

下水道整備計画に関するシステム論的研究 IV
 —とくに 地域分析とマクロ的計画入力について—

(株) 日本水道コンサルタント

萩原良巳

小泉 明

中川 男一

○ 高橋 邦夫

1. はじめに

ゆきゆきは、以下、下水道整備計画と、水環境を意識した地域計画の一環であるという認識に立つ。したがって、この作成に当り、まず地域特性ならびに地域構造の把握が重要な基礎情報を与えることになる。

従来、計画入力、あるいは計画要素の取扱いは、画一的になされてきたように思われる。本稿では、地域特性もできるだけ計画に反映せよという立場から、主として、汚濁負荷量構造、ならびに水需要構造とも含め、統計的地域分析を試みるものである。

なお、分析手法として、いくつか考えられるが、ここでは、主成分分析法、重回帰分析法と適用し、分析フローを図-1に示す。

2). 3).

2. 主成分分析法による地域特性の把握

地域特性の分析は、計画の目的によりデータの扱いが変化する。ここでは、流達負荷量の分析を主眼とした農村地帯を形成するA流域、発生負荷量との関連に特に注目に都市圏であるB流域、さらに、地域構造の変化を加味し、水需要構造の分析に注目したC流域の3つを分析対象とし、それぞれの目的から、分析結果を総括する。

2.1 流達負荷量に注目した支流域別特性(A流域)

まず、分析の対象となるA流域、ならびに特性値を、図-2に示す。ただし、データは、それぞれの項目と流達負荷量で割り、単位流達負荷量当りの値に変換されている。図-2において実線で区分された各支流域は、ほぼ独立に存在し、水界間の競合(上・下流、分・合流など)は、ほとんどないものと考えられる。また各支流域は、2,3の地区を除けば、相対的に農山村地帯の特徴が顕著であるといえる。

固有値、累積固有値、ならびに第1主成分までの因子負荷量を表-1に示し、以下に各主成分の解釈を行なう。

1) 第1主成分では、因子負荷量は0.5~0.9の値をとる。ただし、 x_2 : 田地人口、 x_4 : 流量は除く。したがって、 x_2, x_4 を除く特性値より構成される主成分は、大半の因子(size factor)なる性質を持つものであり、特に、 x_5 : 総人口、 x_6 : 宅地面積、 x_{12} : 総面積が大きなウェイトを占めている。

2) 第2主成分では、人口に関する特性値(x_1, x_3, x_5, x_6)の因子負荷量は(-0.5~-0.6)、面積に関する特性値($x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}$)では、(0.5~0.8)の値を示す。したがって、第2主成分は人口の注)我々は、ここに掲げられている批判的な立場から、1件に1件計画入力の取扱いを示した。

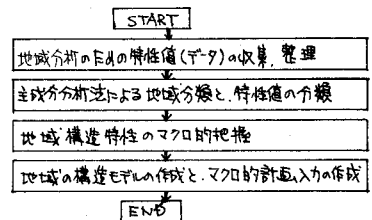


図-1 地域分析の目的の分析フロー



図-2 特性値およびA流域

	固有値	累積固有値	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
1	6.272	0.448	x_1	-0.587	-0.128	-0.114
2	4.219	0.749	x_2	0.025	0.318	0.446
3	1.165	0.833	x_3	0.767	-0.613	-0.076
4	0.954	0.901	x_4	0.572	0.118	0.673
5	0.621	0.945	x_5	0.840	-0.517	0.109
6	0.362	0.971	x_6	0.643	-0.652	-0.109
7	0.214	0.986	x_7	0.656	0.433	-0.516
8	0.094	0.994	x_8	0.885	0.180	-0.242
9	0.053	0.997	x_9	0.785	0.508	-0.118
10	0.030	0.999	x_{10}	0.753	0.561	-0.024
11	0.010	1.000	x_{11}	0.516	0.757	0.137
12	0.003	1.000	x_{12}	0.828	0.478	0.182
13	0.002	1.000	x_{13}	0.538	-0.646	0.285
14	0.000	1.000	x_{14}	0.001	0.825	0.001

