

8. 湖山池の水質と植物プランクトンについて

【水質調査第一科】

洞 崎 和 徳 ・ 南 條 吉 之 ・ 福 田 明 彦
九 鬼 貴 弘

1 はじめに

湖山池は鳥取県東部に位置する湖面積6.81km²、平均水深2.8m、塩化物イオン63~590mg/ℓ 平均190mg/ℓ (H2~7中央部)の海跡湖で内水面漁業、農業用水、観光・レクリエーション等の利用がある。閉鎖性水域であるため、周辺の都市化の進行とともに、近年、植物プランクトンが大発生する等汚濁が進行している。

このため、鳥取県では平成3年11月「湖山池水質管理計画」を策定し、県、市、事業者、住民一体となって、水質浄化対策を総合的にかつ計画的に推進しているところであるが、平成7年度の水質は湖山池中央部において化学的酸素要求量(COD)全層75%値で8.6mg/ℓ、全窒素(T-N)上層平均値で0.87mg/ℓ、全磷(T-P)上層平均値で0.065mg/ℓと依然、汚濁している状況である。

近年、多変量解析法を用いて総合的に水質を評価する研究が報告されており^{1)~4)}、今回、平成2年度~7年度の湖山池の水質、植物プランクトンの結果をもとに、多変量解析を行い汚濁要因の検討を行ったので報告する。

2 調査方法

(1) 水質調査

湖山池中央部において、上層、下層の湖水を1回/月採取し、水質分析を行った。湖山池中央部の位置を図1に示した。水質の分析方法は「水質汚濁に係る環境基準について(昭和46年環境庁告示第59号)」等に基づき実施した。

(2) 植物プランクトン調査

湖山池中央部(上層)において湖水を1回/月採取し、植物プランクトンを属まで同定及び計数を行った。

(3) 多変量解析

調査結果を対数変換すると正規分布に近くなる項目については、対数変換後の数値を用いて解析を行った。

水温、pHは原データを用い、その他は対数変換したデータを用いた。



図1 調査地点

3 結果及び考察

(1) 水質調査

主な水質項目の変動をみるため、COD、T-N、T-P、クロロフィルa(Chl-a)の経月変化を図2~図5に示した。これによれば、COD、T-P、Chl-aは各年とも7月~10月にかけて高く、1月~3月にかけて低くなっていたが、T-Nの高くなる時期は概ねCOD等と同様だが、低くなる時期は4、5月頃であった。最高値は平成4年7月の上層値であり、COD34mg/ℓ、T-N5.9mg/ℓ、T-P0.25mg/ℓ、Chl-a460μg/ℓであった。また、上層値、下層値は、一部を除けば、ほぼ同様な変化を示した。

