

公共用水域の水質汚濁に関する調査研究

— 一の坂ダムの水質調査 —

山口県衛生公害研究センター (所長: 田中一成)

古谷 誠治・田中 克正・今富 幸也・鳥居 和彦
溝田 哲・松村 宏・佐伯 和正*

Studies on Water Pollution Control in Natural Waters — Water Quality in Ichinosaka Reservoir —

Seiji FURUTANI, Katsumasa TANAKA, Yukiya IMATOMI
Kazuhiko TORII, Satoshi MIZOTA, Hiroshi MATSUMURA
Kazumasa SAEKI

Yamaguchi Prefectural Research Institute of Health (Director: Dr. Kazushige TANAKA)

はじめに

閉鎖性水域の富栄養化による水質汚濁は深刻な問題である。山口県の湖沼の環境基準適合率は1989年度CODで約50%と低く、その汚濁防止策に苦慮しているところである。このような富栄養化による水質汚濁機構を明らかにするために、1983年に完成した一の坂ダムにおいて、その湛水直後から水質の推移を調査してきた。あわせて、水質の定量的把握、将来予測を行うための水質シミュレーションも検討している¹⁾。

湛水直後の第1回目の調査で透明度1.2m、クロロフィルa 42.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ と著しい汚濁を示す値を得て、水は貯めると汚れるということを痛感した。同時に、水質と環境条件との密接な係り合いも示唆された。

この調査は今後も継続して行う予定であるが、これまでのデータの整理を行い、あわせて統計的手法により水質の実態把握を試みたので報告する。

調査方法

1 調査内容

調査地点は図1に示す。湖心1地点、流入する

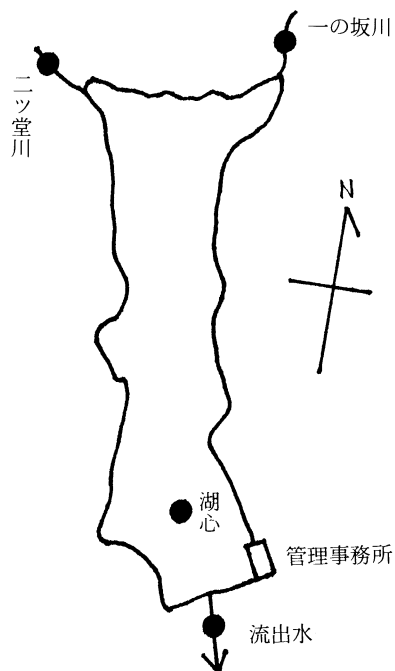


図1 調査地点

* 山口県工業技術センター：山口市朝田湯垣585—1

表1 ダムの概要

諸元	内容
位置	山口市天花
湛水面積 (km ²)	0.14
有効貯水量 (千km ³)	1285
平均水深 (m)	10.6
平均年回転数 (回/年)	9.0
集水面積 (km ²)	6.7
流入河川	一の坂川 二ツ堂川

一の坂川と二ツ堂川、流出河川各1地点を定め、湖心については表層から底層 (B-1m) まで原則として2 m毎に採水調査した。一の坂ダムの概要は表1のとおりである。

2 調査期間

湖心は1983年5月から、流入流出河川は1984年5月から、それぞれ2か月に1回の頻度で調査を

行った。

3 調査項目及び分析方法

水温 (WT)、透明度 (Tr)、水素イオン濃度 (pH)、溶存酸素 (DO)、化学的酸素要求量 (COD)、生物化学的酸素要求量 (BOD)、懸濁物質 (SS)、溶存けい酸 (SiO₂-Si)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、溶存無機態窒素 (DIN)、溶存有機態窒素 (DON)、懸濁態窒素 (P-N)、全窒素 (T-N)、りん酸態りん (PO₄-P)、溶存有機態りん (DOP)、懸濁態りん (P-P)、全りん (T-P)、クロロフィル a (Chl-a) について分析および測定を行った。なお、全有機炭素 (TOC)、溶存有機炭素 (DOC)、懸濁態有機炭素 (POC)、Ca、Mg、大腸菌群についても追加して測定しているが、今回の解析には加えなかった。

分析方法は表2のとおりである。

表2 分 析 方 法

項 目	分 析 方 法
pH	ガラス電極法
DO	ウインクラージ化ナトリウム法
COD	100°Cにおける過マンガン酸カリウム消費量
BOD	20°C、5日間培養の溶存酸素変化量より算出
SS	ガラス繊維ろ紙、孔径1 μm径45mmを使用
SiO ₂ -Si	シュウ酸還元モリブデンブルー法
NO ₂ -N	スルファニルアミド-N (1-ナフチル) エチレンジアミン法
NO ₃ -N	Cd-Cu還元後 NO ₂ -N 測定法による
NH ₄ -N	インドフェノールブルー法
DIN	(NO ₂ -N) + (NO ₃ -N) + (NH ₄ -N)
DON	ろ過試料を分解後測定し (NO ₂ -N) + (NO ₃ -N) を差し引く
P-N	ガラス繊維ろ紙に懸濁物を集めろ紙ごと分解し測定
T-N	(P-N) + (DON) + (DIN)
PO ₄ -P	L-アスコルビン酸還元モリブデンブルー法
DOP	ろ過試料を分解後 D-P を測定し PO ₄ -P を差し引く
P-P	(T-P) - (D-P)
T-P	生試料を分解後 PO ₄ -P 測定法による
Chl-a	StricklandとParsonsの式

結果と考察

1 水質特性

(1) 流出入河川水の水質

一の坂川、二ツ堂川及びダム流出水の各水質項目の平均値、最大値、最小値を図2に示す。流入河川水について一の坂川、二ツ堂川を比べてみると、二ツ堂川のT-PやSiO₂-Siがやや高い値を示したものの、他の水質項目では顕著な差はみられず、両流入河川とも、ほとんど類似した水質を有すると考えられる。

