

別所沼の水質浄化に関する調査（第1報）

—水質特性及び導水による浄化効果について—

針谷 さゆり 若山 正夫 東島 正哉 五井 邦宏

要 旨

水質悪化が問題となっている別所沼について、水質の現況を把握するための詳細な調査を行った。窒素、リン等の測定結果から、沼水がかなり進んだ富栄養化状態にあることが分かった。また、AGPM試験、N/P比のデータから富栄養化の制限因子について検討した結果、春期から夏期にかけては、窒素制限にもリン制限にもなりうる可能性が示された。秋期から冬期にかけてはリン制限と推定された。

さらに、浄化用水の導入実験の際に、簡単な収支モデルを作成してその浄化効果に関する検討を行った。その結果、浄化用水の導入によって流出する汚濁物質の量が、釣り餌の投入や内部生産によって沼水に加わる汚濁物質の量をはるかに上回っていることが分かった。本導入実験によって認められた水質改善は、その大部分が導入水の置換交換に起因するものと考えられた。

1 はじめに

別所沼は浦和市郊外の県営別所沼公園内にある面積約2.4ha、平均水深約1mの浅い天然の沼であり、およそ100万年前大宮台地の侵食した谷から湧出した水が、かつての荒川の堆積土でせき止められて生じたといわれている。台地の湧水と雨水を貯え、古くから下流域の水田灌がい用のため池として貯水利用されていた。昭和31年に沼とその周辺7.9haが県営公園として指定され、改修整備によって、南北約300m、東西は北端で約65m、南端で約110mのはぼ台形の現在の形となった¹⁾。図1に別所沼及びその周辺の概略を示す。現在、沼には流入河川はなく、降水等により沼水が一定水位以上になると南西部の流出口からオーバーフローし、別所都市下水路を通して笹目川へ流出する。

別所沼は釣り、ボート遊び、散歩等を通じ人々に親しまれており、親水機能の非常に高い都市公園内の沼であるが、近年アオコの発生による悪臭の苦情があった。過去7年間（1983-1989）の8月の表層の水質データ²⁾をみるとCOD、T-N、T-Pの平均値はそれぞれ15.8、2.72、0.243mg/lであり湖沼の生活環境の保全に関する環境基準の2ないし3倍の値となっている。

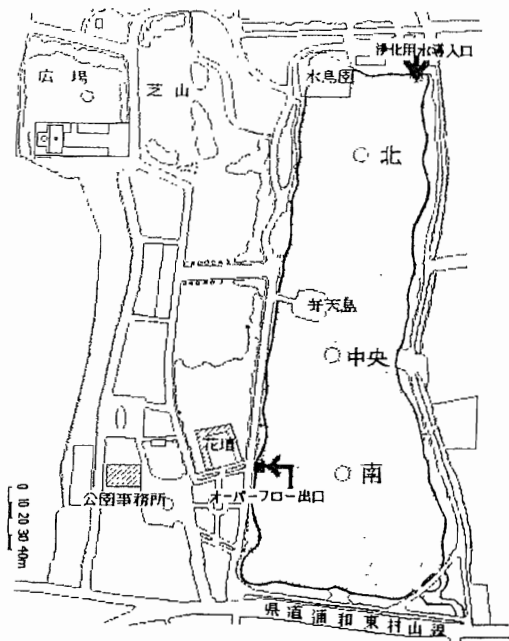


図1 別所沼及びその周辺の概略
(北、中央、南は採水地点)

公園内の沼という性格からも水質浄化が求められ、その対策が検討されてきた³⁾。水質汚濁の原因としては、湧水の枯渇、釣り餌等からの栄養塩類の負荷などが考えられる。昭和62年10月2日から10月30日（第1回）、昭和63年7月18日から9月22日（第2回）の期間に、浄化用水（荒川を取水源とした工業用水）を1日にそれぞれ約900^m³、1300^m³の割合で沼北部の下層から連続して導入し、水質改善を図る実験が行われた。

そこでセンターでは、浄化用水導入直前から約1年半にわたって水質調査を行い、富栄養化状態などの現状把握及び浄化用水導入効果に関する検討を行ったので報告する。

2 調査方法

2・1 調査期間

昭和62年9月から平成元年3月に調査を行った。浄化用水導入中には約2週間に1回、導入前、導入後にそれぞれ1回、その他の期間には約1カ月に1回の水質調査を行った。

2・2 調査地点

昭和62年9月から昭和63年10月は、別所沼内3地点（図1：北、中央、南）を調査地点とし、上層水（表層）、下層水（水深約80cm）を採水した。浄化用水導入時には、導入口で浄化用水を採水した。昭和63年11月以降は、中央のみを調査地点とした。

2・3 調査項目及び分析方法

2・3・1 水質調査及び底質調査

採水試料についてpH、EC、COD、クロロフィルa、SS、 $PO_4^{3-}-P$ 、 $T-P$ 、 NH_4^+-N 、 $NO_2^- -N$ 、 $NO_3^- -N$ 、 $T-N$ 、 SO_4^{2-} 、Clの分析を行った。クロロフィルaはGF/Cでろ過した試料から90%アセトンで抽出し、吸光度を測定後SCOR/UNESCOの式を用いて求めた⁴⁾。 NH_4^+-N は湖沼調査指針⁵⁾により、インドフェノール青吸光度法で測定した。 $NO_3^- -N$ 、 SO_4^{2-} はイオンクロマトグラフ法⁶⁾によった。その他の項目はJISK0102に準拠して測定した。

底質は、昭和62年9月に北部、中央部、南部で採取し、COD、 $T-P$ 、 $T-N$ 、強熱減量を測定した。分析は底質調査方法に準拠した。

2・3・2 AGPM試験⁷⁾

昭和63年7月11日に別所沼中央上層で採取した試料について以下の手順で行った。200mlの試験水を500ml三角フラスコに採取し、各系列4サンプルを作成し、1サンプルをUVモニタリングに供し、残りの3サンプルの平均からAGPM等の値を得た。

栄養物質添加試験は、窒素源として $NaNO_3$ 、リン源として K_2HPO_4 、Fe源として $FeCl_3$ をそれぞれ1mg-N/1、0.1mg-P/1、1mg-Fe/1となるように添加した（以下N添加、P添加、Fe添加とする）。また、増殖阻害物質に関する添加試験としてEDTAを1mg-EDTA/1となるように添加した（以下EDTA添加とする）。

試験水の入った三角フラスコを25±1℃の恒温槽内に置き、14時間明（約4500ルクス）、10時間暗の明暗サイクル下で藻類の増殖量が定常量になるまで培養した。1日に1回三角フラスコを振とうし、容器底部に沈殿した藻体を懸濁させた。藻類増殖量のモニタリングは、試験水の750nmの吸光度を測定して行った。藻類の増殖が定常量になるまで培養した試料の適当量を、あらかじめ重量を測定したろ紙（GF/C）でろ過し、105℃で2時間乾燥後、重量を測定する。培養後の藻類の乾燥重量から培養前の藻類の乾燥重量を差し引き、AGPM（mg/l）として表した。また、藻類培養液のCODを測定し、培養前の試験水のCODを差し引いて、CODとしての潜在生産能力を求めた。

