

多変量解析による栃木県内河川の水質評価

Estimation of Water Quality of River Systems in Tochigi by Multivariate Analysis

渥美 太郎

Taro Atsumi

栃木県内における2005年河川水質調査のデータを用いて、鬼怒川水系、渡良瀬川水系、那珂川水系の多変量解析を行った。データには、水素イオン濃度、生物化学的酸素要求量、浮遊物質量、溶存酸素量、大腸菌群数、化学的酸素要求量、全窒素、全リンの8つを用いた。クラスター分析によって各調査地点をグループ化することで、水質が低下している地点を抽出することができた。さらに、各グループの水質低下の原因を、主成分分析によって明らかにすることができた。これらの解析は水環境保全の指針として有用であると考えられる。

1. はじめに

環境保全は我々一人一人が考えていかなければならない重要な問題である。特に水環境は生活に密接に関係した問題である。水質汚濁に係わる環境基準には、重金属、有機塩素化合物等人体に有害な物質について26項目を全公共用水に対して一律に定めた「人の健康の保護に関する環境基準」と、河川、湖沼、海域ごとに類型を設け、類型毎に水素イオン濃度、溶存酸素量などの項目について設定した「生活環境の保全に関する環境基準」がある。本研究では、河川の環境基準に定められた各項目について個々に水質を判断するのではなく、複数の項目を用いて総合的に水質を判断して環境保全のための指針を得ることを目的として、栃木県内の河川に対して、クラスター分析と主成分分析を試みた。クラスター分析は異質なものの混ざりあっている対象を、それらの間の類似度に基づいて似たものを集め、いくつかのクラスターに分類する方法であり、本研究では水質測定地点のグループ化に用いた。主成分分析は多くの変量の値を、できるだけ情報の損失なしに少数の総合的指標(主成分)で代表させる方法であり、これを用いてクラスター分析で分類した測定地点グループの水質の説明を試みた。

2. 方法

県内の河川を鬼怒川水系、渡良瀬川水系、那珂川水系の3つに分け、それぞれについて分析を行った。例えば鬼怒川水系の場合、栃木県内に

おける鬼怒川の水質調査地点、および鬼怒川と栃木県内で合流している支流の水質調査地点を分析の対象とした。

本研究では、生活環境の保全に関する環境基準の河川[1]における項目である水素イオン濃度(pH)、生物化学的酸素要求量(BOD)、浮遊物質量(SS)、溶存酸素量(DO)、大腸菌群数の5つに化学的酸素要求量(COD)、全窒素、全リンの3つを加えた計8つのパラメータを用いて分析を行った。環境基準では利用目的によってAA(水道1級)からE(工業用水3級)まで6つの類型に分類されている。pHはすべての類型で基準値が6.5以上8.5以下に定められており、強い酸性やアルカリ性になると普通の微生物は活動できなくなる。また、アルカリ性側では金属水酸化物が生成して透明度が下がり、酸性側では底質中の重金属が溶けやすくなる。したがって、pHは基準値の範囲外になったときに水汚染を表わすパラメータである。BODは溶存酸素存在下で水中の有機物が好気性微生物によって酸分解されるときに消費される酸素量で、この値が高いということは溶存酸素が欠乏しやすいことを意味し、10mg/L以上では悪臭発生などの嫌気性分解にともなう障害が現れ始める。したがって、BODは値が大きいほど水が汚染されていることを表わすパラメータである。CODはBOD同様、有機汚濁の指標として用いられ、有機物を酸化剤で酸化する際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したものである。環境基準では、河川にはBOD、湖沼および海域にはCODが採用されている。同じ水域で

あればBODとCODの間にある程度の相関があるといわれている。しかし、微生物によって分解されないが酸化剤で分解される物質もあれば、その逆の物質もあるので、常にそれらに相関があるとはいえないので、本研究ではCODも有機汚濁のパラメータとして用いた。SSは水中に懸濁している不溶性の粒子状物質であり、高濃度になると魚の呼吸障害、水中植物の光合成を妨害等の影響がでる。大腸菌群数は、普通、大腸菌群自身には病原性はないので検出が直接汚染を示しているとは言えないが、大腸菌群の検出は主として人または動物の排泄物による汚染の可能性が高く、赤痢菌などの病原性細菌による汚染の危険性が高いと考えられる。SSや大腸菌群数は値が大きいほど水が汚染されていることを示すパラメータである。DOは水中に溶けている酸素量で、河川の自浄作用や水生生物の生活に欠かすことができない。DOは値が小さいほど水質が低下していることを示すパラメータである。全窒素と全リンは、湖沼などの閉鎖水域における富栄養化の指標として用いられるが、本研究ではこれらの値も分析に用いた。

