

地域特性の経年変化を考慮した水需要構造の分析並びに予測

— 東京都多摩地域における事例研究 —

Analysis and Forecasting of Water Demand Through Secular Changes in Regional Characteristics

— A Case Study in the Tama region of Tokyo —

小泉 明* .. ○ 山崎公子**

Akira KOIZUMI* and Kimiko YAMAZAKI**

ABSTRACT: The water demand has increased annually, however recently the rate of increase has remained flat or even decreased. This paper presents the basis for this change in water demand by examining social-economic factors for 22 cities in the Tama region. First, regional characteristics and their changes were obtained from 20 social-economic factors gathered over 17 years and analyzed through principal component analysis. It was determined that there was a relationship between first principal components and changes in water demand. 22 cities were classified into six groups using three principal components. Second, six cities were selected from each group and water demand structures were individually modeled by multiple regression analysis for social-economic factors for each city. Third, several scenarios of social-economic factors for the year 2020 were created and water demand was calculated for six cities. As a result, it was determined that a decrease in social-economic activity leads to a reduction in some cases for water demand, with a decline in household members. If water demand structure equations using the same factors are selected between multiple cities, similar results may not be obtained for water demand due to differences in regional characteristics.

KEYWORDS : Water Demand Structure, Forecasting, Regional Characteristics, Social-economic factors, Principal component analysis, Multiple regression analysis

1. はじめに

水は我々の生活にとって必要不可欠なものであり、生命活動の源である。それを裏付けるように、現在日本において水道を使用している人々は1億1447万人に達しており、これは日本の総人口の96.3%（1999年3月31日現在）に相当している。現代社会における水道は、毎日の生活や都市活動を支える重要な都市基盤施設として位置付けられている。上水道における水需要量は、生活の利便性や快適性の向上に伴い長年増加傾向にあった。このため、浄水場等の拡張整備や水資源の確保は、上水道にとって大きな検討課題であった¹⁾。しかし、多様化する現代社会の時代背景を反映して、水需要量はここ数年増加傾向が鈍化する方向にあり、都市によっては、一定もしくは減少傾向にある。この現象は、年間給水量だけではなく、一人一日平均有収水量についても同様のことがいえる。従来の研究では、核家族化の進行（世帯構成人員の減少）や水洗便所の普及によって一人一日平均有収水量が増加するとされてきた²⁾。ところが、都市部においては世帯構成人員が年々減少しているにもかかわらず、水需要が減少している地域も数多く見受けられる時代となってきた^{3), 4)}。

そこで本論文では、一人一日平均有収水量(原単位)を水需要の動向を示す指標と考え、社会・経済状況を中心とした地域特性の変化により水需要がどのように影響を受けているかを明らかにする⁵⁾。ここでは東京都多摩地域にある22市を対象としたケーススタディを行い、今後各都市の水需要が社会・経済の状況変化によりどのような傾向をたどるかを推定し、将来の水需要の動向について考察するものである。以下、2. では対象とした多摩22市の地域特性及びその変化を分析する。3. では各都市の水需要の構造を、地域特性として

* 東京都立大学大学院教授, Prof. of Tokyo Metropolitan Univ.