2・3・3 浄化用水導入効果調査

浄化用水導入時の別所沼の水収支について簡単なモデルを仮定し、水質変動についてシミュレーションを行った。その結果を実際の水質結果と比較検討し、解析した。

3 調査結果及び考察

3・1 水質の概況

沼中央地点の上層水、下層水及び導入した浄化用水に関する調査データのうち、昭和63年4月から平成元年3月までの一年間のデータの主要な水質項目の最大値、最小値、平均値を表1に示す。各調査毎の全地点の平均値も沼水質平均として示す。

上層と下層では水質データに顕著な差は認められなかった。これは、両層の水深差が80cmと少ないためと考えられる。ただし、春から夏の期間には表層ではpH、DOが高く、また、 $T-N$ 、 $T-P$ 、クロロフィル

表1 主な調査データの統計値 (昭和63年4月-平成元年3月)

採水地点	水温 (°C)			pH			DO (mg/l)			SS (mg/l)			透明度 (cm)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
中央上層	28.1	6.4	19.0	9.8	7.3	8.3	16.9	8.1	10.7	50	9	23	100	42	63
中央下層	27.4	6.9	18.5	9.5	7.4	8.2	15.0	7.9	10.0	62	9	29			
工業用水	23.0	21.0	22.0	7.5	6.9	7.2	7.9	7.6	7.8	4	1	3	-	-	
沼水質平均	27.7	6.7	18.8	9.6	7.4	8.2	15.3	8.0	10.3	53	9	26	100	42	59

採水地点	COD (mg/l)			T-N (mg/l)			T-P (mg/l)			クロロフィルa (μg/l)			Cl (mg/l)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
中央上層	26.1	5.8	11.9	2.97	1.22	2.10	0.213	0.040	0.097	118	9	53	22.8	11.1	17.5
中央下層	26.5	6.2	12.6	3.08	1.37	2.16	0.234	0.048	0.111	131	15	61	22.6	11.2	17.4
工業用水	1.5	1.0	1.2	3.54	2.87	3.15	0.018	0.009	0.013	1	0	0	9.5	7.2	8.3
沼水質平均	26.2	6.0	12.2	3.03	1.35	2.14	0.227	0.044	0.105	131	13	56	22.8	11.2	17.4

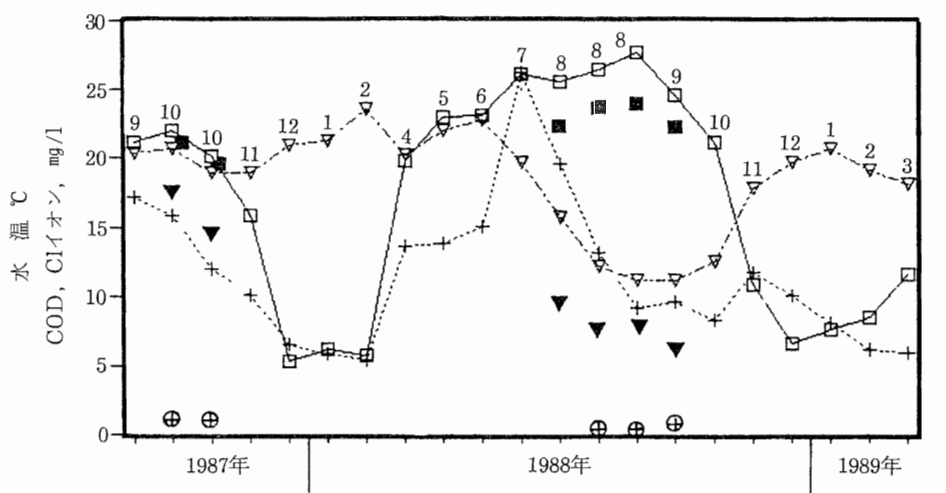


図2 水温, COD, 塩素イオンの季節変化 図中の数字は調査月

— □ 水温 沼水質平均 ■ 水温 浄化用水
 - - - + COD " ⊕ COD "
 - - - ▽ CLイオン " ▼ CLイオン "

aは底層の方が高い傾向がみられた。調査地点(北部, 中央部, 南部)間の水質データの差異も小さく沼はほぼ均質な状態と考えられた。

次に, 図2及び図3に水温及び主な水質項目の季節変化を示す。水温の上昇する春から夏にかけてCOD, T-N, T-P, クロロフィルaが急激に上昇し, 植物の生産活動が活発なことが示されている。富栄養化がかなり進んだ状態であると考えられた。この時期には

pHも8以上となり, 晴天時の調査では最高9.8を示した。各項目についてみると, COD, T-Pは, 夏期に高く冬期に低いよく似た季節変化パターンを示した。CODは, 冬期には約5mg/lであるが, 4月~9月には10mg/lを超え, 最大値は26mg/l(昭和63年7月)であった。また, T-Pは冬期には約0.04mg/lであるが, 夏期は0.1mg/lを超え, 最大0.22mg/lであった。クロロフィルaも, COD, T-Pと似た季節変動を示し, 冬

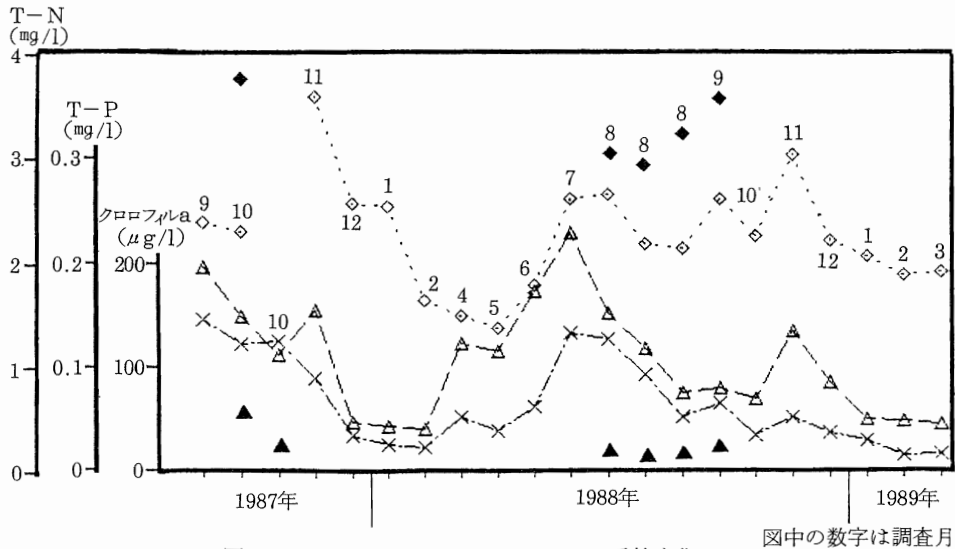


図3 T-N, T-P, クロロフィルaの季節変化

..... ◇ T-N 沼水質平均 ◆ T-N 浄化用水
 --- Δ T-P " ▲ T-P "
 --- × クロロフィルa "