水質データには、国立環境研究所が提供している2005年度の公共用水域年間値データ[2]を使用した。各水系の水質測定地点の中からpH、DO、BOD、COD、SS、大腸菌群数、全窒素、全リンの8つのデータが揃っている地点を選択した。用いた鬼怒川水系、渡良瀬川水系、那珂川水系のデータをそれぞれTable 1から3に、水質測定地点をFig. 1から3に示す。図中の番号はTable 中

の地点番号に対応する。

クラスター分析および主成分分析にはMicrosoft Excelを用いた[3]。クラスター分析の場合、DLLSA(Dynamic Link Library for Statistical Analysis)を使用し、類似度にユークリッド距離を用いた群平均法による階層的クラスター分析を行った。

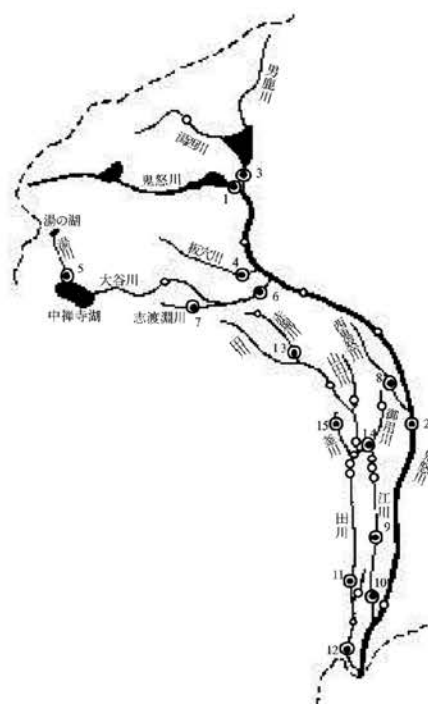


Fig. 1 鬼怒川水系における測定地点.

Table 1 鬼怒川水系の水質調査地点における2005年のデータ[2].

No.	水域名	地点名	所在地	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌群数 (MPN/100mL)	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)
1	鬼怒川	川治第一発電所前	日光市	7.55	10.0	0.7	1.5	2	280	0.43	0.007
2	鬼怒川	鬼怒川橋 (宝積寺)	河内町	7.85	11.0	0.9	1.7	2	1600	0.84	0.024
3	男鹿川	未流	日光市	7.80	10.0	0.5	1.2	2	4200	0.66	0.014
4	板穴川	未流	日光市	7.75	11.0	0.8	1.0	1	8500	0.43	0.016
5	湯川	未流	日光市	7.75	9.7	0.9	1.5	1	4100	0.33	0.048
6	大谷川	開進橋 (針貝)	日光市	7.65	11.0	0.7	0.8	1	3100	0.37	0.023
7	志渡瀬川	筋違橋	日光市	7.55	10.0	1.6	2.2	2	77000	0.55	0.080
8	西鬼怒川	西鬼怒川橋	宇都宮市	7.40	11.0	0.9	1.6	2	28000	0.85	0.032
9	江川	高宮橋	上三川町	7.85	10.0	1.5	3.8	3	42000	3.20	0.190
10	江川	未流	下野市	7.85	11.0	1.0	3.0	7	33000	3.60	0.075
11	田川	明治橋	上三川町	7.50	9.5	3.6	5.1	5	74000	4.40	0.220
12	田川	梁橋	小山市	7.90	10.0	2.2	4.4	5	100000	3.70	0.130
13	赤堀川	木和田島	日光市	7.60	10.0	1.0	2.0	2	25000	1.10	0.041
14	御用川	錦中央公園	宇都宮市	7.30	9.6	4.6	9.2	13	51000	1.50	0.086
15	釜川	つくし橋	宇都宮市	8.25	11.0	1.8	3.6	6	56000	2.60	0.040

Table 2 渡良瀬川水系の水質調査地点における 2005 年のデータ [2].

