

4 佐賀県内の中小ダム湖の水質（第1報）

川崎 洋美, 井手 敬夫, 田中 千秋

1 はじめに

湖沼における富栄養化の進行は、上水道のろ過障害や異臭味など大きな問題になっている。佐賀県内では北山ダム等一定規模のダム湖については、定期的に水質監視を行っているが、中小ダム湖についてはほとんど調査されていない状態である。そこで、湖沼に係る窒素、リンの排水基準の適用を判定するため、環境庁の委託事業として昭和60年度から3湖沼について富栄養化の状況等検討を行ったのでその結果を報告する。

2 調査対象湖沼（図1に位置を示す）

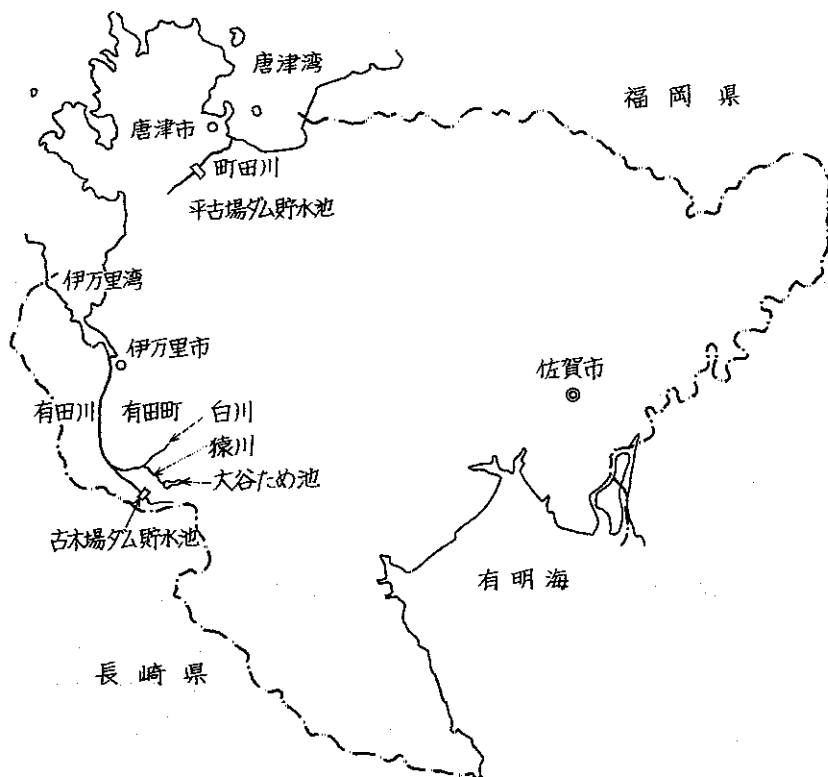


図-1 調査対象湖沼の位置

(1) 平木場ダム貯水池（昭和60年度調査）

平木場ダムは、昭和56年に松浦川水系町田川の上流に造られた水道、農業用水、治水を目的とする多目的ダムである。ダムの管理は佐賀県が行っており、水道用としては唐津市上水道に最大2,800 m³/日供給されている。ダムの最大水深は27.2mだが平均水深は4.8mと浅く、湖面積は0.10km²、湖容積

1,080×10³m³, 有効貯水量1,024×10³m³, 堆砂量56×10³m³, 年間流入量2,331×10³m³である。流域面積は2.24km²で、ダム周囲は田畑や山林で、工場や事業場等はなく、汚濁源は自然系と農山林系が大半を占めている。

(2) 古木場ダム貯水池（昭和61年度調査）

古木場ダムは、昭和56年有田川水系有田川の上流に造られた水道、農業用水を目的とする多目的ダムである。ダムの管理は佐賀県が行っており、水道用としては有田町上水道に最大1,200m³/日、西有田町上水道に最大600m³/日供給されている。最大水深は13.8m, 平均水深7.6m, 湖面積0.143km², 湖容量1,172×10³m³, 有効貯水量1,089×10³m³, 年間流入量3,200×10³m³, 流域面積は2.45km²である。上流には事業場等はなく、汚濁源は自然系と農山林系が大半を占めている。

(3) 大谷ため池（昭和62年度調査）

大谷ため池は、明治の終り頃有田川の支流である猿川の上流に造られた農業用のため池である。すぐ上流には、この水を利用した町営プールや河川内の水遊び場も造られ、猿川公園として町民に親しまれている。現在は農業用の他水道水源としても利用されており、有田町上水道に最大4,000m³/日供給している。

規模は3つのダムのうち最も小さく、最大水深12.0m, 平均水深7.0m, 湖面積0.032km², 湖容量360×10³m³, 有効貯水量350×10³m³, 年間流入量2,191.5×10³m³, 流域面積0.90km²である。上流には水田と民家がわずかある他は国有林で、汚濁源はほとんど自然系と山林系である。

3 調査内容

(1) 測定項目及び測定方法

表1に示す。

(2) 測定地点数、採水位置及び採水時間

1湖沼について湖心部と流出部（ダムサイト）の2測定点を設け、それぞれ表層で測定した。

ただし、プランクトンについては1湖沼について1測定点（湖心部）とし、同じく表層で採水した。

なお、採水は毎月ほぼ一定時刻（午前10時頃）に行った。

(3) 測定時期及び回数

平木場ダム及び古木場ダムは、毎月1回年12回測定した。なお、プランクトンについては年間4回（5,6,7,8月）測定した。

大谷ため池は、毎月1回年間11回（5～3月）測定した。なお、プランクトンについては、年間4回（5,6,7,8月）測定した。

表1 測定方法

調査項目	測定方法
水 温	J I S - KO 102
透 明 度	湖沼環境調査指針
N H ₄ - N	海洋観測指針
N O ₂ + N O ₃ - N	〃
D I N	〃
T - N	J I S - KO 102
T - P	〃
p H	〃
C O D	〃
chl - a	陸水学実験法
プランクトン	湖沼環境調査指針に基づく植物プランクトンの定性試験方法により優占種の種名及び出現割合を測定する。

4 調査結果

表2～表7に個表、図2～図4に主な項目の季節変動を示す。

(1) 水温

水温は直接的には植物やバクテリアの活動に影響し、間接的にはその成層状態が植物プランクトン及び水質の成層を左右することにより増殖を支配すると言われている。

3湖沼とも春から夏になるにつれて水温が上昇している。平木場ダムでは、平均水深が浅いため水温の季節変動が大きく、5℃～30℃まで変化している。大谷ため池では夏場の最高水温が25℃で他のダムより低い値を示していた。湧水の流入等地下水の影響ではないかと思われる。

(2) PH

植物プランクトンは、その光合成活動により水中の炭酸を吸収するので、生産活動が盛んなほど水は弱アルカリになる。従ってPHは生産活動の大小を知る1つの良い指標である。

平木場ダムは年間を通して弱アルカリ性で、特に6、7月と9、10、11月に高く生産活動が活発な事を示している。

古木場ダムは年間を通して弱アルカリ性だが、冬若干低下するだけでほとんど変化は見られない。

大谷ため池は年間を通して弱酸性で、7月が最も低下しているので、藻類以外の影響が大きいと思われる。

(3) 窒素、リン

湖水中のT-PやT-Nと植物プランクトン量との間には密接な相関関係があると言われている。また、植物プランクトンはその体組成に近い比率でNとPをとりこみ増殖が盛んになる。このN:Pは10:1～25:1の範囲である。したがって、湖沼水のN/P比が10以下でchl-a量が多く植物プランクトンの生産の大きい水域ではNが不足ぎみであり、逆にN/P比が20～25以上でchl-a量の少ない貧栄養水域ではPが制限的になっていると考えられている。

