

河川水質の統計学的研究 (Ⅱ)

長野県内千曲川水質への多変量解析の適用

中路 勉・港 和行・牧 清忠・入江 鎌三

信州大学農学部 環境保全化学研究室

I はじめに

河川等の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および湖沼の水質に対して多変量解析の手法を使用して解析を行った結果について先に報告した^{1,2)}。その際に使用したのとほぼ同様の手法を長野県内千曲川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千曲川を対象とし、長野県が公表した公共用水域水質測定結果(昭和48~52年度)³⁾記載の数値を使用した。なお長野県内千曲川水質の測定地点としては第1図に示すように本流からA~Iの9地点、支流からJの1地点、合計10地点とした。変量としては前報¹⁾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。また水質測定は最低毎月1回の割合で行われているので5か年間にわたり各月の代表値を使用したのも、数値の個数は各々60となった。

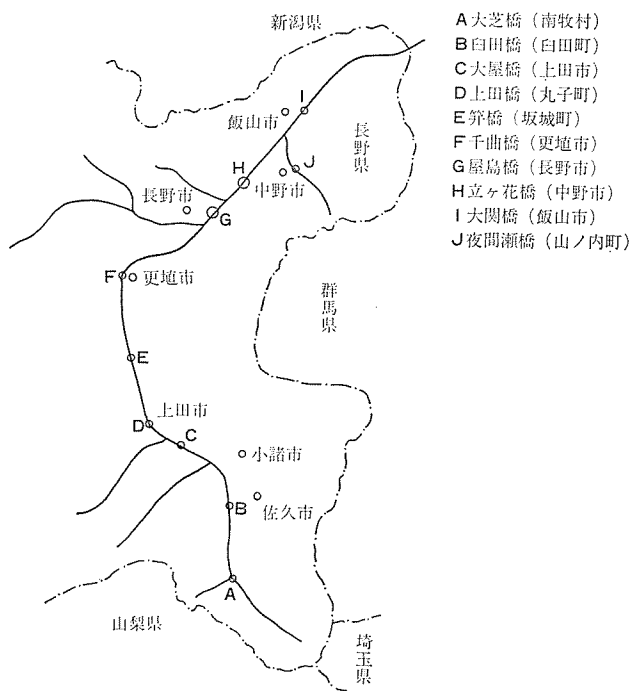
III 解析方法

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、年間の季節変動を図示した。さらに因子分析を行い、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¹⁾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バ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



第1図 測定地点図

第1表 長野県内千曲川水質(昭和48年4月~53年3月)

	水 温 °C	pH	DO mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l
最大値	29.0	8.6	18.9	9.4	23.8	240.0
最小値	-2.0	6.4	5.8	0.1	0.2	0.0
平均値	12.61	7.54	10.60	2.07	2.49	16.74
標準偏差	7.01	0.39	2.10	1.16	1.74	24.23
変動係数%	49.7	5.2	19.8	56.0	69.8	150.7

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・標準偏差および変動係数を計算したが、上記10地点の測定値全部を総括したもの(以下 Total と記す)のみを示せば第1表の如くである。

これによると COD および SS の変動が大きく、特に SS ではほぼ全地点で変動係数が100%を超え、中でも最上流部のA地点での変動が特に大きかった。またこれら全般的水質を前報の天竜川の場合と比較すると、千曲川の方が有機汚濁の進行した諏訪湖を源流とする天竜川に比して、BOD・COD・SS が低い値を示している。

2 相関係数

相関係数・偏相関係数を各地点および Total について計算したが、Total のみを第2表に示した。この表では対角線より右上部に相関係数を、左下部に偏相関係数を示してある。こ

第2表 相関係数行列 (Total)

	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
水 温		-0.082	-0.772**	-0.131	0.188	0.173
pH	0.307**		0.345**	-0.058	-0.178	-0.279**
DO	-0.780**	0.424**		0.071	-0.215*	-0.252*
BOD	-0.158	-0.030	-0.013		0.445**	0.132
COD	0.140	0.022	0.016	0.507**		0.663**
SS	-0.055	-0.165	-0.068	-0.238*	0.655**	

