

# 河川水質の統計学的研究 (Ⅲ)

## 木曾川水質への多変量解析の適用

中路 勉・港 和行・小池恵孝・入江録三

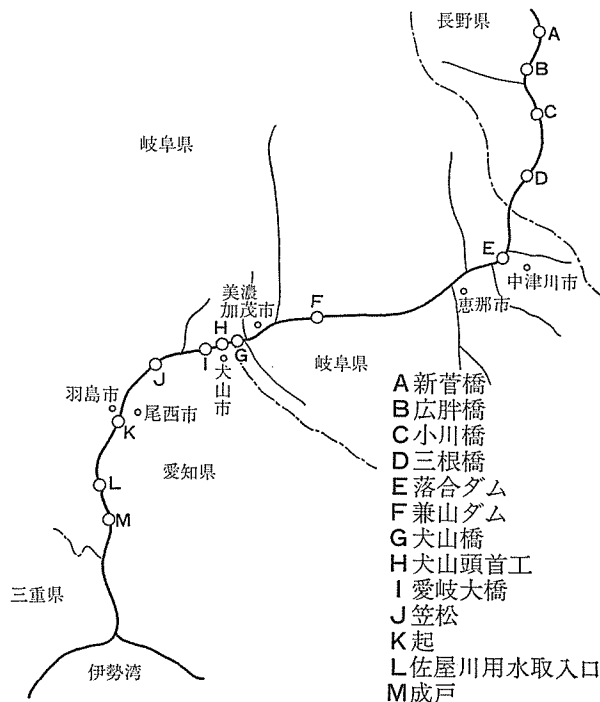
信州大学農学部 環境保全化学研究室

### 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。それに対する試みとして筆者等は長野県内天竜川・千曲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<sup>1),2),3)</sup>。その際に使用した手法に、筆者の一人港が行った時系列分析の手法<sup>4)</sup>を追加して、木曾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

本研究では木曾川を対象とし、長野県・岐阜県および愛知県が公表した公共用水域水質測定結果(昭和48~54年度)<sup>5),6),7)</sup>記載の数値を使用した。測定地点は第1図に示すように木



第1図 測定地点概念図

曾川の本流からA～Mの13地点である。変量としては前報<sup>3)</sup>まで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）の6変量とした。

各測定地点における測定は月に1回以上の割合で行なわれているのでその代表的な日のものを、また1日に数回以上測定されているときは12時に近く、またなるべく欠損値の無いものを採用した。欠損値についてはその測定地点の同月の全年度の平均値で代用した。

### III 解析方法

解析方法はまず筆者の一人港が行った時系列分析の手法<sup>4)</sup>を使用して季節変動を除去することを試み、季節変動が除去されたことを確認した後、前報<sup>3)</sup>にならって相関分析・主成分分析ならびに因子分析を行った。

以上の数値計算には前報<sup>1)</sup>および港論文<sup>4)</sup>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

全測定地点について7か年間の水質変動の最大値・最小値・平均値・標準偏差および変動係数を求めたが、13地点の測定値全部を統括したもの（以下 Total と記す）のみを示せば第1表の如くである。

第1表 木曾川水質概要（昭和48年4月～55年3月）

	水 温	pH	DO mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l
最 大 値	29.5	8.0	17.3	23.6	41.5	1468.1
最 小 値	-1.0	6.0	5.8	0.1	0.2	0.0
平 均 値	12.54	7.06	10.66	1.26	2.13	9.18
標 準 偏 差	6.91	0.25	1.70	1.63	2.39	25.32
変 動 係 数 %	55.1	3.5	15.9	129.4	112.2	258.1

これによるとBOD・CODおよびSSの変動が大きく、BODは下流のL地点で平均値・変動係数ともに大きく、COD・SSはともに上流地域（A～D地点）で特に変動が大きい。

#### 2 時系列分析および修正系列の算出

各測定地点における各変動について自己相関係数を求めた。水温およびDOに関しては、当然の事ながら全地点ではっきりした12か月の季節周期性が検出された。全測定地点の内E地点（落合ダム）で自己相関係数より求めたコレログラムの振幅が非常に小さく、ダムによる貯水の影響が現れている。この事は後記の如く他の変量についての解析の結果でも明らかとなる。またBODについては、A・B・I・K・Mなどの地点で、SSについてはK・L

の2地点で12か月の周期性が認められた。

次に季節変動と傾向変動の寄与率を求めるために分散分析を行った結果、水温およびDOについて全変動の80~90%以上が季節変動であることが判明した。水温を除いた変量について傾向変動の有無を検討するために、変量測定値の各年度総計値と測定年度との間の相関係数を求めた。その結果pHについては、A地点からDまでは正の相関が、地点Eでは負の相関が認められた。その他の変量については明らかな相関は認められなかったが、上流および下流では浄化の進行が、中流では汚濁の進行が推察された。

