

B-18 主成分分析による琵琶湖流入河川水質特性把握

京都大学 藤井滋穂 宗宮功 (株)荏原製作所 古賀大輔 立命館大学 ○田中英嗣

1 はじめに

琵琶湖内の物質収支を検討する上で流入河川水質の把握は必要不可欠である。筆者らはすでに琵琶湖水に及ぼす河川の影響を評価し、河川水質が地域によって異なることを明らかにした¹⁾²⁾。そこで本報告ではこのような地域間での河川水質の相違を主成分分析を用いて解析し、その要因となる水質を明らかにする。

2 調査方法

河川調査は琵琶湖周辺をほぼ網羅し、かつ流域面積が広い、図1の40河川を対象とし、表1の日程で4回晴天時に実施した。、採水はバックウォーターの影響のない河口付近の定点で行ない、約50項目を測定した。

表 1 調査年月日および降雨条件

回	調査年月日	無降雨日数 (日)	降雨量 (mm)	
			前回*	前1週間*
1	1996.8.26	4	21	43
2	1997.4.2	3	26	78
3	1997.6.24	0	36	84
4	1997.10.7	11	43	162

*5mm未満の降雨は含まない

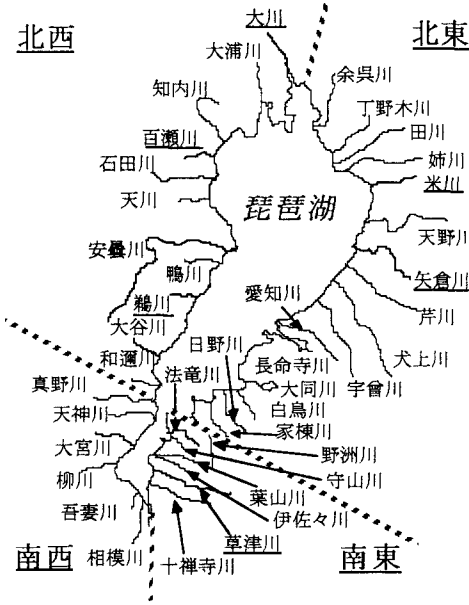


図 1 調査対象 40 河川
(アンダーラインの河川は初回来調査)

3 水質間相関

主成分分析では解析データ P の指標間の相関が重要で、2 指標間で高相関がある場合、これらは同一の係数値 (因子寄与率) をとりやすい。そこでまず全調査の原データを対象に相関係