偏相関係数 (** 1%有意 * 5%有意)

相
関
係
数

れによると、水温と DO との間に負の、BOD と COD との間および COD と SS との間に正の高度に有意な相関係数・偏相関係数を示している。

また各地点について見ると、水温と DO との間では、全地点で高度に有意な負の相関係数を、COD と SS との間でも全地点で有意な正の相関係数を示したのに対し、BOD と SS との間ではA地点を除きそれ以外では有意な相関が認められなかった。このことは千曲川における SS 中の有機汚濁物質は化学薬品によっては分解されるが、微生物によっては分解されにくい物質であると考えられる。

3 固有ベクトル

各地点および Total の固有ベクトルを第3表に示した。これによると、各地点での固有値の累積寄与率は第2主成分までで60%以上、第3主成分までで約80%であり、全変動の約4/5を説明できることになる。

Total の固有ベクトルの値より見ると、第1主成分の固有ベクトルは全体的に大きな値となっているので総合的汚濁指標と考えられる。第2主成分の固有ベクトルは pH に対しては0.00であり、SSに対しても小さい値を示しているが、BOD・CODに対して大きな値を示していることから有機汚濁指標と考えられる。第3主成分の固有ベクトルは pH に対して特に大きい値を示し、ついで水温に対して大きい値を示していることから pH・水温に関する要因の指標であると考えられる。

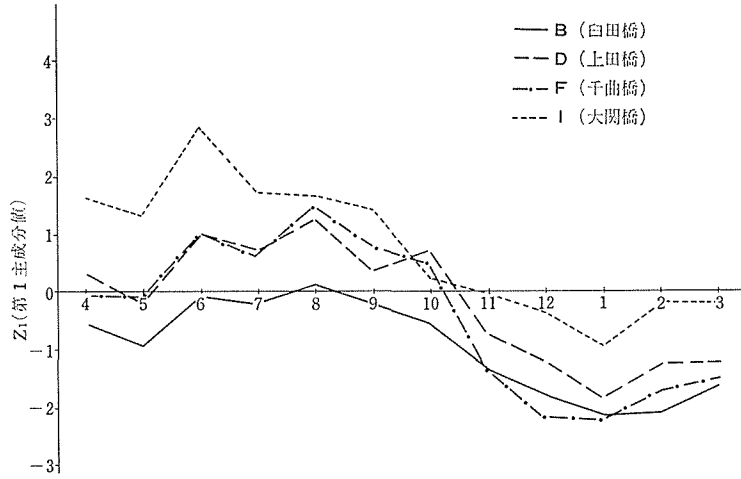
4 主成分値の時系列分析

水質変量の数値を $N(0, 1)$ に規準化した後、Total の固有ベクトルの値を使用して主成分値を計算した。各地点の年間の水質変動を比較するために、この主成分値の5か年間の各月ごとの平均値を縦軸に、時間(月)を横軸にとってグラフを作成した。各地点の内代表的な、B・D・F・Iの4地点のものを図示すると第2図～第4図の如くである。