3湖沼についてみると、春から秋にかけての植物プランクトンの生産の活発な時期にT-N/T-Pの比が小さくなる傾向がみられるが、その時期でもT-N/T-P比は平木場ダムと古木場ダムで20以上、大谷ため池で15～20であり、いずれもリンが制限因子になっていると思われる。

(4) クロロフィル-a量

chl-aは、一次生産者（光合成生物）の現存量の測定に使われ、水域の富栄養化度を判定する重要な指標であると言われている。

3湖沼のchl-a量は、変動はあるものの目立った季節の特徴は見られない。その変動パターンは、平古場ダムはT-Pと、古木場ダムはCODと、大谷ため池はPHとCODの変動パターンに近似していると思われる。

(5) COD等

流入河川が主要汚濁源とすれば、CODは流出部の方が低くなると言われているが、今回の調査では湖心部と流出部で、ほぼ等しい値が得られた。対象のダムが小規模で湖心部と流出部の距離が短いこともあるが、上流に汚濁源となるものがほとんどなく流入河川による汚濁がもともと低いせいであると思われる。

(6) 植物プランクトン

結果を表9に示す。

平木場ダムは5月から8月まで β 中汚濁性(以下 β mと示す)から貧汚濁性(以下OSと示す)の珪藻, *Melosira italica*が多く見られた。他の優占種も同程度の汚濁性を示す。よって, プランクトンから見ると, このダムは β m~OSとなった。

古木場ダムは β m~OSの*Ceratium hirundinella*, *Dinobryon divergens* OSの*Chroococcus*等が優占していた。これよりこのダムは平木場ダムよりはOSに近いが β m~OSとなった。

大谷ため池は, β m~OSの*Ceratium hirundinella*, *Dinobryon divergens*, *Tabellaria fenestrata*, OSの*Chroococcus turgidus*, α 中汚濁性(以下 α mと示す)~ β mの*Microcystis aeruginosa*等が優占していた。

*Microcystis aeruginosa*は5月から8月まで出現したが, 特に7月には増殖して, 水表の一部には水の華を形成していた。7月以外は β m~OSのプランクトンが優占しているため, このため池も β m~OSのプランクトンが優占しているため, このため池も β m~OS程度と考えられる。

5 考 察

5-1 相関マトリックス, クラスタ分析

相関マトリックスを表9~表14に, それより最短距離法により求めたクラスタ分析図を図5に示す。

一般に, 水温の上昇とともに内部生産が活発になり, PHが上昇するとともにCODも増加するという湖内での物質循環が言われているので, 測定項目間の関係について調べてみた。

(1) 平木場ダム

*Chl-a*はT-Pとの間に0.81と高い相関が見られ, T-Pと呼応して増減している事がわかった。*Chl-a*とCODの相関係数は0.28と0.15で相関はほとんどなかった。CODは水温と水深との間にそれぞれ高い相関を示した。

クラスタ分析でも, 湖心部の*Chl-a*は水深やT-Pと, 流出部の*Chl-a*はT-Pと, CODは水温と, それぞれ群をなしていた。

(2) 古木場ダム

*Chl-a*はCODやPHと高い正の相関を示し, 流出部はT-Pとも弱い正の相関を示している。

クラスタ分析では, 湖心部と流出部で, やや異なった結果となった。湖心部ではCOD, *Chl-a*, $\text{NH}_4\text{-N}$ が群になり, 残りはT-N等N関係の群と, それ以外とに分けられる。流出部のCODはT-Pや透明度と群になっている。*Chl-a*は, 湖心部ではCODと似た活動を示し, 流出部では比較的独立している。

また, 水温, 水深, PHは一群となっている。

(3) 大谷ため池

*Chl-a*はCODやPHと正の相関, 水温や透明度と負の相関を示している。クラスタ分析でも*Chl-a*はCODと群をなしている。

クラスタ分析で水深が湖心部と流出部で非常に異なる群に属しているのは, 渇水期流出部が遠浅となり流出部の採水地点がそれとともなって移動したためである。よって湖心部の水深で判断すると, 古木場ダムと同様に水温と群をなし水温が上昇する夏場に貯水量が増えることを示していると思われる。

表2 水質測定結果 平木場ダム湖心部(測定点A)

採水月日	4 23	5 24	6 3	7 11	8 6	9 9	10 8	11 5	12 2	1 10	2 7	3 3	平均値
気 温 °C				30.0	35.8	30.0			10.1	4.0	10.0	13.3	
水 温 °C	17.3	19.7	19.7	27.3	31.5	30.0	27.0	19.0	11.8	5.5	5.7	6.5	18.4
C O D mg/ℓ	2.3	2.9	3.2	2.7	2.9	3.2	2.3	2.4	2.7	2.2	1.9	1.8	2.5
T - N mg/ℓ	0.720	0.750	0.750	0.480	0.480	0.440	0.550	0.430	0.430	0.450	0.410	0.570	0.540
T - P mg/ℓ	0.017	0.031	0.031	0.026	0.016	0.019	0.027	0.016	0.024	0.017	0.022	0.019	0.022
NH ₄ -N mg/ℓ	0.005	ND	ND	0.002	0.017	0.031	0.005	ND	0.011	0.010	0.011	0.007	0.008
NO ₂ +NO ₃ -N mg/ℓ	0.480	0.480	0.480	0.270	0.310	0.180	0.350	0.300	0.270	0.340	0.370	0.390	0.350
D I N mg/ℓ	0.490	0.480	0.480	0.270	0.330	0.210	0.360	0.300	0.280	0.350	0.380	0.390	0.360
chl-a mg/m ³	2.5	13.0	10.0	12.0	4.7	5.0	10.0	6.5	14.0	3.4	9.7	4.2	7.9
pH	7.2	7.2	7.6	8.3	7.3	7.5	7.6	7.5	7.2	7.1	7.1	7.4	7.4
透 明 度 m		0.8	0.5	1.0	0.95	1.1	1.55	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0
水 深 m		9.8	7.3	9.5	6.8	8.5	10.5	5.4	8.6	7.7	5.3	4.0	7.6
I-N/T-P	42.0	24.0	24.0	18.0	30.0	23.0	20.0	27.0	18.0	26.0	19.0	30.0	25.0

表3 水質測定結果 平木場ダム流出部(測定点B)

