

湖沼水質の統計学的研究 (I)

長野県内湖沼水質への多変量解析の適用

中路 勉・港 和行・橋本 誠

信州大学農学部 環境保全化学研究室

I はじめに

水質調査結果を数値的に取りまとめ、如何に表現するかについては種々困難な面を有している。それに対する一つの試みとして筆者等は長野県内天竜川の水質に対して、多変量解析の手法を使用して解析した結果について先に報告した¹⁾。その際に使用したとほぼ同様の手法を長野県内湖沼の水質調査結果に適用し、一応の成果を得たので報告する。

II 数値の入手および変量の選択

本研究では長野県内の主要な湖沼として、諏訪湖・木崎湖・野尻湖・蓼科湖・白樺湖を取り上げ、長野県が実施した公共用水域水質測定結果²⁾(昭和48~52年度)記載の数値を使用した。なお測定地点は諏訪湖では7か所、野尻湖では2か所であるが、他は全て1か所であり、これら全地点の測定値を使用した。変量としては前報と同様に生活環境項目より、水温・pH・DO(溶存酸素量)・BOD(生物化学的酸素要求量)・COD(化学的酸素要求量)・SS(浮遊物質量)の6変量を使用した。

III 解析方法

解析方法はほぼ前報と同様であるが、まず相関分析を行い相関係数・偏相関係数・重相関係数を求めた。次に主成分分析を行い、第1~第3主成分の固有ベクトルおよび主成分値を求め、一定期間内の季節変動を求めた。更に因子分析を行い、因子負荷量およびバリマックス回転を行った後の因子負荷量・因子得点・因子評点を求めた。

以上の数値計算にはほぼ前報記載のプログラムを使用し、本学部データ・ターミナルよりリモートパッチにより東京大学大型計算機センターを利用して行った。

IV 結果および考察

1 水質概要

全測定地点を通じての5か年間の水質変量の最大値・最小値・平均値・標準偏差・変動係

第1表 長野県内湖沼の水質(昭和48年4月~53年3月)

湖沼名		水温°C	pH	DO mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l
諏訪湖	最大値	34.0	10.7	22.1	24.3	65.8	165.0
	最小値	0.5	6.7	3.5	0.4	1.2	0.0
	平均値	15.1	8.7	11.5	4.6	8.1	17.3
	標準偏差	8.20	0.96	2.82	2.23	6.63	18.31
	変動係数	54.3	11.0	24.5	48.5	81.9	105.8
木崎湖	最大値	29.0	10.1	13.6	4.1	5.0	25.0
	最小値	0.1	6.9	6.1	0.6	0.6	1.0
	平均値	12.9	7.7	10.0	1.9	2.1	6.7
	標準偏差	8.58	0.70	1.38	0.75	0.98	5.67
	変動係数	66.5	9.1	13.8	39.5	46.7	84.6
野尻湖 (水穴)	最大値	27.0	7.8	12.3	2.3	4.1	11.0
	最小値	-0.6	6.8	6.5	0.2	0.6	0.0
	平均値	12.1	7.2	9.2	1.1	1.7	3.7
	標準偏差	8.36	0.22	1.50	0.44	0.79	2.27
	変動係数	69.1	3.0	16.3	40.0	46.5	61.4
野尻湖 (弁天島)	最大値	28.0	8.4	12.0	3.1	5.9	16.0
	最小値	0.0	6.9	6.9	0.1	0.4	0.0
	平均値	12.2	7.6	9.6	1.1	1.9	3.1
	標準偏差	8.29	0.37	1.53	0.64	0.90	2.69
	変動係数	68.0	4.9	15.9	58.2	47.4	86.8
蓼科湖	最大値	25.5	9.3	17.1	6.5	5.8	11.0
	最小値	2.4	6.7	7.3	0.7	0.6	0.0
	平均値	10.6	8.1	11.9	2.4	2.1	4.4
	標準偏差	5.15	0.71	2.21	1.15	1.01	2.43
	変動係数	48.6	11.4	18.6	47.9	48.1	55.2
白樺湖	最大湖	25.0	9.5	12.7	13.9	9.9	22.0
	最小値	2.8	6.6	1.7	0.5	1.2	3.5
	平均値	11.1	7.5	8.3	3.1	4.0	6.1
	標準偏差	6.13	0.78	2.26	1.92	1.94	4.09
	変動係数	55.2	10.4	27.2	61.9	48.5	67.0
Total*	最大値	29.0	10.1	17.1	13.9	9.9	25.0
	最小値	-0.6	6.6	1.7	0.1	0.4	0.0
	平均値	11.7	7.7	9.8	1.9	2.4	4.8
	標準偏差	7.43	0.66	2.17	1.36	1.44	3.89
	変動係数	63.5	8.5	22.1	71.6	60.0	81.0