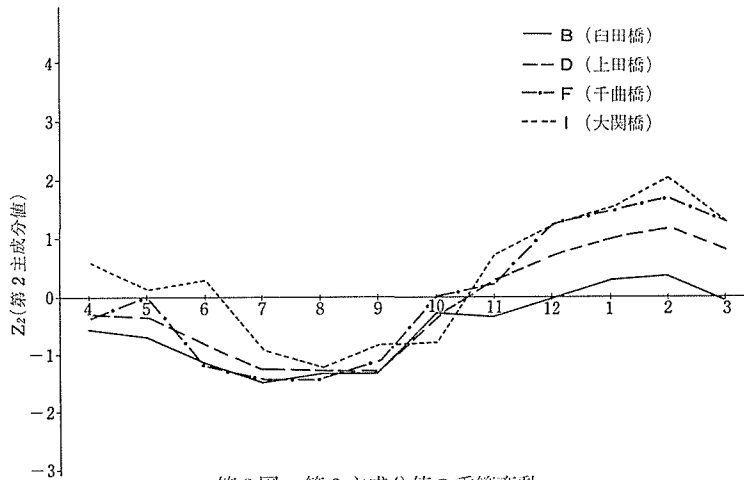
第1主成分値については、春夏期に正のピークが、秋冬期に負のピークが全地点について見られ、第2主成分値については第1主成分値とは逆に春夏期に負のピークが、秋冬期に正のピークが全地点について見られた。第3主成分値についてはあまり大きな季節的変動は見られなかった。

第3表 固有ベクトル

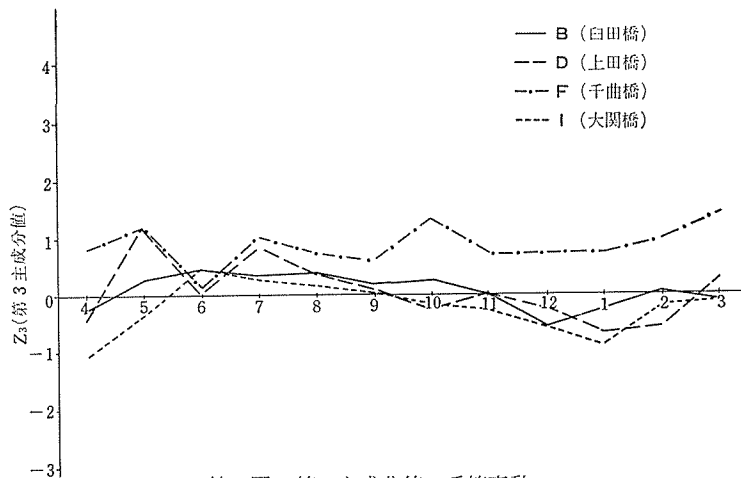
地点名	主成分	水温	pH	DO	BOD	COD	SS	累積 寄与率	固有値
A 大芝橋	1	0.26	-0.18	-0.30	0.36	0.58	0.58	42.9	2.57
	2	0.62	0.21	-0.60	-0.43	-0.11	-0.14	72.2	1.76
	3	-0.11	0.92	0.16	-0.08	0.24	0.24	88.0	0.95
B 白田橋	1	-0.51	0.26	0.48	-0.08	-0.50	-0.43	38.2	2.29
	2	0.46	0.47	-0.50	-0.27	-0.36	-0.35	61.3	1.38
	3	0.07	0.11	-0.10	0.91	0.07	-0.38	78.5	1.04
C 大屋橋	1	0.50	-0.39	-0.54	0.03	0.34	0.44	35.8	2.15
	2	0.44	0.30	-0.37	-0.49	-0.52	-0.26	62.2	1.58
	3	0.25	0.46	-0.24	0.74	0.11	-0.32	77.7	0.93
D 上田橋	1	0.52	-0.22	-0.56	-0.20	0.38	0.41	39.2	2.35
	2	-0.32	-0.12	0.29	0.52	0.53	0.50	66.5	1.64
	3	0.31	0.84	-0.14	0.40	0.10	-0.03	83.8	1.04
E 筭橋	1	-0.48	0.12	0.50	0.11	-0.49	-0.50	43.7	2.62
	2	-0.48	-0.41	0.40	0.32	0.42	0.41	64.8	1.27
	3	0.09	0.64	-0.04	0.73	0.19	0.01	82.1	1.04
F 千曲橋	1	0.48	-0.47	-0.53	-0.18	0.34	0.35	48.2	2.89
	2	-0.30	-0.06	0.22	0.60	0.55	0.45	74.7	1.59
	3	-0.25	0.29	0.19	-0.68	0.07	0.59	85.3	0.63
G 屋島橋	1	0.54	-0.34	-0.61	-0.15	0.32	0.31	36.7	2.20
	2	-0.17	0.07	0.16	0.66	0.56	0.44	63.0	1.58
	3	0.50	0.80	-0.04	0.04	0.21	-0.24	79.4	0.99
H 立ヶ花橋	1	0.61	0.03	-0.62	-0.33	0.16	0.33	38.1	2.29
	2	-0.15	-0.23	0.05	0.45	0.67	0.55	66.0	1.68
	3	0.14	0.89	-0.01	0.32	0.24	-0.15	83.3	1.04
I 大関橋	1	0.53	-0.15	-0.56	-0.28	0.31	0.46	39.7	2.38
	2	-0.28	0.10	0.19	0.50	0.65	0.45	66.2	1.59
	3	0.31	0.92	-0.13	0.14	0.04	-0.16	83.4	1.03
J 夜間瀬橋	1	-0.19	0.41	0.29	0.54	0.62	0.18	30.5	1.83
	2	-0.61	-0.24	0.60	-0.32	-0.11	0.31	60.4	1.80
	3	0.28	-0.50	-0.23	-0.02	0.32	0.72	80.4	1.20
Total	1	0.42	-0.32	-0.49	0.15	0.47	0.47	38.6	2.32
	2	-0.48	0.00	0.44	0.56	0.43	0.28	65.0	1.58
	3	0.37	0.86	-0.06	0.24	0.21	-0.08	80.1	0.91