一方、流出水を見ると、流入水にくらべてNO₃-N、SiO₂-SiやPO₄-Pがやや減少し、NH₄-Nが増加している。さらに有機汚濁指標としてのCOD、BOD、Chl-aやSS等が流入水に比べて高い値を示した。

DIN、T-N、T-Pの内容を表3に示した。これより、流出水は無機態の窒素、りんが減少し、有機態、懸濁態の窒素、りんが著しい増加がみられる。全窒素の約17%、全りんの約55%が無機態から有機態へ変換されたことになる。

これらの結果から水の滞留はその後の水質に大きく影響することが推察された。

(2) ダム湖の水質

水質項目ごとの平均値、最大値、最小値を0m層、表層(0~4m層)、中層(6~13m層)、底層(底から1m)について図3に示す。湛水直後の1983年は夏季においても、底層で酸素が検出され、水温の上昇も観察された。翌1984年からは初夏から晩秋まで安定した温度成層が形成され、11月下旬~12月上旬に躍層が崩れ、翌年の初夏まで循環が行われるというパターンに落ち着いた。従って、湛水後2年目からは表層は水温、pH、DO、

Chl-a等が高く、逆に無機栄養塩は低い値を示した。このことは表層での光合成活動の結果を示している。

一方、底層では水温は年間を通じて10℃以下であり、成層期には有機物の分解により、酸素が消費され、無酸素状態となった。また、栄養塩、特に有機物の分解及び底泥からの溶出によると考えられるPO₄-P、NH₄-Nの著しい増大がみられた。循環期には表層と底層の水質はほぼ一定となった。

2 ダム湖水質の統計解析

(1) 水質項目の相関

ダム湖の0m層、表層、中層、底層の水質項目間の相関係数を求め表4-1、4-2に示した。

ア 0m層：透明度、Chl-a、SS、COD相互の間に有意な相関関係があり、植物プランクトンの増殖を示唆していると考えられるが、これらとPH、DOの間には有意な関係はみられなかった。これは流入河川等の影響を反映しているためと推察される。

イ 表層：透明度、Chl-a、SS、COD、pH、DOの相互間に正のおおむね有意な相関関係がみられた。また、これらと栄養塩類のうちNO₃-N、SiO₂-Siが負の有意な相関を示した。これらのことは、表層部における植物プランクトンの増殖によりChl-a、COD等の増加、DOの増加、pHの上昇、栄養塩の減少等を示していると考えられる。また、Chl-aとPO₄-Pとの間には有意な相関関係はみられなかった。

ウ 中層：表層でのpH、DO、Chl-aなどの間にみられるような光合成を推定させる関係はほとんど認められなかった。Chl-aとCODの相関がみられないことは中層での死滅プランクト

表3 窒素、りんの形態別割合(%)

	N					P		
	NO _{2,3} -N/DIN	NH ₄ -N/DIN	DIN/T-N	DON/T-N	P-N/T-N	PO ₄ -P/T-P	DOP/T-P	P-P/T-P
一の坂川	94.5	5.0	65.4	26.3	8.2	68.1	18.1	13.6
二ツ堂川	95.5	4.5	64.8	24.8	9.4	72.7	15.1	9.0
流出	90.8	9.2	48.4	33.2	18.4	15.5	28.0	56.5