No.	水域名	地点名	所在地	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌群数 (MPN/100mL)	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)
1	渡良瀬川	箕鹿橋	足利市	8.05	11.0	0.9	2.2	3	3600	1.70	0.110
2	渡良瀬川	渡良瀬大橋	館林市	8.15	10.0	1.7	3.7	5	14000	2.20	0.130
3	神子内川	末流	日光市	7.60	10.0	0.7	1.2	1	11000	0.75	0.053
4	小俣川	新上野田橋	足利市	8.30	11.0	4.1	5.9	4	170000	2.40	0.160
5	小俣川	末流	足利市	7.55	9.1	2.5	5.2	4	160000	2.90	0.140
6	松田川	新松田川橋	足利市	7.45	10.0	0.6	2.1	3	63000	1.50	0.031
7	松田川	末流	足利市	7.80	9.7	8.4	14.0	6	150000	3.90	0.450
8	袋川	助戸	足利市	7.55	9.6	1.8	4.7	6	280000	1.90	0.150
9	袋川	袋川水門（末流）	足利市	7.35	5.9	8.1	15.0	6	610000	7.30	0.610
10	旗川	高田橋	佐野市	8.00	9.9	0.9	1.7	2	39000	1.90	0.089
11	旗川	末流	足利市	7.80	10.0	1.8	4.5	10	12000	2.30	0.130
12	出流川	末流	足利市	7.50	9.3	2.1	5.7	4	150000	2.10	0.068
13	才川	末流	佐野市	7.35	7.9	1.2	3.4	4	120000	2.40	0.090
14	矢場川	矢場川水門（末流）	足利市	7.70	9.1	3.3	4.9	13	38000	2.70	0.220
15	秋山川	小屋橋（仙波）	佐野市	7.55	11.0	0.5	0.9	1	9000	1.10	0.016
16	秋山川	堀米橋	佐野市	7.90	11.0	1.2	2.1	2	190000	2.60	0.044
17	秋山川	末流	佐野市	7.55	8.8	5.9	7.3	4	6400	7.30	0.860
18	三杉川	末流	佐野市	7.55	8.4	2.8	6.5	8	330000	2.50	0.130
19	巴波川	吾妻橋	大平町	7.15	6.6	7.6	8.2	7	150000	12.00	0.110
20	巴波川	巴波橋	藤岡町	7.55	9.6	2.0	3.1	8	8500	3.70	0.095
21	永野川	星野橋	栃木市	7.45	10.0	0.6	0.9	2	18000	1.30	0.023
22	永野川	大岩橋	栃木市	7.45	10.0	0.6	1.5	2	52000	1.90	0.013
23	永野川	落合橋（末流）	小山市	8.20	10.0	2.0	3.8	5	150000	4.10	0.200
24	思川	保橋	栃木市	7.20	11.0	0.6	0.8	1	6400	3.10	0.007
25	思川	乙女大橋	小山市	7.75	10.0	1.2	2.7	5	94000	3.10	0.140
26	大芦川	赤石橋	鹿沼市	7.35	11.0	0.5	0.8	1	4200	1.70	0.011
27	黒川	御成橋	壬生町	7.30	10.0	0.8	2.0	2	82000	4.80	0.026
28	姿川	宮前橋	下野市	7.80	10.0	1.6	3.6	4	460000	3.80	0.093

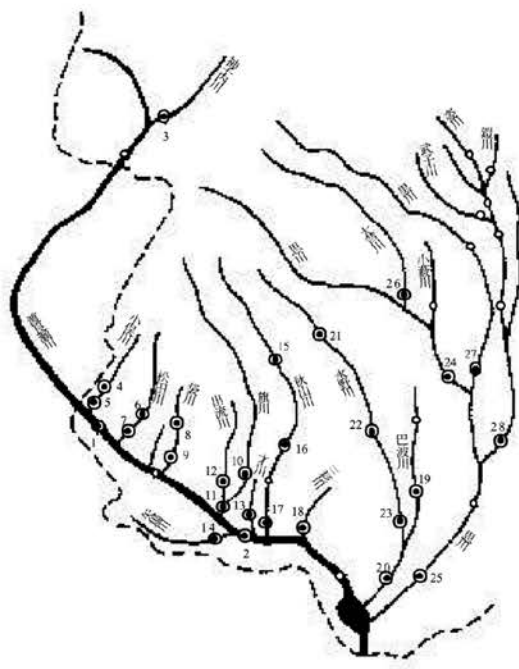


Fig. 2 渡良瀬川水系における測定地点.