表-1 固有値、累積固有値、因子負荷量

密集性を示すファクターといえる。

3) 第3主成分では、 X_9 ; 農村人口が正で大きく、一方家庭頭数が負で大きい。したがってこれは、農業の型(稲作型、畜産型)と区別する主成分と考えられる。

4) 第4主成分では、 X_{10} ; 林地人口が負で大きく、特殊な人口密集地の存在を示す主成分といえる。

こうして、各主成分の解釈と、特性値の分類がなされ、さらに、この情報をもとに、特に第1主成分、第2主成分について因子スコアを示した図-3である。このより、半径1.0の円内には比較的単純な支流域群が該当するが、市街地の特に発達している地域、もしくは、広大な農村地域はこれとかけはたして存在し、支流域差による明確な分類がなされているといえる。したがって以上より、流域のほとんどが比較的単純な地域特性(農山村地域)を有してより、3. 2述べるように、重回帰分析による流達負荷量の構造分析への可能性も十分に期待しうる。ただし、この分析では不十分であり、次に述べるような発生負荷量との関連、あるいは、地域区分と行政区域としての区別の検討が必要となる。

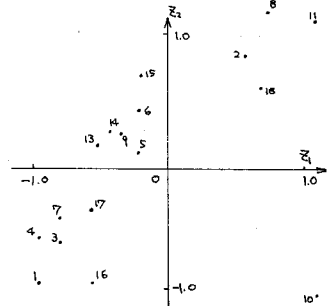


図-3. 因子スコア図(Z_1, Z_2)

2.2 発生負荷量に注目した行政区域別、ならびに支流域別地域特性

2.1 では、流達負荷量と支流域別特性について考察したが、ここでは、流域と特に発生負荷量との関連に注目し、さらに、地域区分と行政区域、および支流域の相関とし、この分析結果の関係について考察する。なお、ここで対象となる流域は、大都市圏の近傍に存在し、近年都市化による宅地開発のみに限った地域といえる。図-4に対象流域、ならびに特性値を示し、以後、特性値を単位面積当りに変換してデータにより、行政区域別、支流域別の分析を行ない、さらに発生負荷量と主成分の関係を考察し、しかる後、両者の関連について述べる。

2.2.1 行政区域別みた流域の特性

表-2に各主成分の固有値、累積固有値、および因子負荷量を示す。ただし、ここでは標準化バリエーション法による軸の回転を行なった。以下、第4主成分までの解釈を行なう。

1) 第1主成分

ここに寄与する特性値は、表-2(軸回転後の因子負荷量)より、つぎのとおりとなる。

正で大きいもの X_2 ; 昼間人口、 X_1 ; 人口、 X_7 ; 医療従事人口、 X_6 ; 給水人口、 X_{22} ; 年間降雨量、 X_4 ; 財政、 X_4 ; 商業地区面積、 X_{11} ; 工業敷地面積、 X_{10} ; 工業敷人口