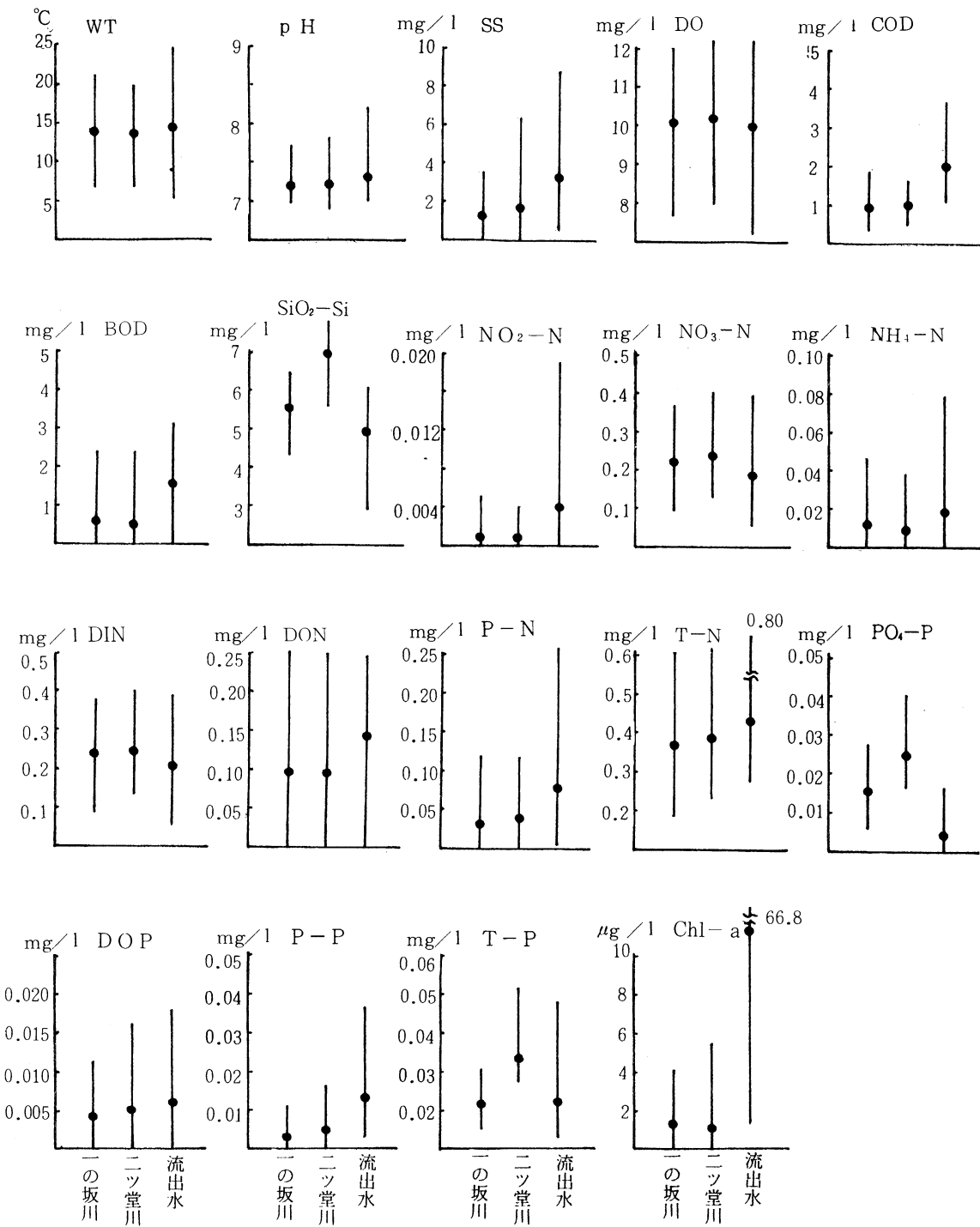


図2 流入河川・流出水の水質

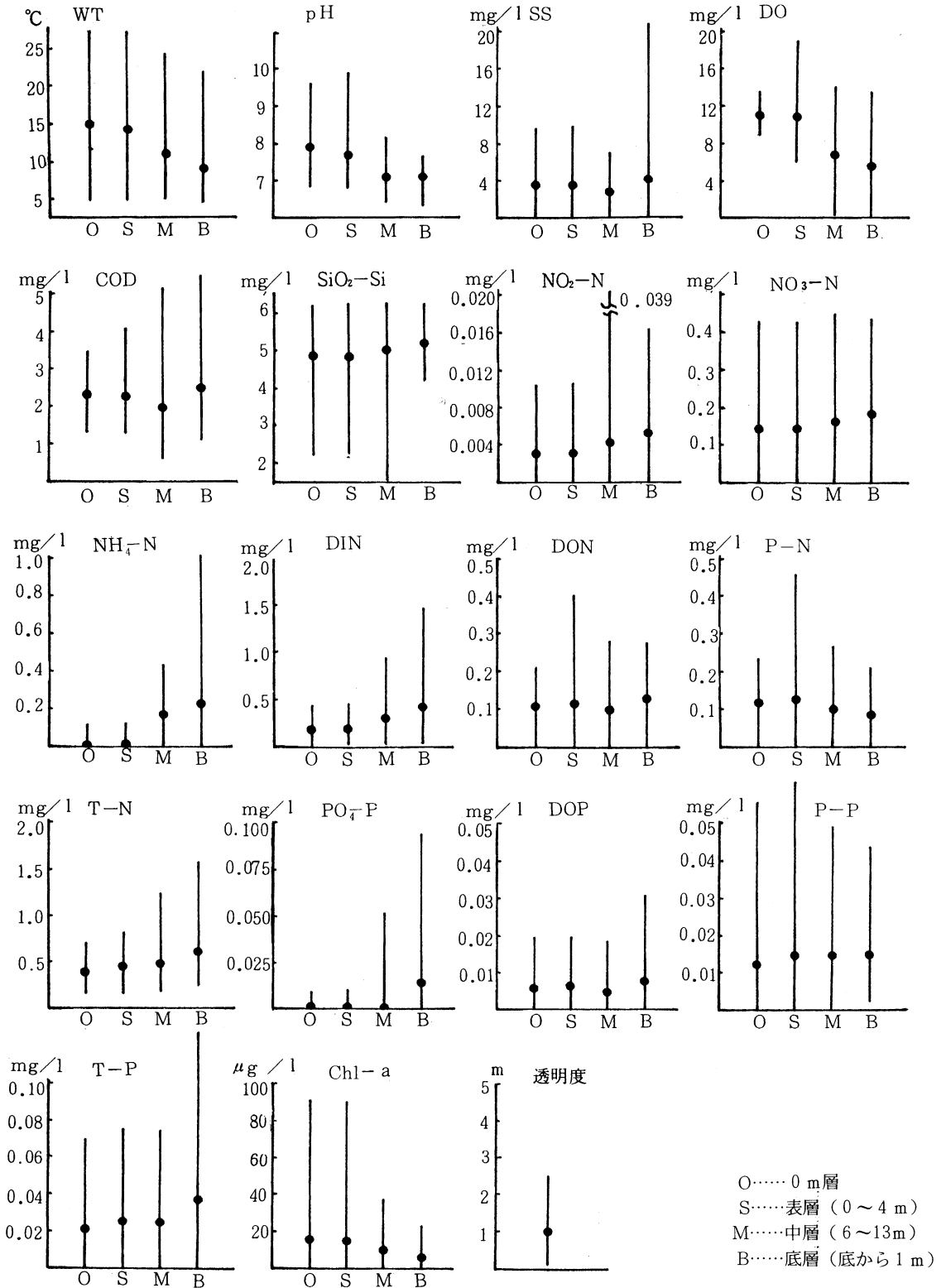


図3 ダム湖の水質

表4-1 水質項目間の相関係数(0m層, 表層)