採水月日	4 23	5 24	6 3	7 11	8 6	9 9	10 8	11 5	12 2	1 10	2 7	3 3	平均値
気 温 °C				30.0	35.8	30.0			10.1		9.0	10.1	
水 温 °C	18.0	19.5	19.7	27.0	30.0	29.0	22.4	19.0	11.6	5.3	5.7	6.3	17.8
C O D mg/ℓ	2.2	2.8	2.8	3.2	2.7	3.2	2.2	2.1	2.7	2.3	1.6	2.0	2.5
T - N mg/ℓ	0.660	0.740	0.740	0.540	0.480	0.470	0.570	0.430	0.410	0.440	0.430	0.550	0.540
T - P mg/ℓ	0.018	0.024	0.024	0.024	0.019	0.024	0.031	0.013	0.021	0.016	0.037	0.019	0.023
NH ₄ -N mg/ℓ	0.011	ND	ND	ND	0.016	0.041	0.008	ND	0.008	0.018	0.018	0.052	0.014
NO ₂ +NO ₃ -N mg/ℓ	0.480	0.480	0.480	0.270	0.310	0.180	0.370	0.280	0.270	0.330	0.370	0.380	0.350
D I N mg/ℓ	0.490	0.480	0.480	0.270	0.330	0.220	0.380	0.280	0.280	0.350	0.380	0.430	0.360
chl-a mg/m ³	2.2	10.0	5.9	12.0	3.0	7.2	11.0	5.0	11.0	3.5	12.0	3.6	7.2
pH	7.3	7.0	7.3	8.1	7.2	7.2	7.3	7.3	7.2	7.0	7.1	7.4	7.3
透 明 度 m		0.9	0.5	1.0	0.7	0.7	0.75	1.2	0.85	1.0	0.9	0.7	0.84
水 深 m		4.0	16.3	14.5	13.6	14.7	18.0	13.8	15.55	16.7	12.7	15.7	14.1
T-N/T-P	37.0	31.0	31.0	23.0	25.0	20.0	18.0	33.0	20.0	28.0	12.0	29.0	25.6

表4 水質測定結果 古木場ダム湖心部(測定点A)

採水月日	4.23	5.12	6.2	7.22	8.4	9.1	10.7	11.10	12.2	1.8	2.5	3.2	平均値
気温 °C	23.0	29.5	33.0	30.0	33.0	31.0	24.0	18.2	15.0	16.0	9.0	8.9	
水温 °C	17.5	21.7	23.0	28.2	29.0	27.5	21.2	14.1	12.0	8.8	5.8	7.0	18.0
COD mg/l	3.2	2.3	3.0	2.4	1.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.4	1.4	2.6	2.7
T-N mg/l	0.530	0.350	0.450	0.410	0.360	0.190	0.310	0.370	0.410	0.460	0.600	0.440	0.410
T-P mg/l	0.012	0.011	0.011	0.013	0.016	0.009	0.010	0.011	0.012	0.014	0.009	0.009	0.011
NH ₄ -N mg/l	0.010	0.013	0.017	0.009	0.013	0.002	0.003	0.062	0.062	0.027	0.008	0.014	0.020
NO ₂ +NO ₃ -N mg/l	0.210	0.140	0.180	0.260	0.160	0.051	0.210	0.110	0.140	0.240	0.270	0.260	0.190
DI-N mg/l	0.220	0.150	0.190	0.270	0.170	0.053	0.210	0.170	0.210	0.270	0.280	0.270	0.210
chl-a mg/m ³	4.9	3.4	3.6	3.1	2.1	3.9	4.3	4.3	4.4	4.1	2.7	2.7	3.6
pH	7.4	7.4	7.4	7.4	7.1	6.9	7.1	6.7	6.7	6.8	6.7	6.6	7.0
透明度 m	3.0	1.7	2.8	1.7	3.0	2.7	2.3	1.3	1.2	2.0	2.0	2.3	2.2
水深 m	13.4	9.0	13.0	12.6	12.1	11.7	11.0	10.8	9.8	8.5	8.4	8.5	10.7
T-N/T-P	44.0	32.0	41.0	31.5	22.5	21.0	31.0	34.0	34.0	33.0	67.0	49.0	37.0

表5 水質測定結果 古木場ダム流出部(測定点B)

採水月日	4.23	5.12	6.2	7.22	8.4	9.1	10.7	11.10	12.2	1.8	2.5	3.2	平均値
気温 °C	23.0	29.5	33.0	30.0	33.0	31.0	24.0	18.2	15.0	16.0	9.0	8.9	
水温 °C	17.1	21.4	23.0	27.5	28.8	27.2	21.0	13.8	11.5	8.3	6.6	7.3	17.8
COD mg/l	3.1	2.5	3.0	2.6	2.0	2.9	3.2	2.8	3.1	3.2	1.3	2.4	2.7
T-N mg/l	0.400	0.360	0.220	0.410	0.310	0.200	0.330	0.300	0.340	0.480	0.600	0.450	0.370
T-P mg/l	0.009	0.009	0.011	0.012	0.008	0.009	0.010	0.010	0.010	0.011	0.008	0.007	0.010
NH ₄ -N mg/l	0.029	0.019	0.026	0.028	0.019	0.007	0.008	0.058	0.060	0.023	0.008	0.009	0.025
NO ₂ +NO ₃ -N mg/l	0.220	0.150	0.180	0.270	0.097	0.058	0.210	0.120	0.140	0.230	0.270	0.240	0.180
DI-N mg/l	0.250	0.170	0.200	0.300	0.120	0.065	0.220	0.180	0.200	0.250	0.280	0.250	0.210
chl-a mg/m ³	4.6	3.4	3.2	3.4	1.9	3.3	3.0	2.3	2.9	4.3	2.7	2.7	3.1
pH	7.1	7.3	7.2	7.3	7.0	7.2	7.1	6.6	6.4	6.9	6.7	6.6	7.0
透明度 m	2.8	2.2	2.3	1.4	2.9	2.6	3.0	1.7	1.1	2.0	2.0	2.3	2.2
水深 m	16.0	13.0	16.3	15.0	14.5	14.9	14.5	13.0	14.5	11.0	13.2	9.5	13.8
T-N/T-P	44.0	40.0	20.0	34.0	39.0	22.0	33.0	30.0	34.0	44.0	75.0	64.0	40.0

表6 水質測定結果 大谷ため池湖心部(測定点A)

採水月日	5 28	6 22	7 21	8 24	9 28	10 29	11 25	12 23	1 5	2 8	3 2	平均値
気 温 °C	23.0	28.0	29.0	29.0	23.0	24.2	22.5	15.0	12.8	6.8	12.8	
水 温 °C	19.5	20.5	24.8	25.5	21.2	18.0	13.3	8.0	8.4	5.8	9.1	15.8
C O D mg/l	3.7	2.1	1.9	2.8	1.3	2.5	2.6	2.2	2.7	2.6	2.8	2.5
T - N mg/l	0.370	0.150	0.130	0.130	0.250	0.150	0.120	0.190	0.170	0.380	0.250	0.210
T - P mg/l	0.009	0.009	0.007	0.006	0.009	0.009	0.012	0.010	0.007	0.012	0.010	0.009
NH ₄ -N mg/l	0.011	0.014	0.006	0.006	0.017	0.027	0.017	0.045	0.014	0.013	0.004	0.016
NO ₂ +NO ₃ -N mg/l	0.024	0.023	0.063	0.015	0.016	0.008	0.018	0.056	0.072	0.077	0.079	0.041
D I N mg/l	0.035	0.037	0.069	0.021	0.033	0.035	0.035	0.101	0.086	0.090	0.083	0.057
chl-a mg/m ³	1.2	0.9	0.3	2.2	1.2	1.9	1.8	1.3	2.5	2.5	3.1	1.7
pH	6.6	6.6	6.1	6.8	6.7	6.8	6.9	6.7	6.8	6.6	6.7	6.7
透 明 度 m	欠	1.8	1.8	1.8	2.4	2.0	1.5	1.6	1.7	1.5	1.5	1.8
水 深 m	8.2	7.3	7.0	6.9	8.5	5.0	5.3	5.1	5.2	3.2	7.5	6.3
T-N/T-P	41.0	17.0	19.0	22.0	28.0	17.0	10.0	19.0	24.0	32.0	25.0	23.0