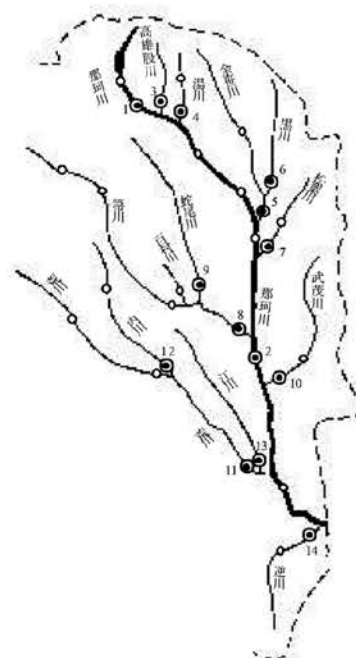


Fig. 3 那珂川水系における測定地点.

Table 3 那珂川水系の水質調査地点における 2005 年のデータ [2].

No.	水域名	地点名	所在地	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌群数 (MPN/100mL)	全窒素 (mg/L)	全リン (mg/L)
1	那珂川	恒明橋	那須塩原	7.55	11.0	0.6	1.0	1	5100	0.38	0.007
2	那珂川	新那珂橋	那珂川町	8.10	11.0	0.9	1.8	3	11000	1.60	0.051
3	高雄股川	高雄股橋	那須町	7.85	11.0	0.7	1.5	1	7900	0.52	0.035
4	湯川	湯川橋	那須町	7.10	9.8	0.9	2.1	3	31000	1.10	0.140
5	余笹川	川田橋	大田原市	7.85	11.0	0.7	2.4	2	27000	0.98	0.034
6	黒川	新田橋	那須町	8.00	11.0	0.7	2.3	2	17000	1.00	0.012
7	松葉川	未流	大田原市	7.70	11.0	0.7	2.4	1	110000	1.10	0.120
8	碕川	碕川橋	大田原市	7.80	11.0	0.7	1.5	1	18000	2.00	0.056
9	蛇尾川	宇田川橋	大田原市	7.75	10.0	0.6	1.4	2	66000	1.90	0.036
10	武茂川	更生橋	那珂川町	7.60	11.0	0.8	2.4	1	380000	1.10	0.030
11	荒川	向田橋	那須烏山	7.80	11.0	0.9	2.3	3	26000	1.20	0.053
12	内川	旭橋	さくら市	7.50	10.0	1.0	2.7	2	150000	1.40	0.060
13	江川	未流	那須烏山	7.75	11.0	1.6	4.3	5	54000	2.30	0.055
14	逆川	未流	茂木町	7.65	11.0	1.0	3.0	3	44000	1.00	0.023

3. 結果および考察

3-1. 鬼怒川水系の多変量解析

Table 1に示した鬼怒川水系の測定地点に対してクラスター分析を行った結果を、デンドログラムとしてFig. 4に示す。ユークリッド距離10以上で分類すると、15の測定地点は4つのグループに分類することができる。これら地点間の類似性とTable 1のデータから、これらのグループは1から4の順序で水質が低下していると考えられる。Fig. 1の鬼怒川水系の測定地点図から、グループ1は測定地点13の赤堀川を除いて、測定地点2の鬼怒川橋よりも上流、または上流で合流する支流の地点のグループである。測定地点13の赤堀川は他の支流と合流して鬼怒川に流れ込む

のは地点2よりも下流であるが、下流で合流する支流の中では最も上流の測定地点である。したがって、グループ1は鬼怒川水系上流、グループ2, 3, 4は下流と区別できる。グループ2から4の中では上流、下流の区別は見られなかった。

次に、主成分分析の結果を示す。Table 4に主成分分析の第1主成分から第5主成分の固有値と寄与率および累積寄与率を示す。累積寄与率は第1主成分から第3主成分までで87 %であり、この3つの主成分で水質汚染の程度をほぼ説明できると考えられる。第1主成分から第3主成分の主成分負荷量をTable 5に示す。第1主成分はpHの係数が0で、その他の係数がほぼ等価の重みを持っている。Table 1のデータを見ると、pHとDO

