

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)

A CASE STUDY ON WATER POLLUTION CONTROL EFFECTS OF A CONSTRUCTED FEEDING PLACE SYSTEM IN LAKE IZUNUMA (The 3rd Report)

江成敬次郎*, 鈴木 淳** 杉山 智洋*
Keijiro ENARI*, Jun SUZUKI**, Tomohiro SUGIYAMA*
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 reports that a build-up of pollutants were found in the feeding pond and the purification rates of 0.13 mg/l/day COD, 1.05×10^{-2} mg/l/day T-N and 0.53×10^{-3} mg/l/day T-P were obtained in a plant, *Zizania latifolia*, field (constructed wetland).

In this paper, the results which obtained in the second year study were reported and as follows.

1. The purification rates of $1.2 \sim 1.3 \times 10^{-2}$ mg/l/day T-N and $0.68 \sim 1.03 \times 10^{-3}$ mg/l/day T-P were obtained in a plant field (constructed wetland). These were larger than those of first year. These will be caused by the larger growth of the plant. On the other hand, the purification rate of COD was almost same to that of first year.
2. The unit loading factors of 5.30 g/swan·day T-COD and 0.49 g/swan·day T-TN due to the coming of migrating flying swans were obtained.

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

1. はじめに

一昨年、昨年と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。まず、一昨年、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('91年11月~'92年3月)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¹⁾。そして、昨年はこの汚濁した給餌池の水の浄化を、白鳥の食餌植物であるマコモを利用して行なうことを試みた結果を報告し²⁾、マコモを利用した浄化システムである浄化田で、次のような濃度の減少速度を得た。('92年6月~11月)

COD: 0.130, T-N: 1.05×10^{-2} , T-P: 0.527×10^{-3} , (mg/l/日)

しかし、この減少速度は、植物を利用した廃水処理に関する他の報告と比較してかなり小さな値であり、十分な浄化機能とは言えなかった。この対応として、マコモの生育を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ことを指摘した。

本報告は、昨年('93年6月~11月)の浄化田の浄化機能に関する調査結果と、浄化の対象にした給餌池の水の水鳥飛来シーズン中('92年11月~'93年3月)の変化について、報告し考察したものである。

2. 伊豆沼の特性と環境保全型給餌地システム

既報¹⁾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。

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

* 東北工業大学土木工学科

Department of Civil Engineering, Tohoku Institute of Technology

** 現在、建設省東北地建岩手工事事務所

** 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(現在、宮城県下水道公社)

Miyagi Prefectural Institute of Public Health and Environment

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、給餌池と浄化田から成る給餌地システムが伊豆沼の沼辺に設置された。

給餌地システムの概要を図-1に示す。本システムのねらいや構造の詳細は、既報¹⁾で述べたのでここでは概略の説明に止める。給餌池は、水鳥の飛来シーズン中に水鳥が集まり、給餌が行なわれるスポットである。従って、餌の残りや水鳥の排泄物がこの池に負荷され蓄積されることになる。浄化田は、この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。そしてマコモの地下茎は、ハクチョウの餌として利用される。つまり、マコモという植物を利用して、汚濁した給餌池の水の浄化を図り、生育したマ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という循環系を形成することがこの給餌地システムでは意図されている。

3. マコモ浄化田の水質浄化機能

3. 1 浄化田の運用経過

1993年5月下旬に、給餌池の汚濁水を直接浄化田に導入した。前年が、6月22日に副池を経由して導水しているの、今回は時期も1ヵ月早く、導水の方法も、前年と異なることになる。また、8月上旬に水の入替えを行なっている。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いる。

浄化田におけるマコモの植付けは、3月下旬(浄化田1~3)と4月下旬(浄化田4、5)に分けて行なわれている。前年は苗が植えられたが、今回は株で植付け、全面で約6000株(約1株/m²)である。

3. 2 調査方法

採水は、第Ⅰ期が5月27日から8月5日までに計8回、第Ⅱ期が8月10日から11月30日の間に計12回、図-1に示した、浄化田1~5の5地点で行なわれた。また、浄化田5の地点で、水温、水深を測定した。