*Totalは木崎湖, 野尻湖, 蓼科湖, 白樺湖のデータをプールして計算

第2表 相関係数行列（相関係数，重相関係数，偏相関係数）

湖沼名		水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
諏訪湖 (n=379)	水 温	0.795	0.602	0.028	0.037	0.446	0.295
	pH	0.720	0.878	0.648	0.314	0.526	0.433
	DO	-0.594	0.746	0.816	0.415	0.379	0.277
	BOD	-0.076	-0.014	0.212	0.573	0.398	0.480
	COD	0.318	-0.072	0.239	0.051	0.779	0.707
	SS	-0.128	0.188	-0.198	0.314	0.588	0.753
木崎湖 (n=60)	水 温	0.818	0.526	-0.631	0.182	0.543	0.050
	pH	0.381	0.688	-0.136	0.179	0.596	-0.048
	DOB	-0.696	0.255	0.750	0.223	-0.236	-0.105
	DO	0.332	-0.101	0.442	0.508	0.274	0.080
	COD	0.212	0.444	-0.019	0.165	0.696	0.193
	SS	-0.082	-0.160	-0.112	0.080	0.249	0.302
野尻湖 (水穴) (n=60)	水 温	0.941	0.668	-0.905	-0.480	0.047	0.351
	pH	0.552	0.719	-0.521	-0.301	-0.136	0.202
	DO	-0.852	0.276	0.923	0.541	-0.080	-0.258
	BOD	0.094	-0.078	0.307	0.558	-0.083	-0.229
	COD	0.120	-0.232	0.024	-0.082	0.297	-0.134
	SS	0.310	-0.135	0.198	-0.140	-0.183	0.437
野尻湖 (弁天島) (n=60)	水 温	0.905	0.566	-0.882	-0.246	-0.023	-0.033
	pH	0.311	0.640	-0.465	0.092	-0.113	0.017
	DO	-0.826	-0.049	0.904	0.343	-0.058	0.141
	BOD	0.038	0.335	0.302	0.580	0.277	0.234
	COD	-0.133	-0.225	-0.725	0.380	0.435	0.068
	SS	0.178	-0.016	0.191	0.148	0.049	0.301
蓼科湖 (n=60)	水 温	0.551	-0.029	-0.335	0.016	-0.026	-0.033
	pH	0.439	0.894	0.801	0.486	0.426	0.334
	DO	-0.549	0.824	0.878	0.350	0.186	0.264
	BOD	0.011	0.273	-0.031	0.504	0.280	0.082
	COD	-0.200	0.428	-0.343	0.097	0.561	0.308
	SS	0.008	0.114	0.042	-0.116	0.206	0.399
白樺湖 (n=59)	水 温	0.720	0.552	-0.010	0.284	0.577	0.299
	pH	0.508	0.790	0.532	0.352	0.520	0.409
	DO	-0.381	0.614	0.704	0.368	0.170	0.261
	BOD	0.005	-0.152	0.355	0.697	0.631	0.328
	COD	0.298	0.213	-0.207	0.566	0.804	0.512
	SS	-0.023	0.093	0.114	-0.049	0.339	0.551
Total (n=297)	水 温	0.724	0.327	-0.435	-0.009	0.186	0.112
	pH	0.628	0.761	0.428	0.327	0.285	0.161
	DO	-0.658	0.679	0.784	0.216	-0.129	0.024
	BOD	-0.029	0.045	0.207	0.654	0.580	0.260
	COD	-0.106	0.274	-0.368	0.557	0.690	0.313
	SS	0.083	-0.014	0.061	0.082	0.193	0.341

