

(16) 主成分分析を用いた下水道普及に伴う河川水質の変化に関する検討

Water Quality Studies of Rivers with Enlarging Sewered Area
Using Principal Component Analysis

平山公明*, 藤村昌紀**, 今岡正美***, 平山けい子*, 金子栄廣*, 坂本康*
Kimiaki HIRAYAMA*, Masaki FUJIMURA**, Masaharu IMAOKA***,
Keiko KATAYAMA-HIRAYAMA*, Hidehiro KANEKO*, Yasushi SAKAMOTO*

ABSTRACT; Water quality data at several sampling stations in Kofu for 30 years was analyzed and effects of enlarging sewerage area on river water qualities were studied. Correlation between water quality variables was presented. As an attempt to show an overall trend in water quality variation principal component analysis was carried out. Three principal components were obtained. They may represent (a) overall intensity of water pollution, (b) balance between dissolved and suspended matter, and (c) temperature related index. The component representing overall intensity of water pollution has a close correlation with the enlargement of sewerage area. The effectiveness of measuring more than one water quality variable in assessing water quality trend was pointed out. It was suggested that improvement in river water qualities with the enlargement of sewerage area does not proceed to cleanness of upper streams.

KEYWORDS; River Water Quality, Sewerage Area, Overall Index, Principal Component Analysis,
Time Trend

1. はじめに

下水道の普及に伴い、河川水質がどのような変化を示すのかを把握することは、河川の水質管理上重要な問題である。甲府市の下水道事業は 1954 年から始まり、現在の普及率は約 90% である。下水道普及の影響を河川水質の推移として把握することは、このような事業の成果を確認する意味でも必要であると考え、著者らは、著者らが 1971 年度から 2000 年度にかけておこなった甲府市でのいくつかの小河川での水質調査結果を下水道の普及経過と比較した。その結果、BOD などの個々の指標で見たときに、河川水質が改善傾向を示していることを指摘した¹⁾。

河川水質の経年的な変化に関してはそれぞれの指標がどのような傾向を示しているかということにまず注目すべきであろうが、一方で、河川水質を総合的なものとしてとらえることも必要であろう。川を見てきれいになったとか汚くなったとかの判断は、それが正しいかどうかは別にして、人が普通におこなっている。この場合の判断は、水質を測定しているわけではないけれども、総合的な要素があると考えられる。そのた

* 山梨大学大学院医学工学総合研究部 (Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi)

** 株式会社 OTTO (OTTO COOPERATION)

*** 山梨大学名誉教授 (Professor Emeritus, University of Yamanashi)

め、下水道の普及に伴う河川水質の変化も、総合的な指標でとらえておくことにも意味があろう。また「下水道ができて川はきれいになったのか」という問に対して、この指標はこのような傾向を示し、別の指標でこのような傾向を示し、というように、個々の指標の結果を並べるだけでは、明確に答えたことにならない場合もあろう。このような場合に総合的な指標による判断を示すことは有効であろう。

複数の指標を総合的な指標にまとめる方法に主成分分析がある。本研究では、上述した水質調査結果に対して主成分分析をおこない、得られた主成分の意味を検討した。

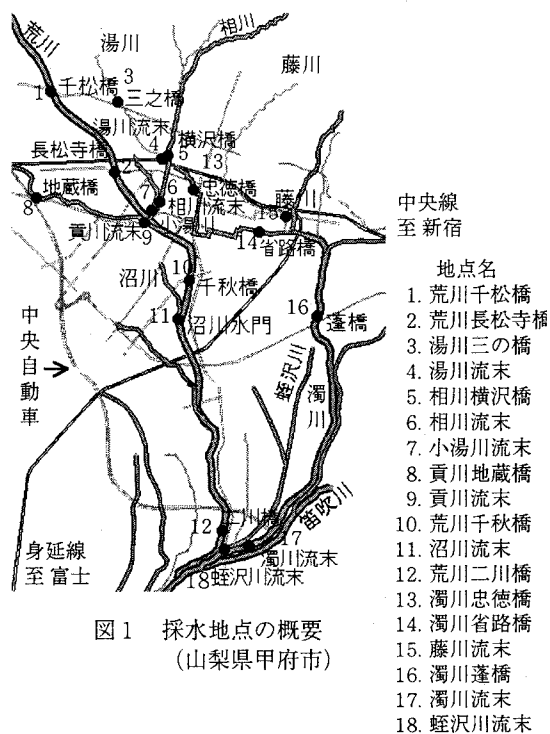
本研究では、水質調査地点に対応する集水域の下水道普及経過を詳細に推定することも試みた。下水道の普及に伴う河川水質の改善傾向に関してはいくつかの指摘がある。たとえば、河川での環境基準の達成率の向上があげられる²⁾。これは全国的な状況を概括的にとらえたものである。また、市町村単位の下水道普及率と水質調査地点の水質変化を比較しているものもある^{3), 4)}。本来下水道の水質改善効果は、水質調査地点とその調査地点に対応する集水域での下水道普及率との関係でとらえるべきものであろう。しかし、多くの場合、下水道普及率は市町村レベルで整理されている。集水域境界と行政境界とは一致しないため、水質調査地点に対応する下水道普及率は明らかでない場合が多い。水質調査地点の集水域の下水道普及率を推定することは必ずしも容易ではないが、下水道の普及にともなう水質変化を把握するには、下水道普及率を水質調査地点ごとに調べる必要がある。本研究では各水質調査地点に対応する集水域を求め、その集水域での下水道普及率の推移を推定した。