水質測定項目は、以下のものである。

T-CODMn, D-CODMn, T-CODCr, D-CODCr, TOC, SS, pH, T-TN, D-TN, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, T-TP, D-TP, PO₄-P, Cl(但し、第Ⅱ期だけの測定)

3. 3 結果と考察

(1) 有機性汚濁指標(COD)の変化

T-, D-CODMn総量の経日変化を図-2、3に示す。なお、ここでの総量は、浄化田単位面積当りの重量で表されており、また浄化田1~5の各地点に特定の相違が見られなかったため、考察はそれらを平均した値で行なうこととする。

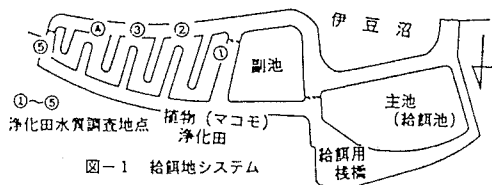


図-1 給餌地システム

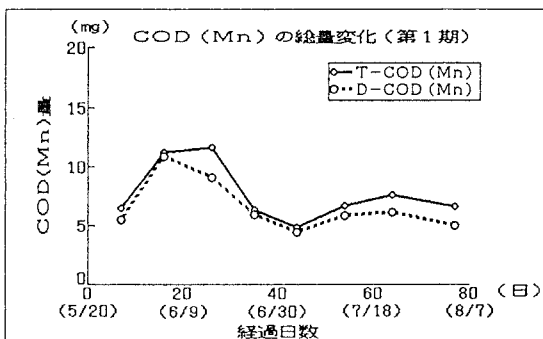
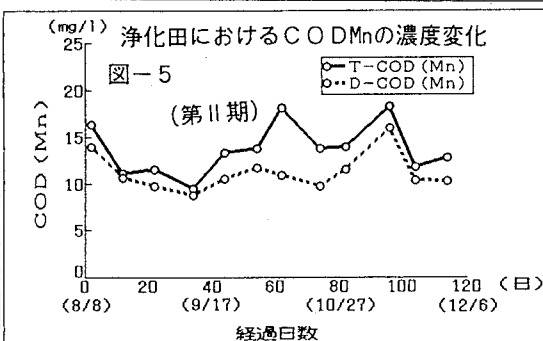
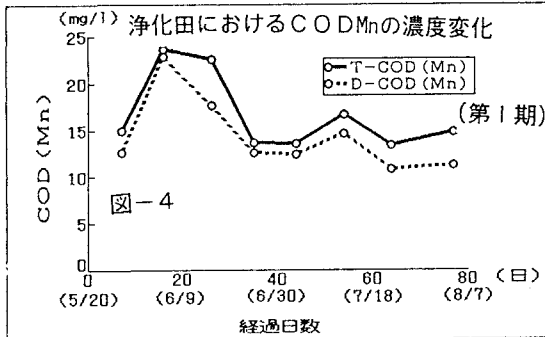
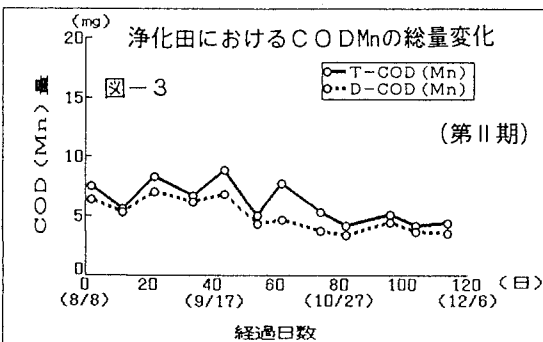


図-2 浄化田におけるCODMnの総量変化(第Ⅰ期)