変量測定値（以下原系列と記す）から季節変動を取除くために、対移動平均比率法を用いて季節指数を算出し、原系列をこの季節指数で割った数値（以下修正系列と記す）を求めた。この修正系列について、なんらかの規則的周期変動を含んでいるかどうかを検討するために連検定を行った。その結果連検定が有意で有るために系列に週期性が無いとは断定出来なかったごく一部のものについても、変動の寄与率を求めた結果季節変動は認められなかった。従って修正系列では季節変動が調整されたことが確認された。

### 3 相関分析

原系列について相関係数および偏相関係数を求め、Totalについての結果を第2表に示した。これによると相関係数、偏相関係数ともに水温—DO間に負の、BOD—COD間およ

第2表 相関係数行列（原系列，Total）

	水温	pH	DO	BOD	COD	SS	
水温		0.20	-0.89**	0.01	0.10	0.03	相 関 係 数
pH	0.07		-0.19	-0.06	-0.10	-0.08	
DO	-0.89**	-0.03		-0.07	-0.16	-0.08	
BOD	-0.11	0.04	-0.06		0.76**	0.04	
COD	0.06	-0.09	-0.02	0.81**		0.41**	
SS	-0.09	-0.02	-0.08	-0.46**	0.58**		
偏相関係数			** 1%有意				

第3表 相関係数行列（修正系列，Total）

	水温	pH	DO	BOD	COD	SS	
水温		0.05	-0.34**	0.15	0.21	0.02	相 関 係 数
pH	0.05		-0.04	-0.06	-0.11	-0.07	
DO	-0.34**	-0.04		-0.28**	-0.16	-0.08	
BOD	0.15	-0.06	-0.28**		0.80**	0.10	
COD	0.21	-0.11	-0.16	0.80**		0.33**	
SS	0.02	-0.07	-0.08	0.10	0.33**		
相関係数			** 1%有意				

第4表 固有値( $\lambda$ )と寄与率(%) ( )内は累積寄与率

地 点	系 列	原 系 列			修 正 系 列			
	主成分	1	2	3	1	2	3	4
A 新 菅 橋	$\lambda$	2.34	1.77	1.06	1.86	1.26	1.21	0.83
	%	39	29 (68)	18 (86)	31	21 (52)	20 (72)	14 (86)
B 広 胖 橋	$\lambda$	2.33	1.80	1.00	2.02	1.24	1.14	0.79
	%	39	30 (69)	16 (85)	34	20 (54)	19 (73)	13 (86)
C 小 川 橋	$\lambda$	2.24	1.76	1.03	1.99	1.26	1.09	0.79
	%	37	30 (67)	17 (84)	33	18 (54)	14 (72)	14 (86)
D 三 根 橋	$\lambda$	2.32	1.82	1.08	2.07	1.44	1.19	0.70
	%	39	30 (69)	18 (87)	34	25 (59)	19 (78)	12 (90)
E 落 合 ダ ム	$\lambda$	1.94	1.26	0.97	1.94	1.28	1.00	0.76
	%	32	21 (53)	17 (70)	32	22 (54)	16 (70)	13 (83)
F 兼 山 ダ ム	$\lambda$	2.13	1.45	1.04	1.90	1.25	1.06	0.85
	%	36	24 (60)	17 (77)	32	20 (52)	18 (70)	14 (84)
G 犬 山 橋	$\lambda$	2.20	1.76	1.04	1.89	1.39	0.99	0.66
	%	37	29 (66)	17 (83)	31	24 (55)	16 (71)	11 (82)
H 犬 山 頭 首 工	$\lambda$	2.22	1.51	0.96	1.67	1.48	1.10	0.77
	%	37	25 (62)	16 (78)	28	24 (52)	19 (71)	13 (84)
I 愛 岐 大 橋	$\lambda$	2.21	1.82	1.11	1.96	1.43	1.03	0.69
	%	37	30 (67)	19 (86)	33	23 (56)	18 (74)	11 (85)
J 笠 松	$\lambda$	2.27	1.84	1.02	1.84	1.61	1.00	0.81
	%	38	30 (68)	18 (86)	30	27 (57)	17 (74)	14 (88)
K 起	$\lambda$	2.22	1.89	1.05	1.96	1.86	0.91	0.71
	%	37	31 (68)	18 (86)	32	32 (64)	15 (79)	12 (91)
L 佐屋川用水取入口	$\lambda$	2.37	1.67	1.26	2.59	1.50	0.97	0.60
	%	40	27 (67)	21 (88)	43	25 (68)	16 (84)	10 (94)
M 成 戸	$\lambda$	2.18	1.50	1.08	1.88	1.39	0.94	0.84
	%	36	25 (61)	18 (79)	31	23 (54)	16 (70)	14 (84)
Total	$\lambda$	2.10	1.81	0.98	2.17	1.20	0.92	0.89
	%	35	30 (65)	17 (82)	36	20 (56)	16 (72)	14 (86)

