

多階層システムモデルによる都市圏水需要変化過程の分析

日本水道コンサルタント 正員 萩 原 良 巳

日本水道コンサルタント 正員 渡 辺 晴 彦

日本水道コンサルタント 正員 ○西 澤 常 彦

1. はじめに

広域行政体を対象に、水需要構造を把握しようとするとき、そのアプローチの方法は大別するとマクロ的なものとミクロ的なものの2つがある。前者は統計データを後者はアンケートデータを依り拠にし、そのデータの得られたレベルでの水需要とそのデータとの関連を分析し、前者からは重回帰式に代表される構造式を、後者からは水使用者1人当りの原単位を求めることで分析目的を達成していたといえる。しかし、地域での意志決定が下位の市町村レベルにどう影響するかをみようとするならば、上述のレベル間の関連を明らかにすることが必要となる。本研究ではこのテーマについて検討することとする。すなわち、地域の水需要構造を階層的視点からとらえることを試みる。このとき、特に問題となるのは、アンケート調査結果から得られた水需要構造をいかにして上位の地域全体と関連させるかである。これについてはアンケートは水使用者の帰属するラベルの種類（パターンと呼ぶ）を与えるものであり、より上位の地域レベルでは、そのラベルに帰属する水使用者の数を与えるものであるとの認識をおくこととする。この認識をベースに、各パターンに帰属する水使用者数を記述するモデルを市町村レベルで与え、さらに市町村レベルに帰属する水使用者数を記述するモデルを地域レベルで与えることにより、各レベル間を関連づけた階層的システムモデルを構築することができると考えられる。本研究では、このような考え方のもとに水需要発生モデルを作成し、シミュレーションを行うことにより上位レベルの調整が下位レベルにどのように波及するかを検討することとする。このため、まず2.では本研究で提示するモデルの基本構造について述べる。ついで3.ではこの考え方をもとに、A市を中核とする4市からなる広域圏を対象に階層的水需要システムモデルを作成し、さらに4.ではこのモデルによるシミュレーション結果について述べることにする。

2. モデルの基本構造

地域の水需要構造を階層的にみれば、図-1のように認識することができる。すなわち、水使用者レベルの水需要構造とは、原単位と水使用メカニズムの関連であり、都市（市町村）レベルでの水需要構造とは、市町村全体としての水量と都市活動メカニズムとの関連である。地域レベルについても同様に定義される。すなわち、レベルごとに水需要とその影響要因との関連を示したものが、各レベルの水需要構造であるといえる。

これらの需要とその影響要因各々について、レベル間の関連を考えれば、まず、需要は原理的には、水使用者レベルで発生することから、より上位の需要は、水使用者レベルのそれを順に加算したものともみることができる。一方、影響要因については、地域・市町村レベルの活動が、水使用者レベルの活動に影響するとともに、その逆もあると考えられる。このため、水需要の発生は、地域・市町村レベルの活動と水使用者レベルの活動との関連の中から、水使用者レベルにおいて生ずるとみることができる。すなわち、地域の水需要はこれらの3レベルの情報のやりとりによって需要の発生をうながす階層システムによって表わされるといえる。

次に、地域の水需要構造が階層システムとしてどのような形態になるかについて考える。まず、水使用者

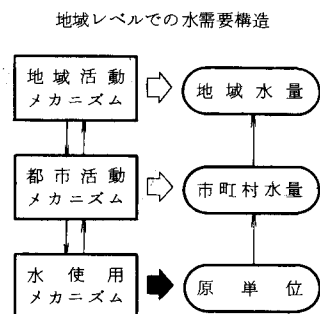


図-1 3つのレベル間の関連

レベルでは、参考文献 2) で提示された方法により、世帯・事業所の水使用に影響を及ぼす代表的要因が抽出される。上記の文献 2) では、世帯（家庭用水）の場合、「家族数」と「水洗便所の有無」によって世帯の水需要の量的違いが記述できることが示されている。このような結果は、一戸の平均的な世帯についての構造であり、市町村レベルの観点からすれば、その市町村に住む世帯を家族数と水洗便所の有無により何通りかの水需要量の類似した水使用パターンに分けられるという見方をとることができる。このような見方は事業所についてもいえる。そこで、いまある都市 j における上述のような水使用者レベルのパターンを i とし、これが N_j 個得られたとする。またパターン i に属する世帯（事業所数）を x_{ij} 、1 戸当りの平均水需要量を u_{ij} とすれば、都市 j の水量 V_j は、