期には約20 μg/lまで減少するが、春から夏にかけて増加し100 μg/lを超えた。

昭和63年の季節変化の様子をみるとCOD, T-P, クロロフィルaとも最大値を記録する高いピークが7月にある。その後、8月に減少を示すのは、浄化用水導入及び7月から9月にかけての天候異変(多雨, 寡照)の影響が大きいと考えられる。

T-Nは、他のいずれの項目とも相関が低く、COD等ともやや異なった変化の様子を示した。すなわち、2月～5月にかけては低い値を示し、その後上昇して11月頃まで比較的高い値を示すが、クロロフィルaやT-Pと比較すると変動の幅が小さく、11月頃に最大となった。昭和62年は3.6mg/l, 昭和63年は2.5mg/lの最大値を示した。

塩素イオンの季節変化をみると、冬期に高く、夏期に低い値を示した。昭和63年の夏に特に低い値を示しているが、これはCOD等の減少と同じで、降雨が多かったためと、塩素イオン濃度の低い浄化水の導入により希釈が進んだためと思われる。

一般に富栄養度の判定には栄養塩である窒素, リンの総量, 植物プランクトンとしてクロロフィルaの量, あるいは透明度の値が用いられる。今回の調査で、昭和63年度のT-P, T-N, クロロフィルa, 透明度の平均値はそれぞれ0.105mg/l, 2.14mg/l, 56μg/l, 59cm

であった。これらの値を用いて別所沼の水質の富栄養度を判定すると、例えば、OECDが示した栄養度の区分⁸⁾(超貧栄養～過栄養)では過栄養の状態に相当する。また、富栄養化度の指標としてよく用いられる修正TSI値⁹⁾(クロロフィルa量を基本とした総合的富栄養度指標で、日本の調和型淡水湖において湖の栄養状態をよく表すとされている)を求めると74であり、この値からも富栄養の状態と判断された。

3・2 形態別リン, 窒素, CODの季節変化

生産層の総リン, 総窒素濃度は富栄養度の重要な指標であるが、水中での植物生産活動や、動物, バクテリアの分解活動によりリンや窒素は無機態と有機態, あるいは、溶存態と懸濁態の変化を周期的に繰り返している。その形態別の季節変化について検討した。試水をGF/Bでろ過したろ液の測定から溶存態(s-)を、また、全濃度と全溶存態濃度の差から、懸濁態(p-)を求めた。一部の試料についてはPO₄-P, NO₃-N, NH₄-Nの測定を行った。CODについても同様に溶存態, 懸濁態を測定した。まず、これらの水質項目及びクロロフィルaの間の関係を検討するために昭和63年7月から平成元年2月の調査での中央部上層, 下層データについて相関係数を計算した。表2にその結果を示す。COD, p-COD, T-P, p-TP, p-TNの

表2 植物生産活動に関連する主な項目間の相関係数

(昭和63年度別所沼中央のデータ：n=18)

項目	COD	s-COD	p-COD	T-P	s-TP	p-TP	PO4	T-N	s-TN	p-TN	NO3-N	NH4-N	Chl-a
COD		*0.88	*0.99	*0.96	0.44	*0.97	0.07	0.47	*-0.73	*0.95	-0.35	-0.48	*0.83
s-COD			*0.80	*0.81	0.46	*0.81	0.13	0.37	-0.57	*0.75	*-0.69	-0.08	0.55
p-COD				*0.96	0.41	*0.97	0.05	0.47	*-0.75	*0.97	-0.22	-0.59	*0.88
T-P					*0.62	*0.99	0.27	*0.63	*-0.62	*0.95	-0.29	-0.42	*0.84
s-TP						0.57	*0.73	*0.76	0.03	0.43	-0.30	0.27	0.25
p-TP							0.23	*0.61	*-0.65	*0.96	-0.28	-0.46	*0.86
PO4								*0.83	0.51	0.05	0.03	0.37	-0.02
T-N									0.18	0.45	0.11	-0.03	0.41
s-TN										*-0.80	0.32	*0.65	*-0.72
p-TN											-0.22	*-0.60	*0.90
NO3-N												-0.47	0.02
NH4-N													*-0.76
Chl-a													

*：有意水準1%で相関が認められるもの

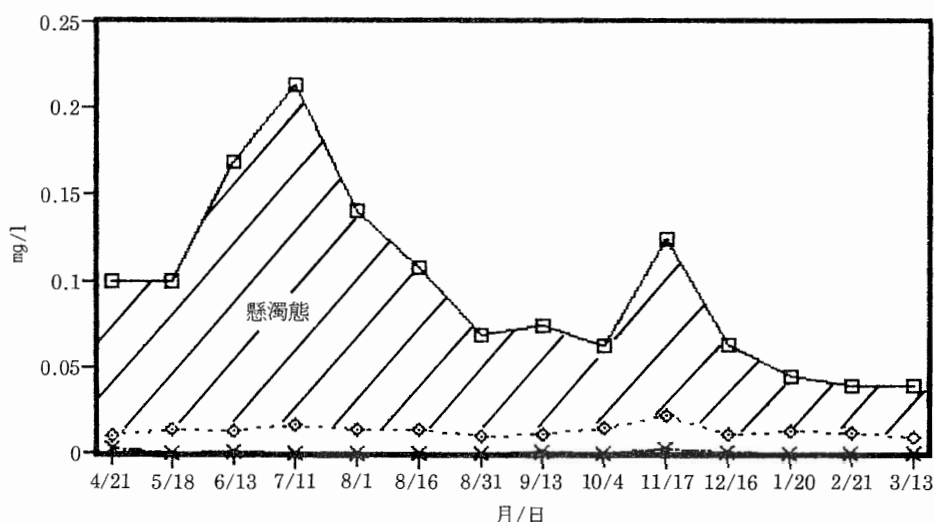


図4 形態別リンの季節変化 昭和63年度，中央上層

□ T-P ◇ s-T-P × PO₄-P

間の相関係数はすべて0.95以上であり、非常に強い相関があることが特徴的であった。また、これらの項目とクロロフィルaの間の相関係数もすべて0.8以上の高い値を示した。これは、懸濁物質の大半を植物プランクトンに由来するものが占め、その植物プランクトンのリン、窒素の比率はそれほど大きな変動をしないために懸濁態の相関が非常に高くなったものと思われる。また、COD、T-Pの値にも植物生産活動が大きく影

響していることが示されている。

中央上層水の形態別リンの季節変化（昭和63年4月～平成元年3月）を図4に示す。T-Pの約74～92%を懸濁態が占めており、溶存態の割合は低い。また、生物生産に利用されるリン酸態は、夏期及び冬期にはほとんど検出されず、最高でも下層の0.004mg/lであった。沼水中のリンは常に生物生産に利用される割合が非常に高いと考えられる。