第5表 主成分の固有ベクトル（原系列）

地 点	主成分	水 温	p H	D O	B O D	C O D	S S
A 新 菅 橋	1	0.609	0.351	-0.615	-0.286	0.171	0.126
	2	-0.131	-0.112	0.081	0.123	0.684	0.693
	3	0.018	0.654	0.035	0.754	0.014	-0.043
B 広 胖 橋	1	0.623	0.374	-0.620	-0.285	0.061	0.043
	2	-0.026	-0.146	-0.031	0.074	0.699	0.695
	3	0.016	0.579	-0.001	0.811	0.074	-0.038
C 小 川 橋	1	0.629	0.411	-0.630	-0.069	0.161	0.084
	2	-0.090	-0.212	0.028	0.087	0.681	0.689
	3	-0.032	0.291	0.057	0.949	0.054	-0.090
D 三 根 橋	1	0.565	0.380	-0.582	0.158	0.339	0.239
	2	-0.302	-0.210	0.244	0.294	0.598	0.601
	3	0.192	-0.483	-0.173	-0.775	0.070	0.307
E 落 合 ダ ム	1	0.655	-0.070	-0.630	0.114	0.307	0.249
	2	0.046	0.602	0.308	0.642	0.184	0.307
	3	-0.319	-0.547	0.174	0.168	0.716	0.166
F 兼 山 ダ ム	1	-0.622	-0.188	0.580	-0.057	-0.373	-0.314
	2	-0.301	0.366	0.413	0.295	0.425	0.581
	3	0.044	-0.591	0.013	0.717	0.306	-0.202
G 犬 山 橋	1	0.652	0.305	-0.649	-0.225	0.019	0.097
	2	0.047	-0.469	-0.032	-0.076	0.592	0.649
	3	0.067	0.323	-0.071	0.861	0.380	-0.021
H 犬山頭首工	1	0.636	-0.196	-0.610	-0.294	-0.268	0.162
	2	-0.02	-0.468	-0.063	0.239	0.588	0.612
	3	0.256	0.409	-0.357	0.757	0.177	-0.188
I 愛 岐 大 橋	1	0.616	0.355	-0.601	-0.291	-0.201	-0.092
	2	-0.228	0.337	0.252	0.016	-0.580	-0.658
	3	0.098	0.470	-0.101	0.785	0.356	-0.126
J 笠 松	1	0.627	0.397	-0.610	-0.260	-0.089	-0.048
	2	0.171	-0.273	-0.189	0.100	0.633	0.671
	3	0.040	0.444	-0.047	0.834	0.251	-0.204
K 起	1	0.627	0.346	-0.617	-0.266	-0.174	-0.076
	2	-0.207	0.306	0.229	-0.036	-0.596	-0.674
	3	0.068	0.514	-0.055	0.804	0.272	-0.090
L 佐屋川用水 取 入 口	1	0.438	-0.021	-0.537	0.449	0.466	0.315
	2	-0.543	-0.332	0.392	0.479	0.454	0.053
	3	-0.051	0.689	-0.005	0.256	0.251	-0.628
M 成 戸	1	0.620	0.294	-0.586	-0.389	-0.185	-0.010
	2	0.189	-0.288	-0.324	0.262	0.616	0.573
	3	-0.092	-0.521	0.118	-0.544	-0.392	0.506
Total	1	0.537	0.132	-0.565	0.352	0.446	0.227
	2	-0.405	-0.341	0.363	0.491	0.522	0.273
	3	0.068	-0.357	-0.070	-0.497	-0.071	0.781

第6表 主成分の固有ベクトル(修正系列)