表7 水質測定結果 大谷ため池流出部(測定部B)

採水月日	5 28	6 22	7 21	8 24	9 28	10 29	11 25	12 23	1 5	2 8	3 2	平均値
気 温 °C	23.0	28.0	29.0	29.0	23.0	24.2	22.5	15.0	12.8	6.8	12.8	
水 温 °C	19.5	20.5	24.5	25.2	21.1	18.3	13.2	7.3	7.5	5.7	9.2	15.6
C O D mg/l	2.6	1.9	2.2	3.1	1.6	2.3	2.6	2.6	2.9	2.5	2.9	2.5
T - N mg/l	0.140	0.150	0.160	0.130	0.170	0.150	0.120	0.210	0.120	0.370	0.260	0.180
T - P mg/l	0.009	0.009	0.008	0.009	0.012	0.009	0.012	0.011	0.004	0.010	0.013	0.010
NH ₄ -N mg/l	0.005	0.013	0.008	0.006	0.010	0.014	0.017	0.023	0.017	0.010	0.013	0.012
NO ₂ +NO ₃ -N mg/l	0.023	0.025	0.082	0.013	0.019	0.009	0.024	0.057	0.071	0.075	0.070	0.042
D I N mg/l	0.028	0.038	0.090	0.019	0.029	0.023	0.041	0.080	0.088	0.085	0.083	0.054
chl-a mg/m ³	2.0	0.6	0.2	2.3	1.4	2.1	1.6	1.5	2.2	2.0	3.5	1.8
pH	6.8	6.7	6.1	6.8	6.9	6.6	6.8	6.7	6.8	6.6	6.7	6.7
透 明 度 m	欠	1.7	1.5	2.0	2.0	2.0	1.4	1.6	1.4	1.8	1.5	1.7
水 深 m	6.6	6.0	6.5	8.2	8.6	4.0	7.7	6.6	7.3	5.2	5.4	6.6
T-N/T-P	16.0	17.0	20.0	14.0	14.0	17.0	10.0	19.0	30.0	37.0	20.0	19.5

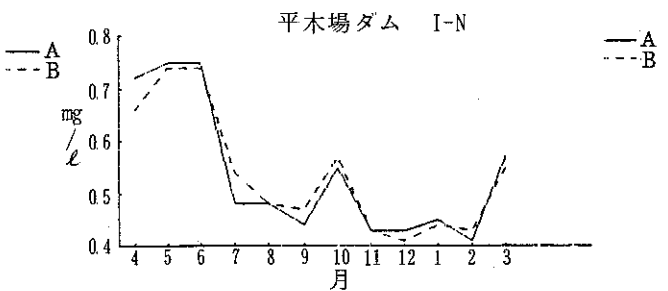
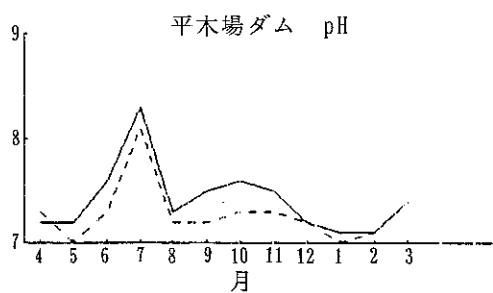
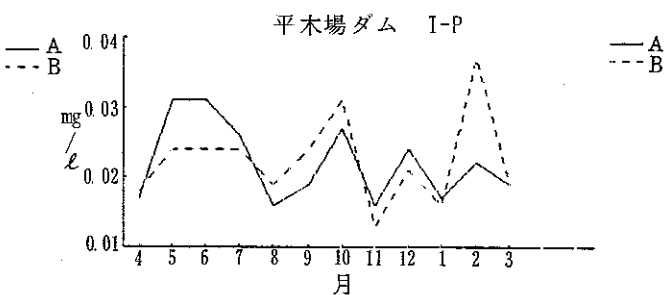
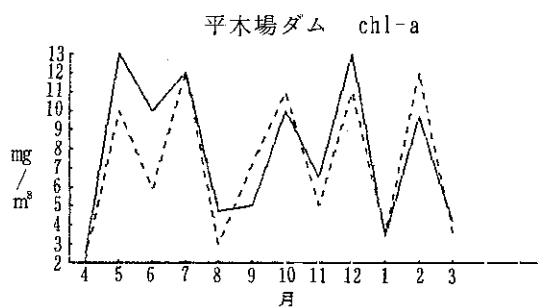
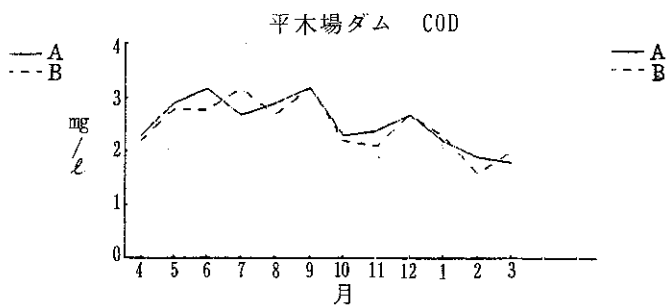
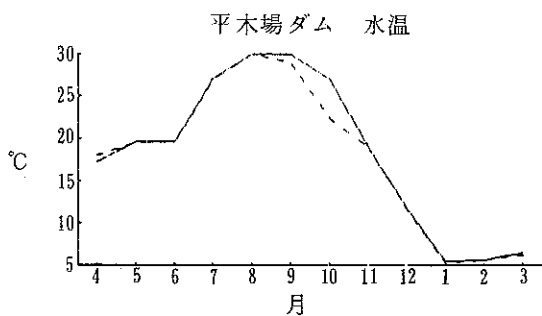
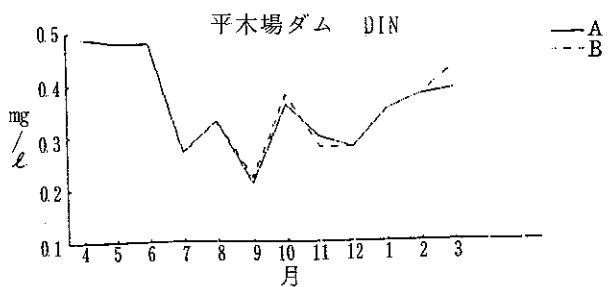


図2 主な項目の季節変動
平木場ダム
(A:湖心部, B:流出部)