また、調査地点の中に、比較的短期間に下水道が大きく普及した河川集水域があるのも、研究対象の特長としてあげられる。市町村レベルでの下水道の普及は一般に長い年月を必要とする。そのため、環境基準点に選ばれているような流域が比較的大きな河川では、流量が大きいことも関連して、下水道の普及効果は水質的に把握しにくいのが現状である。数十年かけて 50% 普及したという状況では、下水道の普及効果を水質の値として把握しがたい面がある。これに対して、街の中を流れる、幅が 10m 以下の小河川では、その集水面積が小さく、流域内の下水道の普及も数年で 50% 以上進んでいる場合もある。このような小河川では季節的ないしは 1 日以内の水質の変動が大きく変化をつかみにくい点もあるが、下水道の普及が短期間で起こっているため、その効果が把握しやすい可能性もある。

以上の点を背景にして本研究の目的は、下水道の普及効果を水質変化としてとらえる際、主成分分析により得られる総合的な指標はどのような意味を持つかを検討することである。経年的な水質データを対象にした主成分分析をおこない、得られた主成分と下水道普及経過との関連性を考察することにより、複数指標をひとつの総合的な指標にまとめることの有用性に関して検討した。

2. 水質調査の概要

水質調査地点を図 1 に示す。山梨県甲府市の河川、18 地点の水質データを検討に用いた。主として市街地を流れる中小河川である。主要な河川は荒川と濁川で、他の河川はこれらの河川に流れ込む、川幅 10m 以下の小河川である。



データは、年6回の頻度で当研究室で測定した 1971 年度から 2000 年度の水質データである。解析に用いた水質項目は、水温、pH、溶存酸素 (DO)、BOD、COD、アンモニア性窒素、リン酸態リン (1974 年度から測定開始)、浮遊物質 (SS)、溶解性物質 (蒸発残留物-浮遊物質、で求める)、濁度、塩素イオン、導電率、大腸菌群の 13 項目である。水質試験は、下水試験方法⁵⁾ および JIS 工場排水試験方法⁶⁾ に準拠した。

なお、統計的な解析は、欠損値や極端な値 (以下「極端値」) を修正しておこなった。極端値の判定は以下の手順によった⁷⁾。各地点の水質項目ごとに値を小さい方から並べ (全部で n 個とする)、 $0.25n$ 番目と $0.75n$ 番目の値を求める。その 2 つの値の差を b とする。「 $0.25n$ 番目の値 $-1.5b$ 」より小さい値、または、「 $0.75n$ 番目の値 $+1.5b$ 」より大きい値を、極端値とした。欠損値、極端値は、前年の同月と翌年の同月との平均値で置き換えた。ある地点ある水質項目に対してデータは 30 年分 180 個ある。極端値の数は最大で 23 個 (全データの約 13%) であった。浮遊物質、濁度、大腸菌群に極端値が多く現れた。13 水質項目 $\times$ 18 地点のうち 3 分の 2 のケースは、極端値は 9 個 (全データの 5%) 以下であった。リン酸態リンは 1974 年から測定を始めたので、主成分分析に関しては 1974 年以降のデータを用いておこなった。

3. 下水道の普及経過の推定

18 地点のうち集水域が甲府市に限られている 11 地点については、下水道の普及経過を推定した。これには、下水道の供用開始区分の区域分け、集水域による区域分け、丁目単位の区域分けの 3 通りの区域分けを重ね合わせて、甲府市を約 1300 の小区域に分けた。下水道の供用開始の区域分けは、甲府市下水道部の「供用開始告知区域」の供用開始時期ごとに色分けされた地図を用いた。集水域は、甲府市下水道計画図 (雨水) や地形を考慮して推定した。

それぞれの小区域に対して、(a) 下水道の供用開始年、(b) 対応する水質調査地点、(c) 年ごとの人口、を求めた。小区域への人口の割り当ては、

丁目人口を小区域の面積比率に応じて配分することによりおこなった。ある年までに供用開始された区域の人口をその集水域の人口で割ってその年の下水道普及率とした。

4. 検討結果

4.1 下水道の普及に伴う BOD の変化

各水質項目の下水道普及に伴う変化については別に報告してあるが¹⁾、本研究では、下水道の普及経過をより詳細に推定した。ここでは、代表的な水質項目として、下水道普及と BOD の関係についてのみ、以下に述べる。

図 2、3 に、小湯川流末と蛭沢川流末での、下水道普及の推移と BOD の経年変化を示す。図 2 に示すように、小湯川流末では 1988 年から 1991 年にかけて下水道普及率が 0% から 90% 以上にまで上昇し、それに伴い、BOD