地 点	主成分	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
A 新 菅 橋	1	0.115	-0.002	-0.332	0.042	0.665	0.658
	2	-0.246	0.508	0.300	0.749	0.152	0.089
	3	0.603	0.553	-0.509	0.082	-0.143	-0.211
	4	-0.724	0.422	-0.421	-0.336	-0.081	-0.024
B 広 胖 橋	1	0.203	-0.034	-0.393	0.049	0.631	0.634
	2	-0.389	0.479	0.323	0.681	0.199	0.101
	3	-0.610	-0.570	0.398	-0.229	0.199	0.231
	4	-0.428	0.626	-0.177	-0.614	-0.017	0.126
C 小 川 橋	1	0.122	-0.106	-0.316	0.053	0.667	0.653
	2	0.671	0.540	-0.468	0.051	-0.122	-0.144
	3	-0.194	0.446	0.276	0.820	0.081	0.092
	4	-0.224	0.686	0.308	-0.567	0.135	0.211
D 三 根 橋	1	-0.025	0.096	-0.128	0.305	0.660	0.644
	2	0.690	0.324	-0.627	-0.079	-0.090	-0.104
	3	-0.241	0.664	0.057	0.647	-0.166	-0.226
	4	-0.128	-0.632	-0.484	0.542	-0.132	-0.196
E 落 合 ダ ム	1	0.285	-0.524	-0.640	-0.377	0.189	-0.238
	2	0.550	0.078	0.032	0.258	0.623	0.486
	3	0.266	0.145	0.050	-0.647	-0.421	0.557
	4	-0.407	-0.657	-0.033	0.246	-0.105	0.574
F 兼 山 ダ ム	1	0.154	-0.417	-0.504	-0.225	-0.406	-0.578
	2	0.763	0.143	-0.416	0.175	0.431	0.091
	3	-0.163	-0.429	0.100	0.773	0.282	-0.320
	4	0.083	0.647	-0.030	0.481	-0.538	-0.229
G 犬 山 橋	1	0.246	0.553	-0.361	0.218	-0.396	-0.546
	2	0.520	0.021	-0.530	0.260	0.518	0.334
	3	-0.469	-0.083	0.052	0.852	0.175	-0.117
	4	-0.594	0.559	-0.293	-0.318	0.374	0.094
H 犬 山 頭 首 工	1	0.626	0.024	-0.683	0.358	0.092	-0.062
	2	0.041	0.588	0.013	-0.060	-0.516	-0.624
	3	-0.387	0.183	0.104	0.686	0.485	-0.314
	4	0.086	0.702	-0.053	-0.388	0.527	0.262
I 愛 岐 大 橋	1	0.255	0.498	-0.310	0.175	-0.463	-0.589
	2	0.598	0.015	-0.580	0.173	0.448	0.276
	3	-0.308	0.151	0.147	0.883	0.282	-0.043
	4	0.047	0.823	0.331	-0.264	0.301	0.227
J 笠 松	1	-0.248	0.367	0.171	-0.179	-0.585	-0.632
	2	0.578	0.386	-0.624	0.274	-0.024	-0.228
	3	-0.381	0.183	0.179	0.834	0.256	-0.170
	4	0.072	0.743	0.318	-0.314	0.472	0.142
K 起	1	0.353	-0.208	-0.349	0.303	0.598	0.511
	2	0.481	0.481	-0.548	0.167	-0.153	-0.430
	3	-0.416	0.185	0.115	0.881	-0.023	-0.055
	4	-0.192	0.781	0.177	-0.256	0.480	0.162
L 佐 屋 川 用 水 取 入 口	1	-0.249	-0.022	0.536	-0.571	-0.549	-0.151
	2	0.428	0.654	-0.212	-0.144	-0.124	-0.555
	3	-0.702	0.242	0.186	0.272	0.339	-0.474
	4	-0.244	0.704	0.010	0.016	-0.105	0.658
M 成 戸	1	0.313	0.378	0.189	-0.408	-0.582	-0.454
	2	-0.458	-0.419	0.644	-0.298	-0.269	0.918
	3	0.328	-0.005	-0.257	-0.613	0.007	0.671
	4	0.576	-0.645	-0.010	0.347	-0.361	0.030
Total	1	0.296	-0.074	-0.381	0.570	0.611	0.252
	2	-0.548	-0.523	0.455	0.123	0.207	0.400
	3	-0.228	0.802	0.149	0.005	0.088	0.524
	4	0.405	-0.271	-0.204	-0.475	-0.193	0.677

第7表 因子負荷量(修正系列)