** 東京都立大学大学院助手, Research Assoc. of Tokyo Metropolitan Univ.

の社会・経済的要因により把握する。4. では今後の社会・経済状況を種々のシナリオとして設定し、水需要予測値を試算することとする。

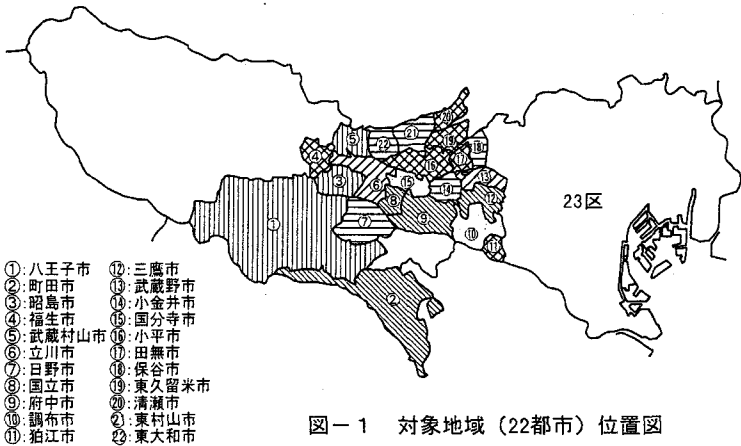


図-1 対象地域(22都市)位置図

2. 多摩22都市の地域特性分析

対象とした多摩22市を図-1に示す。各都市について、有収水量、給水人口、水需要に影響を及ぼすと考えられる社会・経済統計データを昭和55年度(1980)から平成8年度(1996)までの17年間について、表-1に示す項目を収集した⁶⁾。なお、収集した統計データについては、各都市間の規模の大きさによる影響を小さくするため、各都市の人口等で除するといった基準化を行い20項目に再構成した。これら毎年のデータに主成分分析⁷⁾を適用し、本論文で用いた社会・経済特性項目の総合的把握(主成分の抽出)及びグループ分けを行った結果を表-2に示す。表-2より第3主成分までの累積寄与率は0.728であり、3つの主成分により原データの持つ情報(分散)の7割強を説明できる。この結果をもとに以下では各主成分を意味付ける。

第1主成分(Z_1)に関しては因子負荷量が正のグループの各特性値が大きな値を示せば都市活動が盛んであるといえ、逆に負のグループの特性値が大きな値を取れば都市活動が弱いといえる。これらのことから第一主成分は都市活動の強さを示すファクターと意味付けることができる。つぎに、第2主成分(Z_2)で正のグループに注目すれば、これらの特性値は、都市の産業活動の活発さを示すものであり、第2主成分を産業活動の強さを示すファクターと意味付けることができる。そして、第3主成分(Z_3)で正のグループの特性値に注目すれば、商業地化傾向が強いといえることから第3主成分は商業活動の強さを示すファクターと意味付ける。

つぎに、第1主成分(Z_1)、第2主成分(Z_2)、第3主成分(Z_3)で示される総合特性値(因子得点)による各都市の経年変化(図-2)について分析する。一般に、都市データを用いて主成分分析を行う場合、単年度のデータを用いて都市のグループ分けを行うのに使用することが多い。本論文では、各都市17年間のデータを用いた。これは、各都市のデータを地域特性が似通った17都市のものと解釈することにより、総合特性値を基に都市の変化を把握することができ、その結果、一時点の地域特性ではなく総合的な都市特性の変遷状態を考慮した都市のグループ分けができる。この考えに基づき各都市を表-3に示す方法で6つのグループに分類した。

《第1グループ》: このグループに含まれるのは立川市、武蔵野市であり、都市活動の極めて強いグループである。水需要原単位である一人一日平均有収水量は高い値となっている。武蔵野市は交通の便に優れた地域であ

表-1 データ項目一覧

	項目名	単位
1	面積	(km ²)
2	人口	(人)
3	人口密度	(人/km ²)
4	世帯構成人員	(人/戸)
5	幼年人口	(人)
6	生産年齢人口	(人)
7	高齢人口	(人)
8	宅地面積	(ha)
9	商業面積	(ha)
10	工業面積	(ha)
11	住宅面積	(ha)
12	田地面積	(ha)
13	畑面積	(ha)
14	都内総生産	(10億円)
15	所得	(10億円)
16	支出	(10億円)
17	従業者数	(人)
18	昼間人口	(人)
19	卸売小売事業所数	(ヶ所)
20	小売販売額	(百万円)
21	飲食店販売額	(百万円)
22	第3次産業人口	(人)
23	下水道普及率	(%)
24	給水人口	(人)
25	年間有収水量	(千m ³)