負で大きいもの X_{10} ; 森林面積、 X_{19} ; ばっさい面積

このことから、第1主成分は、(単位面積当りの)人間活動を記述する総合特性値といえる。

2) 第2主成分

正で大きいもの X_{15} ; 農地面積、 X_{14} ; 農家人口、 X_6 ; 米収穫高

負で大きいもの X_{10} ; 森林面積

以上より、第2主成分は、(単位面積当りの)農業活動の強さを示す総合特性値と考えられる。

3) 第3主成分、第4主成分

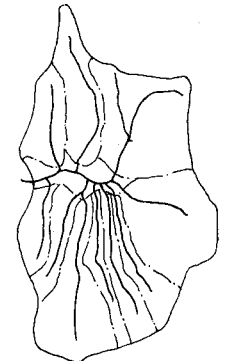
第3主成分は、工業活動の強さを示すもの、および第4主成分は、

注) ここで単位面積当りに変換した。面積の大小による影響と除くことができる。

表-2. 固有値、累積固有値、因子負荷量

特性値	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
1	0.937	0.280	0.066	0.087
2	0.937	0.280	0.066	0.087
3	0.412	-0.040	-0.124	0.690
4	0.057	-0.154	0.066	0.388
5	0.017	-0.164	-0.030	0.027
6	0.094	0.305	0.086	0.206
7	0.920	0.083	0.203	0.175
8	0.200	0.654	-0.304	-0.214
9	0.217	-0.120	0.168	0.042
10	0.023	0.351	0.287	-0.113
11	0.027	0.193	-0.059	-0.312
12	0.122	0.123	0.954	0.051
13	0.537	0.133	0.783	-0.080
14	0.213	0.948	-0.024	0.020
15	0.103	0.932	0.085	-0.186
16	0.090	0.926	0.170	-0.094
17	0.038	0.227	0.041	-0.661
18	-0.287	-0.899	-0.183	-0.146
19	-0.262	-0.507	0.001	-0.635
20	0.149	-0.023	0.922	-0.140
21	0.063	0.281	0.065	0.064
22	0.007	-0.052	0.352	0.093

図-4. 特性値、B流域



固有値	9.79	3.89	2.52	1.40
累積固有値	0.44	0.62	0.94	0.80
特性値	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
1	0.937	0.280	0.066	0.087
2	0.937	0.280	0.066	0.087
3	0.412	-0.040	-0.124	0.690
4	0.057	-0.154	0.066	0.388
5	0.017	-0.164	-0.030	0.027
6	0.094	0.305	0.086	0.206
7	0.920	0.083	0.203	0.175
8	0.200	0.654	-0.304	-0.214
9	0.217	-0.120	0.168	0.042
10	0.023	0.351	0.287	-0.113
11	0.027	0.193	-0.059	-0.312
12	0.122	0.123	0.954	0.051
13	0.537	0.133	0.783	-0.080
14	0.213	0.948	-0.024	0.020
15	0.103	0.932	0.085	-0.186
16	0.090	0.926	0.170	-0.094
17	0.038	0.227	0.041	-0.661
18	-0.287	-0.899	-0.183	-0.146
19	-0.262	-0.507	0.001	-0.635
20	0.149	-0.023	0.922	-0.140
21	0.063	0.281	0.065	0.064
22	0.007	-0.052	0.352	0.093

表-2. 固有値、累積固有値、因子負荷量

都市化の強さを示すファクターと意味付けできる。したがって、こゝから主成分は、第1主成分として都市化の強さ、人間活動の強さが、どのような性質のものであるかという具体的な内容を示すものといえよう。

以上の結果から特に、第1主成分（人間活動、特に都市活動の強弱）、および第2主成分（農業活動の強弱）の2総合特性と基準とし、こゝから行政区域の分類を行なえば、大きく以下の4つに分類できる。

- a) 人間活動、農業活動のともに強い地域
 a') a) に準ずる地域
 b) 人間活動は弱い、農業活動は強い地域
 b') b) に準ずる地域
 c) 人間活動は強い、農業活動は弱い地域
 c') c) に準ずる地域
 d) 人間活動、農業活動ともに弱い地域
 d') d) に準ずる地域

以上の基準により、行政区域を分類したのが図-5である。

2.2.2 支流域別に見た地域の特性

表-3に支流域を単位として行、図有値、累積固有値、ならびに軸回転後の因子負荷量を示す。

1) 第1主成分

こゝでは、表-3に明らかに、(単位面積当りの)人間活動の強さ(特に都市活動の強さ)を示す総合特性値といえる。こゝは、先の行政区域別の結果と一致する。

2) 第2主成分

こゝでは、 X_3 ：工業敷地面積、 X_5 ：流量が正で大きな値を示しており、一方、 X_4 ：下水処理人口が負で大きな値を示している。すなわち、第1主成分の持つ人間活動のうち、工業活動を記述する因子と考えるとよいだろう。行政区域別では、この特徴は、第3主成分に表われている。

3) 第3主成分

この主成分は、支流域内で山地部が占める割合が多いか、平地部が占める割合が多いかを示すものと考えられるとともに、農業活動の強弱を示す因子といえる。

こうして、行政区域別、支流域別に分割した相方の特性をまとめれば、第1主成分はほぼ同様、前者の第2主成分が後者では第3主成分に移行し、前者の第3主成分が後者の第2主成分に移行していることになる。また前者と同様に、第1主成分(人間活動)、第3主成分(農業活動)による4分類を行ない、その結果、分類した支流域を図-6に示す。