地 点	主成分	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
A 新 菅 橋	1	0.157	0.002	-0.452	-0.057	0.907	0.896
	2	-0.276	0.569	0.336	0.839	0.170	0.100
	3	0.664	0.608	-0.560	0.090	-0.158	-0.232
	4	-0.660	0.385	-0.384	-0.307	-0.074	-0.022
B 広 胖 橋	1	0.288	-0.050	-0.559	0.069	0.897	0.901
	2	-0.434	0.535	0.361	0.760	0.222	0.113
	3	-0.650	-0.607	0.425	-0.244	0.214	0.246
	4	-0.380	0.557	-0.157	-0.546	-0.015	0.112
C 小 川 橋	1	0.172	-0.150	-0.445	0.075	0.941	0.922
	2	0.752	0.606	-0.521	0.057	-0.136	-0.161
	3	-0.202	0.466	0.289	0.858	0.085	0.096
	4	-0.200	0.612	0.275	-0.505	0.121	0.188
D 三 根 橋	1	-0.036	0.138	-0.314	0.440	0.950	0.926
	2	0.831	0.390	-0.754	-0.095	-0.108	-0.126
	3	-0.264	0.725	0.063	0.706	-0.181	-0.247
	4	-0.107	-0.530	-0.406	0.454	-0.111	-0.164
E 落 合 ダム	1	0.398	-0.730	-0.892	-0.526	0.263	-0.332
	2	0.621	0.089	0.036	0.292	0.705	0.549
	3	0.266	0.144	0.050	-0.646	-0.420	0.556
	4	-0.354	-0.571	-0.029	0.214	-0.092	0.499
F 兼 山 ダム	1	0.212	-0.574	-0.694	-0.311	-0.559	-0.796
	2	0.853	0.160	-0.465	0.195	0.482	0.102
	3	-0.168	-0.440	0.102	0.794	0.289	-0.329
	4	0.077	0.599	-0.028	0.445	-0.497	-0.212
G 犬 山 橋	1	0.339	0.760	-0.497	0.299	-0.544	-0.751
	2	0.614	0.024	-0.625	0.307	0.611	0.394
	3	-0.468	-0.082	0.052	0.850	0.175	-0.117
	4	-0.481	0.453	-0.238	-0.258	0.303	0.076
H 犬山頭首工	1	0.810	0.031	-0.884	0.463	0.118	-0.080
	2	0.050	0.709	0.016	-0.073	-0.628	-0.760
	3	-0.407	0.197	0.109	0.720	0.509	-0.330
	4	0.076	0.616	-0.047	-0.341	0.463	0.230
I 愛 岐 大 橋	1	0.357	0.696	-0.434	0.244	-0.648	-0.824
	2	0.715	0.018	-0.694	0.207	0.536	0.330
	3	-0.314	0.153	0.149	0.898	0.286	-0.043
	4	0.039	0.684	0.275	-0.220	0.250	0.189
J 笠 松	1	-0.336	0.497	0.232	-0.243	-0.793	-0.857
	2	0.732	0.489	-0.791	0.347	-0.030	-0.289
	3	-0.381	0.183	0.179	0.834	0.256	-0.170
	4	0.064	0.668	0.286	-0.282	0.424	0.127
K 起	1	0.495	-0.292	-0.489	0.425	0.838	0.717
	2	0.656	0.657	-0.748	0.228	-0.209	-0.586
	3	-0.397	0.177	0.110	0.842	-0.022	-0.053
	4	-0.162	0.657	0.149	-0.215	0.404	0.136
L 佐屋川用水 取入口	1	-0.402	-0.035	0.864	-0.920	-0.884	-0.244
	2	0.524	0.800	-0.259	-0.176	-0.152	-0.679
	3	-0.692	0.239	0.183	0.269	0.334	-0.468
	4	-0.189	0.545	0.008	0.012	-0.081	0.509
M 成 戸	1	0.454	0.518	0.259	-0.560	-0.798	-0.623
	2	-0.540	-0.494	0.758	-0.351	-0.317	0.233
	3	0.318	-0.005	-0.248	-0.593	0.007	0.648
	4	0.528	-0.591	-0.009	0.318	-0.331	0.028
Total	1	0.436	-0.108	-0.562	0.840	0.900	0.372
	2	-0.602	-0.574	0.500	0.135	0.227	0.440
	3	-0.218	0.769	0.142	-0.005	0.084	0.502
	4	0.382	-0.256	-0.192	-0.448	-0.182	0.639

第8表 回転後の因子負荷量(修正系列)