表-2 主成分分析の結果

	主成分	第1主成分	第2主成分	第3主成分
固有値		7.618	4.051	2.898
寄与率		0.381	0.203	0.144
累積寄与率		0.381	0.584	0.728
1 世帯構成人員		0.107	0.900	-0.218
2 幼年人口比率		0.307	0.814	-0.038
3 高齢人口比率		-0.940	0.159	-0.214
4 人口密度		0.479	-0.497	-0.478
5 生産年齢人口比率		-0.838	0.105	-0.196
6 昼間人口比率		0.144	0.253	-0.357
7 従業者数比率		-0.356	0.455	0.534
8 一人当り宅地面積比率		0.253	0.687	-0.478
9 一人当り商業面積比率		0.799	0.001	-0.519
10 一人当り工業面積比率		0.557	0.686	-0.226
11 一人当り住宅面積比率		0.871	-0.579	-0.345
12 一人当り田地面積比率		0.535	-0.041	-0.521
13 一人当り畑面積比率		0.828	-0.280	0.239
14 一人当り所得		0.898	0.013	0.106
15 一人当り支出		-0.360	0.685	0.545
16 一人当り卸売小売事業所数		-0.055	0.383	0.433
17 一人当り小売販売額		-0.823	0.211	0.314
18 一人当り飲食店販売額		0.809	0.005	0.519
19 第3次産業人口比率		0.796	0.012	0.511
20 下水道普及率		0.708	-0.090	0.014

るだけでなく多くの百貨店、商店街が集まった吉祥寺駅を有しており、一大商業エリアとなっている。一方の立川市も東京都が多摩の中枢と位置づけている都市であり、数多くの機関が集まっている。《第2グループ》：このグループの都市は、産業活動は盛んであるが 第三次産業はあまり強くなく、ベッドタウンとしての特徴が強く現れている都市といえる。このグループに含まれるのは、武蔵村山市、八王子市、昭島市である。武蔵村山市は鉄道が市内に一本も通っておらず（1996

年現在）陸の孤島と呼ばれてきた都市である。しかしその反面、大規模な工場などが立地して産業活動は活発である。昭島市は立川市に隣接しており、立川市の発展と共に都市活動も強くなってきたと思われる。八王子市は八王子駅を中心とした一大商圏があるもののそれ以上に住宅地としての特徴が強い。

《第3グループ》：都市活動、産業活動ともに年々強くなっているがそれ以上に住宅地化が進んだ地域といえる。町田市、府中市ともに第1グループの都市には及ばないものの周辺都市の中心ともいえる都市であり、産業活動は活発である。また三鷹市、国立市は隣接する武蔵野市、立川市の発展に伴い都市活動並びに産業活動が強くなったといえる。

《第4グループ》：産業活動があまり盛んではないものの、徐々に強くなってきた住宅地である。このグループに含まれるのは、調布市、国分寺市である。この二都市の特徴として、交通の要としての鉄道の駅が存在し、都心まで短時間で行けるという利便性からベッドタウンとして発展し、それに伴い産業活動が強くなってきたと思われる。

《第5グループ》：都市活動は強くなってきているが産業活動は弱くなってきている住宅地であるといえる。このグループに含まれる田無市、清瀬市、小平市、東久留米市、狛江市は都心に比較的近く、交通の便も良いために住宅地として発展を続けているが逆に都心に近いがために産業活動の発展が妨げられ、文字通りのベッドタウンといえよう。また福生市は米軍の横田基地があり軍都としての都市活動は強くなっているものの産業活動は弱まりを見せている。

《第6グループ》：都市活動は強くなってきているが産業活動の大きさがあまり変化していない住宅地といえよう。このグループに含まれる小金井市・保谷市・東大和市・日野市・東村山市は、都市活動は年々強くなってきているが、それに伴った産業活動の変化に乏しいといえる。またどの都市も都心への交通の便は悪くなくベッドタウンとして発展してきたものと思われる。

以上の6グループについて、水需要原単位の平均値を各グループ毎に求めた結果を図-3に示す。この図から水需要原単位の値によって、6グループは3つの大きな都市群に分類できる。水需要原単位の値は第Ⅰ群から第Ⅲ群の順に小さくなっている。第2グループは、過去17年の間に第Ⅲ都市群から第Ⅱ都市群に移行していることが分かる。第Ⅰ群に含まれる都市は都市活動、産業活動ともに強く、水需要