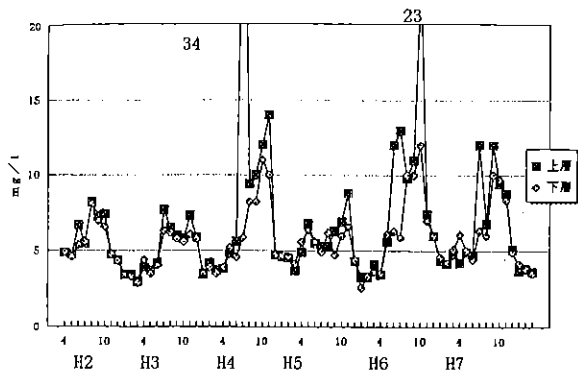


図2 CODの経月変化

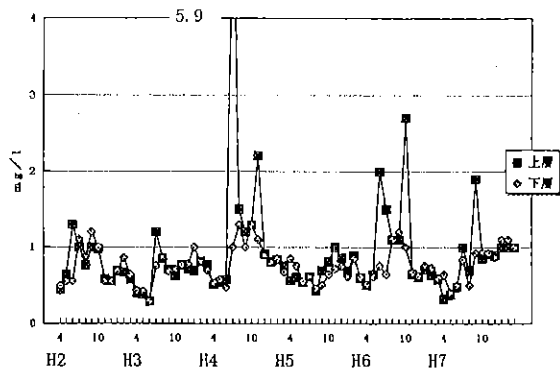


図3 T-Nの経月変化

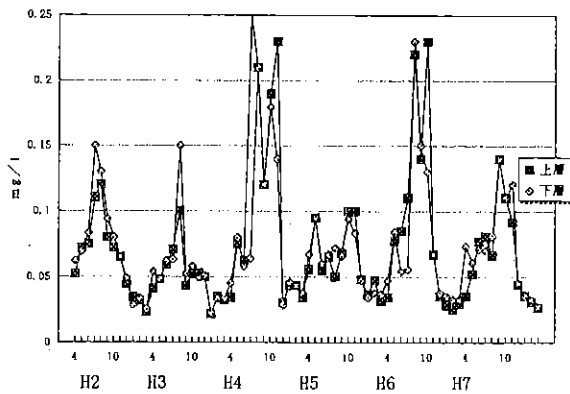


図4 T-Pの経月変化

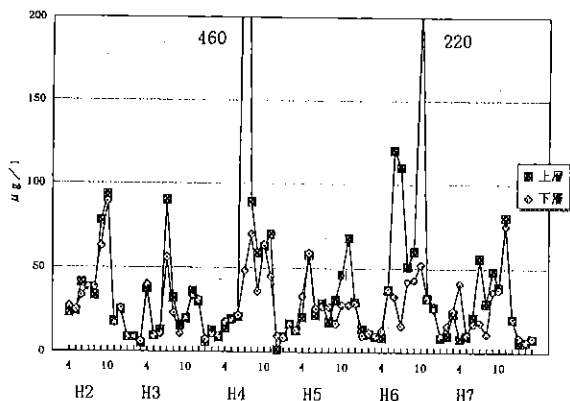


図5 Ch1-aの経月変化

(2) 植物プランクトン調査

植物プランクトン発生量の変動をみるため、藍藻類、珪藻類、緑藻類、鞭毛藻類別の経月変化を図6に示した。これによれば、優占種は概ね6月～12月にかけて、藍藻類であり、その他の月は珪藻類であった。藍藻類は特に7月～10月にかけて大発生することが多いが、1～3月はほとんど発生していない。珪藻類は概ね年間を通じて発生しているが最も多いときでも22,000cells/ml程度であった。緑藻類、鞭毛藻類については各年を通して発生量が少なかった。

次に、藍藻類の中で発生頻度が多い *Anabaena*、*Microcystis* の経月変化を図7に示した。これによれば、概ね *Anabaena*、*Microcystis* のいずれかが藍藻類の中で優占しており、特に、平成4年7月には *Anabaena* が9,500,000cells/mlと大発生し、これが上層のCOD、T-N、T-Pを高濃度にした原因と考えられる。

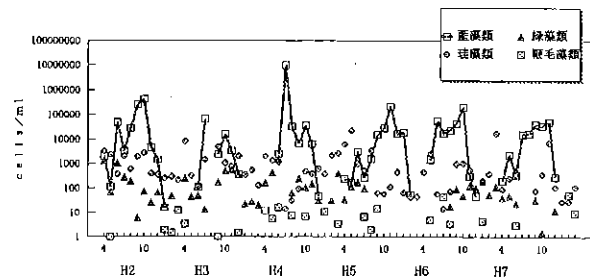


図6 植物プランクトンの経月変化

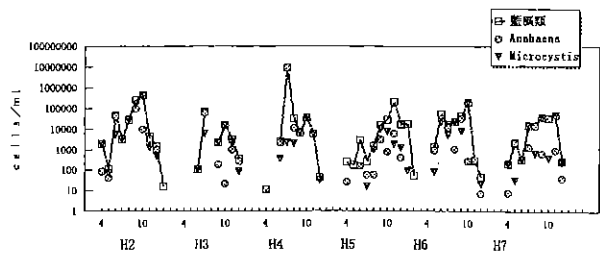


図7 *Anabaena*、*Microcystis* の経月変化

(3) 多変量解析

ア 水質項目間の関係

各水質項目間の関係を検討するため、単相関分析を行い、水質項目間の相関行列を表1に示した。

表1 水質項目間の相関行列

(N=144)