地 点	F因子	水 温	pH	DO	BOD	COD	SS
A 新 菅 橋	1	-0.005	-0.018	-0.072	-0.012	0.456	0.924
	2	0.024	0.990	-0.061	0.125	-0.010	-0.021
	3	0.994	0.025	-0.107	-0.019	0.020	-0.008
	4	0.019	-0.124	-0.091	-0.987	-0.052	0.021
B 広 胖 橋	1	0.032	-0.028	-0.163	0.048	0.941	0.947
	2	-0.018	0.103	0.044	0.992	0.102	-0.028
	3	-0.989	-0.006	0.151	0.018	-0.035	-0.019
	4	0.005	0.994	-0.013	0.104	-0.023	-0.020
C 小 川 橋	1	0.022	-0.064	-0.129	0.038	0.949	0.964
	2	0.990	0.067	-0.121	-0.013	0.019	0.016
	3	-0.013	0.060	0.022	0.997	0.041	0.016
	4	0.068	0.994	-0.017	0.060	-0.060	-0.036
D 三 根 橋	1	-0.035	-0.010	-0.097	0.126	0.967	0.977
	2	0.971	0.056	-0.206	-0.100	-0.007	-0.038
	3	0.059	0.988	-0.064	0.131	-0.002	-0.008
	4	-0.102	0.126	-0.044	0.977	0.138	0.042
E 落 合 ダ ム	1	0.046	-0.964	-0.306	-0.063	0.026	-0.060
	2	0.985	-0.047	-0.126	-0.044	0.110	0.061
	3	0.044	-0.063	-0.220	-0.980	-0.068	-0.019
	4	0.061	0.062	0.152	0.018	0.035	0.989
F 兼 山 ダ ム	1	-0.031	-0.978	-0.091	-0.041	-0.018	-0.209
	2	0.983	0.031	-0.185	-0.001	0.065	-0.022
	3	-0.001	0.043	0.077	0.990	0.119	-0.028
	4	-0.063	-0.017	-0.065	-0.112	-0.971	-0.205
G 犬 山 橋	1	-0.023	0.107	0.020	-0.042	-0.967	-0.241
	2	0.984	0.088	-0.166	0.006	0.024	0.001
	3	0.006	0.047	-0.094	0.992	0.044	-0.081
	4	0.081	0.961	-0.129	0.044	-0.105	-0.204
H 犬 山 頭 首 工	1	0.951	0.010	-0.313	0.032	-0.043	0.021
	2	-0.024	0.160	-0.027	0.063	-0.116	-0.977
	3	0.032	-0.004	-0.122	0.987	0.100	-0.065
	4	0.012	0.985	0.004	-0.003	-0.066	-0.164
I 愛 岐 大 橋	1	0.007	0.101	0.020	-0.053	-0.949	-0.331
	2	0.224	0.070	-0.968	0.046	0.024	-0.082
	3	0.005	0.074	-0.050	0.992	0.065	-0.093
	4	0.081	0.970	-0.070	0.069	-0.103	-0.211
J 笠 松	2	-0.041	0.038	0.030	-0.101	-0.951	-0.339
	1	0.263	0.024	-0.960	0.084	0.034	-0.042
	3	0.026	0.009	-0.092	0.991	0.118	-0.034
	4	0.075	0.975	-0.025	0.009	-0.036	-0.264
K 起	1	0.085	-0.063	-0.090	0.083	0.933	0.420
	2	0.942	0.057	-0.364	0.030	0.095	-0.012
	3	0.029	0.022	-0.149	0.988	0.097	0.049
	4	0.057	0.973	-0.107	0.019	-0.059	-0.276
L 佐 屋 川 用 水 取 入 口	1	-0.037	0.021	0.481	-0.928	-0.971	-0.095
	2	0.010	0.188	0.053	-0.124	-0.034	-0.977
	3	-0.978	-0.086	0.357	-0.026	-0.043	0.007
	4	0.084	0.976	-0.106	-0.012	-0.028	-0.187
M 成 戸	1	0.008	0.095	0.069	-0.974	-0.230	0.020
	2	-0.977	-0.127	0.105	0.008	0.148	0.050
	3	-0.050	-0.162	-0.006	-0.020	0.213	0.967
	4	-0.126	-0.973	0.040	0.095	0.002	0.166
Total	1	0.089	-0.046	-0.159	0.974	0.868	0.106
	2	-0.982	-0.026	0.170	-0.047	-0.112	-0.003
	3	0.027	0.998	-0.025	-0.020	-0.064	-0.035
	4	0.004	-0.034	-0.022	0.001	0.226	0.993



びCOD—SS間に正の有意な相関が認められた。偏相関係数ではさらにBOD—SS間に負の有意な相関が認められたが、その他については顕著な差違は認められなかった。

修正系列については相関係数のみを求めて第3表に示した、これによると季節変動を除去することにより水温—DO間の負の相関は減少し、BOD—DO間の負の相関が有意となった。

#### 4 固有値と寄与率

原系列と修正系列について主成分分析を行い、固有値と寄与率を求めて第4表に示した。これによると第1、第2主成分の固有値、寄与率ともに季節変動を除去することにより減少し、修正系列では累積寄与率80%以上とするには第4主成分までを必要とした。

#### 5 固有ベクトル

主成分固有ベクトルを第5表および第6表に示した。原系列について見ると第1主成分は水温とDOが、第2主成分はE地点（落合ダム）を除きCODとSSが、第3主成分は2、3の地点を除きBODが高くなっている。修正系列では水温とDOが第2主成分以下となり、第1主成分は概してCODとSSが高い値を示し、季節変動を取除いた効果が明確に現れている。またTotalについて見るとBODとCODが高い値を示している。

