　Ｎについては、まずＴＮについて考察する。１日目の採水地点間の差異はＣＯＤと同様の原因と考えられる。全体の変化について浄化田１、２の値を基準に考えると、第Ⅰ期の間全体として減少傾向に見えるが、浄化田３、４、５を基準にするとその値はほとんど変化していない。

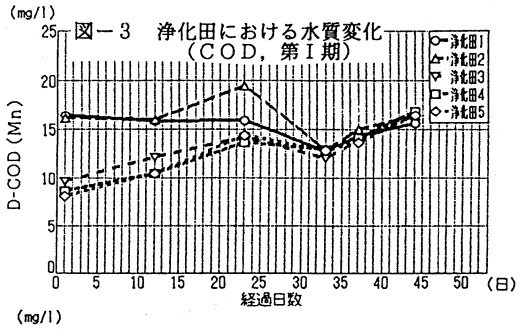
各無機態窒素の変化は、NH_4-NとNO$_3$-Nに増減傾向が見られ、NO_2－Nに減少傾向が見られたが、窒素全体に占める割合は小さかった。そこで浄化田１～５のＴ－ＴＮ，Ｄ－ＴＮ，及び無機態窒素の平均値を求め、窒素全体の中でそれらの割合が経日的にどのように変化しているかを示したのが、図－５である。この図からも、有機性窒素が多く、それがほとんど変化していない事がわかる。

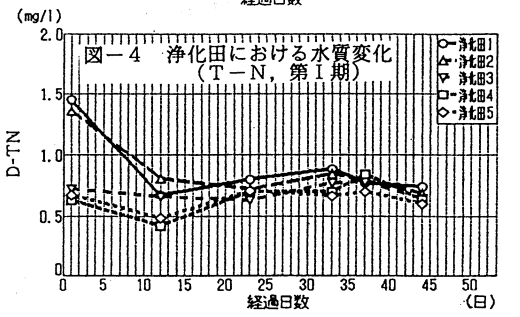
Ｐについても、第Ⅰ期の間全体としてＴＰの減少傾向は見られないと言える。ただし、PO_4-Pにつては、この間若干の減少傾向が見られた。

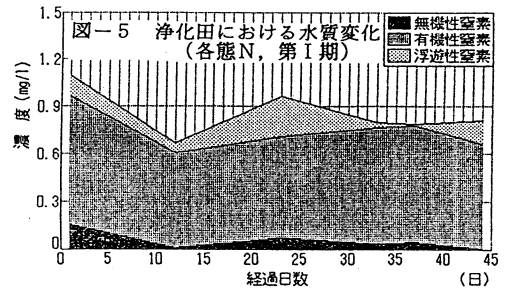
ｐＨについては、各採水地点間で大きな差は見られないが、第Ⅰ期の前半が低下傾向、後半が増加傾向を示した。

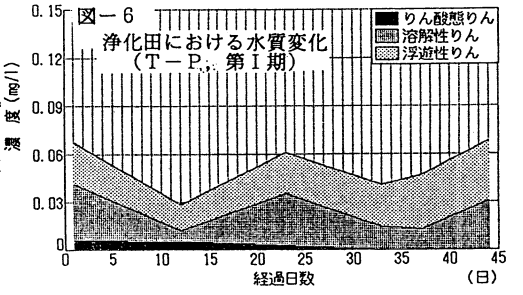
第Ⅱ期のＣＯＤ，Ｎ，Ｐ，ｐＨの経日変化を図－８～12に示した。

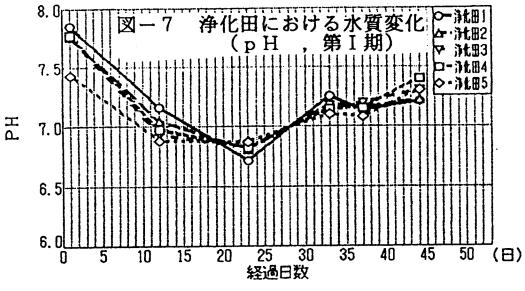
ＣＯＤの変化には多少バラツキが見られるが、全体として減少傾向が見られる。地点間の差異もあまり見られ











ない。この傾向から、第Ⅱ期では第Ⅰ期と違って、浄化田において水中の有機物が減少していると言える。

Nについては、D－TNの値に前半採水地点間の差がやや見られるが、ほぼ直線的な減少傾向が見られる。各無機態窒素の変化は、それぞれに増減傾向が見られたが、第Ⅱ期の初期では、窒素全体における割合は小さかった。そこで第Ⅰ期の場合と同様図－10に窒素の内訳の経日変化を示したが、第Ⅱ期における有機性窒素の減少が大きいことがわかる。全無機性窒素の量は、第Ⅱ期全体を通してほとんど変化していない。