表 2 各種水質指標間の原データ及び変換後の相関係数

	TCOD	SCOD	TN	DN	NO _x -N	TP	DP	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	SS	Chl.a	TOC	TC	IC	Ca	Na	DO	Si
T-COD _{Mn}	1.00	0.99	-0.03	0.52	0.57	0.46	0.41	0.60	0.68	0.88	0.78	0.68	0.31	0.16	0.26	0.59	-0.31	-0.13
S-COD _{Mn}	0.54	1.00	-0.22	0.55	0.56	0.32	0.60	0.58	0.64	0.56	0.82	0.66	0.30	0.15	0.26	0.56	-0.35	-0.16
TN	0.70	0.72	1.00	0.97	0.82	0.78	0.70	0.64	0.62	0.39	0.54	0.55	0.28	0.18	0.38	0.58	0.74	-0.09
DN	0.71	0.73	-0.30	1.00	0.86	0.81	0.73	0.67	0.64	0.42	0.57	0.52	0.25	0.14	0.38	0.60	-0.24	-0.09
NO _x -N	0.50	0.52	-0.22	0.93	1.00	0.65	0.64	0.53	0.52	0.27	0.41	0.41	0.24	0.15	0.42	0.46	-0.23	-0.12
TP	0.83	0.85	-0.14	0.79	0.85	1.00	0.93	0.53	0.56	0.46	0.69	0.64	0.34	0.21	0.26	0.52	-0.04	0.05
DP	0.68	0.73	-0.34	0.51	0.45	0.22	1.00	0.36	0.33	0.18	0.68	0.53	0.28	0.16	0.22	0.31	-0.41	0.04
SO ₄ ²⁻	0.34	0.52	-0.39	0.63	0.64	0.46	0.35	1.00	0.75	0.40	0.43	0.51	0.36	0.32	0.61	0.91	-0.35	-0.21
Cl ⁻	0.27	0.51	-0.35	0.41	0.43	0.27	0.37	0.86	1.00	0.40	0.42	0.56	0.36	0.32	0.49	0.90	-0.40	-0.16
SS	0.60	0.54	-0.07	0.52	0.53	0.36	0.46	0.55	0.71	1.00	0.21	0.43	0.22	0.13	0.22	0.69	-0.32	0.02
Chl.a	0.37	0.52	-0.06	0.35	0.36	0.14	0.44	0.38	0.29	0.45	1.00	0.72	0.49	0.47	0.18	0.31	-0.36	-0.19
TOC	0.23	0.54	0.01	0.34	0.34	0.14	0.33	0.57	0.59	0.32	0.44	1.00	0.37	0.42	0.71	0.53	-0.18	-0.17
TC	0.43	0.62	-0.30	0.43	0.42	0.25	0.54	0.43	0.40	0.40	0.14	0.89	1.00	0.98	0.80	0.38	-0.44	-0.22
IC(HCO ₃ ⁻)	0.42	0.55	-0.18	0.41	0.46	0.28	0.45	0.35	0.31	0.38	0.03	0.80	0.74	1.00	0.79	0.30	-0.43	-0.23
Ca ²⁺	0.55	0.55	-0.14	0.40	0.42	0.22	0.40	0.55	0.56	0.61	0.51	0.60	0.43	0.39	1.00	0.52	-0.43	0.88
Na ⁺	0.45	0.76	-0.20	0.54	0.53	0.34	0.50	0.56	0.58	0.49	0.48	0.53	0.61	0.44	0.49	1.00	-0.22	-0.11
DO	-0.31	-0.24	-0.34	-0.29	-0.12	-0.20	0.07	-0.58	-0.69	-0.57	0.15	-0.40	-0.30	-0.27	-0.30	-0.64	1.00	-0.05
Si	0.37	0.31	-0.17	0.25	0.26	0.12	0.24	0.51	0.50	0.42	0.30	0.50	0.27	0.23	-0.37	0.50	-0.38	1.00

*右上…原データに基づく相関係数 左下…変換後の相関係数

数値を算出し、表 2 に示した（表右上部分）。一方、実際の主成分分析では、この原データを変換したデータを用いたので、それに基づく係数値を左下に示す。なお、この変換の方法意義は次節に示してある。原データに基づく相関係数値を見ると、COD 等は自ら、その全体(T)、溶存態 (S) と異なる形態間だけでなく、TOC、DP、DN、SS 等ほとんどの有機物関連指標間で高い相関関係が見受けられる。一方、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} などの生活関連に関わるイオン間でも高相関が得られた。さらに Ca^{2+} は TOC、TC、IC (HCO_3^-) との相関関係が強い。そして DO、Si のように他の項目とは独立して動く項目があることも認められた。このことから同一挙動を示す水質指標グループが存在すること、そのグループが一つではなく複数存在することがわかる。以上より、同一挙動を示す水質指標を集約し、水質特性を把握する上で主成分分析が有効であろうと推察できる。

4 主成分分析の結果

4.1 データの変換

主成分分析等多変量解析では、解析結果が特異値に大きく左右され、その解析データの頻度分布がきわめて重要であることが知られている。筆者らはすでに琵琶湖データ解析から野外データが単に正規分布だけでなく、指数、対数正規、その他の様々な分布パターンがあることを示した³⁾。このことはデータの分布パターンが主成分分析を行う上で大きく影響する可能性を示している。そこで本解析では、様々な分布パターンを示す個々の項目ごとに順位値に変換し、それに対応する累積標準正規分布関数の値を変換データとして用いることで、原データの分布形の影響を排除した。変換後のデータを用い 41 項目で主成分分析を行った結果、累積寄与率は第 10 主成分までで約 0.85 となり、原データでの分析時の第 15 主成分より少なくなった。以上より、情報の集約を目的とした当解析において有効的なデータ変換であったと考えられる。