第2図 第1主成分値の季節変動



第3図 第2主成分値の季節変動



第4図 第3主成分値の季節変動

第4表 因子負荷量

地点名	主成分	水温	pH	DO	BOD	COD	SS
A 大芝橋	1	0.41	-0.29	-0.49	0.58	0.94	0.93
	2	0.82	0.28	-0.79	-0.57	-0.15	-0.18
	3	-0.11	0.89	0.16	-0.08	0.23	0.23
B 白田橋	1	-0.77	0.39	0.72	-0.11	-0.76	-0.65
	2	0.54	0.55	-0.59	-0.31	-0.42	-0.41
	3	0.07	0.11	-0.10	0.92	0.08	-0.39
C 大屋橋	1	0.74	-0.57	-0.79	0.04	0.49	0.64
	2	0.55	0.38	-0.46	-0.62	-0.66	-0.32
	3	0.24	0.44	-0.24	0.71	0.11	-0.31
D 上田橋	1	0.80	-0.34	-0.86	-0.31	0.59	0.63
	2	-0.41	-0.16	0.37	0.66	0.68	0.64
	3	0.32	0.86	-0.14	0.41	0.10	-0.03
E 笄橋	1	-0.78	0.20	0.80	0.18	-0.79	-0.82
	2	-0.54	-0.46	0.45	0.36	0.49	0.46
	3	0.09	0.66	-0.04	0.75	0.19	0.01
F 千曲橋	1	0.81	-0.80	-0.90	-0.30	0.57	0.60
	2	-0.38	-0.07	0.28	0.75	0.69	0.56
	3	-0.20	0.23	0.15	-0.54	0.06	0.47
G 屋島橋	1	0.80	-0.51	-0.90	-0.22	0.47	0.47
	2	-0.22	0.08	0.20	0.83	0.70	0.55
	3	0.49	0.80	-0.04	0.04	0.21	-0.24
H 立ヶ花橋	1	0.92	0.04	-0.94	-0.50	0.25	0.50
	2	-0.19	-0.29	0.07	0.59	0.86	0.68
	3	0.14	0.91	-0.01	0.33	0.24	-0.16
I 大関橋	1	0.82	-0.23	-0.86	-0.43	0.47	0.72
	2	-0.35	0.12	0.24	0.62	0.82	0.57
	3	0.32	0.93	-0.13	0.14	0.04	-0.16
J 夜間瀬橋	1	-0.25	-0.82	0.30	-0.29	0.21	0.22
	2	0.56	-0.32	-0.54	-0.50	-0.22	-0.03
	3	0.39	0.80	-0.26	-0.13	0.25	0.24
Total	1	0.64	-0.50	-0.75	0.23	0.72	0.72
	2	-0.61	0.01	0.55	0.70	0.54	0.35
	3	0.36	0.82	-0.06	0.23	0.20	-0.08