	水温	透明度	pH	DO	COD	SS	T-N	T-P	T-N TP	Cl	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	I-N	PO ₄ -P	Chl-a	D-COD	D-TN	D-TP	
水温	1.00																			
透明度	-0.71	1.00																		
pH	0.59	-0.42	1.00																	
DO	-0.78	0.55	-0.14	1.00																
COD	0.64	-0.75	0.65	-0.30	1.00															
SS	0.72	-0.88	0.42	-0.58	0.72	1.00														
T-N	0.15	-0.34	0.39	0.09	0.67	0.27	1.00													
T-P	0.75	-0.86	0.50	-0.59	0.84	0.83	0.48	1.00												
T-N TP	-0.71	0.68	-0.25	0.72	-0.41	-0.70	0.25	-0.72	1.00											
Cl	-0.68	0.53	-0.34	0.63	-0.37	-0.63	0.10	-0.49	0.62	1.00										
NH ₄ -N	-0.06	0.08	-0.17	-0.20	-0.12	-0.15	0.15	-0.04	0.16	0.17	1.00									
NO ₂ -N	-0.35	0.17	-0.32	0.15	-0.13	-0.22	0.21	-0.18	0.37	0.24	0.45	1.00								
NO ₃ -N	-0.76	0.65	-0.52	0.49	-0.55	-0.66	0.01	-0.61	0.69	0.57	0.35	0.61	1.00							
I-N	-0.65	0.57	-0.48	0.32	-0.50	-0.60	0.09	-0.51	0.64	0.52	0.61	0.63	0.93	1.00						
PO ₄ -P	0.62	-0.46	0.30	-0.67	0.47	0.43	0.26	0.70	-0.57	-0.39	0.13	-0.10	-0.32	-0.20	1.00					
Chl-a	0.60	-0.78	0.60	-0.28	0.84	0.80	0.53	0.79	-0.46	-0.38	-0.12	-0.14	-0.53	-0.48	0.34	1.00				
D-COD	0.57	-0.62	0.51	-0.40	0.86	0.58	0.55	0.74	-0.38	-0.31	0.07	-0.00	-0.40	-0.31	0.60	0.64	1.00			
D-TN	-0.33	0.34	-0.09	0.21	-0.07	-0.40	0.50	-0.19	0.61	0.38	0.53	0.48	0.54	0.68	0.01	-0.22	0.12	1.00		
D-TP	0.71	-0.55	0.41	-0.67	0.56	0.52	0.26	0.78	-0.66	-0.45	0.07	-0.21	-0.50	-0.36	0.94	0.45	0.64	-0.07	1.00	

これによれば、CODは溶存COD (D-COD) [$r=0.86$]、Chl-a [$r=0.84$]、T-P [$r=0.84$] との正の相関が高く、透明度 [$r=-0.75$] との負の相関が高くなっている。また、Chl-aはCODの他浮遊物質 (SS)、T-P、水温との正の相関が高い。

全体的に、植物プランクトンの増殖による影響の大きい項目間に相関が高いといえる。

イ 水質項目19項目による主成分分析

水質の変動を決定している因子を調べるため、水質項目19項目による主成分分析を行い、結果を表2に示した。これによれば、第1主成分の寄与率は49.9%となり、固有値が1以上の第4主成分まで、累積寄与率は83.4%となっている。因子負荷量をみると、第1主成分では、T-P、水温、SS、COD、Chl-aの変量が正で大きく、透明度、硝酸態窒素 (NO₃-N) の変量が負で大きかつ

た。第1主成分は水温の影響を受けた植物プランクトンの増殖による汚濁、内部生産による汚濁に関係する因子と考えられる。第2主成分は溶存態全窒素 (D-TN)、T-N、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N) の変量が正で大きく、溶存態窒素の挙動に関係する因子と考えられる。これは陸域からの流入等が考えられるが、流入河川における各態窒素等の情報がないため、今後、流入河川における調査が必要であろう。次に、第3主成分はNH₄-N、りん酸態りん (PO₄-P) の変量が正で大きく、溶存酸素量 (DO) の変量が負で大きくなっており、底質から溶出する栄養塩に関係する因子と考えられる。第4主成分は因子が分散して意味づけが困難であった。

主成分分析の結果、水質の変動は内部生産による汚濁に関係する因子、溶存態窒素の挙動に関係する因子、底質から溶出する栄養塩に関係する因

表2 主成分分析結果 (19項目)