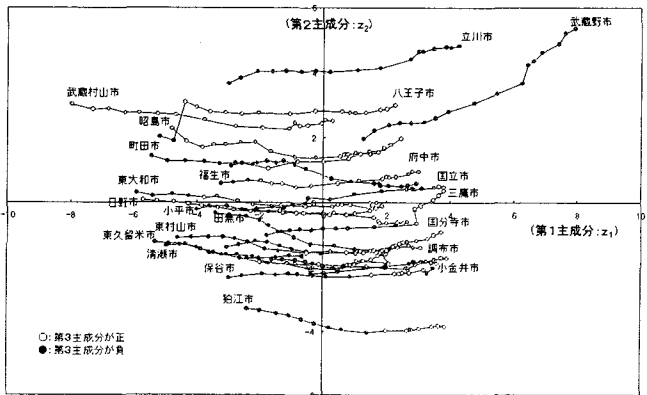


図-2 因子得点の経年変化

表-3 都市のグループ分け

グループ	グループの特徴	都市名
1	第1、第2主成分とも増加傾向にあり、第3主成分が負の都市	立川市、武蔵野市
2	第2主成分が正で、第3主成分の大部分が正である都市	八王子市、武蔵村山市、昭島市
3	第1、第2主成分とも増加傾向にあり、第3主成分が負から正に変化した都市	町田市、府中市、国立市、三鷹市
4	第2主成分が負であるが増加傾向にある都市	国分寺市、調布市
5	第2主成分の値が減少傾向にある都市	田無市、清瀬市、福生市、小平市、東久留米市、狛江市
6	第2主成分の値がほとんど変化しなかった都市	小金井市、保谷市、東大和市、日野市、東村山市

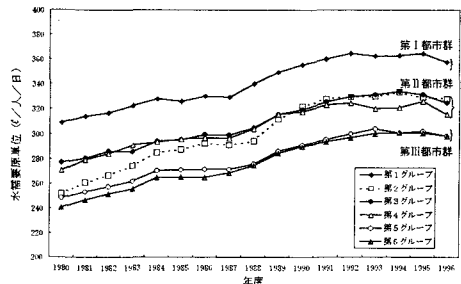


図-3 グループ別水需要原単位平均値

量も3つの群の中で一番大きい値となっている。第Ⅲ群に含まれる都市は、産業活動が他の群に比べ低く、水需要量も3つの群の中で一番小さい値となっている。これらのことは、水需要量に、都市活動及び産業活動が大きな影響を与えていることを示すものである。また、ここ数年全ての都市において第1主成分の増加量が少なくなってきたおり、このことが水需要量の増加の鈍化、減少傾向に影響を与えていると考えられる。

3. 水需要構造分析

水需要構造分析を行うに当たって、前節で22都市を分類した6グループについて、各グループより1都市を選択した。選択の方法は、各市ごとに水需要原単位と社会・経済特性項目との相関分析を行い、各グループで相関係数の絶対値の平均が最大となる都市を代表とし、立川市、武蔵村山市、国立市、国分寺市、小平市、日野市の6都市が選択された。一方、主成分の結果を考慮することにより、20項目の社会・経済特性を表－4に示すような6種の項目群に分類した。また、有収水量を給水人口で除した値を一人一日平均有収水量(以下水需要原単位と呼ぶ)とし、各特性項目との相関分析を行い、それぞれの項目群を代表する特性項目を相関係数の高いものの中から選択した。

上記の6都市について、水需要原単位を目的変数、社会・経済特性項目各群の代表6項目を説明変数とする重回帰分析を行った。この時、水需要原単位に強い影響を与えているとされてきた世帯構成人員を中心に、増加法により説明変数を加え、自由度調整済み重相関係数R*による統計的有意性、並びに偏重回帰係数の符号(正負)の妥当性(物理的有意性)を評価し、表－5に示す重回帰式を得た。実績値と推定値のグラフを図－4、5に示す。

第1グループの立川市は、世帯構成人員と一人当たり小売り販売額が選択された。これは、主成分分析でも示されたように、立川駅を中心としたショッピングエリアをはじめとする商業活動の影響が水需要構造に現れている。