	WT	pH	SS	DO	COD	SiO ₂ -Si	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	DIN	DON	P-N	T-N	PO ₄ -P	DOP	P-P	T-P	Chl-a	透明度
WT		0.48	-0.14	-0.23	0.42	-0.12	0.15	-0.37	-0.05	-0.37	0.18	0.26	-0.13	0.45	0.14	0.16	0.35	-0.08	-0.07
pH	0.36		0.46	0.38	0.41	-0.39	0.22	-0.46	0.04	-0.46	0.16	0.46	-0.13	0.04	0.10	-0.08	-0.003	0.22	-0.40
SS	-0.09	0.49		0.39	0.43	-0.40	0.15	-0.21	-0.12	-0.24	0.07	0.36	-0.02	-0.32	0.001	-0.007	-0.10	0.69	-0.68
DO	-0.19	0.59	0.41		-0.17	-0.12	-0.09	0.01	-0.38	-0.10	-0.04	0.23	-0.01	0.08	-0.09	-0.20	-0.21	0.28	-0.18
COD	0.34	0.47	0.48	0.13		-0.24	0.20	-0.56	0.18	-0.49	0.41	0.54	0.01	-0.02	0.11	0.38	0.39	0.49	-0.41
SiO ₂ -Si	-0.20	-0.37	-0.42	-0.17	-0.31		-0.07	0.22	0.16	0.26	-0.16	-0.08	0.12	0.15	-0.02	-0.16	-0.11	-0.09	0.19
NO ₂ -N	0.15	0.06	0.06	-0.23	0.02	0.11		-0.10	0.30	0.01	-0.06	-0.003	-0.02	0.10	0.06	0.08	0.13	0.09	-0.05
NO ₃ -N	-0.24	-0.43	-0.32	-0.20	-0.59	0.26	0.006		-0.11	0.94	-0.17	-0.39	0.62	-0.10	0.09	-0.11	-0.08	-0.15	0.29
NH ₄ -N	-0.07	-0.16	-0.07	-0.36	0.13	0.17	0.24	-0.05		0.20	-0.05	-0.16	0.09	-0.07	-0.06	0.06	0.003	-0.04	0.06
DIN	-0.26	-0.46	-0.33	-0.30	-0.53	0.31	0.10	0.95	0.24		-0.19	-0.44	0.64	-0.12	0.07	-0.08	-0.07	-0.16	0.31
DON	0.08	-0.02	-0.04	-0.07	0.15	-0.13	-0.05	-0.12	-0.06	-0.14		0.32	0.51	0.11	-0.07	0.45	0.39	0.28	-0.10
P-N	0.33	0.47	0.38	0.27	0.51	-0.26	-0.02	-0.39	-0.07	-0.40	0.11		0.21	0.18	-0.14	0.18	0.14	0.33	-0.51
T-N	0.03	-0.12	-0.08	-0.13	-0.09	0.02	0.04	0.50	0.12	0.52	0.55	0.33		0.02	-0.03	0.25	0.21	0.15	0.001
PO ₄ -P	0.39	0.008	-0.23	-0.05	-0.11	0.04	0.15	0.06	-0.03	0.05	0.07	0.03	0.12		-0.28	0.16	0.29	-0.10	0.15
DOP	0.21	-0.01	-0.07	-0.08	0.13	-0.01	-0.02	0.04	-0.14	0.004	0.13	0.06	0.12	-0.09		-0.16	0.29	-0.005	0.007
P-P	0.24	-0.02	0.07	-0.10	0.36	0.25	0.02	-0.19	0.12	-0.15	0.28	0.27	0.20	0.12	-0.06		0.85	0.34	0.07
T-P	0.41	-0.02	-0.04	-0.14	0.33	-0.21	0.05	-0.12	0.03	-0.11	0.32	0.27	0.27	0.35	0.37	0.85		0.27	0.11
Chl-a	-0.06	0.32	0.79	0.30	0.53	-0.30	0.02	-0.32	-0.01	-0.32	0.08	0.39	0.01	-0.15	-0.01	0.27	0.17		-0.59
透明度	-0.03	-0.29	-0.66	-0.08	-0.33	0.19	-0.07	0.25	0.04	0.25	0.03	-0.38	0.001	0.10	0.02	0.03	0.07	-0.58	

上段 0m層 n=41 P(0.01)=0.39
下段 表層 n=123 P(0.01)=0.23

表4-2 水質項目間の相関係数(中層, 底層)