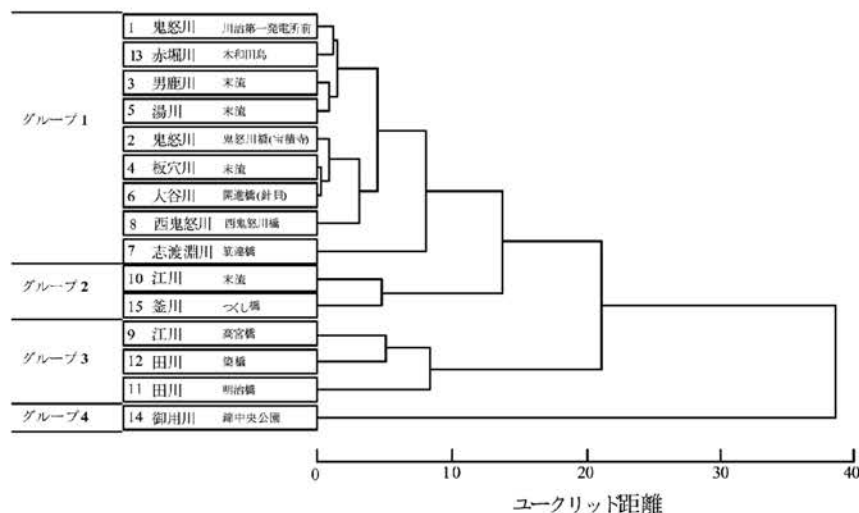


Fig. 4. 鬼怒川水系のデンドログラム

Table 4 鬼怒川水系の主成分分析における主成分の固有値と寄与率.

	固有値	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)
第1主成分	3.29	42.13	42.13
第2主成分	2.27	29.07	71.19
第3主成分	1.24	15.88	87.07
第4主成分	0.67	8.58	95.65
第5主成分	0.34	4.35	100.0

Table 5 鬼怒川水系の主成分分析における主成分負荷量.

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
pH	0	0.62	0.53
DO	0.61	1.22	-0.42
BOD	0.70	-0.42	-0.22
COD	0.70	-0.36	-0.24
SS	0.70	-0.15	-0.40
大腸菌 群数	0.70	-0.08	0.30
全窒素	0.70	0.13	0.46
全リン	0.69	-0.19	0.46

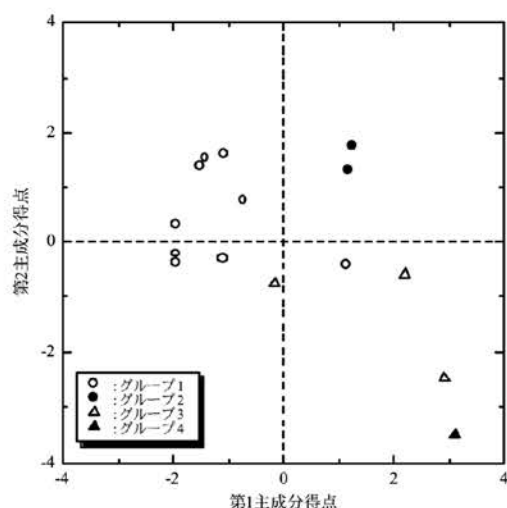


Fig. 5 鬼怒川水系の主成分分析における第1-2主成分得点の相関.

の値は全測定地点で環境基準のAAを満たしており、測定地点による大きな違いは見られないので、第1主成分はそれ以外のパラメータから見た汚染度合を表す成分であると考えられる。第2主成分はpH、DO、全窒素の係数が正の値で、その他は負の値を持ち、pH、DO、BOD、CODの絶対

値が大きい。これらのことから、第2主成分は有機汚濁から見たきれいさを表す成分と考えられる。第3主成分の主成分負荷量はBOD、CODの絶対値が小さく、pH、大腸菌群数、全窒素、全リンの係数が正で、SSが負である。したがって、第3主成分はSSによる無機性汚濁と大腸菌群による汚濁や全窒素、全リンによる富栄養化を区別する成分と考えられる。

Fig. 5に主成分分析の第1主成分得点と2主成分得点の相関を示す。第1主成分得点より、負の値のグループ1は鬼怒川水系において水質が清浄な地点、正であるグループ2から4の地点はグループ1よりも水質が低下している地点である。さらに、第2主成分得点がグループ2、3、4の順序で小さくなっていることから、その順序で有機汚濁による汚染が進んでいることがわかる。

3-2. 渡良瀬川水系の多変量解析

クラスター分析によるデンドログラムをFig. 4に示す。図に示すように、ユークリッド距離10以上で分類すると6つのグループに分類することができる。データの値とユークリッド距離から、グループ1、2、グループ3と4、グループ5と6の順で汚染度が高くなると考えられる。グループ3と4、およびグループ5と6については、それぞれのグループ間の類似性が高く、どちらの汚染度が高いかを判別することはできない。