第2グループの武蔵村山市は世帯構成人員の他に生産年齢人口比率が選択された。武蔵村山市は大手自動車メーカーの大工場があり、その影響が如実に現れているといえよう。

第3グループの国立市は、世帯構成人員、一人当たり小売り販売額と下水道普及率が選択された。国立市は多摩地区の住宅都市として発展しており、国立駅を中心とした商業地域は近隣の住宅からの需要が主であり、その影響が水需要構造に現れているものと思われる。

第4グループの国分寺市は、世帯構成人員、生産年齢人口比率と一人当たり小売り販売額が選択された。国分寺市は、国分寺駅北口を中心として発展したショッピングエリア、又、大企業の研究所も数カ所にあり、これらの影響が生産年齢人口比率と一人当たり小売り販売額を水需要構造の要因としたといえよう。

第5グループの小平市は、世帯構成人員と生産年齢人口比率が選択された。小平市は、大手電気メーカーの工場を有しており、それに関連する中小工場も多く、その影響が水需要構造に現れている。

第6グループの日野市は、世帯構成人員と一人当たり小売り販売額が選択された。日野市に

表－4 社会・経済特性項目

項目群	番号	項目名	単位
人口構成 x_1	1	世帯構成人員	人/世帯
	2	幼年人口比率	%
	3	高齢人口比率	%
人口ポテンシャル x_2	4	人口密度	人/km ²
	5	生産年齢人口比率	%
	6	昼間人口比率	人/人
	7	従業者数比率	人/人
土地利用 x_3	8	一人当たり宅地面積	m ² /人
	9	一人当たり商業面積	m ² /人
	10	一人当たり工業面積	m ² /人
	11	一人当たり住宅面積	m ² /人
	12	一人当たり畑地面積	m ² /人
経済ポテンシャル x_4	13	一人当たり総生産	百万円/人
	14	一人当たり所得	百万円/人
	15	一人当たり支出	百万円/人
商業活動 x_5	16	一人当たり卸売小売事業所数	ヶ所/人
	17	一人当たり小売販売額	百万円/人
	18	一人当たり飲食店販売額	百万円/人
	19	第3次産業人口比率	%
下水整備 x_6	20	下水道普及率	%

表－5 都市グループ別水需要構造式

都市グループ	都市名	目的変数	説明変数						重回帰係数	自由度調整済み重相関係数
		水需要原単位 (t/人/日)	定数	世帯構成人員 (人/世帯)	生産年齢人口比率 (%)	一人当たり小売り販売額 (百万円/人)	下水道普及率 (%)			
1	立川市	$y =$	411.309	-61.868 (-0.403)		55.400 (-0.602)			0.994	0.993
2	武蔵村山市	$y =$	284.529	-116.480 (-0.514)	5.192 (-0.421)				0.978	0.975
3	国立市	$y =$	253.841	-16.710 (-0.116)		88.565 (-0.72)	0.209 (-0.195)		0.996	0.995
4	国分寺市	$y =$	-180.470	-71.348 (-0.384)	8.457 (-0.395)	25.800 (-0.273)			0.995	0.994
5	小平市	$y =$	-154.580	-48.064 (-0.386)	7.740 (-0.651)				0.990	0.989
6	日野市	$y =$	295.833	-39.502 (-0.358)		175.158 (-0.634)			0.985	0.983

()は標準偏重回帰係数

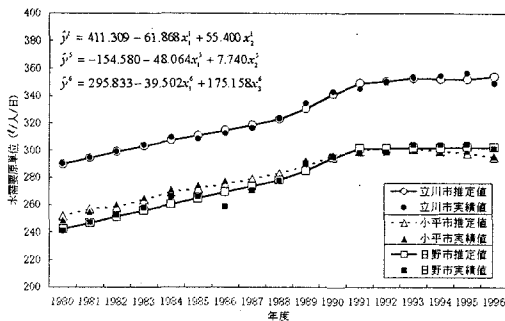


図-4 水需要原単位実績値と推定値(その1)
(立川市・小平市・日野市)