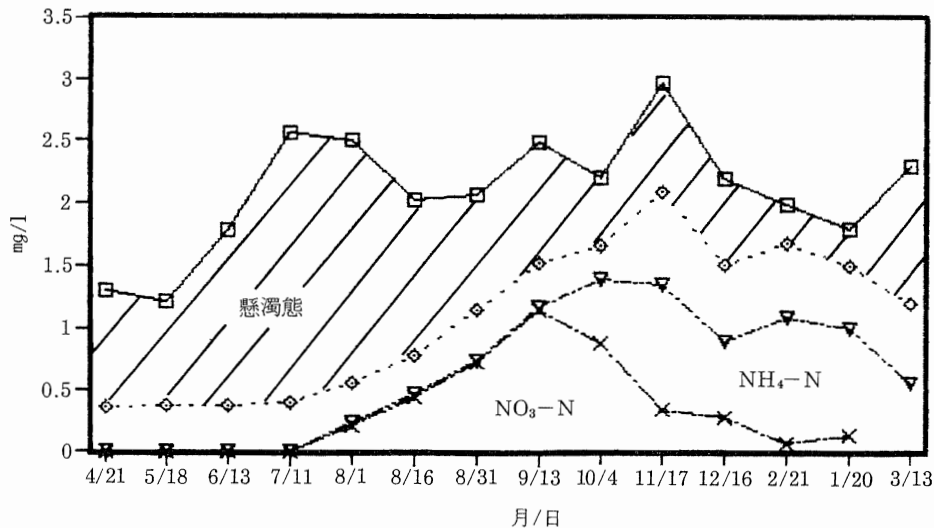


図5 形態別窒素の季節変化 昭和63年度，中央部上層

□ T-N ◇ s-T-N × NO₃-N ▽ NO₃-N+NH₄-N

次に、中央上層水の形態別窒素の季節変化を図5に示す。p-TNはCOD、クロロフィルaと相関係数0.9以上で非常に高い相関を示すが、T-Nとこれらの相関は相関係数0.4-0.63と低く、この点でリンの場合と異なっている。これは、T-Pのうち、懸濁態の占める割合が常にはほぼ一定であるのに対し、T-Nのうち懸濁態の割合がリンの場合と比較すると季節によって大きく変動するためと考えられる。すなわち、4月から7月にかけては、T-Nのうち懸濁態の占める割合はリンと同様に70-85%と非常に高い。しかし、7月以降溶存態の量が急激に増加し、10月から2月には懸濁態の比率は15-30%まで減少している。無機態窒素の変化をみると、夏期にNO₃-Nが多い。これは7月中旬から導入された浄化用水のNO₃-N濃度が高いことが影響していると考えられる。また、10、11月とNH₄-Nが増加し、冬期に高い値を示すのは、植物プランクトンの枯死、分解等の影響ではないかと思われる。3月に入って生物生産活動が活発になる頃、懸濁態の割合が増加し、溶存態及びNH₄-Nが減少していく傾向がみられた。

3・3 富栄養化制限因子

富栄養化の制限因子に関する検討のために混合培養によるAGP試験 (AGP^M) を行った。AGP (Algal Growth Potential: 藻類生産の潜在力) 試験は、

試水を基礎とした培養液に特定の藻類を接種し、一定条件下で藻類が定常期に達するまで培養し、その増殖量を乾燥重量 (mg/l) として表わす。これをAGP値とする。培養の際にリン源あるいは窒素源等を添加し、藻類の増殖の差異を測定することにより富栄養化の制限因子に関する情報が得られる。

AGP^M試験はその変法の一つで、藻類が十分に存在する河川水や湖沼水を接種する方法である。AGP試験と比較し、実験が簡略化でき、試水に適応した藻類が優先的に増殖できる可能性が高く、自然界に近い状態で藻類生産の潜在能力が測定可能といった利点がある⁷⁾。今回の試水は湖沼水そのものであるため、接種を行わずそのまま培養した。

また、同時期にMBOD試験も行った。これは中本ら¹⁰⁾によって提唱された方法で、試水に十分量の有機物を添加し、試水に含まれる栄養塩類に制限されるまで従属栄養細菌を増殖し、その増殖量を消費した酸素量で表す。これをMBOD値とする。また、完全培地 (有機物、微量元素、窒素、リン) から窒素源を除いた培地を添加すれば細菌は試水中の利用可能な窒素を消費し尽くすまで増殖する。この時の消費酸素量をMBOD-Nとする。同様に、リン源を除いた培地を添加した場合に得られる消費酸素量をMBOD-Pとする。

7月の沼水についての試験結果を表3に示す。まず、

表 3-1 AGPMの結果 単位: mg/l

項目	ブランク	P添加	N添加	Fe添加	EDTA添加
AGPM	18	24	34	10	16
COD	8.9	10.1	19.6	8.9	9.4

表 3-2 MBODの結果 単位: mgO₂/l

MBOD	MBOD-P	MBOD-N
20.6	21.6	26.8

AGPMの結果をみると、ブランク18mg/l、窒素添加34mg/l、リン添加24mg/lで、窒素を添加した場合に藻類の増殖が著しい。従って、窒素が富栄養化の制限因子となっていると考えられた。EDTA添加はブランクとほとんど変化なく、鉄添加では増殖が阻害される傾向がみられた。AGPM試験を行った試水について試験前後のCODを測定し、CODとしての潜在生産能力を測定したところ、N添加で19.6mg/lとブランクの2倍以上の高い値を示した。一方、MBOD試験の結果では、MBOD及びMBOD-Pの値に比べMBOD-Nは高い値を示した。従って、リンが制限因子と考えられた。このように両試験から推定される制限因子が異なる結果が得られた。他の研究においてもこのような結果が得られた例があり、これはバクテリアの要求するN/P

P比とプランクトンの要求するN/P比の違いによるものではないかと指摘されている¹¹⁾。

次に、沼水のN/P比を用いて制限因子について検討した。植物プランクトンが正常な増殖をするためにはその体組成に近いN、Pが取り込まれる。その比は約10-25の範囲にあるといわれており、これ以上の湖沼ではリン制限、10以下では窒素制限となることが多いと考えられている⁵⁾。別所沼中央部上層水のN、P及びN/P比の季節変化(昭和63年度)を図6に示す。また、N、Pそれぞれの懸濁態、溶存態及び懸濁態のN/P比の季節変化も同様に図6に示す。T-N/T-Pの年間の平均値は27でリン制限とみなせるが、季節変化が大きい。秋期から冬期にかけては主にT-Pが減少するためにT-N/T-Pは増加傾向を示し、この期間はリン制限と考えられた。一方、4月から8月中旬までは変化が少なく10-20のリン制限・窒素制限の境界域範囲にあった。