4.2 解析結果

本解析で得られた第 4 主成分までの因子寄与率を表 3 に示す。表から第 1 主成分には生活系の汚濁や無機性のイオン等、ほとんど全ての項目が寄与していることがわかる。このことから、第 1 主成分は河川水中物質の濃度を表す主成分であると考えられる。表 4 に本調査により得られたデータの地域別平均値を示すが（地域区分は図 1 参照）、これから DO を除く全ての項目で南東流入河川の濃度は高く、北西流入河川で低くなっていることが確認できる。このことについては、図 2 の各河川の平均主成分スコアからも裏付けることができる。図 2 を見ると汚濁の進んでいる南東のスコアが高く、逆に北西のスコアが低くなるといった、より細かな地域的な変動を見ることができる。また、第 1 主成分で唯一因子寄与率が負に寄与している DO に関しては、汚濁が進むほど濃度は低下することを示しているものと思われる。

表 4 全調査平均値

地域名	サブノ数	TCOD	TOC	TN	TP	SS	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	DO
全域	154	1.75	3.80	1.33	0.09	5.27	10.23	13.90	15.38	9.92
南東	23	3.35	5.37	2.72	0.19	7.18	15.27	22.80	25.70	8.79
北東	65	1.89	4.61	1.25	0.09	6.97	12.53	16.49	19.00	9.63
南西	24	1.17	3.43	1.60	0.08	2.86	7.58	10.01	12.66	10.58
北西	42	0.97	1.91	0.54	0.05	2.91	5.36	7.16	5.63	10.63

*単位 (mg/L)

第 2 主成分は第 1 主成分とは別挙動の情報が集約されている主成分であるが、この主成分で着目すべき測定項目は Ca^{2+} である。正の寄与を示す Ca^{2+} は第 1 主成分と第 2 主成分以外に大きく寄与している主成分がなく、第 2 主成分の中では 0.45 と高い寄与を表す。さらに、正に最も寄与している IC (HCO_3^-) と非常に高い相関（図 3）を示すことから、この主成分の代表水質項目と考

表 3 因子寄与率

主成分	第1	第2	第3	第4
累積寄与率	0.39	0.48	0.55	0.62
K^+	0.86	0.04	-0.19	0.17
T-COD _{mn}	0.81	-0.07	0.24	0.23
S-COD _{mn}	0.78	-0.24	0.25	0.21
T-COD _{cr}	0.80	-0.23	0.22	0.11
S-COD _{cr}	0.81	-0.04	0.26	0.08
TOC	0.77	0.39	-0.25	-0.11
TP	0.85	-0.26	0.12	-0.18
DP	0.72	-0.09	-0.13	-0.26
TN	0.70	-0.48	-0.40	-0.01
DN	0.71	-0.44	-0.40	-0.05
SS	0.70	-0.09	0.39	-0.14
Cl^-	0.75	0.15	-0.14	0.37
SO_4^{2-}	0.72	0.09	-0.36	0.28
NO_3^- -N	0.46	-0.59	-0.52	-0.11
NO_x^- -N	0.48	-0.58	-0.51	-0.12
TC	0.62	0.55	-0.37	-0.15
IC	0.56	0.55	-0.39	-0.13
Ca^{2+}	0.82	0.45	-0.19	-0.27
Al^{3+}	0.36	-0.13	0.47	-0.48
PP	0.66	-0.31	0.43	-0.04
Mn	0.53	0.13	0.42	0.05
Fe	0.62	0.22	0.40	-0.34
pH	0.43	0.10	0.10	-0.71
Chl.c	0.47	0.06	0.17	0.49
D- PO_4^{3-} -P	0.63	-0.15	-0.17	-0.43
Chl.a	0.66	0.09	0.13	0.35
Chl.b	0.64	0.11	0.19	0.26
Fheo.a	0.60	0.24	0.10	0.20
DO(mg/L)	-0.52	-0.35	-0.18	0.21
NO_2^- -N	0.65	-0.01	0.03	-0.20
NH_4^+ -N	0.62	-0.12	0.20	0.04
VSS	0.64	-0.05	0.30	-0.19
DOC	0.64	0.38	-0.02	0.11
POC	0.33	0.08	-0.20	-0.33
PN	0.33	-0.37	-0.22	0.02
P-COD _{mn}	0.49	-0.30	0.13	0.13
P-COD _{cr}	0.41	-0.27	0.20	0.15
Na^+	0.69	0.16	-0.27	0.33
Mg^{2+}	0.67	0.37	-0.25	0.13
Si	0.04	0.32	-0.10	-0.07