数は第1表の如くである。

これによると、DO・BOD・COD・SSの数値につき諏訪湖では特に高い数値が見られるが、これは富栄養化の結果である。従って主成分分析・因子分析において諏訪湖を含めて、全ての湖沼を同一に取扱うことは不可能であるので、諏訪湖と他の湖沼とは別個に取扱うこととし、諏訪湖を除いた、木崎湖・野尻湖・蓼科湖・白樺湖の4湖沼の数値を全部プールしたものを Total と表示し、それをこれ等4湖沼の主成分分析および因子分析に使用した。

2 相関分析

相関係数・偏相関係数・重相関係数の計算値を相関行列表にして第2表に示した。この表の右上部に相関係数を、左下部に偏相関係数を、対角線上に重相関係数を示してある。

これによると、諏訪湖では水温—pH 間・pH—DO 間・COD—SS 間には、相関係数・偏相関係数ともに高い値を示している。pH—COD 間には相関係数としては高い値を示しているが、偏相関係数は低い値となっている。また水温—DO 間には相関係数としては極めて低い値を示しているに過ぎないが、偏相関係数は負の高い値を示している。重相関係数については水温・pH・DO・COD・SS が高い値を示している。

木崎湖および野尻湖の場合には水温—DO 間に相関係数・偏相関係数ともに負の高い値を示しているが、蓼科湖および白樺湖では相関係数の値が低くなっている。

以上の点からも諏訪湖の富栄養化が最も甚しく、木崎湖・野尻湖より蓼科湖・白樺湖が富栄養化していることを示している。

3 固有ベクトル

固有ベクトルを算出した結果を第3表に表示した。これによれば、諏訪湖の第1主成分の固有ベクトルは全変量について大きな差がないので、総合的な汚濁を示すものと思われる。第2主成分の固有ベクトルは水温・DO・BOD に対して大きな値を、しかも水温に対しては負の値を示しているので、これは自然的要因と BOD を表わす指標であろう。第3主成分の固有ベクトルは pH・DO・SS に対して高い値を、pH・DO に対しては負の値となっている。

木崎湖および野尻湖の第1主成分の固有ベクトルは水温・pH・DO に対して大きな値で、DO に対しては負の値を示しているので自然的要因による影響を示すものと思われる。蓼科湖および白樺湖の第1主成分の固有ベクトルの値は諏訪湖のものに近ずき、総合的な汚濁を示す指標になりつつあると思われる。

またどの湖沼の場合にも累積寄与率は第2主成分までで60%以上、第3主成分までで75%以上になっている。

4 主成分値時系列分析

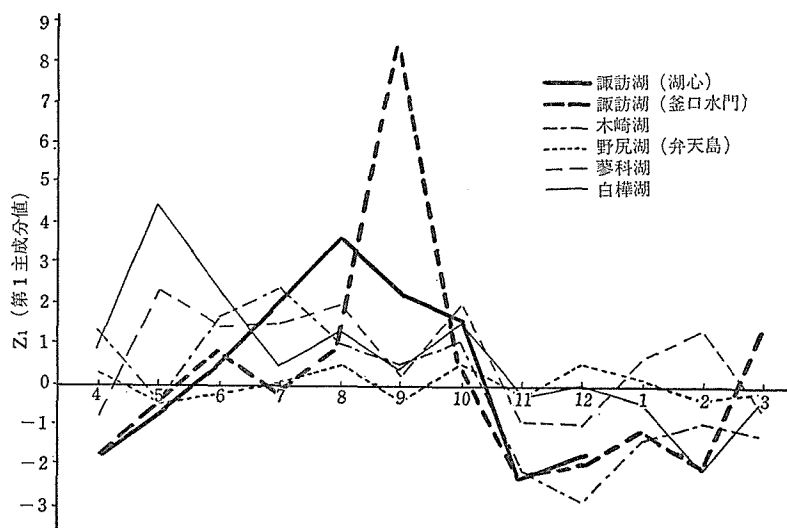
水質変量を $N(0, 1)$ に規準化した後、固有ベクトルを使用して各主成分値を計算した。この場合諏訪湖の測定点については諏訪湖の全測定値をプールしたものを、諏訪湖以外の湖沼についてはこれら4湖沼の全測定値をプールしたもの (Total) を使用した。