$$V_j = \sum_{i=1}^{N_j} u_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

で示される。ここで、パターン i においては、水使用が均質化しており、 u_{ij} を乗じて需要とすることが可能であるという仮説と、パターンが異なれば、水量は独立的に生じて加算できるという仮説をおいている。この(1)式より、都市 j の水需要 V_j の変化は、 u_{ij} の変化と x_{ij} の変化、及びパターン数 N_j の変化に依存することになる。つまり、時間パラメーター t により(1)式は、本来は次式となる。

$$V_j(t) = \sum_{i=1}^{N_j(t)} u_{ij}(t) \cdot x_{ij}(t) \quad (2)$$

しかし、このうち、 u_{ij} 、 N_j については、アンケート調査により得られたものであり、これに時間パラメーターをつけることは、現状では困難である。そこで以下の議論では、 u_{ij} 、 N_j を現状のものに固定し、 $V_j(t)$ は、 $x_{ij}(t)$ の変化により変動するという次式におきかえることとする。

$$V_j(t) = \sum_{i=1}^{N_j} u_{ij} \cdot x_{ij}(t) \quad (3)$$

さらに、地域全体としては、 M の市町村があるとして、地域全体の水量 V は、次式で示される。

$$V = \sum_{j=1}^M V_j(t) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N_j} u_{ij} \cdot x_{ij}(t) \quad (4)$$

上述のことが、本研究における水使用者レベルと上位レベルを結びつけるための基本的考え方である。すなわち、(3)式より都市における需要の発生は、パターン i に属する世帯・事業所の数 x_{ij} により規定されるところならば、上位レベルが下位の水使用者レベルに与える情報とは、この x_{ij} に他ならない。また、地域レベルでの活動は、 x_{ij} を規定する形で挙動するものと考えることができる。これが本稿で提示するモデルの基本構造である。

3. 圏域水需要システムモデルの作成

ここでは、 A 市を中核として都市活動を営む B 、 C 、 D の 4 都市からなる人口約 150 万人の広域圏を対象に 2. で述べた考え方に基づいて、家庭用を中心に作成した 3 階層システムモデルについて述べる。

(1) 水使用パターンの設定

前述の(3)式によって将来の水需要量を求めようとするとき、まず u_{ij} の設定が必要となる。これについては、当該圏域におけるアンケート調査から、水使用者レベルの水需要構造を記述するパターンが次の要因で規定されることがわかっている。なお、これは 4 都市とも同様であった。

家庭用水（世帯）		家族数・水洗便所の有無
業務・工場用水（事業所）		業種・従業者数

この要因をもとに設定したパターンを表-1 に示す。これらのパターンの平均水量 u_{ij} について、家庭用は各都市別に設定している。なお、工場については、いわゆる用水型、非用水型に業種を分類することが可能であるが、当圏域では工場用水の占有比率が小であるため、単純化して規模による 2 つのパターンとした。

(2) 水使用パターンに属する世帯・事業所の推定

上述のパターンを各都市の家庭・業務、工場に分けて設定することにより、圏域全体の水量に対する各用途の水量変動は、各パターンの世帯・事業所数に依存することとなる。

そこで、各パターンに属する世帯・事業所数が変化する理由について考える。まず、家庭用水については、図-2に示すように核家族化により世帯の家族数が小となったり、水洗化により他のパターンに変化（図-2の矢線の向きに変化）することがあり得る。これに対して、業務・工場では事業所が業種をかえることはなく、従業員の増減でパターンの変化が生ずるのみである。しかし、対象とする4都市では、過去の傾向より事業所の平均従業員数がほぼ一定しているとみなせるため、本研究では、1事業所当りの従業員の増減はないものとする。従って業務・工場に関するパターンの変化は、新設される事業所のパターンに依存することとなる。このことは、水使用者レベルから都市レベルへの情報がなく、上位から新設事業所数を与えられることによるのみパターンが変化するということである。このため、本研究では、家庭用水についてのみ、水使用レベルと都市レベルの調整を考えることとする。

次に都市レベルと地域レベルの間で、都市 j の世帯数、事業所数が変化する理由を考える。まず家庭用水における世帯は、住み替えという形で都市 j の世帯の一部が他都市へ転出することがあり得る。しかし、業務・工場用水に関する事業所については、これが基本的に土地にはりついているものであり、住み替えはないものと考えられる。従って、この場合も圏域全体から事業所の増分を受けることによるのみ都市レベルの事業所数が変化することになり、情報は上位から受けるだけとなる。