次に、主成分分析の結果を示す。Table 6に主成分分析における第1主成分から第5主成分の固有値と寄与率および累積寄与率を示す。第1主成分から第4主成分までの累積寄与率が約90%であるので、第4主成分までで水質汚染の程度をほぼ説明できると考えられる。Table 7に第1主成分から第4主成分の主成分負荷量を示す。第1主成分はpHの係数が0で、それ以外は正であり、DOとSSの係数は小さいがその他はほぼ等価な重みを持っている。したがって、第1主成分は主にBOD、COD、大腸菌群数による有機性汚濁と全窒素、全リンによる富栄養化を表す成分と考えることができる。第2主成分はDOの係数が大きいので、水質の清浄度を表す成分、第3主成分はpHの係数が大きく、第4主成分は大腸菌群数の係数が大きいので、それぞれpHと大腸菌群による汚染度合を表す成分と考えることができる。

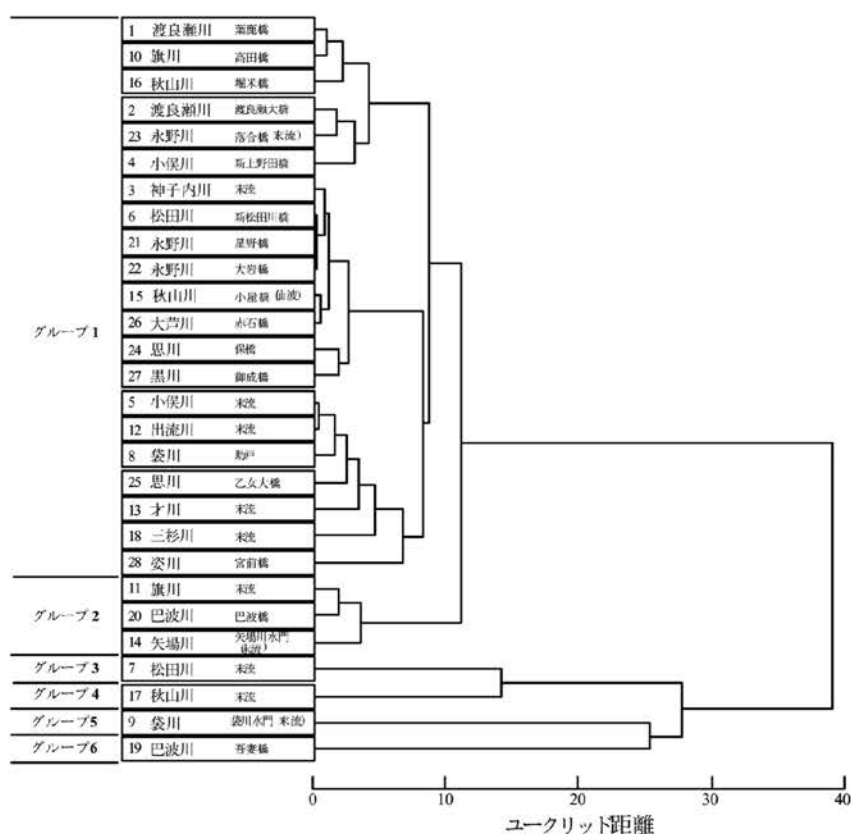


Fig. 6. 渡良瀬川水系のデンドログラム

Table 6 渡良瀬川水系の主成分分析における主成分の固有値と寄与率.

	固有値	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)
第1主成分	2.64	35.77	35.77
第2主成分	2.22	30.08	65.85
第3主成分	0.97	13.14	79.00
第4主成分	0.79	10.70	89.70
第5主成分	0.76	10.30	100.0

Table 7 渡良瀬川水系の主成分分析における主成分負荷量.

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
pH	0	0.56	0.73	0.10
DO	0.45	1.28	-0.39	-0.06
BOD	0.66	-0.27	0.06	-0.12
COD	0.66	-0.24	0.16	0.09
SS	0.32	0.10	0.35	-0.26
大腸菌 群数	0.61	-0.07	-0.09	0.77
全窒素	0.62	-0.34	-0.33	-0.23
全リン	0.65	-0.06	0.10	-0.19

Fig. 7に主成分分析の第1主成分得点と2主成分得点の相関を示す。グループ1と2は第1主成分得点が他のグループに比べて小さいので、渡良瀬川水系の中では清浄な測定地点と考えられる。図に見られるように、第1主成分得点と第2主成分得点の相関ではグループ1とグループ2を分離することはできなかった。また、第3、4主成分得点を用いてもグループ1とグループ2の分離は不可能であった。したがって、グループ1と2は