この様にして計算した主成分値について時系列分析を行ったが、測定点のうちの代表的な

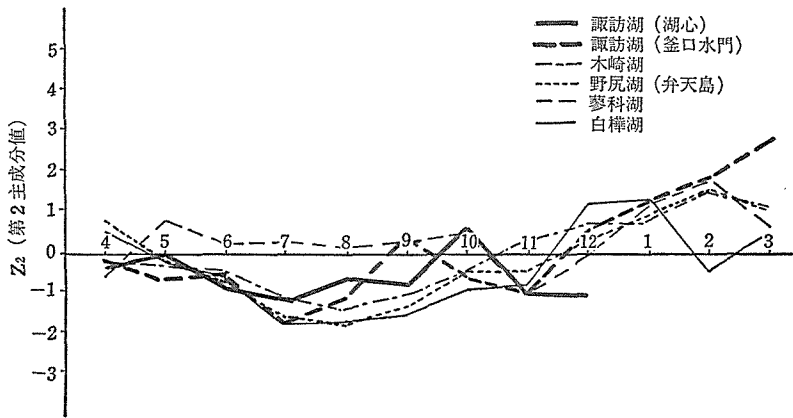
第3表 固有ベクトル

湖沼名	主成分	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS	寄与率 %
諏訪湖	1	0.32	0.47	0.37	0.35	0.48	0.44	51.0
	2	-0.72	-0.18	0.41	0.52	-0.09	0.06	19.0 (70.0)
	3	-0.05	-0.46	-0.60	0.24	0.31	0.52	15.0 (85.0)
木崎湖	1	0.56	0.48	-0.36	0.18	0.52	0.11	40.5
	2	-0.19	0.20	0.64	0.69	0.21	0.03	21.6 (62.1)
	3	-0.08	-0.31	-0.09	0.10	0.07	0.94	17.4 (79.5)
野尻湖 (水穴)	1	0.55	0.43	-0.53	-0.39	0.00	0.27	48.4
	2	0.05	-0.19	-0.15	-0.21	0.86	-0.40	18.8 (67.2)
	3	-0.12	-0.45	0.10	-0.24	0.24	0.81	13.9 (81.1)
野尻湖 (弁天島)	1	0.60	0.43	-0.60	-0.26	-0.08	-0.12	39.9
	2	0.14	0.33	-0.05	0.63	0.48	0.49	22.6 (62.5)
	3	0.02	-0.34	-0.20	-0.07	0.78	-0.48	16.5 (79.0)
蓼科湖	1	-0.14	0.57	0.52	0.39	0.36	0.31	41.9
	2	0.82	0.05	-0.36	0.21	0.36	0.18	18.9 (60.8)
	3	-0.20	-0.15	-0.13	-0.55	0.30	0.74	16.0 (76.8)
白樺湖	1	0.39	0.46	0.29	0.41	0.49	0.38	49.8
	2	-0.53	0.15	0.78	0.12	-0.28	-0.00	18.3 (68.1)
	3	-0.40	-0.54	-0.17	0.64	0.28	0.15	13.0 (81.1)
Total	1	0.20	0.47	0.16	0.54	0.53	0.37	35.0
	2	-0.60	0.17	0.73	0.14	-0.2	-0.10	25.4 (60.4)
	3	-0.53	-0.63	-0.21	0.30	0.32	0.29	17.4 (77.8)

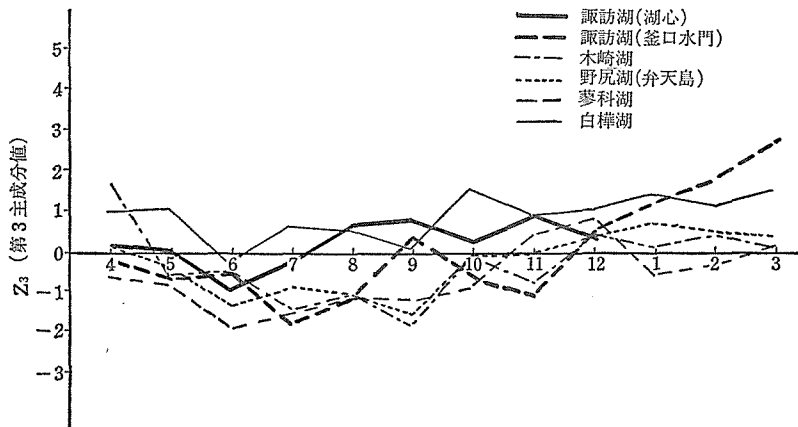
() 内は累積寄与率 (%)