Pについては、浮遊性、溶解性のどちらも減少傾向を示していることがわかる。また、PO_4-Pは、第Ⅱ期の後半に濃度を増加させており、溶解性リンの中での割合も増加している。

ｐＨは、第Ⅱ期の始めに低下傾向であったが、１３日目以降は増加する傾向を示した。このような傾向は、第Ⅰ期とほぼ同様であった。

以上のように、ｐＨ以外の水質項目は、第Ⅰ期と第Ⅱ期で変化の傾向が異なり、第Ⅰ期では各水質項目いづれも減少傾向が見られず、第Ⅱ期ではそれが見られた。そこで、第Ⅱ期において減少傾向の見られた水質項目について、浄化田１～５の測定値を平均し、それについて直線回帰を行い、それらの減少速度を求めた。その結果を、表－２に示す。

表－２　浄化田における水質浄化

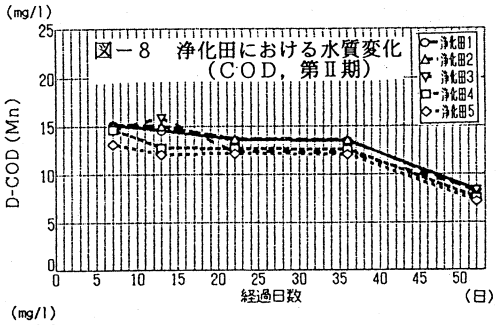
	濃度減少速度 (mg/l/日)	浄化速度 (g/m2·日)
T－CODMn D－CODMn	0.130 0.135	2.60 2.70
T－TN D－TN	1.05×10^{-2} 0.809×10^{-2}	0.21×10^{-2}
T－TP D－TP	0.527×10^{-3} 0.174×10^{-3}	0.11×10^{-3}

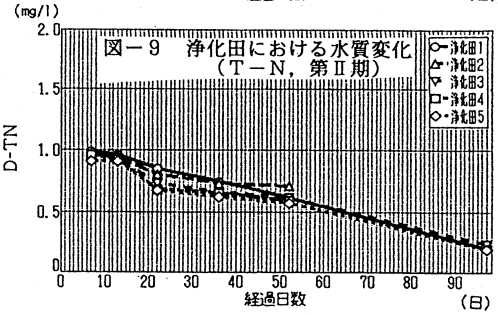
参考値（文献3)より）
N：0.5 ～0.6 g/m2·日
　0.2 ～0.6　　（アシ）
P：0.1　　g/m2·日
　0.03～0.08　　（アシ）

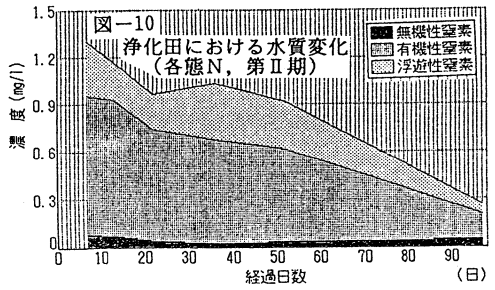
4．2　マコモの生育と水質浄化

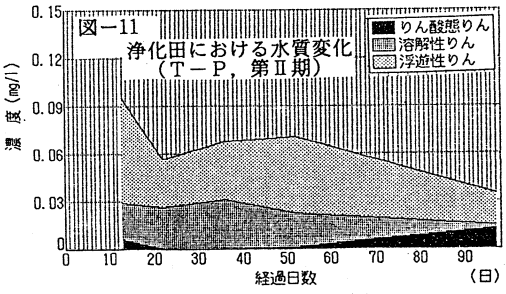
次に、浄化田における昨シーズン（'92年６月～11月）のマコモの生育状態を図－13に示す。