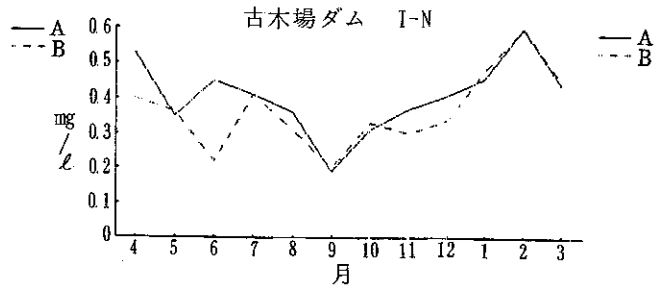
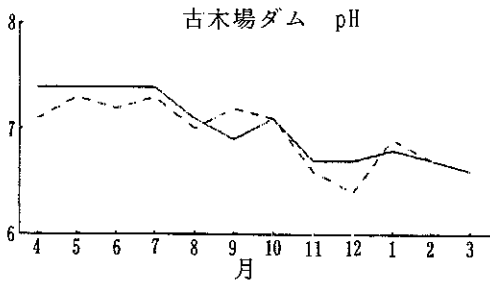
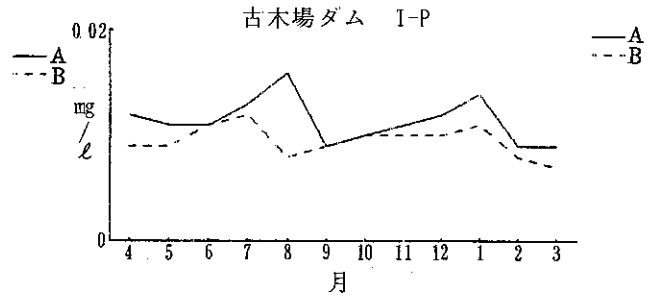
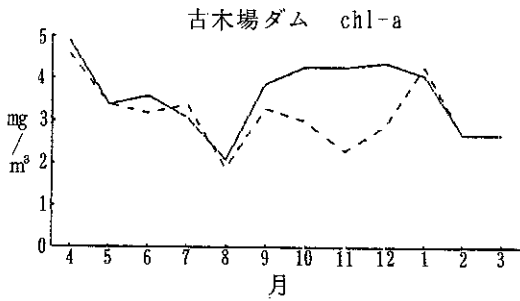
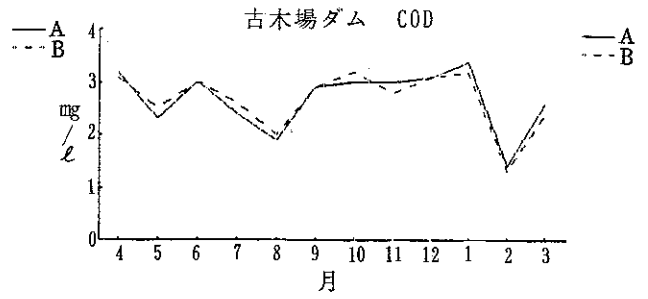
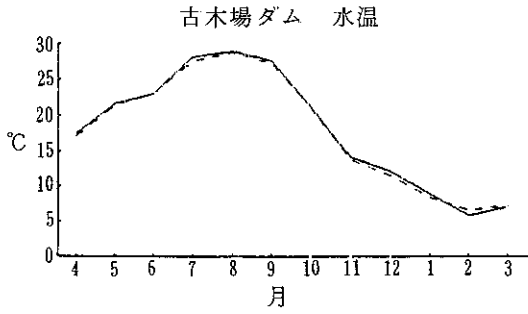
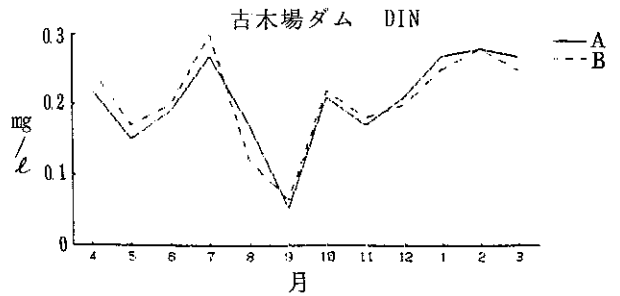


図3 主な項目の季節変動
古木場ダム
(A:湖心部, B:流出部)



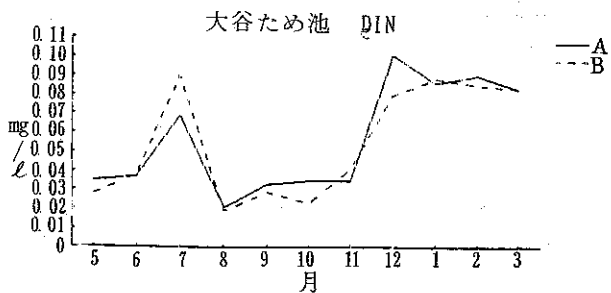
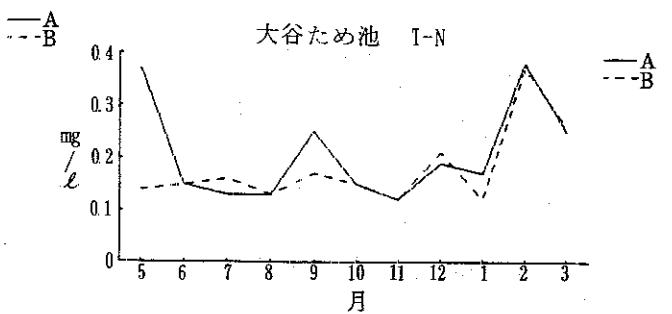
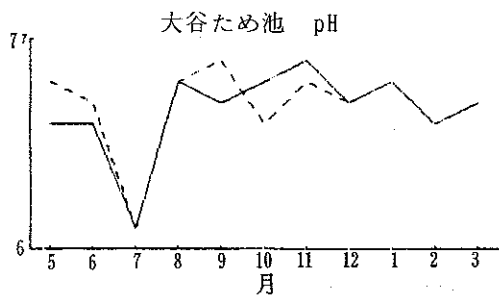
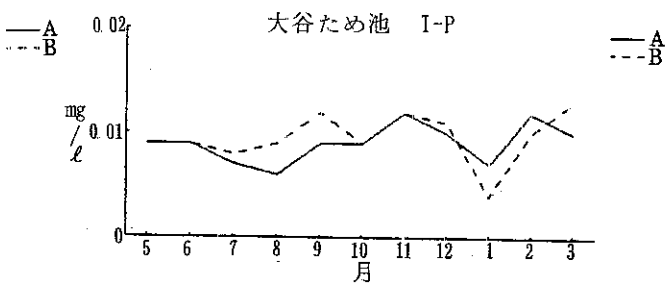
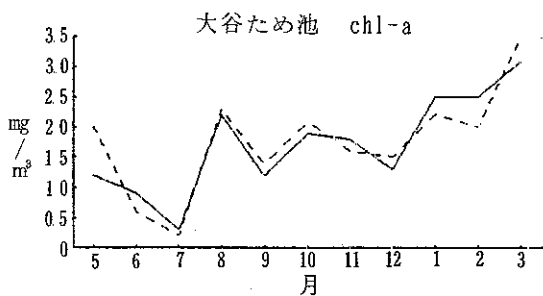
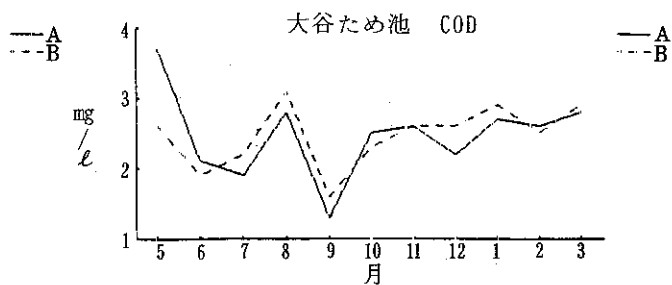
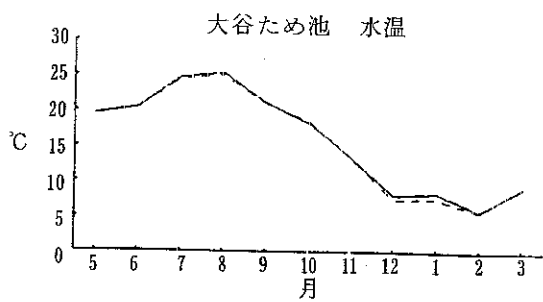