ここで、p-TN/p-TPの変化の様子をみると、3月に異常に高い値(35)であったが他は9-16の範囲にあり変動は小さかった。懸濁態は植物プランクトンに由来する割合が大きいことから、p-TN/p-TPは植物プランクトンの体組成に近い値を示していると考えられる。春期から夏期にはT-N/T-Pとp-TN/p-TPはほぼ同程度になるが常にT-N/T-Pが上回っており、このことはリン制限を示唆しているように

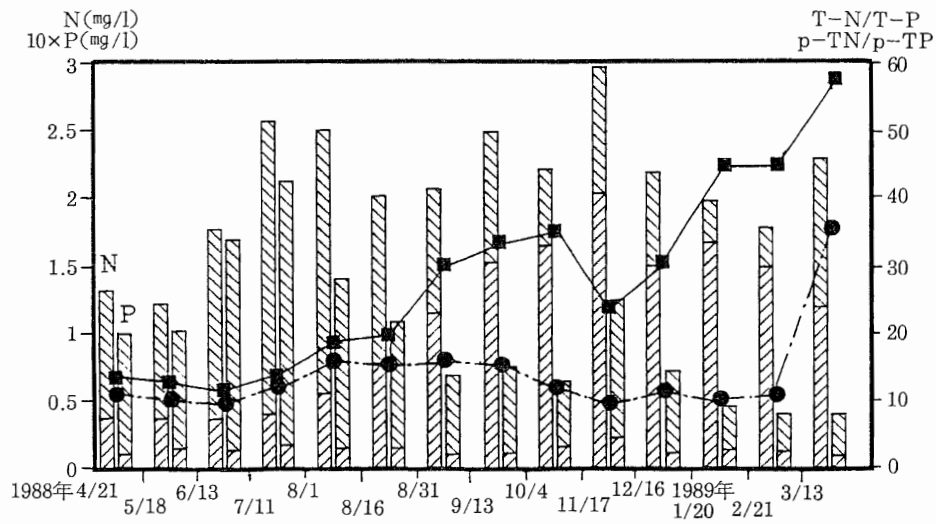


図6 N/P比の季節変化(中央部上層)

—■— T-N/T-P ▨ 溶存態 ▩ けん濁態
 - - - ● - - - p-TN/p-TP

思われた。

結局、春期から夏期には、窒素制限にもリン制限にもなりうる可能性が示された。また、秋期から冬期には、N/P比からリン制限と推定された。

3・4 導水による水質浄化効果

3・4・1 水収支及び水質変化のモデル化

流入水として浄化用水と降水，流出水として蒸発水とオーバーフロー水のみを考慮した極めて単純なモデル（図7）を用いて，導水期間中の別所沼の1日毎の水収支を計算した。沼水の浸透流出，湧水の流入，流域からの流入水等は無視した。導入水量，降水量，蒸発量，オーバーフロー量については以下のように算出した。

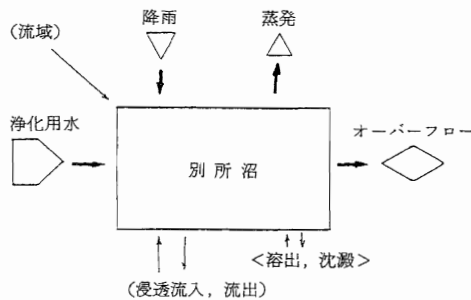


図7 収支モデル

導入水量：毎日定時のメータ読み取り値から一日の平均導入量を算出

降水量：（埼玉県庁気象観測所の日降水量）
×（沼面積）

蒸発量：PenmanによるDalton型経験式を用いて算出

$$E=0.35(1+9.8 \times 10^{-3} \times U)(E_s - E_d) \text{ (mm/day)}^{12)}$$

U：風速 (mile/day)

E_s ：水面温度の飽和蒸気圧 (mmHg)

E_d ：露点温度の飽和蒸気圧 (mmHg)

オーバーフロー量：導入水量+降水量-蒸発量

導水期間中の積算の水収支を計算した結果を図8-1及び8-2に示す。第1回の実験は28日間で，導入水量26200 m^3 ，降水量3600 m^3 ，蒸発量1400 m^3 であった。第2回の実験は66日間で導入水量83500 m^3 ，降水量11800 m^3 ，蒸発量4500 m^3 であった。第2回の実験では，1日当りの平均導入水量，降水量が第1回と比較してそれぞれ約1.4倍となっている。

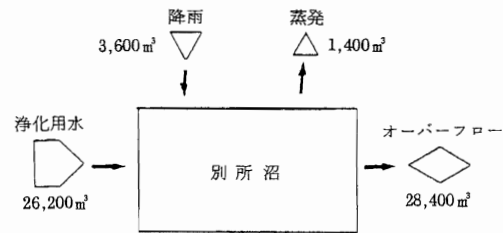


図8-1 第1回導入期間中水収支（28日計）

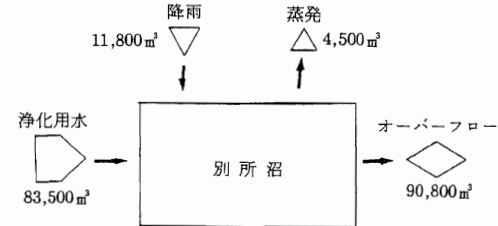


図8-2 第2回導入期間中水収支（66日計）

第2回の降水量が多かったのは，導水期間である昭和63年7月から9月にかけて平年とはかなり異なった気候（長梅雨，雷雨，台風，秋雨と長雨，大雨）であったためと考えられる¹³⁾。図9に第2回の導水期間中の各水量の経日変化を示す。昭和63年は梅雨明けが平年よりも13日遅れ（7月31日），梅雨寒と日照不足が続いた。8月も酷暑がなく，月降水量は336mmであり過去8年間の平均（184mm）よりも約150mmも多かった。9月も7月以上の多雨，寡照であり，10月に入って平年並みの天候に戻るといふ気象状況であった。

沼水量（湛水量）24000 m^3 に対する導入水量の割合は第1回で1.1，第2回で3.5であった。また，期間中の降水量と導入水量の比は，第1回で1：7.3，第2回で1：7.1であった。量の比較では降水より導入水による寄与のほうがはるかに大きく，沼水の回転は導入水がない場合と比較してかなり速くなっていることがわかる。

次に，導入時の経日水質変化を計算した。計算の手順を以下に示す。着目する物質（m）の量（単位：g）を Q_m ，濃度（単位：g/ m^3 ）を C_m ，水量（単位： m^3 ）を V_m とする。t日目の導入水による負荷を Q_m 。導入水，降水による負荷を Q_m 。降水とすれば， Q_m 。導入水(t) = C_m 。導入水(t) × V_m 。導入水(t) 及び Q_m 。降水(t) = C_m 。降水(t) × V_m 。降水(t) が(t-1)日目の沼水に加わる。(t-1)日目の沼水