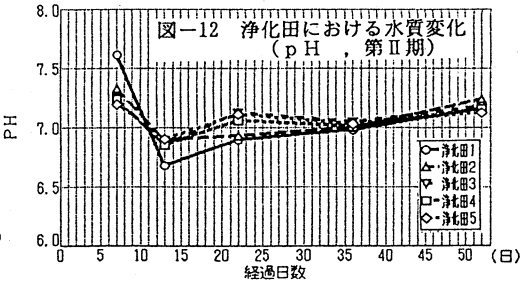
昨年度は、７月中旬まで浄化田の水位が高かったため











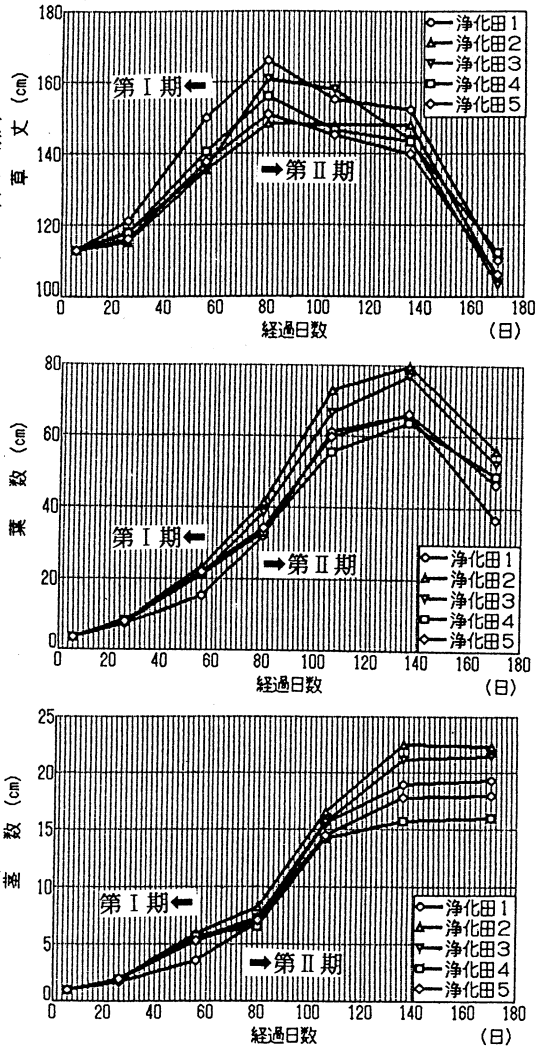
、初期の生長が遅くなった。７月中旬以降は、生長が通常の状態になり、草丈が増加した。それにともなって、８月中旬以降、分けつが著しくなり茎数が増大し、葉数も増加した。この傾向が、９月中旬まで続いた。10月中旬以降は、茎数の増加が止まり、地上部の生長がほとんど見られなくなった。また、枯葉や折損葉が多くなり、これにともなって草丈、葉数が減少しはじめた。このように、マコモの生育はほぼ通常の経緯でなされているが、前述したマコモ田における生長と比べると、草丈、茎数、葉数の増加はいづれも不十分であった。

浄化田における水質浄化は、８月上旬以降の第Ⅱ期において、ほぼ一定の速度で11月中旬まで続いている。従って、マコモの分けつが活発になった時期から水質が浄化されてきたことになるが、マコモの地上部の生長が終了した後も水質浄化が継続している。

水生植物を利用した廃水処理の試みは、これまでにも種々報告されている。それらの値と今回得られた値を比較するため、浄化田の水深を２０ｃｍとして、浄化速度を求めた。その結果も表－２に示す。

これらの比較をすると、今回マコモ浄化田で得られたＮ，Ｐの除去速度は、かなり小さな値である。植栽の密度などが明らかでないため正確に比較することはできないが、マコモの生長が十分でなかったことが影響しているものと考えている。従って、浄化田でのマコモの生産量を増やすことによって、さらに浄化能力を高められると考えている。

次に、Ｎ，Ｐの浄化速度の比をとってみると、２０となる。これらの元素が、植物に吸収されて除去されたとすると、植物体の成分がこの比とほぼ等しくなることになる。マコモの成分組成については、地上部で約１０～５、地下部で約５（いずれもＮ／Ｐ）の値が報告されている[3)]。この値と比較すると、浄化速度の比は大きな値になっている。つまり、窒素除去の割合が大きいことになる。この原因については、根圏での硝化・脱窒反応の進行を含めて今後の検討課題である。



図－13　マコモの生育状況

５．まとめ　　マコモを植栽した浄化田において、水鳥によって汚濁した給餌池の汚濁水の浄化が試みられた。その結果、次のような浄化速度が得られた。

ＣＯＤ：２．６，Ｔ－Ｎ：０．２１×10^{-2}，Ｔ－Ｐ：０．１１×10^{-2}，(g/m^2・日)

マコモの生育を更に大きくすることによって、この浄化速度を大きくすることが可能であると考えられる

謝辞：本調査を行なうにあたり、宮城県保健環境センター、並びに伊豆沼・内沼環境保全財団の関係者の協力を得た。ここに感謝の意を表します。また、実際の調査は、当時東北工大４年生の八鍬、戸村、関の三君の労が多い。併せて、感謝の意を表します。

参考文献１）江成他「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.20,1992,p.386~　２）内藤俊彦他「伊豆沼・内沼の植物相と植生」伊豆沼・内沼環境保全対策に関する報告書（宮城県）、1992,p.23~　３）東北地建・東北技術事務所、「水質浄化に関する調査研究」1993