第1図 第1主成分値の季節変動（昭和52年4月～53年3月）



第2図 第2主成分値の季節変動(昭和52年4月~53年3月)



第3図 第3主成分値の季節変動(昭和52年4月~53年3月)

ものにつき昭和52年度内の季節変動を示すと第1図~第3図の如くである。

第1主成分値については諏訪湖では8~9月に正のピークが冬期に負のピークが現われ、野尻湖で変動が少ないことを除けば、その他の3湖沼では春夏期に正に、秋冬期に負となる傾向が見られる。

第2・第3主成分値については顕著な季節変動は認められない。

5 因子負荷量

因子負荷量を求めた結果を第4表に示した。諏訪湖では第1因子に対して全変量について正の、第2因子に対して DO・BOD について正の、水温について負の、第3因子に対して SS について正の、pH・DO に対して負の大きな負荷量を示している。

木崎湖および野尻湖では第1因子に対して水温・pH について正の、DO について負の、第2因子に対して BOD または COD について正の大きな負荷量を示している。

第4表 因子負荷量

湖沼名	因子	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
諏訪湖	1	0.55	0.83	0.65	0.61	0.83	0.77
	2	-0.77	-0.20	0.44	0.56	-0.10	0.06
	3	-0.05	-0.44	-0.57	0.22	0.29	0.50
木崎湖	1	0.88	0.75	-0.56	0.29	0.82	0.17
	2	-0.21	0.23	0.73	0.78	0.24	0.03
	3	-0.08	-0.32	-0.09	0.10	0.07	0.96
野尻湖 (水穴)	1	0.94	0.74	-0.90	-0.67	0.01	0.46
	2	0.05	-0.20	-0.16	-0.22	0.91	0.42
	3	-0.11	-0.41	0.09	-0.22	0.22	0.74
野尻湖 (弁天島)	1	0.94	0.67	-0.93	-0.40	-0.12	-0.18
	2	0.16	0.38	-0.06	0.74	0.56	0.57
	3	0.02	-0.34	-0.20	-0.07	0.78	-0.48
蓼科湖	1	-0.21	0.91	0.83	0.61	0.58	0.50
	2	0.87	0.05	-0.38	0.22	0.38	0.19
	3	-0.20	-0.15	-0.13	-0.54	0.30	0.71
白樺湖	1	0.67	0.80	0.50	0.71	0.84	0.66
	2	-0.56	0.15	0.82	0.12	-0.29	-0.00
	3	-0.35	-0.48	-0.15	0.57	0.25	0.13
Total	1	0.29	0.69	0.23	0.78	0.77	0.54
	2	-0.74	0.21	0.91	0.17	-0.26	-0.12
	3	-0.54	-0.65	-0.22	0.31	0.33	0.29

蓼科湖および白樺湖では第1因子に対して全般的に正の大きな負荷量を示している。

これによると諏訪湖では第1因子は全般的汚濁が、木崎湖および野尻湖では自然条件の影響が第1因子に、有機汚濁が第2、第3因子に現れている。蓼科湖および白樺湖では有機汚濁が第1因子に現れ、諏訪湖について富栄養化が進行していることが分かる。

6 回転後の因子負荷量

因子負荷量に規準バリマックス法を適用して回転後の因子負荷量を計算して第5表に示した。

諏訪湖では第1因子はSS、第2因子は水温、第3因子はDOに、木崎湖では第1因子はpH、第2因子はDO、第3因子はSSに、野尻湖では第1因子は水温とDO、第2因子はCODまたはBOD、第3因子はSSまたはCODに対応している。