	WT	pH	SS	DO	COD	SiO ₂ -Si	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	DIN	DON	P-N	T-N	PO ₄ -P	DOP	P-P	T-P	Chl-a
WT		-0.07	-0.17	-0.30	0.05	-0.16	0.03	-0.10	0.007	-0.06	-0.12	0.14	-0.06	0.08	0.18	0.21	0.25	-0.09
pH	-0.74		-0.05	0.13	0.02	-0.01	-0.04	-0.14	-0.06	-0.15	0.06	0.08	-0.09	-0.10	0.05	-0.02	-0.06	0.26
SS	-0.08	0.04		0.36	0.13	-0.32	-0.20	0.04	-0.28	-0.27	0.01	0.42	-0.11	-0.31	-0.06	0.05	-0.20	0.72
DO	-0.25	0.57	-0.20		-0.33	-0.21	-0.35	0.28	-0.62	-0.48	0.04	0.18	-0.39	-0.42	-0.10	-0.02	-0.34	0.42
COD	0.05	-0.12	0.31	-0.60		0.08	-0.02	-0.57	0.65	0.31	0.22	0.10	0.43	0.55	0.42	0.15	0.62	0.16
SiO ₂ -Si	0.01	-0.06	0.20	-0.44	0.48		0.20	0.002	0.32	0.33	-0.09	-0.25	0.20	0.21	-0.03	-0.07	0.08	-0.45
NO ₂ -N	0.12	-0.32	-0.16	-0.50	0.13	0.23		-0.007	0.17	0.21	-0.05	-0.15	0.13	0.07	-0.03	-0.01	0.02	-0.20
NO ₃ -N	-0.10	0.05	0.03	0.14	-0.50	-0.08	0.04		-0.35	0.26	-0.19	-0.07	0.15	-0.28	-0.05	-0.13	-0.29	-0.05
NH ₄ -N	0.06	-0.33	-0.09	-0.65	0.70	0.40	0.29	-0.13		0.81	0.08	-0.22	0.75	0.79	0.33	-0.04	0.62	-0.32
DIN	0.01	-0.29	-0.07	-0.56	0.43	0.34	0.31	0.34	0.88		-0.03	-0.27	0.87	0.63	0.30	-0.13	0.46	-0.37
DON	-0.02	0.04	-0.12	-0.11	0.28	-0.01	0.11	-0.41	-0.04	-0.23		-0.06	0.33	0.20	0.24	-0.08	0.17	0.04
P-N	0.04	0.11	0.64	-0.001	0.22	0.02	-0.03	0.03	-0.16	-0.13	-0.07		0.04	-0.16	0.07	0.18	0.02	0.53
T-N	0.01	-0.26	0.01	-0.62	0.58	0.35	0.35	0.24	0.87	0.94	0.04	0.02		0.64	0.41	-0.10	0.52	-0.16
PO ₄ -P	0.14	-0.35	-0.12	-0.62	0.75	0.33	0.29	-0.16	0.92	0.79	0.001	-0.07	0.81		0.41	-0.12	0.74	-0.32
DOP	0.11	-0.13	0.002	-0.36	0.63	0.21	0.08	-0.29	0.63	0.45	0.19	-0.03	0.53	0.59		-0.09	0.58	0.01
P-P	0.14	-0.04	0.60	-0.18	0.36	0.24	-0.006	-0.09	0.12	0.07	-0.15	0.47	0.12	0.07	0.11		0.47	0.14
T-P	0.17	-0.32	0.08	-0.62	0.83	0.38	0.24	-0.22	0.89	0.73	0.004	0.07	0.78	0.93	0.73	0.38		-0.12
Chl-a	-0.30	0.50	0.36	0.37	-0.02	0.03	-0.28	0.16	-0.31	-0.25	-0.08	0.32	-0.23	-0.33	-0.24	0.32	-0.21	

上段 中層 n=135 P(0.01)=0.22
下段 底層 n=41 P(0.01)=0.39

ンの沈降段階における分解の進行過程を示していると考えられる。栄養塩について、表層のDINは $\text{NO}_3\text{-N}$ と有意な相関関係があったが、中層ではDINは $\text{NH}_4\text{-N}$ と高い相関にある。これらのことから、有機物の分解により酸素減少、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等の分解生成物増大の傾向がうかがわれる。

エ 底層：有機物の分解とそれに伴う酸素消費及び分解生成物の増大を示す関係がみられる。即ち、DOと $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等の栄養塩類の間に高い相関がみられた。特にDINは $\text{NH}_4\text{-N}$ と高い相関係数を示し、底層でのDINが分解生成物及び底質からの溶出に由来するものと推定される。CODとDOの逆相関は底泥の舞い上りによる有機物の影響か、生分解されにくい有機物の存在を示唆していると考えられる。

(2) 主成分分析による水質の特徴

水質の相関行列を用いて主成分分析による解析を行った。使用した水質項目は18項目であり、0 m層、表層、中層、底層について解析を行った。それぞれの因子負荷量、固有値、寄与率を表5-1~5-4に示す。解析には原データを用いた。

ア 0 m層：第1主成分 Z_1 は水温、pH、SS、DOと負の相関を、DIN、DON、P-N、T-Nとは正の相関を示し、寄与率は21.9%であった。これは流入河川等のダム以外の環境条件の影響による水質の変動を示す因子と考えられる。第2主成分 Z_2 は $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と正の相関、T-P、Chl-aと負の相関を示し、光合成等の活動の指標と考えられる。 Z_2 の寄与率は21.4%であり、累積寄与率は43.3%である。第3主成分 Z_3 、第4主成分 Z_4 の寄与率はそれぞれ8.3%、7.6%であった。

イ 表層： Z_1 はpH、SS、COD、P-N、Chl-aと正の相関を示し、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DINと負の相関を示した。寄与率は25.7%であった。これは光合成による植物プランクトンの増殖と栄養塩の消費を表わす因子と考えられる。 Z_2 はDON、T-N、P-P、T-Pと正の相関を示した。特にT-Pとは0.81と高い相関を示した。 Z_2 は栄養塩の挙動を示す因子と考えられる。 Z_2 の寄与率は15.8%であった。 Z_3 はT-Nと、 Z_4 は $\text{NH}_4\text{-N}$ と、それぞれ0.64、0.77の相関を示したが、寄与率はいずれも10%以下であった。

ウ 中層： Z_1 はCOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DIN、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-Pと正の相関を、pH、DO、Chl-aと負の相関を示した。有機物の分解とそれに伴う栄養塩の放出を示す因子と考えられる。寄与率は38%であった。 Z_2 はSS、COD、P-N、Chl-aと正の相関を示した。沈降浮遊物質を意味する因子と考えられる。寄与率は16%であった。 Z_3 は水温、P-Pと負の相関を示し、寄与率は11.1%、 Z_3 までの累積寄与率は57.9%であった。

エ 底層： Z_1 はCOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DIN、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DOP、T-Pと正の相関を有し、DO、pH、Chl-aは負の相関を示した。これは底層における有機物の分解、酸素の消費、栄養塩の溶出等の現象を示している。寄与率は36.9%であった。 Z_2 はSS、P-N、P-P、Chl-aと正の相関を示し、懸濁物質を示す因子と考えられる。寄与率は15.3%。 Z_3 は $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DINと正の相関を示し、DONと負の相関を示した。 Z_3 までの累積寄与率は63.1%であった。