このように、単位面積当りの特性値による結果は、個々の特性値の因子負荷量は異なるが、総合特性として主成分を解釈した場合、ほぼ同様の結果が得られるといえる。原データによる分析結果では、相方の共通性は第1主成分にのみ表われている。

2.2.3 発生負荷量と地域特性の分析

こゝでは、先に得た分析結果に備わ、特に発生(流達)負荷量との関連について分析を行なう。先に得られた、人間活動の強さ、農業活動を考慮し、こゝから発生(流達)負荷量の関係も記せば、図-7となる。ただしこゝで発生負荷量は原単位より単純化⁴⁾したものを用い、流達負荷量は、各支流最下段における定測値を用いている。

図-5 行政区域の分類

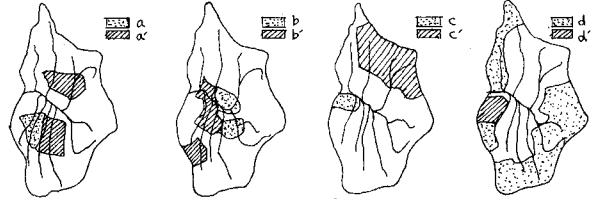
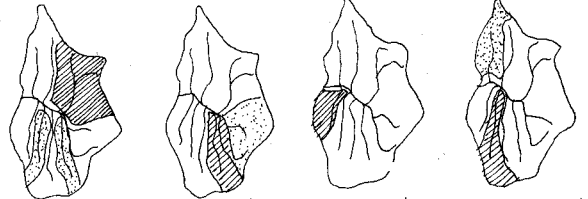


図-6 支流域の分類



固有値	9.29	3.54	3.16
累積固有値	41	56	70
特性値	第1主成分	第2主成分	第3主成分
1 人口	0.964	-0.052	0.001
2 住数	0.764	0.223	0.929
3 農業	0.875	0.199	0.035
4 下水処理人口	0.026	-0.914	0.309
5 工業敷地面積	0.961	-0.155	0.016
6 人口密度	0.025	0.472	-0.070
7 工業人口	0.536	0.134	0.069
8 工業用地	0.272	0.072	0.101
9 工業用地率	0.668	0.222	0.179
10 工業用地率	0.817	0.112	0.126
11 工業用地率	0.261	0.113	-0.242
12 工業用地率	-0.301	-0.052	-0.915
13 工業用地率	-0.955	-0.006	0.243
14 工業用地率	0.037	-0.180	-0.229
15 工業用地率	0.061	0.799	0.306
16 支川	0.125	0.492	0.345
17 支川	-0.301	-0.016	0.886
18 支川	0.187	0.268	-0.416
19 支川	0.388	-0.298	-0.223
20 支川	0.588	0.035	0.295
21 支川	0.880	0.094	0.092
22 支川	-0.032	0.293	0.045
23 支川	0.068	0.051	0.050

表-3 固有値、累積固有値、因子負荷量

図-6より、地域分割が行政区域別のとき、第2主成分得点が負の行政区では、第1主成分と発生負荷量との間には、ほぼ線型の関係が見えさせるが、第2主成分得点が正である行政区では、上述のような関係はうかがわれない。すなわち、農業活動の弱い地域では、人間活動が弱くなるに比例して発生負荷量も増大し、その間には、ほぼ1次の関係がある。これに対し、農業活動の強い行政区では、人間活動が弱くなるにもかかわらず、2次曲線的に発生負荷量が増大する傾向がうかがわれる。このことは、農業活動による負荷発生量が、原単位にあらわれていないことを示しているものと考えられ、その取扱いに対する考慮が必要であろう。