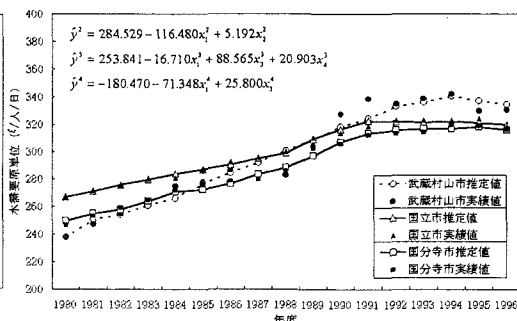


図-5 水需要原単位実績値と推定値(その2)
(武蔵村山市・国立市・国分寺市)

は大企業の工場が多くあるが、それ以上に大規模団地が数多くあり、居住者の購買力が水需要構造に大きな影響となって現れていると考えられる。

以上述べたように、得られた水需要構造式は各都市の水需要特性をよく表わしている。

4. 将来水需要のシナリオ分析

3. で得た重回帰式を用いて長期計画の目標年度に相当する20年後の水需要(2020年)を予測する。各都市ごとにシナリオをそれぞれ6ケース設定し、世帯構成人員については逆ロジスティック式による時系列傾向曲線で推定することを基本とし、他の要因については将来の動向を過去17年間の標準偏差(σ)で考慮することとした。

まず、水需要構造式の説明変数が2要因の立川市、武蔵村山市、小平市、日野市は表-6に示す6ケースについて予測を行った。ただし、武蔵村山市は世帯構成人員がここ数年、微増となっていることから、ケース7、8を追加した。つぎに、説明変数が3要因の2市のうち国立市は、要因の一つである下水道普及率が100%に達しているので、2020年においても全ケースについて現状値のみを用いる。したがって、残りの2要因については表-6の6ケースについて予測を行う。一方、国分寺市は、生産年齢人口比率の過去の変動が小さいが、ここ数年は変動の幅が大きくなっていることから 2σ を、逆に一人当り小売販売額は過去の変動が大きいから近年は小さくなっていることから σ を将来の変動の幅に設定し組み合わせた。表-6に示す各ケースについて予測を行った結果を表-7に示す。また、結果の一部を図-6、7に示す。

従来、世帯構成人員の減少は、水需要量の増加に繋がるといわれてきたが、武蔵村山市を除く5市は、世帯構成人員が減少しても社会・経済活動の低下により水需要原単位はほぼ横這いもしくは減少している。また、社会・経済活動の活発化により増加しているケースでもその増分はあまり大きくない。小平市と武蔵村山市は、水需要構造式に同じ社会

表-6 各シナリオの設定値

シナリオ	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8
世帯構成人員								
立川市	推定値	推定値	推定値	推定値	95%下限値	95%上限値	—	—
国立市	推定値	推定値	推定値	推定値	95%下限値	95%上限値	現状値	現状値
国分寺市	推定値	推定値	推定値	推定値	95%下限値	95%上限値	—	—
小平市	推定値	推定値	推定値	推定値	95%下限値	95%上限値	現状値	現状値
日野市	推定値	推定値	推定値	推定値	95%下限値	95%上限値	—	—
生産年齢人口比率								
武蔵村山市	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	現状値+ σ	現状値- σ
小平市	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	現状値	現状値	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	—	—
国分寺市	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	—	—
一人当り小売販売額								
立川市	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	現状値+ 2σ	現状値- 2σ	—	—
国立市	現状値	現状値	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ σ	現状値- σ	—	—
日野市	現状値	現状値	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ σ	現状値- σ	—	—
国分寺市	現状値	現状値	現状値+ σ	現状値- σ	現状値+ σ	現状値- σ	—	—

表-7 シナリオ分析の結果(2020年予測値) (単位: ℓ /人/日)

シナリオ	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8
立川市	397.8	370.6	411.4	357.0	415.4	353.0	—	—
武蔵村山市	431.6	402.5	446.2	387.9	459.7	374.4	348.9	319.8
国立市	341.2	312.6	355.5	296.2	358.4	295.4	—	—
国分寺市	363.6	325.0	351.0	337.6	380.1	308.6	—	—
小平市	328.8	306.8	339.8	295.8	347.0	288.5	—	—
日野市	339.7	312.3	353.5	298.6	357.0	295.0	—	—