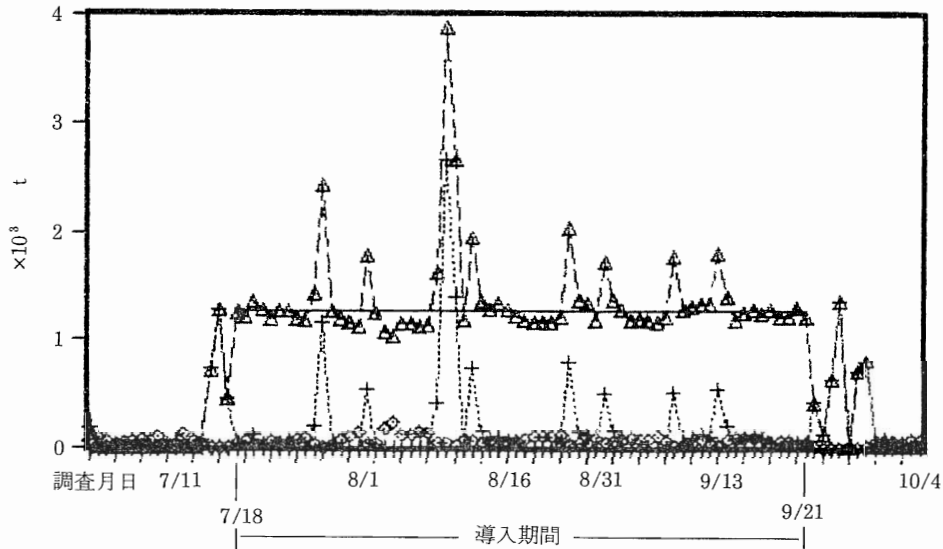


図9 第2回導入期間中の水収支の経日変化

— 導入量 + 降水量 ◇ 蒸発量 △ オーバーフロー量

中の物質量は、

$$Q_m. 沼水(t-1) = C_m. 沼水(t-1) \times V_m. 沼水(t-1)$$

である。浄化用水導入時には、北側の下層部に、下層水温と比較して3~4℃低い浄化用水が導入されている。導入水の混合程度を知るため、導入時に北部を中心に約30地点のTOCを測定した。その結果、導入水による層の形成はなく比較的すみやかに混合されているものと考えられた。従って、流入した物質がすみやかに混合し、均一な水質となった後、オーバーフローにより流出すると考えれば、

$$Q_m. 導入水(t) + Q_m. 降水(t) + Q_m. 沼水(t-1) + Q_m. その他(t) = C_m. 沼水(t) \times (V_m. 沼水(t) + V_m. オーバーフロー(t))$$

と表せる。ここで、 $Q_m. その他(t)$ としては、内部生産、底泥への沈降、あるいは溶出等の負荷が考えられるが、これらは導入水や降水に比べて寄与が小さく無視できると仮定すれば、沼水の初期濃度が既知であれば、 $C_m. 沼水(t)$ を求めることができる。ただし、導入水、降水の濃度は、導入期間中に実測したデータあるいはその平均値を代表値として計算に使用した。

3・4・2 浄化効果に関する検討

第1回の導入実験中の沼水の Cl^- 、COD濃度の経日

変化について、計算値を図10-1に実線及び点線で示す。沼水及び導入浄化用水の Cl^- 、COD濃度の実測値もあわせて示した。同様に、 $T-N$ 、 $T-P$ については図10-2に示す。また、第2回の Cl^- とCOD及び $T-N$ と $T-P$ についても同様にそれぞれ図11-1、11-2に示す。

第1回の実験中の Cl^- の経日変化についてみると、導入前の9月28日の沼の Cl^- は20.4mg/l、導入中は、10月5日は実測値20.7mg/l、計算値20.2mg/l、10月20日は実測値19.0mg/l、計算値18.0mg/lとなっており実測値と計算値はほぼ一致している。しかし、第2回の場合は濃度減少の傾向は一致しているが、導入中の4回の実測値と比較すると計算値の方が常に低く、その差は2.6から3.5mg/lであった。この理由としては、導入量が多く期間も長かったこと、導入水の Cl^- が導入初期の沼水の濃度と比較してかなり低かったことなどのために誤差が大きくなったことが考えられる。また、一方、実測値と計算値の差が約3mg/lで推移していること、導入後13日目の調査で濃度が増加していることから、今回の計算では無視した $Q_m. その他$ の負荷、例えば、釣り餌あるいは水鳥園からの負荷の可能性も考えられる。実際に、第2回の実験のデータに4~5kg/日の負荷を加えると、計算値の変化は実測値とほぼ一致した。