第5表 回転後の因子負荷量

地点名	因子	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
A 大芝橋	F ₁	0.10	-0.07	-0.17	0.33	0.96	0.97
	F ₂	0.17	-0.02	-0.74	-0.05	0.08	0.07
	F ₃	0.02	0.99	0.04	-0.15	-0.05	-0.06
	F ₄	0.06	0.13	-0.09	-0.93	-0.21	-0.20
B 白田橋	F ₁	-0.88	0.01	0.98	0.01	-0.18	-0.09
	F ₂	-0.10	0.11	0.05	0.04	-0.33	-0.95
	F ₃	-0.01	-0.03	0.01	0.99	0.15	-0.06
	F ₄	-0.01	0.98	0.02	-0.03	-0.17	-0.12
C 大屋橋	F ₁	0.95	-0.08	-0.94	-0.07	0.03	0.13
	F ₂	0.01	0.97	0.14	-0.01	-0.17	-0.17
	F ₃	-0.10	-0.01	0.01	0.98	0.18	0.01
	F ₄	0.10	-0.16	0.09	0.01	0.18	0.01
D 上田橋	F ₁	0.96	-0.03	-0.94	-0.20	0.12	0.13
	F ₂	0.10	-0.07	-0.07	0.10	0.92	0.37
	F ₃	0.04	0.99	0.10	0.09	-0.08	-0.13
	F ₄	-0.13	0.09	0.16	0.97	0.11	0.07
E 笄橋	F ₁	-0.18	0.10	0.20	0.00	-0.95	-0.93
	F ₂	-0.94	-0.00	0.94	0.09	-0.18	-0.20
	F ₃	-0.09	0.03	0.04	1.00	0.05	-0.06
	F ₄	0.06	0.99	0.06	0.03	-0.02	-0.14
F 千曲橋	F ₁	0.95	-0.32	-0.80	-0.22	0.13	0.10
	F ₂	0.06	-0.19	-0.14	0.02	0.34	0.93
	F ₃	0.19	-0.04	-0.20	-0.96	-0.16	-0.01
	F ₄	-0.20	0.91	0.35	0.04	-0.17	-0.18
G 屋島橋	F ₁	0.97	-0.05	-0.68	-0.17	0.16	0.07
	F ₂	-0.16	0.07	0.11	0.96	0.21	0.08
	F ₃	0.01	0.99	0.32	0.08	-0.04	-0.10
	F ₄	0.05	-0.10	-0.12	0.08	0.19	0.97
H 立ヶ花橋	F ₁	0.95	0.05	-0.95	-0.25	0.08	0.15
	F ₂	0.07	-0.09	-0.14	-0.03	0.31	0.94
	F ₃	0.11	0.99	0.03	-0.00	-0.01	-0.10
	F ₄	0.18	0.00	-0.15	-0.95	-0.22	0.04
I 大関橋	F ₁	0.92	-0.04	-0.93	-0.22	0.06	0.21
	F ₂	0.08	-0.02	-0.14	0.09	0.98	0.80
	F ₃	0.06	1.00	0.12	0.08	0.04	-0.13
	F ₄	-0.22	0.08	0.11	0.97	0.15	-0.10
J 夜間瀬橋	F ₁	-0.01	0.16	-0.08	0.94	0.32	-0.04
	F ₂	-0.93	-0.02	0.41	0.01	-0.05	0.06
	F ₃	-0.06	-0.13	0.10	-0.05	0.21	0.97
	F ₄	-0.03	-0.97	-0.07	-0.17	-0.14	0.13
Total	F ₁	-0.12	-0.04	-0.48	-0.00	0.02	0.03
	F ₂	-0.07	-0.02	0.03	0.98	0.28	0.14
	F ₃	0.01	0.98	0.24	-0.02	-0.07	-0.14
	F ₄	0.06	-0.12	-0.11	0.04	0.39	0.94