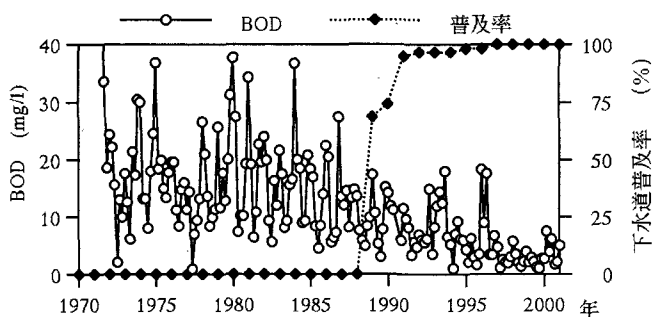


図 2 小湯川流末での BOD の経年変化

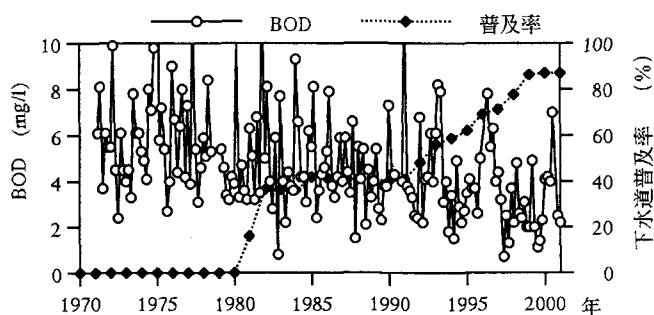


図 3 蛭沢川流末での BOD の経年変化

表1 小湯川流末と蛭沢川流末での相関係数

(b) 蛭沢川流末での相関係数

	水温	PH	DO	BOD	NH4-N	PO4	SS	溶解性物質	濁度	COD	塩素イオン	大腸菌群	導電率	項目
1	0.05	-0.46	-0.12	-0.42	-0.08	0.15	-0.27	-0.01	0.01	-0.30	0.11	-0.34	-0.08	水温
	1	0.42	-0.17	-0.23	-0.26	-0.18	-0.09	-0.25	-0.24	-0.05	-0.04	-0.08	-0.02	PH
水温	1		1	-0.12	-0.11	-0.17	-0.24	-0.05	-0.24	-0.19	0.08	-0.17	-0.02	DO
PH	0.19	1		1	0.30	0.46	0.29	0.15	0.41	0.38	0.26	0.07	0.19	BOD
DO	0.06	0.88	1		1	0.27	-0.07	0.42	0.11	0.45	0.45	-0.01	0.48	NH4-N
BOD	-0.11	-0.42	-0.44	1		1	0.32	0.16	0.35	0.48	0.18	0.18	0.16	PO4
NH4-N	-0.34	-0.66	-0.63	0.58	1		1	-0.15	0.63	0.12	-0.15	0.08	-0.07	SS
PO4	-0.11	-0.64	-0.67	0.65	0.72	1		1	0.01	0.13	0.55	0.06	0.69	溶解性物質
SS	-0.04	-0.33	-0.34	0.83	0.16	0.36	1		1	0.13	0.06	0.00	0.07	濁度
溶解性物質	-0.12	-0.41	-0.39	0.35	0.63	0.50	0.16	1		1	0.22	-0.06	0.21	COD
濁度	-0.03	-0.31	-0.30	0.92	0.31	0.53	0.88	0.23	1		1	-0.08	0.70	塩素イオン
COD	0.00	-0.31	-0.33	0.92	0.45	0.69	0.84	0.30	0.94	1		1	0.00	大腸菌群
塩素イオン	-0.22	-0.28	-0.28	0.30	0.62	0.44	0.19	0.69	0.18	0.22	1		1	導電率
大腸菌群	0.12	-0.21	-0.24	0.45	0.04	0.45	0.33	0.12	0.67	0.69	0.02	1		
導電率	-0.24	-0.43	-0.43	0.47	0.74	0.58	0.09	0.83	0.26	0.37	0.82	0.03	1	
項目	水温	PH	DO	BOD	NH4-N	PO4	SS	溶解性物質	濁度	COD	塩素イオン	大腸菌群	導電率	

(a) 小湯川流末での相関係数

の低下が見られる。下水道の普及以前の BOD 値が約 20mg/l と高いこと、普及が短期間で拡大していることによると思われるが、BOD の低下は顕著であるといえる。図3に示すように、蛭沢川流末での下水道の普及は2段階に分かれ、1980 年から 1982 年にかけて約 40%進み、その後 1990 年から 1999 年にかけてさらに約 50%普及した。BOD は全般的には低下傾向にあるが、前半の 1980 年代の下水道の普及は BOD としては把握しがたい。

このように、単独の水質指標で下水道の普及経過を比較するだけでも、下水道の普及による水質改善効果をとらえることができる。しかし、複数の水質項目を測定しているときには、水質変化を総合的にとらえることも意義があろう。