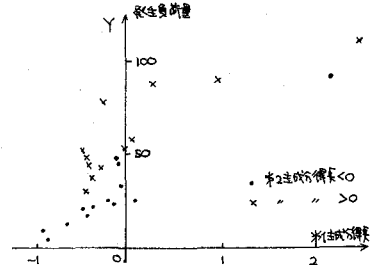


図-7 因子得点と発生負荷量の関係

一方、支流域別とした場合でも、人間活動の強さと、流達負荷量の大きさとの間には、正の相関が見られるが、前者と同様に農業活動の強弱が流達負荷量に大きく影響していることがうかがえ、農業活動より発生する負荷量の取扱いは慎重を要する。また、この場合、自然的カットオフの地域特性を含んでおり、それは農業活動の強弱と密接な関連を持つものと考えられる。

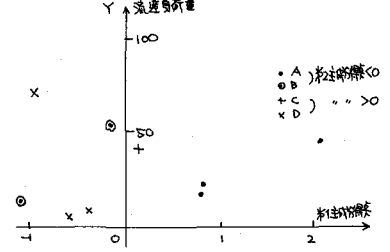


図-8 因子得点と流達負荷量の関係

また、水質汚濁という観点から、先のデータと更に発生（流達）負荷量で割ったものに主成分分析を適用し、その結果、水質悪化を促進する因子、および水質浄化を代表する因子が抽出され、河川水質に与えるインパクトがらみか因子の分類がなされたが、ここでは省略する。

2.3 水需量構造からみた地域分析、および、その変化

ここでは、水需量予測という観点から、C地域に焦点を当て、特に水需量構造式作成のための行政区域の分類、ならびにその特性の把握を行なう。

2.3.1 水需量構造から見た地域特性

表-4に、固有値、累積固有値、および因子負荷量を示す。これによれば、第3主成分までが有意と考えられ、各主成分を以下のように解釈する。

1) 第1主成分

正で大きいもの 総人口、建設事業所数、年間給水量、世帯数、財政支出事業所数、第3次産業人口、宅地面積、宅地比率

負で大きいもの 60才以上の人口比率、1世帯当りの人数、世帯当りの室数

これより、第1主成分は、都市活動の強さを示すファクターと考えられる。

2) 第2主成分

正で大きいもの 40~59才人口比率、畑面積、農林人口、60才以上人口比率、水産人口

負で大きいもの 20~39才人口比率、世帯当りの人数、世帯当りの室数、宅地人口密度

ここでは、第1次産業（農業、漁業）を規定する特徴と、都市化を規定する特徴とに区別され、第1次産業の強さを示すファクター、あるいは、人口の密集度を示すファクターと考えられる。

3) 第3主成分

正で大きいもの 世帯当りの室数、世帯当りの人数、水産人口、60才以上の人口比率、宅地人口密度

負で大きいもの 水道普及率、原単位

ここで、負のグループに注目すれば、水道という立場から見るときの生活レベルを示すファクターと解釈できよう。

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
固有値	10.798	3.815	1.766
累積固有値	0.51	0.70	0.78
特徴値			
1 総人口	0.986	0.067	0.120
2 農業人口	0.243	-0.124	-0.721
3 年間給水量	0.985	0.064	0.052
4 原単位	0.423	-0.090	-0.648
5 世帯数	0.981	0.078	0.117
6 1世帯当りの人数	-0.434	-0.509	0.477
7 畑面積	0.005	0.800	-0.025
8 宅地	0.962	0.098	-0.005
9 宅地面積	0.898	-0.240	-0.122
10 宅地人口	0.340	-0.278	0.144
11 宅地人口密度	0.635	-0.267	0.183
12 20~39才人口比率	0.551	-0.704	-0.200
13 40~59才	-0.225	0.802	-0.061
14 60才以上	-0.320	0.710	0.194
15 総人口	0.200	0.783	0.102
16 水産人口	0.807	0.340	0.302
17 第3次産業人口	0.971	0.041	0.144
18 建設事業所数	0.986	0.066	0.084
19 建設所数	0.978	0.076	0.121
20 1世帯当りの室数	-0.402	-0.508	0.508
21 財政	0.980	0.121	0.119

表-4 固有値、累積固有値、因子負荷量

つぎに、水需量構造の把握のために各行政圏を、第1～第3主成分の解釈のもとに分類する。ここでは第3主成分を軸として因子負荷量を軸にしたのが図-9である。よって、先の解釈を考慮することにより、次の7つの群に分類することが可能となる。すなわち、