図4 主な項目の季節変動)
大谷ため池
(A:湖心部, B:流出部)

表8 植物プランクトン測定結果

平木場ダム貯水池 — プランクトン(測定点A)

昭和60年度	5 月	6 月
採水月日	5 月 23 日	6 月 3 日
第1優占種	<i>Melosira italica</i> CCC	<i>Melosira italica</i> CCC
第2優占種	<i>Melosira glauclata</i> CC	<i>Melosira varians</i> CC <i>Nostoc</i> CC <i>Synechocystis</i> CC
昭和60年度	7 月	8 月
採水月日	7 月 11 日	8 月 6 日
第1優占種	<i>Melosira italica</i> CCC	<i>Ceratium hirundinella</i> CCC
第2優占種	<i>Ceratium hirundinella</i> CC <i>Pediastrum duplex</i> CC	<i>Melosira italica</i> CC

古木場ダム貯水池 — プランクトン(測定点A)

昭和61年度	5 月	6 月
採水月日	5 月 12 日	6 月 2 日
第1優占種	<i>Ceratium hirundinella</i> C <i>Dinobryon divergens</i> C	<i>Ceratium hirundinella</i> C <i>Dinobryon divergens</i> C
第2優占種	<i>Cyclotella meneghiniana</i> + <i>Cyclotella stelligera</i> +	<i>Cyclotella comta</i> RR
昭和61年度	7 月	8 月
採水月日	7 月 22 日	8 月 4 日
第1優占種	<i>Synechocystis</i> C <i>Ceratium hirundinella</i> C	<i>Chroococcus</i> CCC
第2優占種	<i>Dinobryon divergens</i> +	<i>Ceratium hirundinella</i> R <i>Pediastrum duplex</i> v. <i>gracilimum</i> R

大谷ため池 — プランクトン(測定点A)

昭和62年度	5 月	6 月
採水月日	5 月 28 日	6 月 22 日
第1優占種	<i>Ceratium hirundinella</i> CCC	<i>Ceratium hirundinella</i> CCC
第2優占種	<i>Closteriopsis longissima</i> CC	<i>Dinobryon divergens</i> +
昭和62年度	7 月	8 月
採水月日	7 月 21 日	8 月 24 日
第1優占種	<i>Ceratium hirundinella</i> CCC <i>Dinobryon divergens</i> CCC <i>Microcystis aeruginosa</i> CCC	<i>Dinobryon divergens</i> CCC
第2優占種	<i>Chroococcus turgidus</i> +	<i>Tabellaria fenestrata</i> CC

表9 相関行列 平木場ダム湖心部(測定点A)

1	水 温	1											
2	C O D	0.69	1										
3	I - N	0.08	0.24	1									
4	I - P	0.13	0.37	0.51	1								
5	NH ₄ -N	0.22	0.22	-0.50	-0.44	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.32	-0.17	0.85	0.37	-0.66	1						
7	D I N	-0.30	-0.15	0.86	0.35	-0.59	0.99	1					
8	chl-a	0.08	0.28	0.06	0.81	-0.35	0.01	-0.28	1				
9	pH	0.55	0.28	-0.03	0.31	-0.21	-0.30	-0.34	0.28	1			
10	透 明 度	0.15	-0.41	-0.51	-0.34	0.17	-0.52	-0.53	-0.14	0.10	1		
11	水 深	0.53	0.51	0.23	0.57	-0.22	-0.10	-0.09	0.54	0.31	0.18	1	
12	I-N/I-P	-0.04	-0.18	0.44	0.44	-0.06	0.45	0.48	-0.76	-0.33	-0.27	-0.09	1
		水温	COD	I-N	I-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	I-N/I-P

表10 相関行列 平木場ダム流出部(測定点B)

1	水 温	1											
2	C O D	0.70	1										
3	I - N	0.22	0.23	1									
4	I - P	-0.39	-0.15	0.08	1								
5	NH ₄ -N	-0.24	-0.17	-0.29	-0.22	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.26	-0.32	0.80	0.12	-0.29	1						
7	D I N	-0.31	-0.35	0.79	0.11	-0.13	0.99	1					
8	chl-a	0.04	0.15	-0.08	0.73	-0.33	-0.17	-0.25	1				
9	pH	0.37	0.35	0.05	-0.10	-0.14	-0.23	-0.26	0.24	1			
10	透 明 度	-0.20	-0.23	-0.47	-0.29	-0.34	-0.31	-0.39	0.16	0.11	1		
11	水 深	-0.10	-0.14	-0.39	-0.07	0.24	-0.35	-0.31	-0.21	0.26	-0.23	1	
12	I-N/I-P	0.05	0.06	0.52	-0.76	-0.18	0.48	0.47	-0.70	-0.008	0.14	-0.47	1
		水温	COD	I-N	I-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	I-N/I-P

表11 相関行列 古木場ダム湖心部(測定点A)

1	水 温	1											
2	C O D	-0.04	1										
3	T - N	-0.62	-0.24	1									
4	T - P	0.33	0.04	0.05	1								
5	NH ₄ -N	-0.38	0.36	0.05	0.17	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.43	-0.26	0.74	0.05	-0.30	1						
7	D I N	-0.59	-0.15	0.79	0.12	0.02	0.94	1					
8	chl-a	-0.12	0.83	-0.10	-0.14	0.36	-0.30	-0.17	1				
9	pH	0.70	0.03	-0.05	0.29	-0.46	0.01	-0.16	0.69	1			
10	透 明 度	0.39	-0.04	-0.03	0.10	-0.68	0.02	-0.22	-0.18	0.38	1		
11	水 深	0.74	0.22	-0.19	0.29	-0.20	-0.24	-0.33	0.21	0.67	0.52	1	
12	T-N/T-P	-0.72	-0.38	0.84	-0.46	-0.07	0.63	0.64	-0.16	-0.26	-0.06	-0.38	1
		水温	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	T-N/T-P

表12 相関行列 古木場ダム流出部(測定点B)

1	水 温	1											
2	C O D	0.13	1										
3	T - N	-0.68	-0.52	1									
4	T - P	0.27	0.57	-0.23	1								
5	NH ₄ -N	-0.16	0.35	-0.21	0.40	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.46	-0.18	0.78	0.15	-0.23	1						
7	D I N	-0.51	-0.11	0.76	0.24	0.28	0.97	1					
8	chl-a	-0.09	0.53	0.16	0.38	-0.08	0.35	0.33	1				
9	pH	0.76	0.15	-0.33	0.33	-0.47	-0.03	-0.16	0.39	1			
10	透 明 度	0.34	-0.00	-0.23	-0.43	-0.66	-0.17	-0.35	0.05	0.45	1		
11	水 深	0.66	0.22	-0.52	0.39	0.17	-0.25	-0.22	0.13	0.48	0.15	1	
12	T-N/T-P	-0.68	-0.68	0.90	-0.61	-0.35	0.61	0.54	-0.07	-0.42	-0.02	-0.59	1
		水温	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	T-N/T-P