蓼科湖では第1因子はpHおよびDO、第2因子は水温、第3因子はSSに、白樺湖では第1因子は水温、第2因子はDO、第3因子はBODに対応している。

第5表 回転後の因子負荷量

湖沼名	因子	水温	pH	DO	BOD	COD	SS
諏訪湖	1	0.11	0.19	0.09	0.21	0.38	0.90
	2	-0.97	-0.50	0.01	0.00	-0.26	-0.14
	3	0.00	-0.55	-0.96	-0.20	-0.20	-0.11
木崎湖	1	0.29	0.93	-0.04	0.07	0.31	-0.03
	2	-0.45	-0.05	0.95	0.12	-0.12	-0.05
	3	0.01	-0.05	-0.06	0.04	0.11	0.99
野尻湖 (水穴)	1	0.86	0.34	-0.93	-0.28	0.05	0.15
	3	0.04	-0.09	-0.05	-0.05	0.99	-0.07
	2	0.19	0.07	-0.09	-0.10	-0.07	0.98
野尻湖 (弁天島)	1	0.93	0.34	-0.93	-0.19	0.03	-0.04
	2	-0.10	0.09	0.19	0.96	0.14	0.11
	3	-0.02	-0.08	-0.07	0.15	0.99	0.03
蓼科湖	1	-0.11	0.87	0.94	0.23	0.14	0.16
	2	0.99	0.06	-0.23	0.02	-0.01	-0.01
	3	-0.01	0.16	0.11	0.01	0.15	0.98
白樺湖	1	0.93	0.32	-0.05	0.11	0.31	0.12
	2	-0.05	0.33	0.95	0.18	0.03	0.11
	3	0.11	0.12	0.17	0.93	0.37	0.13
Total	1	-0.02	0.14	0.11	0.93	0.30	0.10
	2	-0.95	-0.21	0.27	0.02	-0.08	-0.05
	3	-0.19	-0.92	-0.27	-0.13	-0.13	-0.06

7 F因子得点および因子評点

各測定点の各変量の5か年間の平均値を諏訪湖とその他の4湖沼に区別して、規準化したものに、第5表の諏訪湖およびその他の4湖沼 (Total) に対応する回転後の因子負荷量のうち絶対値が0.25以上のものを使用し、下記の数式に従って、F因子得点を計算した結果を第6表に示した。

諏訪湖内測定点に対しては

第1因子得点 $=0.90 \times (SS) + 0.38 \times (COD)$ 有機性浮遊物質得点

第2因子得点 $= -0.97 \times (\text{水温}) - 0.50 \times (\text{pH}) - 0.26 \times (COD)$ 自然状態得点

第3因子得点 $= -0.96 \times (DO) - 0.55 \times (\text{pH})$ DO得点

その他の4湖沼の測定点に対しては

第1因子得点 $= 0.93 \times (BOD) + 0.30 \times (COD)$ 有機汚濁得点

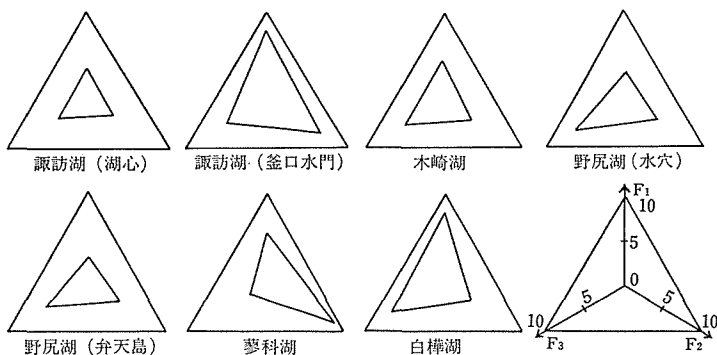
第2因子得点 $= -0.95 \times (\text{水温}) + 0.27 \times (DO)$ 自然状態得点

第3因子得点 $= -0.92 \times (\text{pH}) - 0.27 \times (DO)$ pH得点

これらF因子得点を各因子ごとに $N(0, 1)$ に規準化したものを同時に第6表に示した。

第6表 F 因子得点

湖沼名 (地点)	F 因子得点			規準化した F 因子得点			
	1	2	3	1	2	3	
諏訪湖	(大沢川)	0.02	-0.20	-0.16	0.50	-1.11	-1.30
	(宮川)	-0.07	-0.09	-0.02	-1.00	-0.50	-0.23
	(初島)	0.03	-0.12	0.00	0.67	-0.67	-0.08
	(湖心)	-0.05	-0.19	-0.09	-0.67	-1.06	-0.77
	(大堀川)	0.03	0.13	0.06	0.67	0.72	0.38
	(塚間川)	-0.08	0.21	0.29	-1.17	1.17	2.15
	(釜口水門)	0.08	0.25	0.02	1.50	1.39	0.08
平均値	-0.01	0.00	0.01				
標準偏差	0.06	0.18	0.13				
木崎湖	-0.06	-0.13	-0.02	-0.09	-0.57	-0.20	
野尻湖 (水穴)	-0.07	-0.12	0.64	-1.03	-0.52	1.10	
〃 (弁天島)	-0.65	-0.09	0.16	-0.96	-0.38	0.16	
蓼科湖	0.28	0.04	-0.83	0.41	2.00	-1.76	
白樺湖	1.15	-0.11	0.46	1.69	-0.48	0.75	
平均値	0.00	-0.01	0.08				
標準偏差	0.68	0.21	0.51				