COD、 $T-P$ 濃度については計算値、実測値ともに

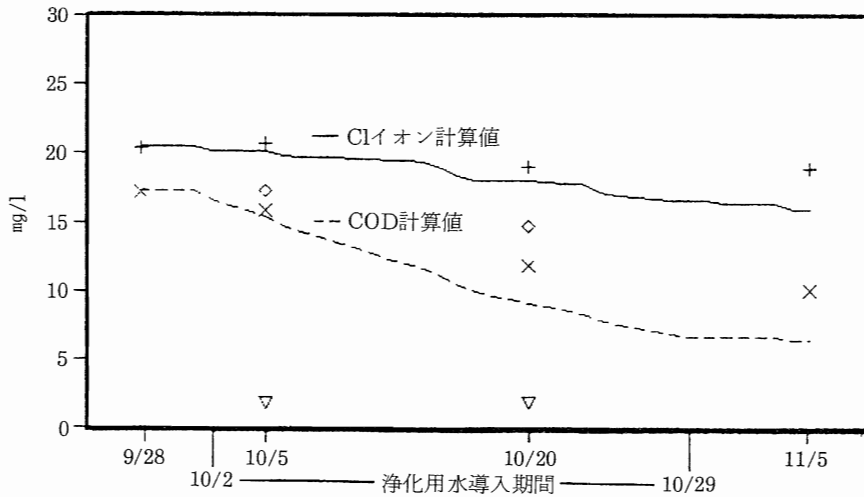


図10-1 第1回導水中のClイオン及びCOD経日変化

+ Clイオン実測値 ◇ Clイオン浄化用水 × COD実測値 ▽ COD浄化用水

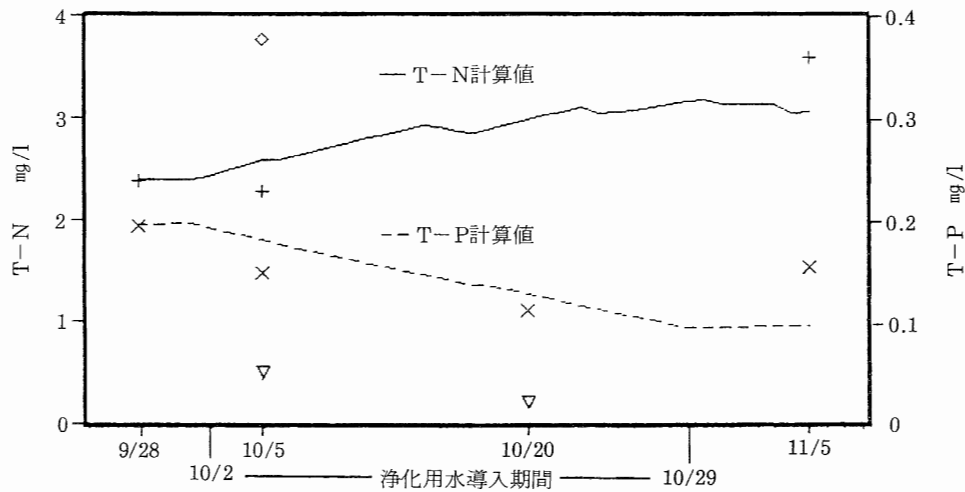


図10-2 第1回導水中のT-P及びT-N経日変化

+ T-N実測値 ◇ T-N浄化用水 × T-P実測値 ▽ T-P浄化用水

減少の傾向を示し、導水による浄化効果があったと評価される。しかし、T-Nについては、導水のNO₃-Nが高いことから計算値では増加傾向が示されている。AGPMの結果から、春期～夏期には窒素が富栄養化の制限因子となりうることが判明しているため、沼水と比較して高濃度のNO₃-Nを含む用水の導入は問題があると考えられたが、導入による浄化効果が大きくCODは減少したと思われる。計算値、実測値の差異について見てみると、長期間の導入実験を行った第2

回の実験では実測値の方が計算値よりもCODで6.3～8.3mg/l、T-Pで0.05～0.07mg/l、常に高い値を示している。COD、T-P、T-Nの項目はCl⁻の場合と異なり、実際には、内部生産、底泥への沈殿、溶出等を考慮する必要がある。例えば、CODでは、実際には、内部生産及び釣り餌等のその他の負荷があるために、実測値と計算値の差、負荷量にすると1日あたり約10kgの差が生じたと考えられる。そこで、この差をその他の負荷としてCOD収支を計算してみると図12-1及

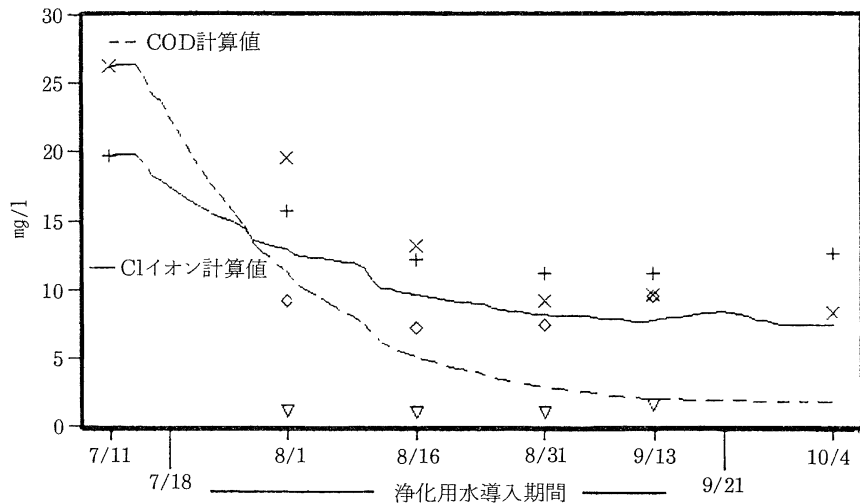


図11-1 第2回導水中のClイオン及びCOD経日変化

+ Clイオン実測値 ◇ Clイオン浄化用水 × COD実測値 ▽ COD浄化用水

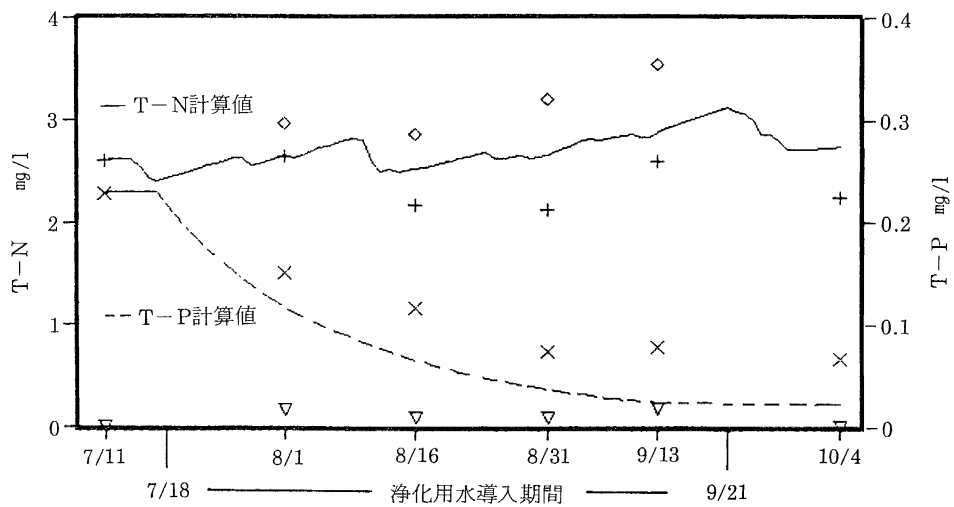


図11-2 第2回導水中のT-P及びT-N経日変化

+ T-N実測値 ◇ T-N浄化用水 × T-P実測値 ▽ T-P浄化用水

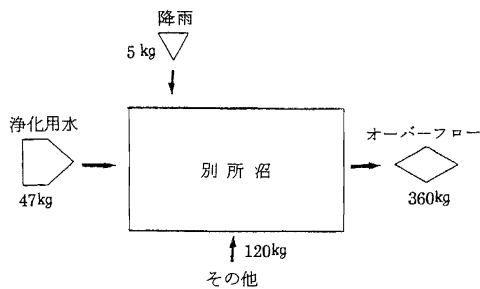


図12-1 第1回導入期間中COD收支

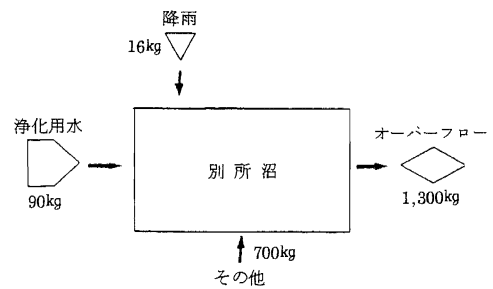


図12-2 第2回導入期間中COD收支

び図12-2に示す結果が得られた。第2回導水期間中では約1300kg（1日あたり約20kg）の沼外への負荷の流出がある。このうち、導水の寄与は前述の水量の比から考えて9割近い。浄化用水の導入に起因して流出する汚濁物質の量が、内部生産及び釣り餌等から生ずる汚濁物質量をはるかに上回っていることが分かる。今回の実験のように最も植物の生産活動が活発と思われる夏期においても、導水の置換効果が大きく、浄化が進んだものと考えられる。ただし、今回浄化対策として取り上げられた導水事業に対しては、沼水の滞留時間を減少するため、アオコの発生が防止されCODは低減するが、湖沼そのものの浄化機構を破壊し、CODあるいは栄養塩類等の汚濁成分を河川あるいは港湾へ移送することになるという意見もある¹⁴⁾。今回、流出水は都市下水路を通して流出しているため、その影響については把握していないが、今後の調査の課題と思われる。