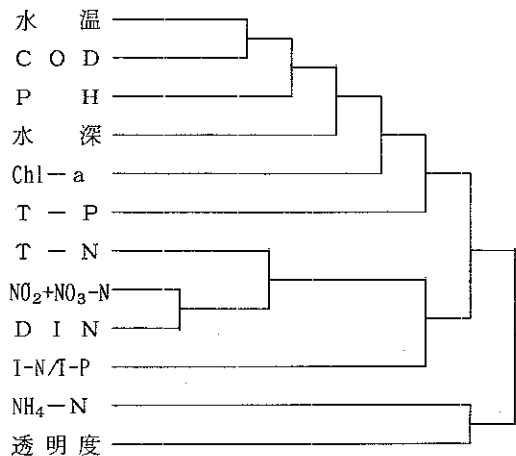
表13 相関行列 大谷ため池湖心部(測定点A)

1	水 温	1											
2	C O D	-0.20	1										
3	I - N	-0.36	0.37	1									
4	T - P	-0.61	0.04	0.41	1								
5	NH ₄ -N	-0.35	-0.23	-0.12	0.29	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.65	0.06	0.30	0.12	-0.13	1						
7	D I N	-0.77	-0.03	0.24	0.23	0.27	0.92	1					
8	chl-a	-0.61	0.41	0.22	0.21	-0.18	0.36	0.28	1				
9	pH	-0.35	0.26	-0.08	0.26	0.29	-0.35	-0.22	0.61	1			
10	透 明 度	0.62	-0.74	-0.11	-0.40	0.05	-0.58	-0.55	-0.43	-0.06	1		
11	水 深	0.64	-0.09	-0.01	-0.42	-0.40	-0.34	-0.49	-0.38	-0.23	0.55	1	
12	T-N/T-P	-0.07	0.42	0.89	-0.03	-0.28	0.20	0.09	0.12	-0.16	0.14	0.25	1
		水温	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	T-N/T-P

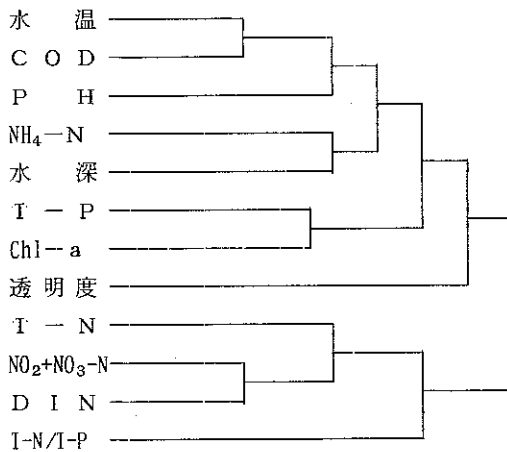
表14 相関行列 大谷ため池流出部(測定点B)

1	水 温	1											
2	C O D	-0.36	1										
3	I - N	-0.57	0.03	1									
4	T - P	-0.06	-0.19	0.37	1								
5	NH ₄ -N	-0.65	0.08	0.00	0.72	1							
6	NO ₂ +NO ₃ -N	-0.55	0.23	0.54	-0.20	0.19	1						
7	D I N	-0.63	0.23	0.51	-0.17	0.36	0.98	1					
8	chl-a	-0.45	0.66	0.28	0.21	0.03	0.01	0.01	1				
9	pH	-0.21	0.14	-0.17	0.20	0.16	-0.53	-0.48	0.49	1			
10	透 明 度	0.47	-0.32	0.08	0.15	-0.49	-0.63	-0.69	0.04	0.22	1		
11	水 深	0.29	-0.01	-0.46	0.00	-0.11	-0.21	-0.22	-0.18	0.41	-0.04	1	
12	T-N/T-P	-0.62	0.19	0.67	-0.42	0.06	0.72	0.69	0.16	-0.23	-0.15	-0.38	1
		水温	COD	T-N	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ +NO ₃ -N	DIN	chl-a	pH	透明度	水深	T-N/T-P

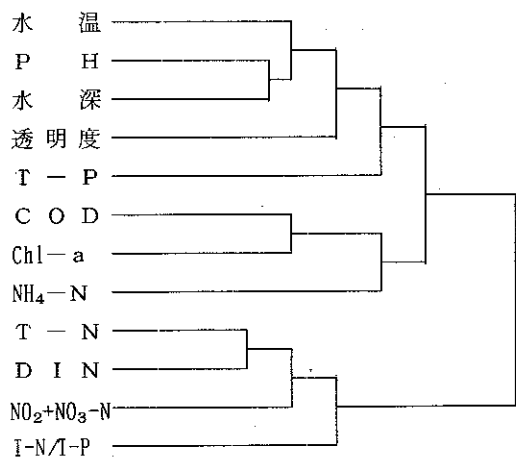
図5 クラスター分析



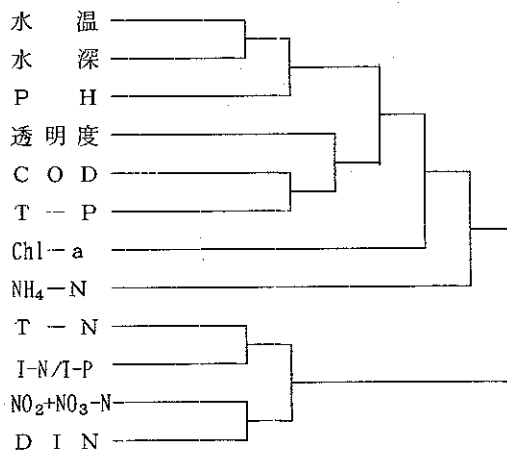
平木場ダムA



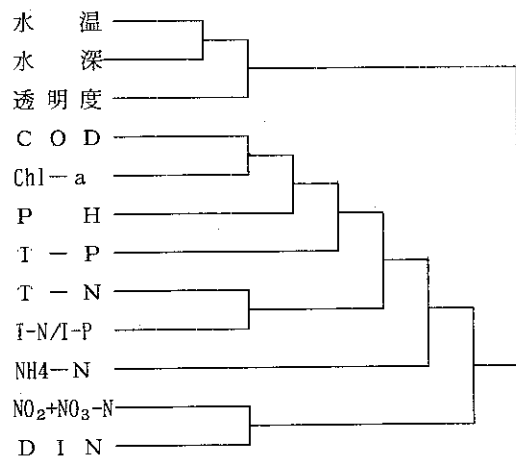
平木場ダムB



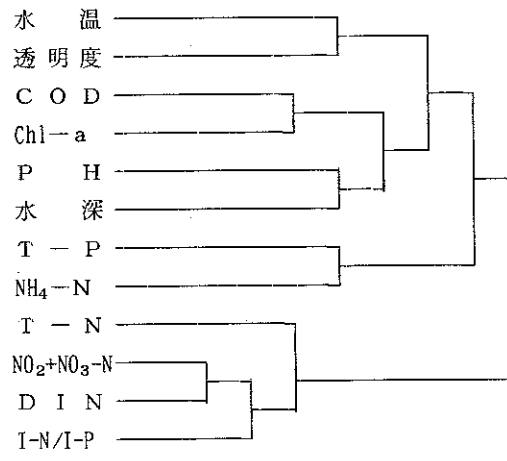
古木場ダムA



古木場ダムB



大谷ため池A



大谷ため池B

5-2 富栄養度の判定

湖沼の富栄養度の判定基準にはいくつかあるが、ここでは環境庁の窒素・リン等水質目標検討委員会の基準により分類してみた。(表15, 表16)