(3) 主成分スコアからみた水質の変動

第1主成分 Z_1 と第2主成分 Z_2 のスコアから

水質の変動を解析した。変動を図4に示す。

ア 0 m層：降雨、流入河川等、流域の影響を表わす因子 Z_1 は小さな変動はあるものの、1984年、1988年にピークを示す4年間隔の大きな周期がみられる。光合成を意味する因子 Z_2 はChl-aと負の相関を示しているため、スコア変動図の負の部分が生産を示すと考えられるが、 Z_1 より約1年おくれで Z_2 に追隨した変動をしている。湛水開始からの流域の年間降雨量及び湖水の回転数を表6に示す。 Z_1 のピークを示した1984年と1988年は例年に比べ、降水量は少く、湖水の回転数も少く、降水量の少ない年に貯まった地表近くの有機物、栄養塩が、その後の降水で洗い出されたとも考えられる。降水量との関係は今後の検討が必要であるが、表層水は気象等周辺環境の影響を受けて大きく変動すると考えられる。

イ 表層：0 m層のような周期的な変動はみられないが、光合成活動を示す因子 Z_1 と栄養塩の挙動を示す因子 Z_2 はプラスマイナス逆の変動で推移する傾向がみられ、光合成と栄養塩の取り込

表 5-1 主成分分析結果 (0 m層)

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
WT	-0.51	-0.40	0.15	-0.19
pH	-0.52	0.04	-0.26	0.29
SS	-0.64	0.06	0.01	0.02
DO	-0.59	0.27	0.13	-0.49
COD	-0.49	0.42	-0.27	0.50
SiO ₂ -Si	-0.27	0.57	0.30	-0.30
NO ₂ -N	0.01	0.68	-0.01	-0.04
NO ₃ -N	0.06	0.69	0.15	0.36
NH ₄ -N	0.47	0.46	-0.15	-0.05
DIN	0.55	0.47	0.24	-0.13
DON	0.65	0.25	-0.13	0.20
P-N	0.72	0.07	0.05	-0.13
T-N	0.68	-0.13	-0.25	-0.09
PO ₄ -P	0.39	-0.49	0.56	0.29
DOP	0.40	-0.47	-0.47	-0.17
P-P	0.08	-0.47	0.64	0.30
T-P	-0.04	-0.66	-0.06	-0.15
Chl-a	-0.16	-0.69	-0.24	0.09
固有値	3.95	3.86	1.50	1.32
寄与率	21.9	21.4	8.3	7.3

表 5-3 主成分分析結果 (中層)

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
WT	0.17	-0.01	-0.72	0.31
pH	-0.53	0.42	0.48	-0.18
SS	-0.48	0.59	0.14	0.15
DO	-0.71	0.21	0.35	-0.01
COD	0.56	0.65	-0.06	-0.25
SiO ₂ -Si	0.38	-0.39	0.19	-0.20
NO ₂ -N	0.27	0.33	-0.10	0.06
NO ₃ -N	-0.23	-0.37	0.42	0.72
NH ₄ -N	0.91	0.14	0.12	-0.09
DIN	0.80	-0.09	0.38	0.35
DON	0.16	0.31	0.25	-0.31
P-N	-0.28	0.55	-0.19	0.34
T-N	0.75	0.21	0.41	0.33
PO ₄ -P	0.84	0.21	0.12	-0.10
DOP	0.46	0.40	0.08	0.21
P-P	-0.001	0.27	-0.57	0.13
T-P	0.73	0.45	-0.22	0.08
Chl-a	-0.50	0.69	0.02	0.18
固有値	5.55	2.88	2.00	1.39
寄与率	30.8	16.0	11.1	7.7

表 5-2 主成分分析結果 (表層)

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
WT	0.36	0.46	-0.49	-0.21
pH	0.70	0.24	-0.01	-0.19
SS	0.67	-0.31	0.44	0.22
DO	0.43	-0.48	0.27	-0.39
COD	0.78	0.14	-0.01	0.25
SiO ₂ -Si	-0.55	-0.03	-0.12	0.14
NO ₂ -N	-0.03	0.18	-0.15	0.46
NO ₃ -N	-0.76	0.16	0.45	-0.18
NH ₄ -N	-0.15	0.21	-0.02	0.77
DIN	-0.78	0.22	0.42	0.05
DON	0.17	0.50	0.25	0.19
P-N	0.67	0.20	0.19	-0.11
T-N	-0.14	0.62	0.64	-0.13
PO ₄ -P	-0.04	0.42	-0.33	-0.24
DOP	0.06	0.29	-0.01	-0.31
P-P	0.39	0.65	0.04	0.19
T-P	0.34	0.81	-0.06	-0.04
Chl-a	0.66	-0.08	0.45	0.28
固有値	4.64	2.85	1.80	1.58
寄与率	25.7	15.8	9.9	8.7

表 5-4 主成分分析結果 (底層)

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
WT	0.22	-0.21	-0.36	-0.71
pH	-0.46	0.35	0.22	0.70
SS	0.03	0.83	0.02	-0.28
DO	-0.79	0.01	0.11	0.27
COD	0.79	0.41	-0.32	0.22
SiO ₂ -Si	0.48	0.26	0.04	0.01
NO ₂ -N	0.40	-0.25	0.01	-0.24
NO ₃ -N	-0.15	-0.10	0.85	-0.25
NH ₄ -N	0.94	-0.08	0.13	0.17
DIN	0.82	-0.13	0.53	0.04
DON	0.05	-0.07	-0.63	0.34
P-N	-0.02	0.73	-0.01	-0.29
T-N	0.87	-0.01	0.36	0.09
PO ₄ -P	0.92	-0.08	0.04	0.14
DOP	0.68	0.05	-0.21	0.29
P-P	0.23	0.73	-0.03	-0.31
T-P	0.94	0.16	-0.02	0.09
Chl-a	-0.36	0.65	0.19	0.18
固有値	6.66	2.76	1.97	1.83
寄与率	36.9	15.3	10.9	10.2