項目	Z 1		Z 2		Z 3		Z 4	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
水 温	0.291	0.896	-0.025	-0.045	0.116	0.166	0.097	0.099
透 明 度	-0.282	-0.868	-0.051	-0.093	0.043	0.062	0.333	0.343
pH	0.198	0.611	0.066	0.118	-0.293	-0.419	0.333	0.343
D O	-0.219	-0.674	0.009	0.016	-0.452	-0.647	0.046	0.047
C O D	0.264	0.814	0.208	0.376	-0.260	-0.371	-0.025	-0.026
S S	0.284	0.873	0.001	0.002	-0.041	-0.059	-0.362	-0.373
T-N	0.091	0.280	0.432	0.779	-0.315	-0.451	0.048	0.049
T-P	0.299	0.920	0.143	0.258	0.005	0.006	-0.069	-0.071
TN/TP	-0.259	-0.797	0.183	0.329	-0.253	-0.362	0.114	0.117
C l	-0.218	-0.671	0.136	0.245	-0.170	-0.244	0.145	0.149
NH ₄ -N	-0.059	-0.182	0.333	0.600	0.356	0.509	-0.110	-0.114
NO ₂ -N	-0.122	-0.374	0.329	0.593	0.124	0.178	-0.463	-0.477
NO ₃ -N	-0.263	-0.811	0.220	0.397	0.089	0.127	-0.108	-0.112
I-N	-0.237	-0.729	0.305	0.549	0.196	0.281	-0.082	-0.084
PO ₄ -P	0.215	0.661	0.173	0.312	0.324	0.464	0.338	0.348
Chl-a	0.253	0.780	0.132	0.237	-0.260	-0.372	-0.249	-0.257
D-COD	0.232	0.714	0.275	0.495	-0.068	-0.098	0.083	0.086
D-TN	-0.127	-0.390	0.436	0.787	0.029	0.042	0.223	0.229
D-TP	0.250	0.770	0.128	0.231	0.256	0.367	0.341	0.351
固有値	9.481		3.251		2.046		1.061	
寄与率	49.9%		17.1%		10.8%		5.6%	
累積寄与率	49.9%		67.0%		77.8%		83.4%	

表3 主成分分析結果 (5項目)

項目	Z 1		Z 2	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
C O D	0.487	0.945	0.140	0.124
S S	0.440	0.853	-0.500	-0.443
T-N	0.337	0.655	0.831	0.736
T-P	0.477	0.925	-0.184	-0.163
Chl-a	0.477	0.926	-0.086	-0.076
固有値	3.763		0.786	
寄与率	75.3%		15.7%	
累積寄与率	75.3%		91.0%	

子によると考えられる。

ウ 水質項目5項目による主成分分析

次に19項目の解析で固有値の大きい第1、第2主成分のなかから、因子負荷量が大きく、水質汚濁の主要項目であるCOD、SS、T-N、T-P、Chl-aの5項目を選び、再度主成分分析を行った。

固有値、寄与率及び因子負荷量を表3に示した。第2主成分までの累積寄与率は91.0%となっている。第1主成分は内部生産による水質汚濁の因子、第2主成分は窒素の因子と考えられる。

次にそれら第1主成分Z1、第2主成分Z2の主成分得点の経月変化を図8に示した。さらにZ1及びZ2の年度平均値を求め、二次元グラフとして図9に示した。

なお、Z1、Z2は各項目ごとに、〔固有ベク

トル×(測定値-平均値)／標準偏差〕の式により算出した。

Z1(内部生産による水質汚濁の因子)の経月変化をみると各年とも概ね7月~10月にかけて汚濁の程度が高く、1~3月にかけて汚濁の程度が低くなっている。平成4年7月、平成6年10月が最も汚濁していた。Z2(窒素の因子)では各年