以後の解析には修正系列のみを使用した。

#### 6 因子負荷量

修正系列について因子負荷量を求め第7表に示した。また主成分を軸とした投影座標を求め（図は省略）、これにより各変量の分類を行った。その結果上流4地点（A～D）ではCODとSSが、下流L地点ではBODとCODが一群を形成していることが分った。

さらに規準バリマックス法により回転を施した結果を第8表に示した。これによると各因子の性格が一層明確となり、第1因子としては上流の4地点（A～D）ではCODとSSが下流の4地点（I～L）ではCODが、さらに下流の2地点（L、M）ではBODが、TotalについてはBOD、CODが高い値を示している。従って上流と下流とでは汚濁物質の質は異なるにしても、第1因子は有機汚濁指標と認められる。

その他の因子としては地点によって多少相違するが、概して第2因子は水温の、第3因子はpHの、第4因子はSSの係数が高く現れている。

#### 7 因子評点

修正系列のTotalに対する回転後の因子負荷量を用いて因子得点を計算した。ただし因子負荷量が0.1未満の変量は省略し、代入する各地点の変量の値としては夫々の7か年間平均値をTotalの平均値と標準偏差を用いて、(0, 1)に規準化したものを用いた。

$$\text{第1因子得点} = -0.159 \times (\text{DO}) + 0.974 \times (\text{BOD}) + 0.868 \times (\text{COD}) + 0.106 \times (\text{SS})$$

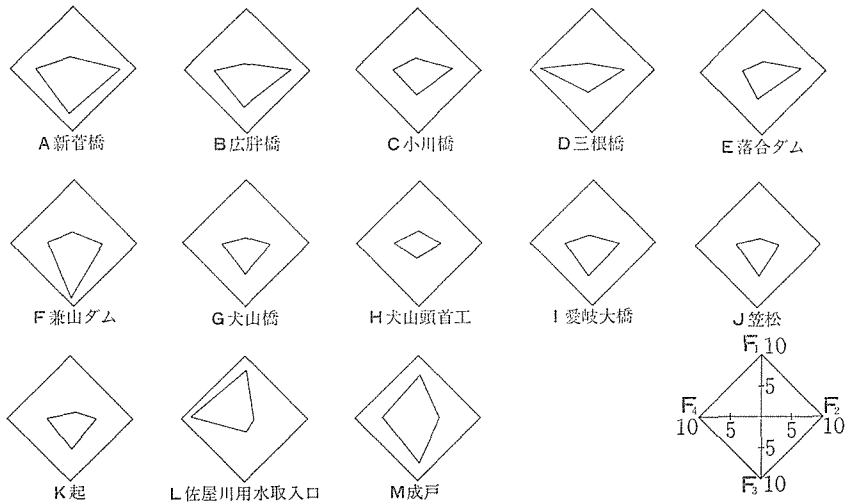
有機汚濁得点

$$\text{第2因子得点} = -0.982 \times (\text{水温}) + 0.170 \times (\text{DO}) - 0.112 \times (\text{COD})$$

水温得点

$$\text{第3因子得点} = 0.998 \times (\text{pH})$$

pH得点



第2図 F因子評点四角形パターン

第4因子得点 =  $0.226 \times (\text{COD}) + 0.993 \times (\text{SS})$

SS得点

この各地点に対する因子得点を(0, 1)に規準化し、さらに $-3.0 \sim +3.0$ の区間を11等分して0~10の因子評点を求め、第2図に示すように四角形パターンとして図示した。

これによると木曾川本流における各地点の特性が明瞭に図示されたことになる。第1因子評点で示される有機汚濁は上中流のA~K地点に比して、下流のL, M地点で甚しく、第2因子評点で示される水温は流下にもなって上昇し、第3因子評点で示されるpHは低下、上昇の変化を繰返し、第4因子評点で示されるSSは上流部のA~D地点と下流部のL, M地点で高くなっているが、第1因子評点の大きさを加味すると、上流部は土砂等によるもの、下流部は主として有機汚濁によるものと推定される。

以上により木曾川水質測定地点を次のように分類した。

a) 水質は比較的良好だがCOD性のSSの多い地点

A(新菅橋), B(広畔橋), D(三根橋)

b) 水質が比較的安定している地点

C(小川橋), E(落合ダム), F(兼山ダム), G(犬山橋), H(犬山頭首工), I(愛岐大橋), J(笠松), K(起)

c) 有機汚濁が増大している地点

L(佐屋川用水取入口), M(成戸)