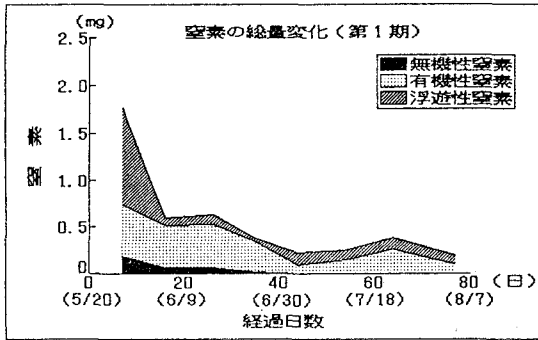


図-6 浄化田における窒素の総量変化（第Ⅰ期）

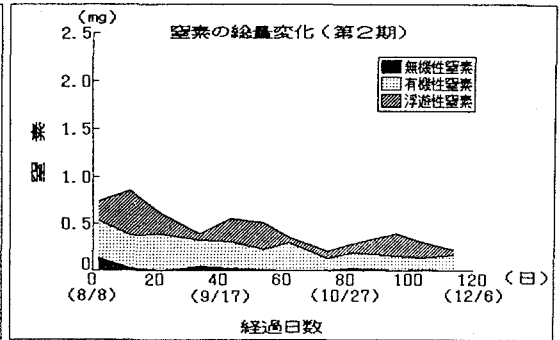


図-7 浄化田における窒素の総量変化（第Ⅱ期）

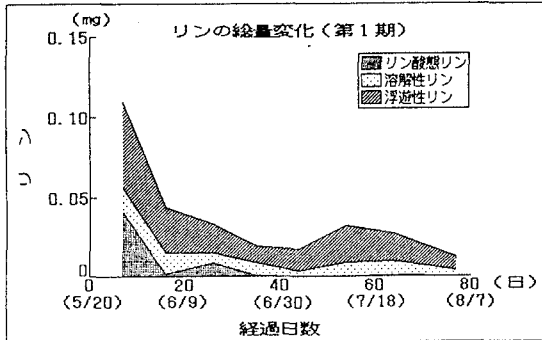


図-8 浄化田におけるリンの総量変化（第Ⅰ期）

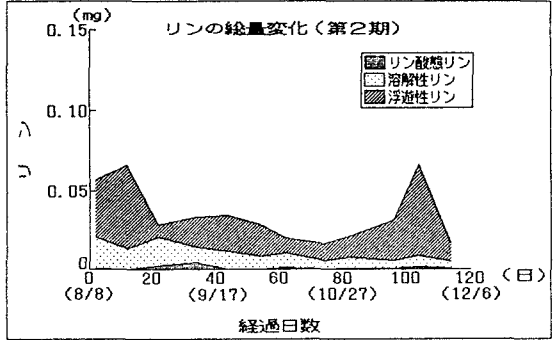


図-9 浄化田におけるリンの総量変化（第Ⅱ期）

第Ⅰ期ではやや大きな変動が見られ、第Ⅱ期では細かな変動が見られる。全体としてはどちらも減少傾向が認められる。なお、これを濃度変化で示したのが図-4、5である。濃度変化の場合は、特に第Ⅱ期で、COD濃度の増加傾向がやや認められる。つまり第Ⅱ期の後半は、水深の低下傾向が見られており、そのため総量では低下するものの濃度ではやや増加する傾向が現われている。

（2）栄養塩類指標（N、P）の変化

窒素、リンの総量変化をそれぞれ図-6、7と8、9に示す。T-TNは経日的に減少傾向を示している。T-TNの内容は、浮遊性、溶解性がほぼ半々程度であり、溶解性窒素の大部分は有機性窒素である。T-TNの減少には、第Ⅰ期初期の部分を除くと、溶解性有機窒素の減少が大きく影響している。

T-TPでは、第Ⅱ期でやや小さいものの、減少傾向がみられている。第Ⅰ期では、浮遊性リンとリン酸態リンの減少が大きいが、第Ⅱ期では溶解性と浮遊性リンが同程度に減少している。

表-1 浄化田の浄化速度 浄化速度単位： $\times 10^{-2}$ g/m²・日

（3）浄化速度の算定

T-COD(Mn)、T-TN、T-TPの3項目をとりあげ、それらの経日変化に、最小二乗法を適用し、浄化速度を求めた。その結果を表-1に示す。これらの浄化速度のうちT-TNとT-TPについて文献に報告されている値（TN：0.5～0.6 g/m²・日、TP：0.1 g/m²・日）と比較すると、いずれも2桁くらい小さな値である。文献値が得られた条件、例えば滞留時間などが不明であるため、今回の浄化速度がかなり小さいとは、必ずしも言えない。しかし、窒素の浄化速度に関しては、有機性窒素の分解が、浄化速度の律速になっていると思われる。