4.2 水質項目間の相関関係

複数の水質項目の測定結果を総合的にまとめる際のひとつの考え方は、類似の変化を示す項目は同じようにまとめる、ということであろう。各水質項目が連動して変化しているかどうかを把握するために、まず、水質項目間の相関係数を求めた。

表1に、小湯川流末と蛭沢川流末での水質項目間の相関係数を示す。図2、3に示した様に、蛭沢川流末に比べて小湯川流末の方が濃度が高く濃度変化も大きい。そのため、相関係数は小湯川流末の方が全般に高い値を示している。共通の内容を含むと考えられる指標である BOD と COD, SS と濁度、溶解性物質と塩素イオンと導電率には比較的高い相関が見られる。その他、小湯川流末では、汚れの一部を示すと考えられる指標、BOD, COD, アンモニア性窒素、リン酸態リン、浮遊物質などの間でも高い相関係数を示していた。河川の汚れが激しいときにはどの値も高い値を示すので、小湯川のように数値の変化が大きいと、汚れを示す指標の間にはある程度高い相関がでてくものと考えられる。

表2には、各調査地点ごとに水質項目間の相関係数を求め、その絶対値がいずれかの地点で 0.7 以上を示した項目間だけを取り出し、地点ごとに、絶対値が 0.5 以上である場合の相関係数の値を示した。表2によれば、共通の内容を含むと考えられる指標、BOD と COD, SS と濁度、溶解性物質と塩素イオンと導電率に高い相関が見られた地点が多い。アンモニア性窒素とリン酸態リンの間にも高い相関が見られた地点が多い。この他には、水温と DO, pH と DO の間に高い相関係数を示した地点がいくつかある。

表3に、全調査地点のデータを用いて求めた相関係数を示す。表2で指摘したような、BOD と COD, SS

表2 各調査地点での相関の高い項目間の相関係数

地点名	水温- DO	pH- DO	DO- NH4	BOD- SS	BOD- COD	BOD- 濁度	SS- 濁度	COD- SS	COD- 濁度	NH4- PO4	Cl- 溶解	Cl- 導電	溶解- 導電
荒川千松橋	-0.72												
荒川長松寺橋	-0.69				0.56					0.75	0.55	0.79	0.63
湯川三の橋					0.63					0.74	0.91	0.94	0.94
湯川流末		0.74	-0.57		0.58		0.54			0.69	0.88	0.92	0.89
相川横沢橋					0.64		0.74	0.54	0.62	0.64	0.59	0.75	0.69
相川流末		0.7					0.5			0.66	0.75	0.87	0.84
小湯川流末		0.88	-0.62	0.83	0.92	0.92	0.88	0.84	0.94	0.72	0.69	0.82	0.83
貢川地藏橋	-0.54				0.54					0.74	0.55	0.69	0.68
貢川流末					0.75					0.62		0.52	0.63
荒川千秋橋	-0.73				0.56					0.67	0.64	0.81	0.76
沼川流末					0.65		0.98	0.78	0.79	0.57	0.6	0.7	0.79
荒川二川橋	-0.7				0.54		0.57			0.6	0.75	0.83	0.79
濁川忠徳橋		0.67	-0.63	0.73	0.58	0.78	0.81			0.63	0.56	0.64	0.88
濁川省路橋		0.77	-0.71	0.59	0.5	0.64	0.66	0.51	0.51	0.65	0.69	0.75	0.86
藤川流末							0.6					0.57	0.64
濁川蓬橋	-0.57				0.56		0.56				0.55	0.79	0.67
濁川流末		0.5					0.62			0.55		0.69	
蛭沢川流末							0.63				0.55	0.7	0.69

(NH4: アンモニア性窒素, PO4: リン酸態リン, Cl: 塩素イオン, 溶解: 溶解性物質, 導電: 導電率)

表3 全調査地点のデータによる相関係数

水質項目	水温	pH	DO	BOD	アンモニア 性窒素	リン酸 態リン	SS	溶解性 物質	濁度	COD	塩素 イオン	大腸菌 群	導電率
水温	1												
pH	0.22	1											
DO	-0.26	0.57	1										
BOD	-0.13	-0.24	-0.36	1									
NH4-N	-0.22	-0.36	-0.41	0.50	1								
PO4	0.01	-0.17	-0.35	0.60	0.66	1							
SS	0.05	-0.29	-0.35	0.25	0.32	0.19	1						
溶解性物質	0.05	-0.11	-0.38	0.49	0.59	0.57	0.24	1					
濁度	-0.05	-0.31	-0.34	0.41	0.34	0.27	0.66	0.30	1				
COD	-0.05	-0.23	-0.42	0.79	0.58	0.63	0.35	0.58	0.50	1			
塩素イオン	0.00	-0.07	-0.23	0.35	0.59	0.52	0.15	0.76	0.16	0.42	1		
大腸菌群	0.11	-0.12	-0.24	0.25	0.09	0.18	0.07	0.18	0.12	0.24	0.15	1	
導電率	0.01	-0.10	-0.38	0.47	0.64	0.60	0.27	0.92	0.30	0.57	0.84	0.16	1