3・4・3 沼水に対する釣り餌等の影響

浄化対策に関連して釣り餌及び底質についても若干の検討を行った。釣りについて、別所沼公園事務所が昭和62年に調査したデータによると、土、日、祭日の釣り人は年間平均約100人で釣り餌の使用量は1人当たり約140gであり、平日の釣り人は年間平均約50人で釣り餌の使用量は1人当たり約60gであった。従って、年間の釣り餌投棄量（使用量）は約2400kgと計算される。今回、市販されている5種類の加工餌の約100mgをよくすりつぶした後11の蒸留水に懸濁させ、COD、T-P、T-Nを測定した。その結果を表4に示す。5種類の平均値は、CODで43mg/l、T-P0.4mg/l、T-N3.4mg/lであった。この値が釣り餌の代表的なものと考えられると、例えば、釣り餌の投棄（使用）によるCOD負荷量は年間約1000kg（1日あたり約2.8kg）となる。これは、今回の第2回導水実験中にオーバーフローによっ

表4 つりえさ分析結果

つりえさ(種類)	COD (mg/l)	T-P (mg/l)	T-N (mg/l)
A(バラケ調節)	45	0.13	2.9
B(クワセえさ)	38	0.46	3.7
C(集魚)	50	0.66	2.3
D(クルテン系)	37	0.14	2.0
E	43	0.62	5.9
平均値	43	0.40	3.4

て流出したCOD量（約1300kg）に匹敵する値である。浄化対策を考えていく上で、釣り餌あるいは落葉等の負荷量及びそれらの分解過程について調査していくことが必要になってくると思われる。

次に、別所沼の北部、中央部、南部の底質についてCOD、T-P、T-N、強熱減量（I.L.）を測定した結果（表5）、平均値はそれぞれ36.8、2.1、8.6mg/g及び22%で、中央部がいずれも若干高い値を示した。この値は、例えば琵琶湖南湖（1976-1977）の値¹⁵⁾、T-P1.3mg/g、T-N3.37mg/g、I.L.9.7%と比べて1.6-2.6倍高い値であり、また、諏訪湖（1980）の値¹⁶⁾、COD60mg/g、T-P3.6mg/g、T-N5.2mg/gと比較するとCOD、T-Pは低いが、T-Nはかなり高い値である。別所沼の下層水は年間を通してDOが50%を下回ることはなく嫌気状態ではなかったが、底泥はいずれの調査地点においても、軟泥が40~60cm堆積しており、内部では嫌気性であると思われる。富栄養化の制限因子となっているリンの変化については、底泥からの溶出等についても考慮する必要があり、底泥からの溶出実験も浄化対策を考えていく上で今後必要と考えられる。

表5 底質分析結果

地点	COD (mg/g)	T-P (mg/g)	T-N (mg/g)	強熱減量 (%)
北部	36.6	2.1	7.9	21
中央部	38.1	2.1	9.1	23
南部	35.7	2.0	8.9	22
平均値	36.8	2.1	8.6	22

4 まとめ

水質悪化が問題となっている別所沼について水質調査を行ったところ、次の結果が得られた。

- 1) 別所沼の水質は、地点による変化はほとんどなく、ほぼ均質であった。透明度、COD、N、P、クロロフィルa等の富栄養化の指標となる項目の測定結果から、沼の富栄養化が進んでいることが示された。
- 2) COD、SS、N、P、クロロフィルa等は夏期に高く、冬期に低い値を示し、沼内での植物プランクトンによる生産活動が活発であることが示唆された。また、形態別COD、N、Pの測定結果によると、CODとp-COD、T-P、p-TP、p-TNの相関が高いことから、COD濃度には植物生産活動が大きく

影響しているものと思われる。

- 3) AGPM 試験の結果及びN/P比から富栄養化制限因子について検討した。春期から夏期にかけては、窒素制限にもリン制限にもなりうる可能性が示された。また、秋期から冬期にかけては、N/P比が50-75と高い値であることからリン制限と推定された。
- 4) 浄化用水の導入(約1000m³/日)により、CODの減少がみられた。この浄化効果は、物質収支のモデル式をたてて計算した結果、主として浄化用水の導入によって流出する汚濁物質の量が、釣り餌の投入や内部生産によって加わる汚濁物質の量をはるかに上回ることによって起こると考えられた。
- 5) 今後、浄化対策を考えるうえで、つりえさ、落葉等の負荷、分解に関する調査、底泥からのN、Pの溶出の寄与等の調査が必要と思われる。

- 12) 土屋巖ら：湖面蒸発量の研究，国立公害研究所研究報告，[20]，43-67，1981
- 13) 熊谷地方气象台：埼玉県気象年報，埼玉県気象月報，昭和62年9月～平成元年度3月
- 14) 吉野善弥：水質汚濁防止の技術と装置47，現状ならびに問題点とその対策，水，31，90-91，1989
- 15) 高松武次郎ら：General Distribution Profiles of Thirty-six Elements in Sediments and Manganese Concretions of Lake Biwa，国立公害研究所研究報告，[75]，1-18，1985
- 16) 長野県衛生公害研究所：諏訪湖の富栄養化に関する研究，51-57，1982

文 献

- 1) 埼玉新聞社：埼玉大百科辞典1，373，1974
- 2) 埼玉県：環境白書，1981年版-1988年版
- 3) 埼玉県科学技術推進会議：公園の修景及び管理を配慮した池沼水質浄化システムの確立，環境保全対策及び科学技術情報の活用に係る共同研究報告書3，72-93pp，1988
- 4) 西澤一俊，千原光雄：藻類研究法，共立出版社，395pp，1979
- 5) 日本水質汚濁研究協会：湖沼調査指針，公害対策技術同友会，1982
- 6) 埼玉県公害センター：水質分析方法検討調査（イオンクロマトグラフの精度試験），1988
- 7) 須藤隆一ら：混合培養によるAGP試験法，国立公害研究所研究報告，[26]，38-41，1981
- 8) R. A. Vollenweider and J. Kerekes：OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters. Synthesis Report，1980
- 9) 相崎守弘ら：修正カールソン富栄養化状態指標の日本湖沼への適用と他の水質項目との関係，国立公害研究所研究報告，[23]，13-31，1981
- 10) 中本信忠：バイオアッセイ法による水中の生物利用可能栄養物質の推定，下水道協会誌，15(172)，35-42，1978
- 11) 新家淳治ら：県北部（北勢地域）主要河川の水質について，三重県環境科学センター研究報告，[6]，65-75，1986