A: 都市活動, B: 水産活動, C: 農業活動, D: 生活構造
E: 生活指標, F: 過密化, G: 経済豊度人口

である。この結果、例えば、都市活動の強い地域に対しては、A、およびG群の中から需要変数を抽出し、これに重回帰分析等と適用することも可能である。以上から、行政区の特性の把握と分類、更に予測に導くための特性値の把握に有効な情報が行われたといえるだろう。

2.3.2 水需量構造の変化

両節では、昭和49年度のデータと分析したものであるが、これに昭和45年度のデータを加えて分析結果を図-10に示す。この結果

- 都市活動の極端に強くな、F行政区
- 都市活動、第1次産業がともに強くな、F行政区
- 都市活動が強くな、F行政区
- 第1次産業が若干強化された行政区
- 都市活動、第1次産業が若干強化している行政区
- 活動がほぼ従来の行政区

の6つに分類される。こうした情報は、より一層のきめの細かい地域分析として重要であり、特に水需量予測においては、不可欠であろう。

以上、2.2では、性質の異なる3つの対象地域について、各々の目的から、分析を試み、基本的には同一の観念ではあるが、種々の展開を試みた例を示したものである。

3. 重回帰分析による流域構造モデル、需要構造式の作成

ここでは、2.2で得た基礎的情報をもとに、特にA、B流域を対象とした流達負荷量、および、C地域における水需構造に注目し、これらに対する重回帰分析の適用例を示す。

3.1 流達負荷量構造モデル

A流域は、2.1に記したごとく、そのほとんどが比較的均質な支流域（鹿山村域等）と考えられ、一方、相模川などの情報と加味し、結局、つぎの構造式を得た。

$$Y(\text{流達負荷量}) = -0.54X_{12}(\text{山林面積}) + 0.174X_{13}(\text{総面積}) + 273.9X_{15}(\text{流量})$$

よって、流達負荷量を記述する特性値として、山林面積、総面積、および流量が得られたことになる。このとき山林面積は負の、また総面積は正の、同程度のウエイトを有し、鹿山村域である分析対象地域の特性が、ここに表出しているものと考えてよいだろう。

つぎに、B流域を対象とした流達負荷量構造モデルについて述べる。

ここでは、流域の分類と2.2の末尾に述べたように河川水質汚濁に対するインパクトという観点から、単位面積、単位負荷量当りのデータに変換し、これに主成分分析と適用し、分類されたA、B、2つのグループについて重回帰モデルと適用する。また説明変数の選択に当たっては、主成分分析による特性値の分類に加え、経験的