第1から4主成分すべてにおいて負荷量の小さいSSによってグループ分けされていると思われる。Table 2より、グループ2のほうが測定地点のSSの値が大きいため、無機性汚濁による汚染度が高いグループである。第1主成分得点より、グループ3から5は汚染が進んだ地点と考えられる。クラスター分析では類似度が高く、判別できなかったグループ3と4では、寄与率の大きい第1主成分からグループ3の方が汚染度は高いと判断で

きる。同様に、グループ5と6では、第1と2主成分得点から見て、グループ6の方が5よりも清浄であると判断できる。グループ3、4とグループ5、6とでは、第2主成分得点の比較より、グループ3、4の方がDOから見て清浄と判断できる。以上のことから、主成分分析より、グループ1、2、4、3、6、5の順に水質が低下していると考えられる。

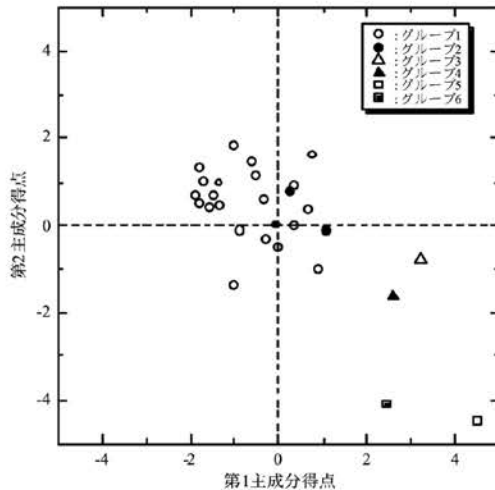


Fig. 7 渡良瀬川水系の主成分分析における
第1-2主成分得点の相関。

3-3. 那珂川水系の多変量解析

那珂川水系のクラスター分析によるデンドログラムをFig. 8に示す。ユークリッド距離10以上で分類すると6つのグループに分類できる。グループ1には9地点が属し、グループ2から6にはそれぞれ1地点ずつ属している。ユークリッド距離から、グループ1、2、3、4と5、6の順に水質が低下しているものと考えられる。グループ4と

5は類似度が高いので、クラスター分析からどちらの水質が低いかを判断できなかった。

次に、主成分分析の結果を示す。第1主成分から第5主成分の固有値、寄与率、累積寄与率をTable 8に示す。第1主成分と第2主成分の寄与率はほぼ等しい。第1主成分から第4主成分までの累積寄与率は約90 %であり、第4主成分までで水質汚染の程度をほぼ説明できると考えられる。Table 9に第1主成分から第4主成分の主成分負荷量を示す。第1主成分はpHの係数が0であり、その他は正でほぼ等価な重みを持っているので、主に用いた全ての汚濁原因から見た汚染度合を表す成分と考えられる。第2主成分はpHとDOの係数が正で大きく、その他は小さいので、pHの影響とDOから見た清浄度合を示す成分と考えられる。第3主成分は大腸菌群数の係数が負で絶対値が大きいので、主に大腸菌群数から見た清浄度合を示す成分と考えられる。第4主成分は全窒素、全リンの係数が正で大きいので、主に全窒素、全リンから見た富栄養化の度合を示す成分と考えられる。

Fig. 9(a)に第1主成分得点と第2主成分得点の相関、(b)に第1主成分得点と第3主成分得点の相関を示す。グループ6の第1主成分得点のみが他と比較して大きな値をとっているため、グループ6の水質低下が他のグループと比べて際立っていることがわかる。グループ1から5は第1主成分得点では区別することはできないが、Fig. 9(a)の第2主成分得点を見ると、グループ1、5、4の順に小さくなっているため、主にDOから見て、この順序で水質が低下していると考えられる。