第6表 F 因子得点

地点名	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	\bar{x}	S. D.
A 大芝橋	-0.02	-1.06	0.08	-0.56	-0.39	0.53
B 白田橋	-0.10	-0.81	0.49	-0.63	-0.26	0.58
C 大屋橋	-0.19	0.05	1.05	-0.14	0.19	0.58
D 上田橋	-0.05	-0.21	0.14	-0.08	-0.05	0.14
E 筭橋	-0.05	0.41	-0.14	0.09	0.08	0.24
F 千曲橋	-0.17	0.06	0.87	-0.14	0.16	0.49
G 屋島橋	0.03	-0.40	-0.45	-0.10	-0.23	0.23
H 立ヶ花橋	0.15	0.29	-0.88	0.22	-0.06	0.55
I 大関橋	0.20	0.56	-0.42	0.56	0.22	0.46
J 夜間瀬橋	0.20	1.09	-0.73	0.78	0.34	0.80
\bar{x}	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	
S. D.	0.14	0.65	0.65	0.44		

第7表 基準化したF因子得点

地点名	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	\bar{x}	S. D.
A 大芝橋	-0.15	-1.63	0.13	-1.28	-0.73	0.85
B 白田橋	0.68	-1.26	0.75	-1.43	-0.32	1.19
C 大屋橋	-1.34	0.08	1.61	-0.32	0.01	1.22
D 上田橋	-0.36	-0.32	0.21	-0.18	-0.16	0.26
E 筭橋	-0.36	0.64	-0.22	0.21	0.07	0.45
F 千曲橋	-1.16	0.10	1.33	-0.33	-0.02	1.04
G 屋島橋	0.20	-0.62	-0.69	-0.22	-0.33	0.41
H 立ヶ花橋	1.03	0.45	-1.35	0.49	0.16	1.04
I 大関橋	1.42	0.88	-0.65	1.27	0.73	0.95
J 夜間瀬橋	1.42	1.69	-1.12	1.77	0.94	1.38
\bar{x}	0.00	0.00	0.00	0.00		
S. D.	1.00	1.00	1.00	1.00		

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。これによって因子負荷図を作成し検討した結果、A・B・D・E地点ではCODとSSが1グループを、G地点およびTotalではBOD・COD・SSが1グループを、J地点ではBOD・COD・pHが1グループを形成した。

6 因子得点および因子評点

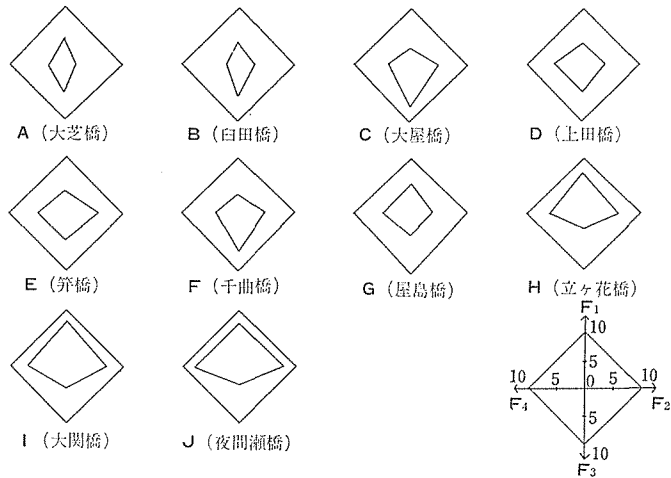
上記のように計算した因子負荷量に規準バリマックス法を適用して回転後の因子負荷量を計算して、第5表に示した。この場合にバリマックス回転を行うことにより、解析精度が向上し第4因子までを表示することができた。回転後の因子負荷量をTotalについて見ると、第1因子はDO、第2因子はBOD、第3因子はpH、第4因子はSSとCODについてそれ