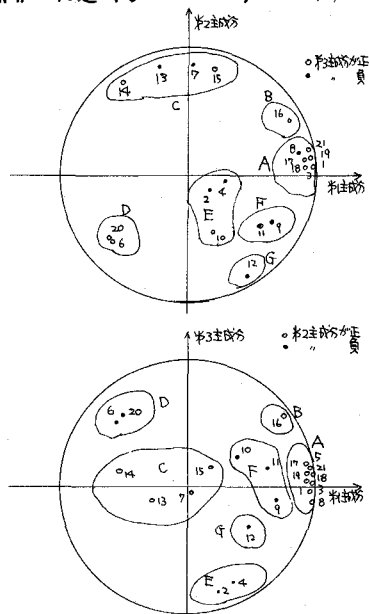


図-9. 因子負荷量と特性値の分類

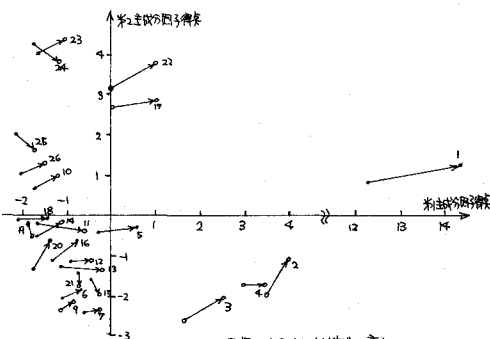


図-10. 因子負荷量による地域構造の変化

要す、あるいは、相関分析の結果を考慮し、結局、人口、面積、工業本所数、農地面積、森林面積の5つを抽出した。その結果は、下記の通りである。

$$A \text{ グループ } Y = -40.2 + 0.021 X_2 + 0.004 X_4 + 0.649 X_5$$

$$B \text{ グループ } Y = -111.5 + 0.032 X_2 + 0.042 X_4 + 0.758 X_5$$

こゝに、 X_2 :人口/面積、 X_4 :農地面積比、 X_5 :森林面積比である。

3.2 水需要構造モデル

ここでは、2.3に述べた結果のうち、地域の特徴、および各特性値の特徴との関連をもとに、地域ごとの説明変数の合目的選抜を行ない、こゝに、構造変化特性、あるいは相関分析等と併わせ、特に、a) 都市活動が極めて強い行政区域、b) 都市活動が強く、第1次産業活動の弱い行政区、c) 都市活動がやや強い、第1次産業の強い行政区、の3つについて結果を示す。

$$a) Y = -39209 + 0.450 X_3 + 1.099 X_5 + 985.3 X_6$$

Y : 給水量、 X_3 : 給水人口、 X_5 : 宅地面積、 X_6 : 商業人口

$$b) Y = -1688.8 + 72.85 X_3 + 1.412 X_5$$

$$c) Y = -12396 + 156.2 X_3 + 1.301 X_5$$

このようにして、地域の特徴と意識した流達負荷構造モデル、および水需要構造モデルが得られた。こゝからは、従来、画一的に決定、もしくは推定されてきた計画入力の特徴に對する批判という立場から、1つの方法論を、いくつかの具体例と見做して提示したものである。

4. おわりに

本書では、下水道整備計画が、水環境を意識した地域計画の一端であるという認識に立ち、特に、性質の異なる3つの地域に對し、流達負荷量、流出負荷量、水需要という3つの観点から、地域の総合特性の把握、特性値の分類、地域の分類と分析し、マクロの計画入力のための基礎的情報の把握を試みた。以下にこゝらと続ける。

1) A流域と対象としたとき、主成分分析による地域特性の把握は、重回帰モデルに對する有効な情報と提供し、こゝより得た構造モデルは、地域特性とよく合致している。

2) B流域における解釈例に明らかにように、特性値の変換(例えば単位面積当り、あるいは単位負荷量当り)は、分析の目的に応じて重要なこととなり、特に、単位面積当りの例では、地域分割(行政区域、支流域別)にかけかわらず、ほぼ同様の総合特性値が抽出された。

3) また、地域分割にかけかわらず、人間活動の強さを示す主成分と、発生(流達)負荷量の間には、正の相関が見られ、特に農業活動の弱い地域では、ほぼ正の1次の関係が得られた。このことは、発生負荷量の推定に當り、特に、農業活動の強さに注意を喚起している。また、B流域における分析結果は、以後の下水道整備計画への有効な情報を提供している。⁶⁾

4) 水需要予測という観点から、需要変数の選抜が、地域特性との対応分析より、地域構造がより明確と分析。

5) 地域構造の時間的変化は、計画のためのより一層主目的の細かい情報を提供しており、種々の地域計画に對し、重要な位置を占めることになる。

最後に、データ収集に御協力下さった当社、山田弘、宮西弘光、永井彰、花房喬一、堀雅文各位に感謝するとともに、有意義な御示唆を下さった当社、下水道本部長 海淵善之助氏、水部長 堤武氏に謝意を表します。

<参考文献>

1) 堤藤原高橋: 下水道整備計画のF&Dの計画決定に關する基礎的研究、下水道協会誌 VOL.11, No.10, 2) 堤藤原高橋: 下水道計画における自然的かつ平の特性に關する統計的考察、下水道協会誌投稿中、3) 萩原中川: 水環境とS&Mの地域分析、土木学会、第30回年講、第II部。

4) 萩原中川: 水環境とS&Mの地域分析の統計的検討、NSC研究年報 VOL.3, 5) 同上、6) 萩原中川: 下水道整備計画に關するシミュレーション的検討、VI-特に水環境とS&Mの支流域別水配分について、第10回衛生工学研究討論会投稿予定。