なお、前年の浄化田の機能と比較するため、T-COD(Mn)、T-TN、T-TPの濃度減少速度を求め、表-2に示した。CODの減少速度はほとんど同じであるが、N、Pの濃度減少速度は、今回かなり大きくなっている。

	T-COD(Mn)		T-TN		T-TP	
	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期
浄化速度	6.4	2.7	0.56	0.74	0.034	0.056
相関係数	0.58	0.47	0.91	0.64	0.73	0.89

表-2 浄化田の濃度減少速度

	T-COD(Mn)		T-TN		T-TP	
	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅰ期	第Ⅱ期
92年度減少速度	-0.09	0.13	4.29	10.50	0.053	0.572
93年度減少速度	0.15	-0.03	12.82	11.79	0.677	1.033

COD速度単位：mg/l・日、N、P速度単位： $\times 10^{-3}$ mg/l・日

(4) マコモの成長

マコモの最大草丈と地下茎数の変化を、第1期、第2期を通して図-10と11に示す。最大草丈の成長が7月までで終了し、その後、地下茎数が増加していくことがはっきりと見られる。また、前年は最大草丈が160cm程度までしか成長しなかったが、今回は200cmを越えており、株による植込の影響が現われている。

(5) マコモの成長と水質変化との関係

マコモの成長による、栄養塩類の吸収量を正確に見積もるには、まだデータが充分ではないが、いくつかの仮定をおいて、吸収量と浄化田での除去量を比較してみた。その結果マコモによる吸収量は、窒素については除去量の10~20倍、リンについては除去量の3~5倍という数値になった。

このことは、マコモは浄化田の土壤中から栄養分を摂取している可能性を示しており、また、工夫次第ではまだまだ大きな浄化能力を浄化田に発揮させられる可能性があることを示している。

4. 給餌池への汚濁物質の蓄積

4.1 水鳥飛来シーズン中の給餌池水質変化

(1) 調査方法および測定項目

水鳥の飛来シーズン中に、給餌池の棧橋側とその対岸の2カ所(図-1参照)から、ほぼ1週間に1度の頻度で採水し、給餌池の水質変化を測定した。採水期間は1992年11月5日から1993年4月1日までの約5ヵ月間である。

測定項目は、有機性汚濁指標としてCOD_{Mn}、COD_{Cr}、TOCの3項目、栄養塩類としてT-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、PO₄-Pの6項目、そしてpH、SSの2項目を加えて、合計11項目である。また、COD_{Mn}、COD_{Cr}、T-N、T-Pの4項目については、それぞれ濾過前後の試料について測定し、それぞれT-COD、D-COD、T-TN、D-TN、T-TP、D-TPとした。

(2) 測定結果および考察

測定結果の一例(COD_{Mn})を、図-12に示す。ここで図の(a)は棧橋側の水質変化を、図の(b)はその対岸の水質変化を示している。

また、今シーズン主池に入った水鳥(オオハクチョウ、オナガガモ)数の経日変化を、図-13に示した。

これらのグラフより、次のような考察ができる。

まず、棧橋側と対岸のデータを比較すると、水質項目によって棧橋側のデータがやや高いことがあるが、多くの場合ではほぼ同じ値であった。また、経日変化の傾向もほとんど同じであった。このことから、主池の水は、よく攪拌混合されており、場所による違いはないと考えられる。