現れたことによるもので

ある。

以上のシナリオ分析の結果、ほとんどの都市で世帯構成人員が減少しても、社会・経済活動の低下により水需要原単位は減少することがあり得ることが明らかとなった。また、水需要構造式に同じ社会・経済特性値が使われていても、水需要の将来予測値の動向は都市ごとに全く異なる結果となり、水需要の動向が地域特性の影響を強く受けていることも明示できた。

5. おわりに

本論文では東京都多摩地域の22都市を対象として、主成分分析により20の社会・経済特性項目を3つの総合特性値(主成分)で表わし、各都市ごとに主成分の経年変化を求めることによって、22都市を大きく3つの都市群、小さく6つのグループに分類し、地域特性と水需要量の関係を示した。そして、22都市における第1主成分値(都市活動の強さ)の変化量が、水需要量の動向と関係が深いことを示した。つぎに、社会・経済特性項目と水需要原単位との関係を重回帰分析で求め、社会・経済特性値から水需要原単位を推定する式を作成した。さらに、得られた重回帰式を用いたシナリオ分析を行い、各都市ごとに水需要原単位の2020年の予測値を求めた。

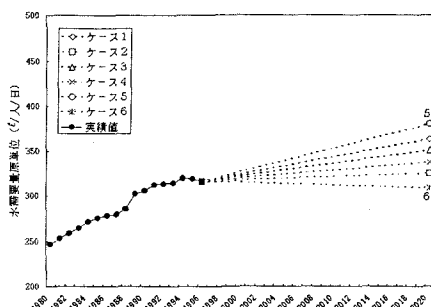
この結果から、世帯構成人員が将来減少しても、社会・経済活動の低下により、水需要原単位が減少する可能性がある都市が存在することを示した。また、複数の都市において水需要構造式に同じ社会・経済特性項目が選択された場合、同様のシナリオ設定を行っても、各都市の地域特性により水需要原単位は増加する場合と減少する場合があることも明らかとなった。今回提案した分析方法は他の都市にも同様に適用可能であり、シナリオの設定により将来水需要の不確実性を明らかにする⁸⁾ことができると考える。

なお、今後の課題として、上下水道料金や節水意識に伴う水利用行動の変化が都市の水需要に与える影響についても定量的に把握したいと思っている。このためにも、現在数多くの都市で公開されている口径別有収水量データではなく、用途別有収水量データの経年的蓄積が必要であると考えている。

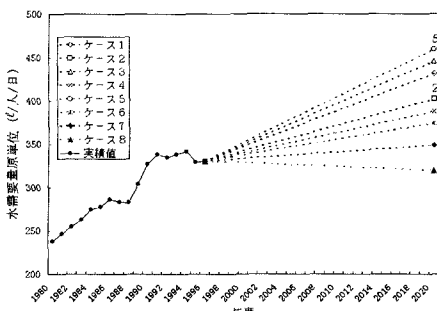
最後に、データの収集・整理等本研究に協力して下さった東京都立大学衛生工学研究部の卒研大山孝裕君に謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 東京都水道局；東京水道新世紀構想STEP21, pp. 6-11, 1997
- 2) 小泉明；水道計画のための水需要予測の実際，水道技術研究センター，pp. 17-23, 1991
- 3) 東京都水道局；事業概要平成11年版，pp. 9-11, 1999
- 4) 小泉明・山崎公子・大山孝祐；東京都多摩地域における水需要の経年変化に関する一考察，第51回水道研究発表会，pp. 42-43, 2000
- 5) 萩原良巳・小泉明・中川芳一；水需要構造並びにその変化過程の分析，水道協会雑誌No. 511, pp. 37-51, 1977
- 6) 東京都統計協会；第29回～第47回東京都統計年鑑，1979～1997(毎年)
- 7) 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉澤正；多変量解析法，日科技連，pp. 159-168, 1971
- 8) 小泉明・山崎公子・清水貴是；小笠原村父島における月別水需要予測，第50回水道研究発表会，pp. 40-41, 1999



図－6 将来水需要原単位のシナリオ分析結果
(国分寺市)



図－7 将来水需要原単位のシナリオ分析結果
(武蔵村山市)