と濁度、溶解性物質と塩素イオンと導電率、アンモニア性窒素とリン酸態リンの間の相関係数が高い値を示している。また、pH と DO の相関係数が比較的高いこと、表3の水温との関係では DO との相関係数が最も高くしかも負の値であることも、表2の結果が反映されていると考えられる。

4-3. 調査地点ごとの主成分分析

主成分分析は、複数の指標を少数の総合的な指標に集約する手法のひとつである。各調査地点それぞれのデータをもとに、主成分分析をおこなった。得られた主成分負荷量を第3主成分まで、小湯川流末と蛭沢川

表4 小湯川流末の主成分負荷量

水質項目	第1主成分	第2主成分	第3主成分
水温	-0.303	-0.194	0.787
PH	-0.802	0.315	-0.133
DO	-0.787	0.303	-0.254
BOD	0.826	-0.147	-0.202
アンモニア性窒素	0.905	0.107	-0.011
リン酸態リン	0.806	-0.066	0.167
SS	0.635	-0.382	-0.353
溶解性物質	0.687	0.567	0.202
濁度	0.722	-0.282	-0.340
COD	0.833	-0.107	-0.107
塩素イオン	0.640	0.640	0.054
大腸菌群	0.547	-0.314	0.555
導電率	0.796	0.526	0.071
累積寄与率	53.4%	65.7%	76.3%

表5 蛭沢川流末の主成分負荷量

水質項目	第1主成分	第2主成分	第3主成分
水温	-0.341	-0.550	0.491
PH	-0.412	0.420	-0.284
DO	-0.232	0.580	-0.664
BOD	0.636	-0.225	-0.313
アンモニア性窒素	0.728	0.247	0.081
リン酸態リン	0.606	-0.313	-0.155
SS	0.289	-0.656	-0.299
溶解性物質	0.601	0.515	0.312
濁度	0.507	-0.471	-0.361
COD	0.749	-0.328	-0.029
塩素イオン	0.618	0.546	0.106
大腸菌群	0.105	-0.267	0.243
導電率	0.668	0.491	0.216
累積寄与率	28.8%	49.3%	59.5%

流末の場合について、表4、5に示す。第3主成分までの累積寄与率は、小湯川流末で76%、蛭沢川流末で60%である。BODの値が小さい蛭沢川の方がやや低い値を示し、第3主成分までで説明できる変動が少ないことを表している。

小湯川流末、蛭沢川流末いずれにおいても、第1主成分負荷量はBODとCOD、SSと濁度、溶解性物質と塩素イオンと導電率、アンモニア性窒素とリン酸態リンなど、何らかの意味で汚れを表す指標がプラスの値を示している。そして、値が小さいほど汚れていると判断される指標であるDOがマイナスを示している。これらのことから判断すると、第1主成分は、総合的な汚れを示す指標と考えて良いであろう。河川の水質データに対して主成分分析をおこなうと、このような、汚れを示す成分はしばしば得られている^{8)~11)}。

第2主成分負荷量に関しては、小湯川流末においては、溶解性の指標と考えられる溶解性物質、塩素イオン、導電率の値が高い。続いて、懸濁性の指標であるSS、濁度がマイナスで高い。蛭沢川においては、懸濁性の指標がマイナスで高く溶解性の指標がプラスで高い。以上のことから、第2主成分は、溶解性的か懸濁性的かを表す指標であると考えられるが、pHやDOの値もかなり大きいため、意味の解釈は難しい。第2主成分は、溶解性物質の濃度が高くなると大きくなるし、懸濁物質の濃度が高くなると小さくなる。溶解性物質も懸濁性物質もともに減少すると、両者の割合に応じて高くなったり低くなったりする。したがって、ここでは第2主成分を、溶解性と懸濁性のバランスを表す指標、と解釈する。

第3主成分負荷量に関しては、小湯川流末ではプラス符号は水温が高く、次は大腸菌群となっている。DO、SS、濁度はマイナス符号でやや大きい値をとっている。蛭沢川流末では、水温がプラス符号で高く、マイナス符号ではDO、SS、濁度が高い値を示している。水温の主成分負荷量が大きいこと、DOが水温とが逆符号になっていることを考えると、これは、水温の季節変化に関係する指標であることが示唆される。

4-2で調べた相関のあるグループごとに考える。BODとCOD、アンモニア性窒素とリン酸態リンは主として第1主成分、SSと濁度は第1主成分と第2主成分、溶解性物質と塩素イオンと導電率も第1主成分と第2主成分に影響を与えているといえる。また、水温とDOの間に見られた弱い負の相関関係は、第3主成分に現れていると考えられる。

以上、小湯川流末と蛭沢川流末での主成分負荷量について述べた。他の地点においても、第2主成分と第3主成分の順序が入れ替わる場合もあるが、おおむね類似の内容を示すと考えられる3つの主成分が得られた。