上記の如く木曾川水質の相当部分を説明出来たが、尚全測定地点のうち半数以上で流量が測定されておらず、これを解析に使用することが出来なかった。

## V 要 約

木曾川の水質特性および変動を明かにするために、時系列分析・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・岐阜県・愛知県が公表した公共用水域水質調査結

果の昭和48～54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。解析の結果の概要は次の如くである。

1) 時系列分析により認められた水温およびDOによる12ヵ月周期の季節変動を除去するために対移動平均法により季節指数を求め、これで原測定値（原系列）を割って修正値（修正系列）を求めた。この修正系列につき連検定を行って全測定地点で季節変動がほぼ取除かれたことを確認した。

2) 相関分析により、SSとして測定されたものは上流部では主としてCOD成分に、下流部ではBOD、COD両成分に関連するものであり、下流部で特に有機汚濁の増大が認められた。

3) 主成分分析によると、第1、第2主成分の固有値、寄与率ともに季節変動を取除くことにより減少し、修正系列では累積寄与率を80%以上にするには第4主成分までを必要とした。

固有ベクトルについては原系列では、第1主成分で水温とDOが、第2主成分でCODとSSが、第3主成分でBODが高い値を示した。修正系列では水温とDOは第2主成分以下となり、第1主成分でCODとSSが高い値を示し、季節変動を取除いた効果が明瞭であった。

4) 修正系列について因子負荷量を求め、主成分を軸として投影することにより、上流ではCODとSSが、下流の1地点ではBODとCODが一群を形成していることが分った。

基準バリマックス法により回転を施した結果、各因子の性格は一層明確となり、上流と下流とでは質の相違は見られたが、第1因子は有機汚濁指標となり、第2因子は水温、第3因子はpH、第4因子はSSの指標となることが判明した。

5) 因子評点による四角形パターンによると、木曾川本流の測定地点は上流の平均水質は比較的良好であるがCOD性のSSの多い地点、中流の水質が比較的安定している地点、下流の有機汚濁が増大する地点の3群に分類することが出来た。

## 参 考 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) 中路 勉他，信州大学農学部紀要，18 (1)，110～119（'81）
- 4) 港 和行，信州大学大学院修士論文，（'81）
- 5) 長野県，公共用水域水質測定結果（昭和48～54年度）
- 6) 岐阜県，公共用水域水質測定結果（昭和48～54年度）
- 7) 愛知県，公共用水域水質測定結果（昭和48～54年度）

**Statistical Studies of River Water Quality (3)**  
**Application of Multivariate Date Analysis for Water Qualities of Kiso River**

**By Tsutomu NAKAJI, Kazuyuki MINATO, Yoshitaka KOIKE  
and Ryozo IRIYE**

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

**Summary**

We tried to know the characteristics of the water quality and its variation in Kiso river with time series analysis, correlation analysis, principal component analysis and factor analysis. The value from the survey of the water quality of the public water area in Nagano, Gifu and Aichi prefecture from 1973 to 1979 were used and water temperature, pH, DO, BOD, COD and SS were employed as the numerical variables. The following items were summarized:

1. To remove the seasonal variation in regard to water temperature and DO, which were recognized as a twelve month-cycle with time series analysis, the revised values (revised series) were calculated, which were obtained by dividing the original values from the survey (original series) by the seasonal index obtained with transfer mean method. It was recognized that the seasonal variation was removed at all measuring places with the run test on the revised series.

2. From the correlation analysis, substances measured as SS could be mainly associated with the fraction of COD at the upper stream and with the fractions of BOD and COD at the lower stream. The increase of the organic corruption was particularly found at the lower stream.

3. From the principal component analysis, both the eigen value and the ratio of contribution of the first and the second principal component decreased by removing the seasonal variation. The revised series required the fourth principal component to get the 80% ratio of the cumulative contribution.

On the eigen vector in the original series, water temperature and DO showed the high value in the first principal component, BOD and SS in the second principal component and BOD in the third principal component. Since in the revised series, water temperature and DO were under the second principal component, and COD and SS showed the high value in the first principal component, the effect of the removal of the seasonal variation was clear.

4. On the revised series, the factor loading calculated was projected along the axis of the principal components. These projections showed that COD and SS at the

upper stream, and BOD and COD at one place of the lower stream were found in each one group. From the rotation by the standard varimax method, the character of every factor became clearer. The difference of the quality between the upper and the lower stream was observed and it became clear that the first factor was the index of the organic corruption, the second was of water temperature, the third was of pH, and the fourth was of SS.

5. From the square pattern with the factor examination marks, places of the main stream of Kiso river measured could be classified into three groups: the upper stream where the average water quality was rather good but SS having the COD character was contained, the middle stream where the water quality was stable, and the lower stream where the organic corruption increased.