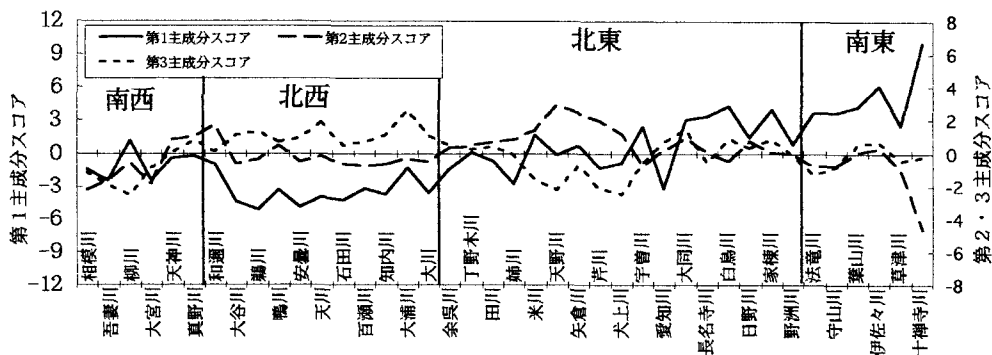


図2 第1・2・3主成分スコア

えることができる。琵琶湖流入河川の場合、天野川、矢倉川等の集水域に石灰岩 (CaCO_3) の地質を持つ鈴鹿山脈がある。これらの河川については第2主成分のスコアが高く、石灰岩 (CaCO_3) から Ca^{2+} と HCO_3^- が溶解してきたと予想される。この地域で Ca^{2+} の濃度が高くなることは国松らの研究^{iv)}でも確認されている。

また、 NO_x 、 NO_3^- が負で寄与している影響により、これらの濃度の高い、十禅寺川、相模川、吾妻川、大宮川ではスコアが負を示した。

さらに、第3主成分は Al^{3+} 、Fe、Mn、PP、 NO_x 、 NO_3^- で因子寄与率が高く、また第4主成分は pH が非常に大きく寄与しており、pH の影響を受ける項目が抽出されていた。第5主成分以降は紙面の都合上割愛したが、クロロフィルや懸濁体の特異な挙動を抽出した主成分などが存在し、各水質項目が複数のグループに重複しつつ分かれて水質を構成していることが確認された。

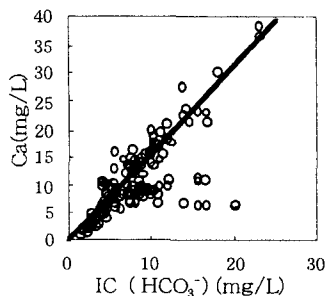


図3 Ca-IC 散布図

5 おわりに

本研究では、河川水質データに主成分分析を施し、元データのままでは不鮮明であった、各水質項目間の挙動特性を明確化することができた。琵琶湖流入河川において、各水質項目は個々に動くのではなく、いくつかのグループを形成し、グループ内で類似した挙動を示すことが確認できた。さらに、複数の水質決定要因により一つの水質項目の値が決まってくること、一つの水質項目が複数のグループに重複して入っていることが確認できた。

琵琶湖流入河川はその水質形成に地域的要因が大きく影響を及ぼしており、その影響因子は集水域における都市人間活動の状況、土地利用の状況、地質等であることが認められた。

今後は、森林や田畑からの流出水質を調査・分析し、土地利用の状況や地質等の影響が、どのように河川水質に寄与しているかを総合的に解析していく予定である。

ⁱ⁾ 古賀大輔, 琵琶湖および同流入河川中の微量元素の挙動解析, 第1回水環境学会関西支部講演要旨集, p23-26, 1996

ⁱⁱ⁾ 藤井滋穂, 琵琶湖における晴天時鱒漁の地域特性解析, 第1回水環境学会シンポジウム講演集, P180-181, 1998

ⁱⁱⁱ⁾ 西村典恭, 琵琶湖水質の頻度分布特性の検討, 平成9年度土木学会関西支部講演概要, p VII-9-1~VII-9-2, 1997

^{iv)} 国松孝男, 琵琶湖流入 128 河川の水質現況, 環境科学研究報告書 B24R12-2, 1979