第1主成分は総合的な汚れを示す指標と考えると、第1主成分は下水道の普及経過と関連性が深いと思われる。小湯川流末と蛭沢川流末での下水道の普及率と第1主成分得点の経年変化を図4、5に示す。これらの図に示されるように、第1主成分は下水道の普及経過と密接に関連している。また、図2、3と比較すると、第1主成分得点のほうがBODよりもより下水道普及率の変化に追随しているように見える。実際、第1主成分得点、BODを含むいくつかの主成分負荷量の高い水質指標と下水道普及率との相関を調べてみると、表6、7に示されるように、第1主成分得点との相関係数が最も高くなっていた。したがって、下水道の普及効果を水質の値として把握するには、BODなどの単独の指標に頼るより、さらに、イオン系の指標、溶解性の指標などを組み合わせた指標で評価する方が、把握しやすいと考えられる。

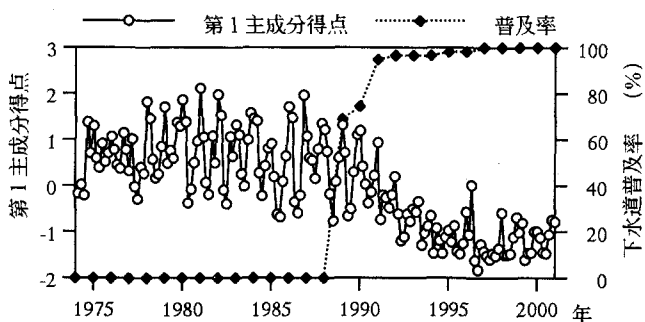


図4 小湯川流末での第1主成分得点の経年変化

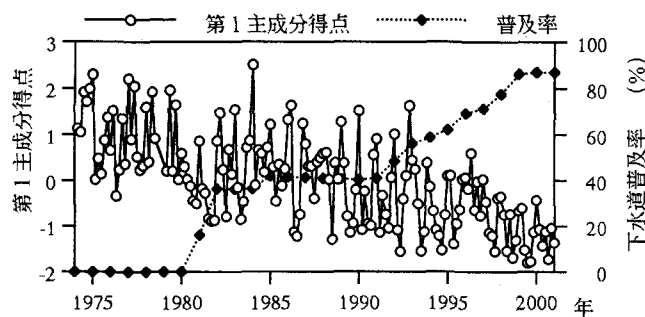


図5 蛭沢川流末での第1主成分得点の経年変化

表4、5に示される第1主成分負荷量においてBODは確かに大きな値を示しているが、BODと同程度、ないしはそれ以上の主成分負荷量を示す水質項目も見られる。このような点からも、汚れの変化を総合的にとらえる際には複数の水質項目を測定する意味があるといえる。

第2主成分は溶解性と懸濁性のバランスに関連した指標であるとの解釈を述べた。図6、7に、小湯川流末と蛭沢川流末での第2主成分得点の経年変化を示す。小湯川流末では下水道普及以前は上昇し、普及開始以後はほとんど一定である。蛭沢川流末では、下水道普及開始以前は上昇し、普及開始以後も緩やかに上昇している。

第2主成分得点は、溶解性物質が増える、または、懸濁物質が減ることにより値が高くなる。下水道普及開始以前の上昇は、単独浄化槽の普及により浄化槽排水があらたに河川に流入することによるものと推定される。下水道供用開始後の主成分得点の変化から考えると、第2主成分は、汚水と雑排水をともに除くときには、あまり大きな変化を示さない指標である、ということが考えられる。

第3主成分は水温に関係する指標であることが示唆された。図8、9に、小湯川流末と蛭沢川流末での第3主成分得点の経年変化を示す。両地点ともに、下水道の有無に関係なく、経年的な変化をあまり見せ

表6 下水道普及率と水質指標との相関(小湯川流末)

水質指標	相関係数(—)
第1主成分得点	0.925
BOD	0.852
COD	0.863
アンモニア性窒素	0.877
リン酸態リン	0.869

表7 下水道普及率と水質指標との関係(蛭沢川流末)

水質指標	相関係数(—)
第1主成分得点	0.848
BOD	0.677
COD	0.668
アンモニア性窒素	0.840
導電率	0.366

ていない。したがって第3主成分は主として、一年内に起こる水温に関連した季節的な変動を表していると解釈して良いであろう。

4-4. 全調査地点に対する主成分分析

各調査地点の水質変化傾向を比較するために、全調査地点のデータを対象に主成分分析を行った。各調査地点に対して共通の主成分負荷量から主成分得点を求め、調査地点の特長を探ることを試みる。

表8に、全調査地点のデータを対象にした主成分負荷量を示す。全地点を対象にしても小湯川流末や蛭沢川流末と同様、汚れを示す第1主成分、溶解性と懸濁性のバランスを表す第2主成分、水温に関連した第3主成分が得られた。このうち経年的な変化を示すのは第1、2主成分なので、横軸に第1主成分得点、縦軸に第2主成分得点を取り、いくつかの地点をプロットした。その結果を、図10-1、2に示す。