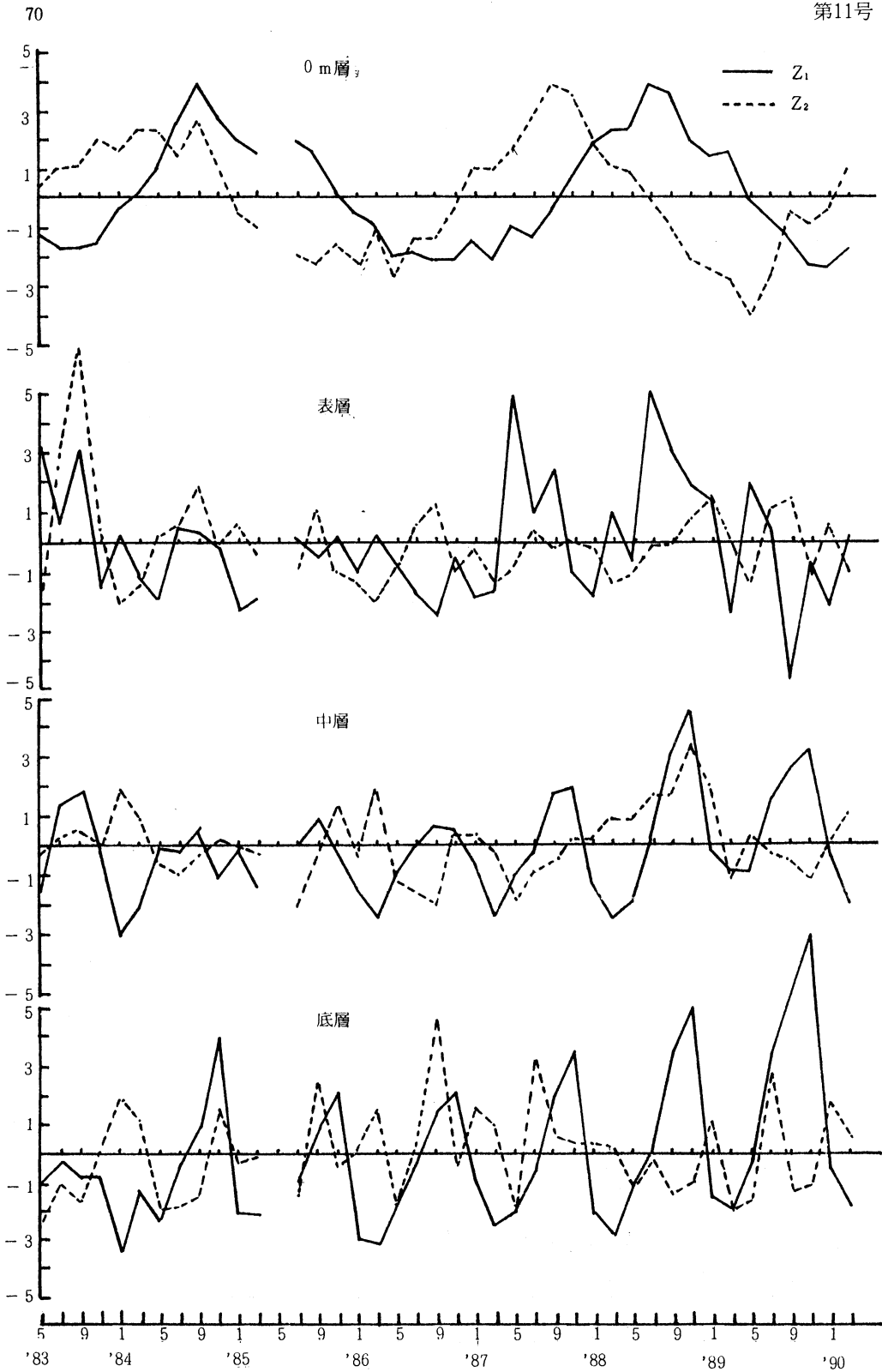


図4 主成分のスコアの変動

みが表現されている。Z₁は湛水直後の1983年と1987年、1988年に高く、光合成が活発に行われたことを示している。Z₁、Z₂共に5～9月にピークを示すことが多いが、冬期にピークを示すこともある。

ウ 中層：有機物の分解と栄養塩の再放出を示す因子Z₁は成層期末期にかけての9～11月をピークに周期的に変動するとともに、経年漸増する傾向にある。沈降、浮遊物質を示すZ₂はZ₁のような周期性は示さないものの1988年の11月を除いてZ₁と逆の変動を示した。

エ 底層：中層でみられた傾向がさらに明確に表現された。すなわち、有機物の分解、栄養塩の再放出を示す因子Z₁は1983年を除いて、毎年11月をピークに規則正しい周期を示し、しかも漸増の傾向がみられる。沈降、浮遊物質を示すZ₂は春～夏にピークを示しこれらが分解してZ₁のピークになると考えられる。従ってZ₁の極大値を示す11月にはZ₂は極小値を示した。さらにつけ加えれば、表層部での活発な有機物生産が行われたあとの沈降物質が降下し、約1か月後に底層に達し²⁾その後の分解と底質からの溶出も加わってZ₁の11月のピークになると考えられる。