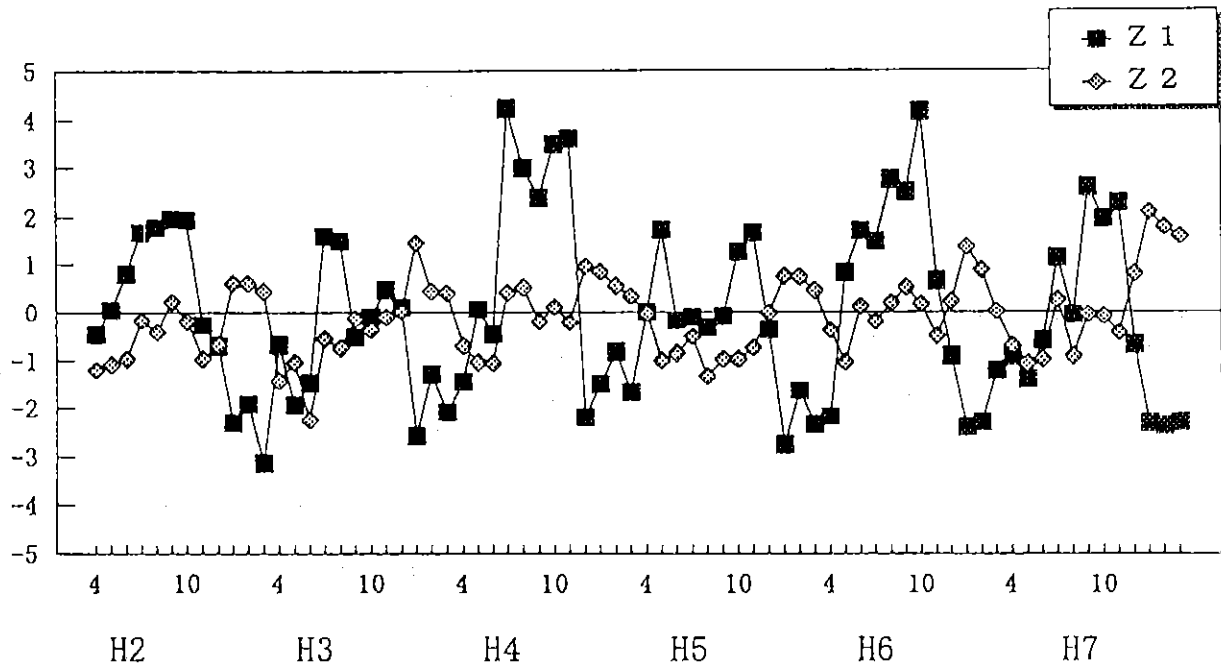


図8 Z1、Z2の経月変化

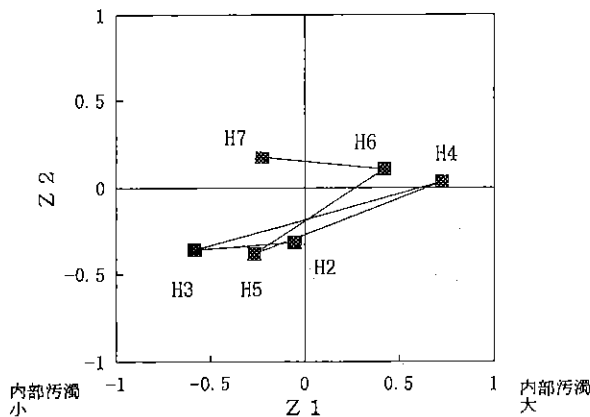


図9 Z1、Z2の経年変化

とも1月～3月が高くなっている。

また、Z1の経年変化をみると内部汚濁の程度が最も高い年度は平成4年度であり、以下6、2、7、5、3年度となっている。

エ 植物プランクトンとCh1-a等との関係

ア～ウの解析により植物プランクトンの増殖による水質汚濁が大きな因子となっていることから、植物プランクトンとCh1-a等との関係を検討するため、単相関分析を行い、植物プランクトンと上層のCh1-a、COD、水温との相関行列を表4に示した。これによれば、藍藻類はCh1-a、COD、水温と正の相関が高い（ $r=0.7$ 以上）が、他の藻類はCh1-a等との相関は低かった。藍藻類の発生量は図6からもわかるように湖水の

水温の影響を強く受けていると考えられる⁵⁾。藍藻類の内、*Anabaena*、*Microcystis*とCh1-a等との正の相関は同程度高かった。

次に、藍藻類と上層のCh1-a、CODとの関係は、図10、11、次式のとおりであった。

$$\log \{ \text{Ch1-a} (\mu\text{g/l}) \} = 0.17 \times \log \{ \text{藍藻類} (\text{cells/ml}) \} + 0.94 \quad (r=0.78, n=71)$$

$$\log \{ \text{COD} (\text{mg/l}) \} = 0.083 \times \log \{ \text{藍藻類} (\text{cells/ml}) \} + 0.55 \quad (r=0.77, n=71)$$

これらのことから、植物プランクトンの内、藍藻類 (*Anabaena*、*Microcystis*) の発生量がCh1-a、COD等水質に大きく寄与していると考えられる。