図10-1、2に示されるように、時間経過による大きな流れとしては、第1主成分得点が減少し、つまり、汚れが減少し、第2主成分得点が増加する方向に変化している。この中で下水道普及率が大きく上昇した市街地内の地点（小湯川流末、藤川など白抜きの地点）では、移動幅が大きい。これに対して、荒川長松寺橋や荒川千松橋は市街地の上流部に位置し、本研究で対象とした地点の中では、水質が比較的良好な地点である。この2地点では水質の変化も小さいため、第1-第2主成分平面上での位置は、あまり変化していない。また、この2地点は第1-第2主成分平面上でほとんど同じ位置にある。この2地点は市街地の上流部に位置するため、水質改善の目標と考えて良い地点といえよう。

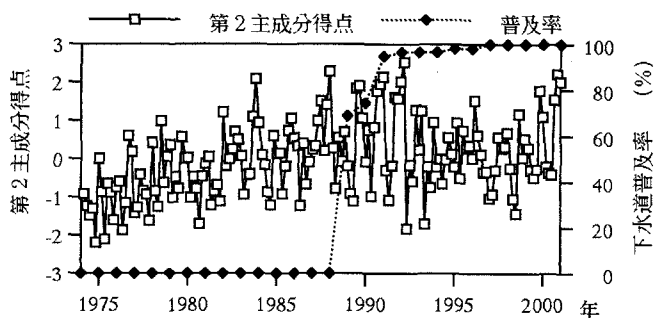


図6 小湯川流末での第2主成分得点の経年変化

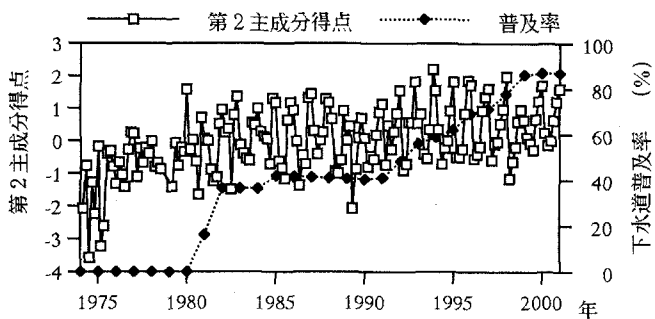


図7 蛭沢川流末での第2主成分得点の経年変化

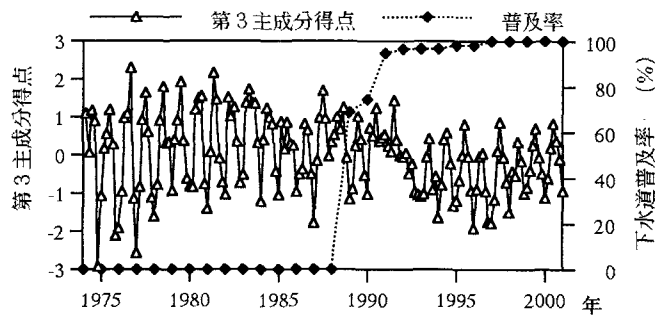


図8 小湯川流末での第3主成分得点の経年変化

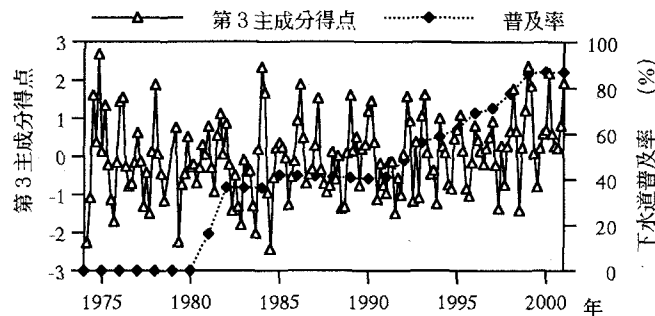


図9 蛭沢川流末での第3主成分得点の経年変化

表8 全地点を対象とした場合の主成分負荷量

水質項目	第1主成分	第2主成分	第3主成分
水温	-0.038	0.067	0.915
PH	-0.381	0.614	0.175
DO	-0.593	0.405	-0.378
BOD	0.737	-0.074	-0.148
アンモニア性窒素	0.800	0.052	-0.277
リン酸態リン	0.760	0.191	-0.041
SS	0.470	-0.548	0.100
溶解性物質	0.822	0.372	0.094
濁度	0.554	-0.544	-0.025
COD	0.818	-0.077	-0.060
塩素イオン	0.715	0.496	0.018
大腸菌群	0.286	-0.085	0.405
導電率	0.842	0.395	0.057
累積寄与率	41.8%	55.2%	65.2%

白抜き地点の変化傾向を示す矢印は、下水道の普及に伴う水質の変化傾向を示していると考えられる。大きな傾向としてこの矢印の方向は、市街地の上部の水質を示す黒丸の方向には向かっていない。このことは、下水道の普及に伴い河川の水質は改善されているけれども、これまでのところ、荒川上流部の比較的水質が良いとされる、千松橋や長松寺橋地点の様な水質に向かって改善しているわけではない、ことを示している。