表6 流域降水量，回転数

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
総雨量 (mm)	2,158	1,733	2,540	2,254	2,167	1,509	1,848
回転数 (回)	10.9	7.3	11.1	10.7	10.2	5.3	7.5
降雨日数 (日)	131	108	144	127	143	112	123

(4) トレンド検出による水質変化

水質の変動が一定方向の傾向を持つかどうかの傾向変化(トレンド)の検出を行った。結果はトレンド示数(1t)で表7に示した。1t>1または1t<1によりそれぞれ増加、減少のトレンドがあることを示す³⁾。0 m層、表層のNO₂-N、PO₄-Pの減少傾向、表層部のChl-a、SS

の増加傾向がみられるが、透明度には一定の傾向は検出されなかった。底層ではSiO₂-Si、NH₄-N、T-Pなどの栄養塩類や沈殿物、フェオフィチン等の未分解物の増大傾向を示した。逆にDOはわずかに減少傾向を示しており、底層での有機物の分解、栄養塩の放出の増大傾向を裏付けているようである。

表7 トレンド示数 (1t)

	0m層	表層	底層
Tr	-0.87	-0.87	-
WT	-0.63	-0.53	-0.72
SS	0.96	1.18	0.03
DO	-0.87	0.31	-1.61
COD	-0.03	0.46	0.92
SiO ₂ -Si	0.03	0.03	2.22
NO ₂ -N	-3.45	-2.95	-0.74
NO ₃ -N	0.46	0.07	1.57
NH ₄ -N	0.61	1.35	2.89
DIN	0.66	0.35	3.60
DON	1.39	0.42	-2.13
P-N	0.09	-0.57	-0.57
T-N	1.22	0.63	2.43
PO ₄ -P	-7.55	-5.60	-1.83
DOP	0.83	1.15	1.22
P-P	0.55	0.22	0.61
T-P	0.66	-0.22	1.33
Chl-a	0.76	1.11	1.28

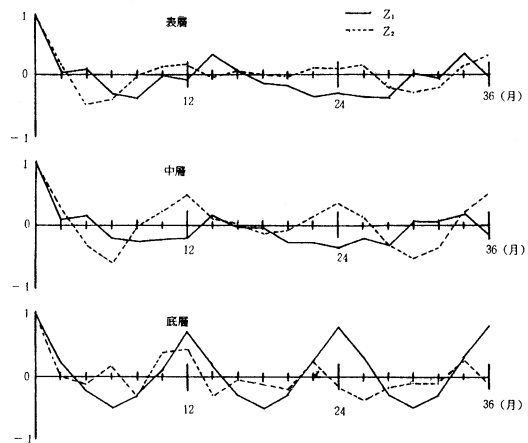


図5 コレログラムによる周期性

(5) コレログラムアナリシスによる周期性の検討
水質変動の周期性を検討するために、主成分スコアを用いてコレログラムアナリシスを行った。計算結果を図5に示す。表層においては顕著な周期性はみられないが、中層の沈降、浮遊物質を示す Z_2 は1年の周期の変動がみられる。さらに底層では栄養塩の因子 Z_1 は中層の Z_2 と同じく1年で明瞭な周期を示しており、成層期と循環期のパターンが繰り返されている。沈降物質の Z_2 も12か月の周期がみられ Z_1 より2か月早い時期にピークを示す周期性がみられた。沈降・分解の時間的關係が周期性にあらわれていると考えられる。

まとめ

1983年に完成した一の坂ダムについて、その湛水直後から水質の変動を観察してきた。調査開始後7年間が経過したので、これまでの水質調査データの整理を行った。

1 流入河川水と比べると流出水はCOD、BO D等の酸素消費性汚濁の進行がみられた。

2 ダム湖水の水質は表層附近では植物プランクトンの光合成とそれに伴うpH、DO、SSの上昇、栄養塩の減少がみられた。中層では死滅植物プランクトン等のSS物質の沈降・分解過程における栄養塩の増大等がみられる。底層では有機物の分解や、底質からの溶出による栄養塩の増大が顕著であった。中、底層の水質は循環期と成層期で大きく異なり一定の周期で変動を繰り返した。

3 主成分分析により、0 m層では第1主成分 Z_1 はダムの環境条件を表わす因子、第2主成分 Z_2 は光合成を表わす因子と解釈され、スコアの変動結果から、流域降雨の影響が推察された。表層

については Z_1 は光合成に関する因子、 Z_2 は栄養塩を示す因子と考えられた。スコアの解析から年間を通して光合成が行われており、冬期にピークを示すこともあった。中層では、 Z_1 は有機物の分解と栄養塩の放出、 Z_2 は沈降物質の因子と考えられた。スコアの変動解析から9月～11月にピークに周期的に変動することがわかった。底層では Z_1 は有機物の分解、栄養塩の溶出、 Z_2 は懸濁物質を示す因子と解釈された。スコアの変動から、 Z_1 は毎年11月にピークを示し、漸増の傾向がみられた。

4 トレンド検出では表層部での透明度、Chl-aなどの顕著な増大傾向はみられなかったが、底層での分解生成物は増大する傾向を示しており、未分解有機物の蓄積も考えられる。

5 コレログラムアナリシスにより表層では周期性はみられなかったが、中、底層での懸濁物質、栄養塩等に1年周期が認められた。

今後は物質循環、集水域と湖水の關係、底層の栄養塩と表層の光合成とのかかわりについて検討していく予定である。

稿を終るにあたり、御校閲頂いた当センター所長田中一成博士に深謝致します。

文 献

- 1) 溝田 哲ほか：山口県衛生公害研究センター業積報告。(11), 83~88 (1990)
- 2) 今富幸也ほか：山口県衛生公害研究センター年報。(31), 77 (1988)
- 3) 半谷高久ほか：水質汚濁研究法。東京、丸善、1976, p.68