調査結果のうち湖心部の年間平均値で比較すると、平木場ダムのT-NはⅣレベル、T-PはⅢレベルとなり、以下古木場ダムのT-NはⅣレベル、T-PはⅢレベル、大谷ため池のT-NはⅢレベル、T-PはⅡレベルとなり、平木場ダムと古木場ダムは富栄養に近い中栄養湖、大谷ため池は貧栄養湖に近い中栄養湖と判定された。

表15 湖沼の窒素に係る水質目標

レベル	全窒素年間平均値 ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)	参 考 項 目		
		クロロフィルa夏期値 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	透 明 度 (m)	深水層における溶存酸素飽和度夏期値 (%)
I	0.07以下	1 以下	6 以下	50 以上
II	0.15以下	3 以下	4 以下	—
III	0.4 以下	20 以下	2 以下	—
IV	0.6 以下	40 以下	1 以下	—
V	1.0 以下	—	—	—

(注1) 全窒素に係る目標値は、表層水の値とする。

(注2) 参考項目の数値は、湖沼表層水の全窒素年間平均値に対応する期待値を示す。

表16 湖沼のリンに係る水質目標

レベル	全リン年間平均値 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	参 考 項 目		
		クロロフィルa夏期値 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	透 明 度 (m)	溶 存 酸 素 飽 和 度 夏 期 底 層 値 (%)
I	0.005以下	1 以下	7 以下	50 以上
II	0.01 以下	3 以下	4 以下	50 以上
III	0.03 以下	20 以下	2 以下	—
IV	0.05 以下	40 以下	1 以下	—
V	0.10 以下	100 以下	—	—

(注1) 全リンに係る目標値は、表層の値とする。

(注2) 参考項目の数値は、湖沼表層水の全窒素年間平均値に対応する期待値を示すものである。

5-3 習性カールソン指数

湖沼の富栄養化状態を判定するには、できるだけ多くの因子を測定し、総合的に評価する事が望ましいが、多大な労力を必要とする。

Carlsonは、湖水の透明度とChl-a量、Chl-a量とI-P濃度の間に高い相関が認められたことから、透明度を基準とした連続的な富栄養化度指数を提唱した。しかし湖水が、着色した湖沼や粘土鉱物等の懸濁する湖沼では、藻類以外の物質による透明度の低下が生じ、富栄養化度の判定に正確さを欠く。そこで、富栄養化状態をより直接的な表わすChl-a量を基準とする修正カールソン指数が、相崎等により提唱された。

修正カールソン指数は、Chl-a量、透明度及びI-P濃度からそれぞれ求められ、次式により計算される。なお、この指数は0から100までの間で変化し、富栄養化が進むほど大きい値となる。

$$T S I M (C h l) = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln (C h l)}{\ln 2.5} \right)$$

$$T S I M (S D) = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln (S D)}{\ln 2.5} \right)$$

$$T S I M (T P) = 10 \times \left(2.46 + \frac{6.71 - 1.15 \ln (T P)}{\ln 2.5} \right)$$

Chl : クロロフィルa量 (ng/m³)

SD : 透明度 (m)

TP : 全リン濃度 (ng/l)

湖心部の計算結果を表17に示す。

表17 調査湖沼の修正カールソン指数

	T S I M (C h l)	T S I M (S D)	T S I M (T P)	平均値
平木場ダム	47	65	50	54
古木場ダム	39	52	45	45
大谷ため池	30	55	44	43

T S I M (Chl)は藻類量をほぼ直接的に表わすことができ、富栄養化度指数として最も適切な指標である。

T S I M (SD)は湖水が着色している場合は、藻類量とは関係のない値が得られると言われている。

3湖沼とも、T S I M (SD)がT S I M (Chl)よりかなり高くなっているのは、3湖沼とも指数作成時の対象湖沼より小規模で、水深が浅い事が主因と思われる。

T S I M (TP)は溶存オルトリン酸が植物プランクトンによって利用されきらず湖水中に存在している場合潜在的なT S I M値を示すと言われている。古木場ダムと大谷ため池ではT S I M (IP)がT S I M

(Chl) よりかなり高くなっているので溶存オルトリン酸が過剰に存在していると思われる。

湖沼の規模の違いによる影響が大きいと考えられるT S I M (S D) を除く他の2つの指数の平均をとると、平木場ダム49、古木場ダム42、大谷ため池37、となり、いずれも中栄養湖と判定される。この中では、平木場ダムの富栄養化度が最も進行していると思われる。

6 まとめ

(1) 藻類増殖の制限因子

平木場ダム、古木場ダム、大谷ため池はどこも藻類の増殖に対しリンが制限因子になっていることがわかった。もっとも、古木場ダムと大谷ため池ではそれ以外にCOD源となる、何らかの栄養素も制限因子として関与していると思われる。

(2) 富栄養化度の判定

平木場ダムは富栄養湖に近い中栄養湖、大谷ため池は貧栄養湖に近い中栄養湖、古木場ダムはその中間の中栄養湖と判定された。

(3) 今度の対策

湖沼の水質改善の方策としては、汚染負荷量の削減が一般的だが、今回の3湖沼の汚濁源は山林系と自然系が大半で、汚濁負荷量を減らすのは困難と思われる。

今後は汚濁負荷量の増加防止に努め、さらに富栄養化が進行した場合には、ばっ気による湖水の強制循環か、定期的にダムの水を減らし、堆積した底泥を除去する等の方策が必要になると思われる。

参考文献

- 1) 社団法人日本水質汚濁研究協会編：湖沼環境調査指針
- 2) 日本生態学会環境問題専門委員会編：環境と生物指標2，共立出版社
- 3) 大村 平：多変量解析のはなし，日科技連
- 4) 水田 博子：北山ダムの水質調査結果について，佐賀県公害センター所報5号（昭和59年）
- 5) 福島 武彦，天野 耕二，村岡 浩爾：湖沼水質の簡易な予測モデル，水質汚濁研究，9，775～785（1986）
- 6) 福島 武彦，天野耕二，村岡 浩爾：日本全国90湖沼の水質変動特性の統計解析，衛生工学研究論文集，22，（1986）
- 7) 鷹野 洋ら：児島湖における水質汚染物質の挙動に関する調査研究，岡山県保健環境センター年報，12，67～73（1988）
- 8) 大関 正春，渋谷 信雄：信濃川水系の水質変動解析，新潟県衛生公害研究所年報，1，（1985）
- 9) 田村 良三ら：新潟県内自然湖沼の富栄養化状態，新潟県衛生公害研究所年報，3，（1987）