5. おわりに

下水道の普及が河川水質に及ぼす影響を把握するために、甲府市に設けたいくつかの水質調査地点の30年間のデータを用いて検討をおこなった。水質変化を総合的にとらえる試みとして主成分分析をおこない、得られた主成分について考察した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 下水道の普及に伴いBODの値は減少する傾向を示した。
- (2) 相関性の強い水質項目の組み合わせとして、BODとCOD、SSと濁度、溶解性物質と塩素イオンと導電率、アンモニア性窒素とリン酸態リンがあげられる。
- (3) 主成分分析をおこなった結果3つの主成分として、総合的な汚れを表す指標、溶解性と懸濁性のバランスを表す指標、水温に関連する指標、が得られた。このうち、最初の2つの指標には経年的な変化が見られたが、水温に関連する指標には経年的な変化はほとんど見られなかった。

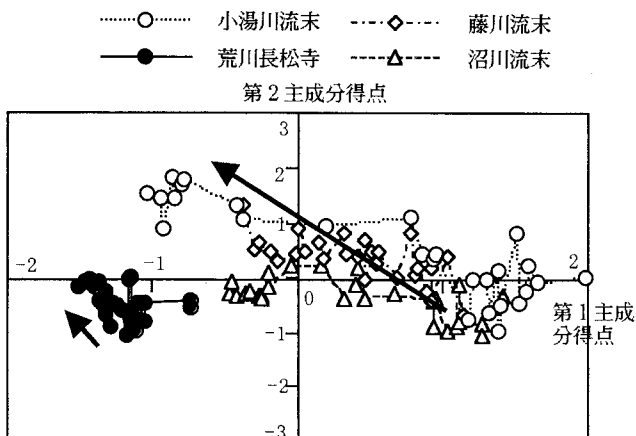


図10-1 主成分得点の推移（小湯川流末，藤川流末，荒川長松寺橋，沼川流末：矢印は時間経過を示す）

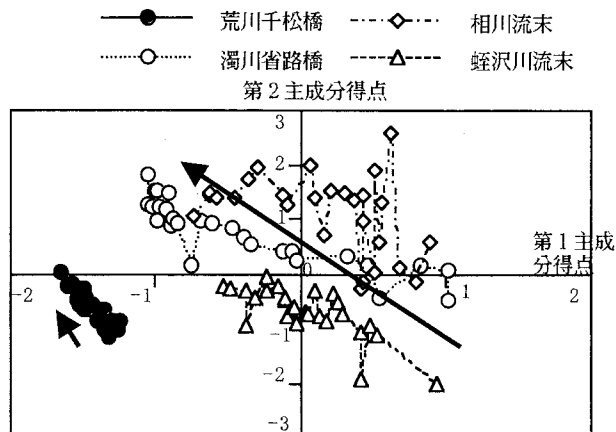


図10-2 主成分得点の推移（荒川千松橋，相川流末，濁川省路橋，蛭沢川流末：矢印は時間経過を示す）

- (4) 主成分分析より得られた総合的な汚れを表す指標の経年的な変化は、単独の水質指標よりも下水道の普及経過とより密接に関連していた。
- (5) 総合的な汚れを表す指標にはBODやCODの他に、溶解性の物質、イオン性の物質も関連性が高く、下水道の普及を水質の改善効果として数値的に把握する際、複数の水質項目を用いて評価する有効性が指摘できた。
- (6) 下水道の普及に伴う水質改善の方向は、河川上流部の水質に向かっているわけではないことを指摘した。

参考文献

- 1) 平山公明, 今岡正美, 平山けい子, 金子栄廣: 下水道の普及に伴う小河川での水質変化に関する検討, 下水道協会誌, Vol. 39, No. 473, pp. 151-166, 2002
- 2) 環境庁企画調整局: 環境白書(総説), 平成11年版, pp. 423-429, 1999
- 3) 藤丸正司: 水と人との新しい交流の場「水環境館」—北九州市—, 下水道協会誌, Vol. 37, No. 455, pp. 24-27, 2000
- 4) 間片博之: 東京都下水道の歩みを語る, 下水道協会誌, Vol. 37, No. 452, pp. 62-81, 2000
- 5) 日本下水道協会: 下水試験方法, 1974
- 6) 日本規格協会: JIS 工場排水試験方法 JIS K 0102, 1998
- 7) 新村秀一: パソコンによるデータ解析, 講談社, pp. 65-67, 76-78, 91-93, 1995
- 8) 下原健一, 重住研一, 小川裕信, 橋本昭雄: 主成分分析法を用いた遠賀川の水質の統計的解析, 用水と廃水, Vol. 33, No. 9, pp. 737-742, 1991
- 9) 藤本千鶴, 広崎昭太: 千葉県内河川水質の総合指標による経年変化の評価, 水質汚濁研究, Vol.9, No.11, pp. 724-731, 1986
- 10) 古武家善成: 加古川水系の水質変動解析, 水質汚濁研究, Vol. 6, No. 6, pp. 415-423, 1983
- 11) 岡敬一, 吉見洋, 井口潔, 小森谷廣子: 総合水質指標による神奈川県内河川水質の解析, Vol. 6, No. 6, pp. 407-413, 1983