ぞれ大きな値を示している。

つぎに各地点の各変量の数値の5か年間の平均値を Total の平均値と標準偏差により $N(1, 0)$ に規準化したものと、Total の回転後の因子負荷量の内絶対値が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。

- | | |
|--|--------|
| 第1因子得点 = $-0.48 \times (\text{DO})$ | DO得点 |
| 第2因子得点 = $0.98 \times (\text{BOD}) + 0.28 \times (\text{COD})$ | 有機汚濁得点 |
| 第3因子得点 = $0.98 \times (\text{pH})$ | pH得点 |
| 第4因子得点 = $0.39 \times (\text{COD}) + 0.94 \times (\text{SS})$ | 浮遊物質得点 |

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第7表に示した。ここで得られた因子得点をその大きさに従って11段階に分け、F 因子得点に対応する因子評点を得たものを四角図表で現わし第5図に示した。



第5図 F 因子評点四角形パターン

これによって各地点を類別すると、A・B地点は上流の清澄な地点、D・E・Gは河水の流下に伴い汚濁が進行しつつある地点、H・I・Jは更に下流で汚濁が進行している地点であると考えられる、C・Fの2地点は特異な地点で F_1 因子評点の低下と F_3 因子評点の上昇が見られる。

以上総括すると、各地点の水質特性をかなり明確にすることができたが、なお各変量の数値の季節的変動が大きいく、今後これらの季節的変動を除去した後に解析を進めることが課題の一つであると考えられる。

V 要 約

河川の水質変動を明らかにするために、長野県内の千曲川を対象とし、相関分析・主成分分析および因子分析を行った。数値には長野県が公表した「公共用水域水質調査結果」の昭和48～52年度分を使用し、変量としては水温・pH・DO・BOD・COD・SSを取り上げた。解析を行った結果の概要は次の如くである。

1 相関分析により、測定された SS 中の有機成分は主として COD として測定される物質によるものと考えられる。

2 主成分分析により、第1主成分は総合的汚濁指標、第2主成分は有機汚濁指標、第3主成分は pH・水温に関する指標であると考えられる。

3 因子分析により、測定10地点を4グループに類別し、流下に伴って汚濁が進行していることを明らかにした。

引用文献

- 1) 中路 勉他 信州大学農学部紀要 16(2) 79~92 ('79)
- 2) 中路 勉他 信州大学農学部紀要 17(1) 90~99 ('80)
- 3) 長野県生活環境部公害課 公共用水域水質測定結果(昭和48~52年度)

Statistical Studies of River Water Quality (2)
Application of Multivariate Data Analysis for Water Qualities
of CHIKUMA River in NAGANO Prefecture.

By Tsutomu NAKAJI, Kazuyuki MINATO, Kiyotada MAKI
and Ryozo IRIYE

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

Summary

We tried to investigate the fluctuation of water Qualities of CHIKUMA River in NAGANO Prefecture, by means of the correlation analysis, the principal components analysis and the factor analysis. Numerical values were obtained from the Tables of the water analysis of the public area from 1973 to 1977. As the fluents, the values of water temperature, pH, DO, BOD, COD and SS were used. The following items were summarized:

1. The correlation analysis suggested that the organic materials detected in the fraction of SS were mainly measured to be COD.
2. From the principal components analysis, the first principal components were the character of the total pollution, the second ones were those of the pollution by the organic substances, the third ones were those of pH and water temperature.
3. From the factor analysis, we classified the ten points measured into the four groups and clarified the progress of the pollution along the lower parts of the stream.