第4図 F 因子評点三角パターン

ここに得られたF因子得点に評点を対応させてF因子評点を得たものを三角図表で表示すると第4図の如くである。

これによると諏訪湖では湖心よりも湖水の流出口である釜口水門で有機汚濁が甚しいことを、蓼科湖および白樺湖では木崎湖および野尻湖より汚濁が進んでいることが明らかである。尚諏訪湖とそれ以外の4湖沼では基準にとった数値が異なるので直接比較することは出来ない。

8 総合考察

以上の結果を総合して考察すると次のようになる。

- 1 諏訪湖の汚濁は他の4湖沼とは比較にならないほど進行している。
- 2 主成分分析の結果により、白樺湖は諏訪湖とよく似た汚濁進行の様相を示しており、その汚濁機構は相類似したものと想われる。
- 3 蓼科湖はpHが高く、溶存酸素量も多く、他の湖沼とは多少性格を異にしている様であるが、木崎湖および野尻湖より汚濁が進行している。
- 4 主成分分析および因子分析の結果から、今回扱った5湖沼は次の4グループに分類される。
 - ① 木崎湖および野尻湖
 - ② 蓼科湖
 - ③ 白樺湖
 - ④ 諏訪湖

V 要 約

長野県内の湖沼水質の特性を明らかにするために、諏訪湖・木崎湖・野尻湖・蓼科湖・白樺湖の5湖沼を対象とし、相関分析・主成分分析および因子分析を行った。数値には長野県が行った「公共用水域水質測定結果」を使用し、変量には水温・pH・DO・BOD・COD・SSを取上げた。

その結果の概要は次の如くである。

- 1 諏訪湖は他の4湖沼に比して有機汚濁が特に甚しい。白樺湖の汚濁進行の様相は諏訪湖とよく類似している。蓼科湖は木崎湖および野尻湖より汚濁が進行している。
- 2 水温・DO間の負相関は相関係数より偏相関係数でより顕著となっている。
- 3 主成分分析の結果によると第1主成分は諏訪湖および白樺湖では総合的有機汚濁指標であり、木崎湖および野尻湖では自然条件を現わす指標となっている。
- 4 主成分分析および因子分析の結果よりこれら5湖沼は4グループに分類される。

引 用 文 献

- 1) 中路勉他 信州大学農学部紀要 16(2) 79~92 ('79)
- 2) 長野県生活環境部公害課 公共用水域水質測定結果 (昭和48・49・50・51・52年度)

Statistical Studies of Lake Water Quality (I)

Application of Multivariate Data Analysis for Water Qualities of Lakes in NAGANO Prefecture.

By Tsutomu NAKAJI, Kazuyuki MINATO and Makoto HASHIMOTO

Laboratory of Environmental Conservation Chemistry, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Summary

We tried to investigate the factors of water pollution of five lakes (SUWA L., KIZAKI L., NOJIRI L., TATESHINA L. and SHIRAKABA L.) by using the correlation analysis and the principal components analysis.

The data used during the course of this investigation were obtained from the tables of water analysis of the public water area by NAGANO office. Six variables which were water temperature, pH, DO, BOD, COD and SS were used from the data. The results were as follows.

1. The water pollution by organic materials was pointed to SUWA L. among five lakes because of its hard eutrophication. The process of the water pollution of SHIRAKABA L. was similar to that of SUWA L. On the other hand, KIZAKI L. and NOJIRI L. were comparatively clean.
2. The negative correlation between water temperature and DO was more significant in the case of the partial correlation coefficients than that of the correlation coefficients.
3. In the principal components analysis, the interpretation of first principal component was as follows.
SUWA L. and SHIRAKABA L. : General index of the pollution by organic materials.
KIZAKI L. and NOJIRI L. : Stability index of natural environment.
4. By using each principal component value and factor loading, these five lakes were classified into four groups according to their water qualities.