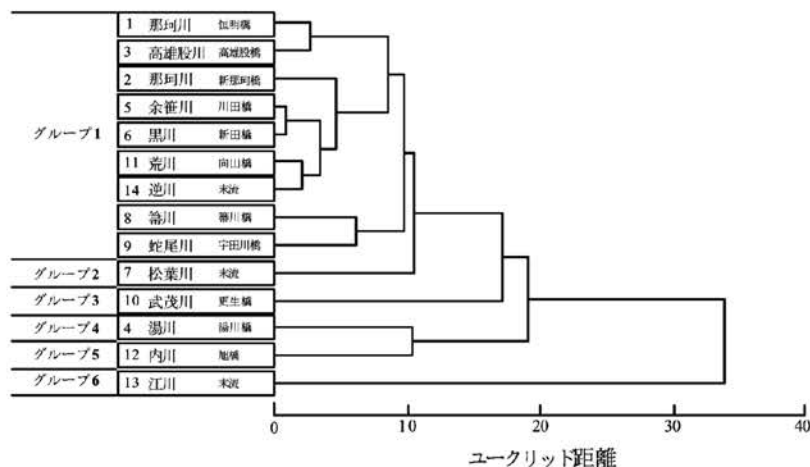


Fig. 8. 那珂川水系のデンドログラム

Table 8 那珂川水系の主成分分析における主成分の固有値と寄与率

	固有値	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)
第1主成分	2.23	29.50	29.50
第2主成分	2.12	28.04	57.54
第3主成分	1.57	20.77	78.31
第4主成分	0.87	11.51	89.81
第5主成分	0.77	10.19	100.0

Table 9 那珂川水系の主成分分析における主成分負荷量.

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
pH	0	0.88	0.18	0.27
DO	0.53	0.94	-0.37	0.12
BOD	0.60	-0.06	0.35	-0.28
COD	0.60	0.01	0.16	-0.37
SS	0.59	-0.06	0.58	-0.10
大腸菌 群数	0.53	-0.10	-0.90	-0.27
全窒素	0.58	-0.04	0.24	0.40
全リン	0.53	-0.67	0.27	0.56

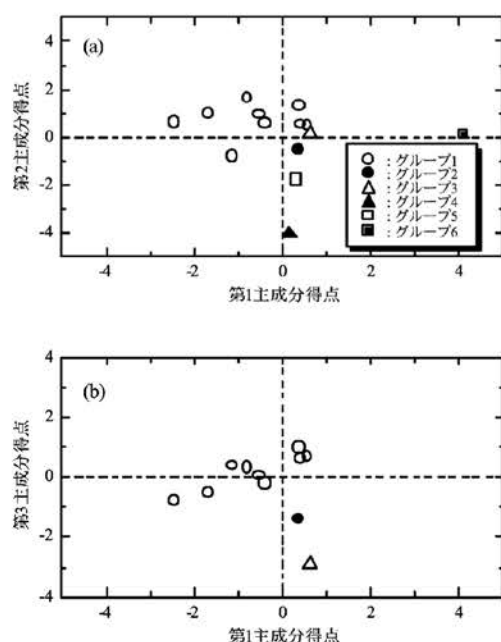


Fig. 9 那珂川水系の主成分分析における (a)第1-2, (b)第1-3 主成分得点の相関.

Fig. 9(b)より, 第3主成分得点はグループ1, 2, 3の順に小さくなっている, 主に大腸菌群数から見て, この順序で水質低下しているものと考えられる.

4. 結論

栃木県内河川の水質データのうち, pH, DO, BOD, COD, SS, 大腸菌群数, 全窒素, 全リンの8つのパラメータ(2005年, 年平均値)を用いて, クラスタ分析と主成分分析を行った結果, 以下の結論を得た.

- (1) 鬼怒川水系において, 上流は水質が清浄であるが, 鬼怒川と下流で合流する支流の宇都宮市以南の水質が低下している.
- (2) 渡良瀬川水系において, 渡良瀬川に流れ込む支流である, 松田川, 袋川, 旗川, 矢場川, 秋山川, 巴波川の末流の水質低下が懸念される. 特に巴波川に関して, 測定地点19の大平町, 吾妻橋の水質低下もあるので, 上流からの環境対策が必要と考えられる.
- (3) 那珂川水系において, 水質低下が懸念されるのは, 湯川, 松葉川, 武茂川, 内川, 江川である. 特に上流にもかかわらず, 測定地点4の湯川, 湯川橋の水質が低いことが懸念される.

クラスタ分析と主成分分析は河川の水質評価に有用であると思われる. しかしながら, パラメータの種類の検討や2005年以外のデータの解析を行うなどのさらに詳しい検討が必要であろう.

5. 参考文献

- [1] 環境省, 水質汚濁に係る環境基準, 生活環境の保全に関する環境基準
<http://www.env.go.jp/>.
- [2] 国立環境研究所, 環境データベース, 公共用水域水質年間データファイル,
<http://www.nies.go.jp/>.
- [3] 竹内光悦, 酒折文武: 多変量解析入門, ソフトバンク クリエイティブ株式会社(2006).

小山工業高等専門学校 物質工学科
E-mail: atsumi@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2008年8月8日」