次に、COD_{Mn}の経日変化を、入り込み水鳥羽数の変化と対応させて考察する。

COD_{Mn}は、おおよその傾向としては経日的に増加しており、水鳥羽数の増加による汚濁の進行がみられると言える。そして濾過前試料の測定値(T-COD)の方が大きい変動を示している。SSの変動と比較すると、経過日数100日前後までは、T-CODとSSの変動が類似しているが、その後はSSが減少しているにもかかわらず、T-CODはそれ程減少していない。溶解性成分であるD-CODの値は変動幅も増加傾向もT-CODに比べて小さい。T-CODのシーズン中最大値は、経過日数約80日前後のところで現われている。一方、水鳥羽数の最大値は経過日数約100日前後(2月下旬)で生じており、対応はしていない。このようなCODの変化には、強風による給餌池底泥の巻き上げなども影響を与えているためと考えられる。シーズン終了時でのCODの値を前年の調

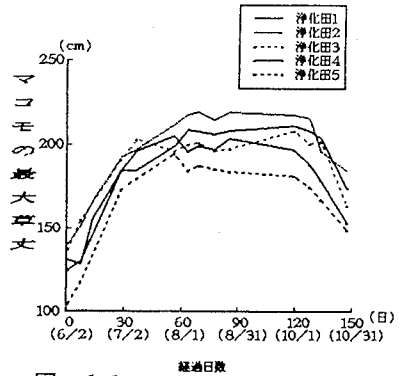


図-10 マコモの成長(草丈)

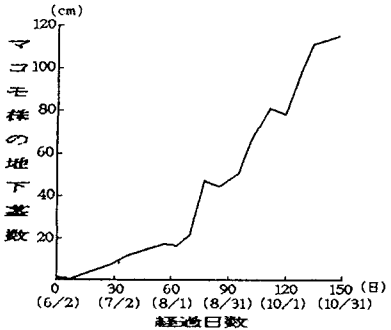


図-11 マコモの成長(地下茎数)

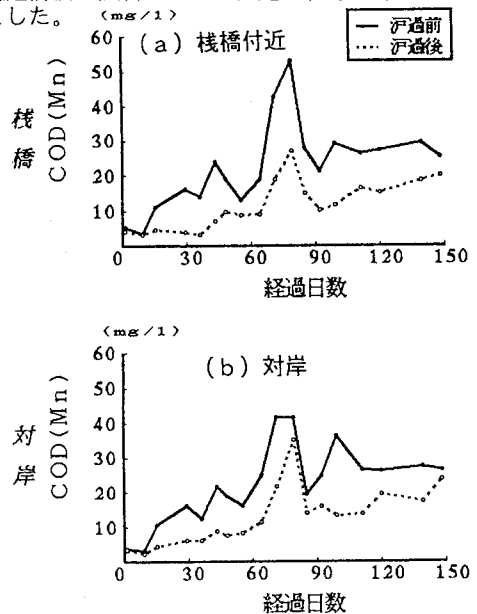


図-12 給餌池におけるCOD濃度変化

査結果と比較したものを表-3に示す。

項目によってまちまちであるが、全体的にはほぼ同程度の値である。主池に入り込んだ水鳥の積算換算羽数は、92年が約61500羽・日、93年が約50000羽・日であった。D-CODとTOCが93年でやや低い値になっているのは、主池に入り込んだ水鳥羽数の低下が影響しているのかも知れない。

各栄養塩類の測定終了時の値を、前年調査結果と比較して表-4、5に示した。

TN濃度は、93年の方が低い値であり、NH₄-N、NO₃-Nは93年が高い値を示している。

TPおよびPO₄-P濃度は、濃度自体はそれ程大きな違いはない。92年と93年の大きな相違は、TPにおけるD-TPの割合が93年の方が大きいということである。

pHとSSについて、最終の測定値を前年度と比較して表-5に示した。pH、SSともにかなりの違いがあった。

各水質項目の変化を全体的に検討すると、CODについて見たように、経日的な変化傾向が見られていることから、給餌池への水鳥の入り込み数の増加によって水質が悪化してきていることは間違いない。しかし、給餌池水質の経日変化には、気象条件や給餌池内部における種々の水質変換作用（強風による底泥の巻き上がり、沈殿・光合成、その他の生物化学的反応）も影響しており、一つ一つの変化を説明する迄には至らなかった。