4 まとめ

湖山池の水質汚濁の要因を検討するため、水質、植物プランクトン項目の経月変化、単相関分析、主成分分析を行い以下の結果を得た。

(1) 湖山池の水質汚濁は内部生産による汚濁、溶存態窒素の挙動、底質からの栄養塩の溶出が関係すると考えられる。

(2) 水質汚濁に係る主要5項目の主成分分析を行い第1主成分Z1（内部生産による水質汚濁の因子）の経月変化をみると、7月～10月にかけて汚濁の程度が高くなり、1月～3月にかけて汚濁

表4 植物プランクトンと Ch1-a 等との相関行列

(N=71)

	水温	COD	Ch1-a	藍藻類	珪藻類	緑藻類	鞭毛藻類	Anabaena	Microcystis
水温	1.00								
COD	0.65	1.00							
Ch1-a	0.65	0.87	1.00						
藍藻類	0.75	0.77	0.78	1.00					
珪藻類	-0.09	-0.19	-0.01	-0.13	1.00				
緑藻類	-0.07	-0.03	-0.01	-0.08	0.52	1.00			
鞭毛藻類	-0.01	-0.09	-0.10	-0.20	-0.11	-0.10	1.00		
Anabaena	0.63	0.63	0.68	0.78	-0.18	-0.17	-0.09	1.00	
Microcystis	0.73	0.72	0.70	0.89	-0.11	-0.02	-0.14	0.63	1.00

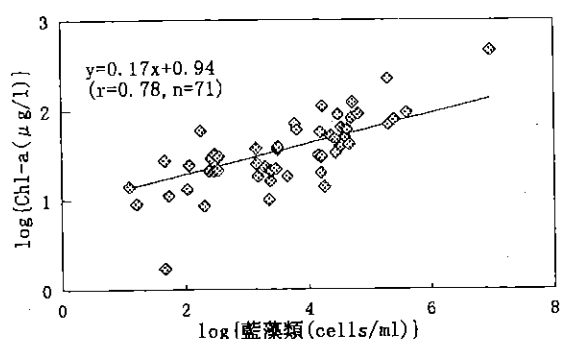


図10 藍藻類と Ch1-a の関係

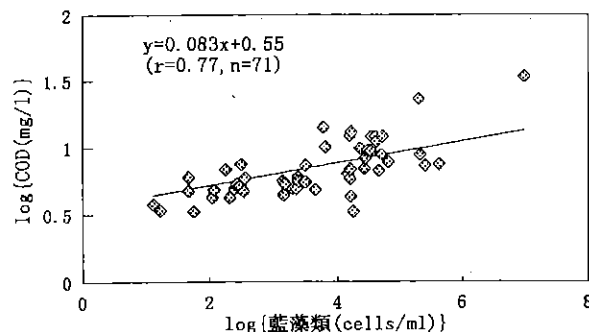


図11 藍藻類とCODの関係

の程度が低くなっている。

また、Z1の経年変化をみると、内部生産による汚濁の程度が最も高い年度は平成4年度であり、以下6、2、7、5、3年度となっている。

(3) 湖山池では植物プランクトンの内、藍藻類 (*Anabaena Microcystis*) の発生量が Ch1-a、COD等水質に大きく寄与していると考えられる。

藍藻類と上層の Ch1-a、CODとの関係式を求めると、次式のとおりであった。

$$\log \{ \text{Ch1-a} (\mu\text{g/l}) \} = 0.17 \times \log \{ \text{藍藻類} (\text{cells/ml}) \} + 0.94 \quad (r=0.78, n=71)$$

$$\log \{ \text{COD} (\text{mg/l}) \} = 0.083 \times \log \{ \text{藍藻類} (\text{cells/ml}) \} + 0.55 \quad (r=0.77, n=71)$$

文 献

1) 吉見 洋、岡 敬一、井口 潔、関野廣子：相模水系の水質解析について、水質汚濁研究、5(4)、193~200(1982)

2) 近藤邦男、清家 泰、伊達善夫：主成分分析を用いた汽水中海下層の水質解析、水質汚濁研

究、8(12)、808~815(1985)

3) 安田満夫、山内佳見、田中賢之介、笈 一郎、坂田裕子：湖沼の汚濁機構の調査、鳥取県衛生研究所報、26、26~43(1986)

4) 稲田敏之：主成分分析による牛久沼水質の評価、茨城公技研報、4、53~58(1992)

5) 南條吉之、田中賢之介、福田明彦、宮原典正：アオコの増殖と水温の関係、鳥取県衛生研究所報、33、52~54(1993)