93年の最終測定値を92年の測定値と比較すると、SS、T-CODcr、D-TPで93年最終測定値が高かったが、それ以外は92年測定値の方が高かった。測定した時期が多少異なることも影響していると思われるが、93年の水鳥の入り込み数が少なかったことも原因の一つと考えられる。

4. 2 主池の沈殿物測定

給餌池に負荷された汚濁物質は、池中にその一部が沈殿し、底泥として堆積することが予測される。そして、堆積した汚濁物質は巻き上げなどによって給餌池水質に影響を与える可能性を持っている。また、水鳥による汚濁負荷量原単位の把握のためには、水中の汚濁物質に沈殿堆積した汚濁物質を加味して検討することが必要である。

こうしたことから、給餌活動が行なわれている給餌池において、シーズン中にどの程度の汚濁物質が沈殿堆積するのか把握することを試みた。

(1) 測定方法

1992年10月27日、図-14に示した主池内15ヵ所に刺ピンを埋め込んだ。埋め込みの状況を図-15に示す。この状態で1週間放置し、測定終了後これを回収して刺ピン中の汚濁物質を測定し、沈殿堆積量の把握を試みた。

回収後、まず、刺ピン中の沈殿物の堆積高さを測定する。次に、刺ピン中の沈殿物を掻きだし、それを室温で乾燥させる。乾燥させた試料について、VSS、C、N、P及び乾燥重量を測定する。

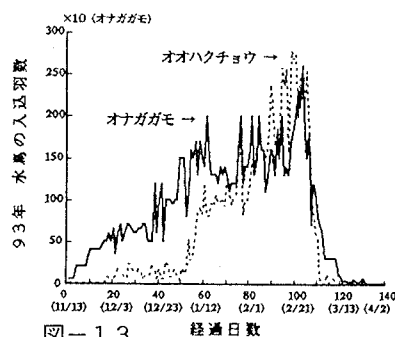


図-13 給餌池（主池）に入った水鳥数

表-3 主池水質の比較

単位: mg/l

	T-CODcr	D-CODcr	T-CODMn	D-CODMn	TOC
92年4月22日	60.8	45.6	33.5	29.8	19.5
93年4月1日	71.0	31.8	26.0	22.0	12.4

表-4 主池水質の比較

単位: mg/l

	T-TN	D-TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
92年4月22日	3.27	2.52	0.171	0.0076	0.016
93年4月1日	2.98	1.59	0.525	0.000	0.402

表-5 主池水質の比較

単位: mg/l

	T-TP	D-TP	PO ₄ -P	pH	SS
92年4月22日	0.419	0.047	0.075	8.44	29.1
93年4月1日	0.360	0.106	0.040	6.67	81.0

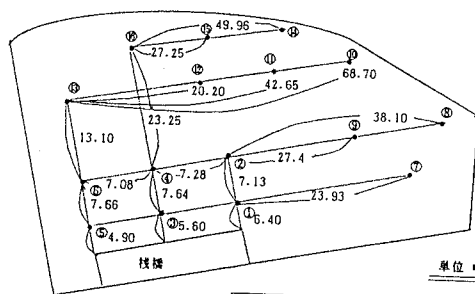


図-14 沈殿物測定箇所

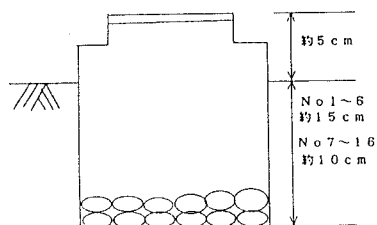


図-15 主池に埋め込んだ刺ピン

(2) 測定結果と考察

各測点における乾燥重量、VSS、及びC、N、P含有率を表-6に示し、また、その内Cについては、相対的な大小関係を図-16に示す。

測定された沈殿物量は、65.7gから255.8gの範囲にあり、測点では1~6の棧橋に近い所で大きな値となっている。VSS、C、Nについても、棧橋近くと主池の左半分で値が大きいことがわかる。このような傾向は、棧橋から行なわれる給餌活動による影響と判断される。

沈殿物中に含まれる成分の特徴として、リンが少ないことが挙げられる。この原因については、測定方法も含めて検討中である。

これらの測定値から、いくつかの仮定をおいて、シーズン中に沈殿した汚濁物質量を推定した。結果を水中の蓄積量も含めて表-7に示す。なお、沈殿物のT-CODは、C含有量から、主池水質のCODとTOCの比率を用いて換算された値である。また、水中の蓄積量は、主池水質の最後の測定値から求めたものである。

主池に蓄積した汚濁物質量を、主池に入り込んだ水鳥の羽数と関連させて考察し、水鳥による汚濁負荷原単位を求めてみる。

今シーズン、主池に入り込んだ水鳥換算羽数は、積算値で約5000羽・日である。これから、1羽当りの原単位を求めると、表-8のようになる。

この値は、ハクチョウの排泄物の成分分析と排泄量の推定から得られた1羽・1日当りの負荷量比較すると、T-P以外は、ほぼ一致する値となっている。

以上のことから、今回得られた原単位のうち、T-COD、T-Nについては、給餌活動が行なわれている場合の、餌の食べ残しも含めた汚濁負荷原単位としてほぼ妥当な数値であると考えられる。排泄物からの測定値と比較してこれら原単位が小さくなるのは、水鳥の行動範囲全体に排泄物が広がっているためと考えられ、水中に負荷される分が、今回得られた原単位であると解釈することもできる。

リンについては、今後さらに検討する必要がある。

5. まとめ

*マコモを利用した浄化田で、以下の浄化速度が得られた。

T-COD(Mn) : $2.7 \sim 6.4 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$
(0.15 mg/l/日)

T-TN : $0.56 \sim 0.74 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$
($1.18 \sim 1.28 \times 10^{-2} \text{ mg/l/日}$)

T-TP : $0.034 \sim 0.056 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$
($0.68 \sim 1.03 \times 10^{-3} \text{ mg/l/日}$)

*T-TN、T-TPについては、昨年より速度が大きくなっている。これは、主として、マコモの成長量が大きかったためと考えられる。

*水鳥による汚濁負荷として、換算ハクチョウ1羽当たり、以下の値が得られた。

T-COD(Mn) : $5.30 \text{ g/羽} \cdot \text{日}$

T-TN : $0.49 \text{ g/羽} \cdot \text{日}$

表-8 水鳥の汚濁負荷原単位

謝辞：本研究を行なうにあたり、研究室卒業研修生の多くの助力があった。ここに記して謝意を表します。

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) 同上、第2報、環境システム研究、Vol. 21, p.135~139.

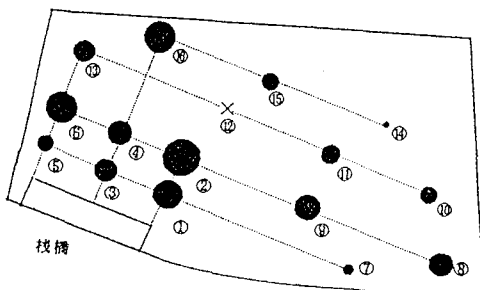


図-16 沈殿物中炭素の分布

表-6 沈殿物成分分析結果

主池	VSS (x)	C (x)	N (x)	P (x) 10^{-3}
No 1	15.15	3.44	0.34	0.42
No 2	13.44	3.96	0.30	0
No 3	13.70	3.19	0.28	0
No 4	15.57	3.31	0.35	0.42
No 5	15.50	2.92	0.27	0
No 6	14.49	3.60	0.35	0.42
No 7	9.65	2.52	0.13	0
No 8	14.19	3.33	0.31	0
No 9	12.03	3.33	0.24	0
No 10	13.75	2.79	0.30	0.42
No 11	12.37	2.97	0.27	0
No 12				
No 13	15.55	3.22	0.27	0.42
No 14	11.36	2.25	0.24	0.42
No 15	13.65	2.77	0.31	1.25
No 16	15.62	3.46	0.35	0.35

表-7 主池蓄積汚濁物質量 (Kg)

	T-COD	N	P
水中	7.5	8.5	1.05
沈殿物	19.0	16.0	0.15
合計	26.5	24.5	1.20

単位：g/羽・日