以上のことより、本研究では、家庭用水に関する世帯の動きを中心に、3階層システムモデルをシステム・ダイナミクスにより作成することとする。まず、図-3の階層システムのレベル間の情報を次のように定義しておく。

x_{ij} ：現状のパターン i から、核家族化、水洗便所の導入により他のパターンに変化していった後の都市 j の i パターンの世帯数

X_j ：住環境に対する不満から、よりよい住環境を求めて、他の都市へ住みかえることを仮りに認めたときの都市 j の世帯数

X_j^* ：都市の住宅数から判断し、受容量を超える都市から、余裕のある都市へ配分した後の都市 j の世帯数

x_{ij}^* ：都市 j に配分された世帯が、その所属パターンを明らかにして得られる最終的な、 i パターンの世帯数

この中で外部からの情報となるのは、都市レベルにおける住環境と住宅数である。これらの推定については、次のようにモデル化している。まず住環境については、各都市のアンケート調査から得られた住環境満足度及び総合満足度のデータと統計データとして従業員数による産業構成比を取り上げ、これら3つの関連を分析した。これにより、各都市の産業構成が住環境を規定し、住環境が総合満

表-1 水使用者レベルにおけるパターン

	家庭用水		業務用水		工場用水	
	家族数	水洗便所の有無	業種	従業員数	業種	従業員数
1	3人以下	あり	卸小売業	1～4人		1～4人
2		なし		5人以上		5人以上
3	4人以下	あり	サービス業	1～4人		
4		なし		5人以上		
5			事務所	1～4人		
6				5人以上		
7			公務			

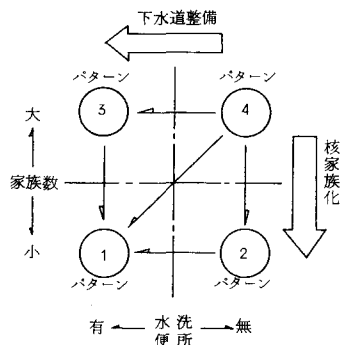


図-2 世帯レベルでのパターンの変化

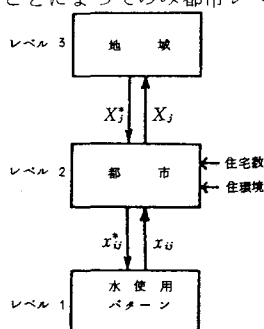


図-3 レベル間の関連

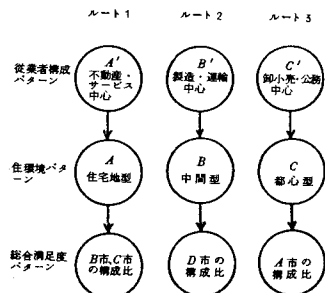


図-4 地区の移動世帯の推定ルート

足度を規定するという関連を、図-4に示すように3つのパターンとして設定した。なお、従業者構成は、業務・工場用水に関する事業所の推定モデルとつなぎ、事業所の変化は、世帯数の変化により生ずるという形で、家庭用水のモデルとの結合を図っている。図-5は、このような関連を単純化して示したものである。すなわち、ここでは当該都市の世帯数からその都市の事業所数（工場を除く）を規模別に求め、これに外生的に与えられた工場の従業者数を加えることにより産業構成を推定し、住環境から住み替えを希望する移動候補世帯の算定を行うというフィードバックループを仮定している。なお、中核都市Aの事業所数の変化については、圏域全体の世帯数の変化により生ずるという仮定をおいている。

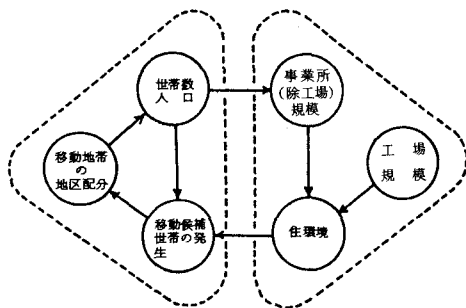


図-5 家庭用水セクターと都市活動用水セクターとの関連

次に、住宅数については、これが、圏域レベルで世帯の都市への配分を行う場合の基準となるものと考え、シナリオとして外生化している。つまり、4つの都市の住宅建設に関する圏域レベルでの意志決定が、どのように世帯数の変化を生じさせ、またその結果、各都市の水需要がどのように変化するかを分析することとした。

4. シミュレーション結果

前述のモデルに対して、シナリオの設定を行い、昭和75年までの将来シミュレーションを行うことにより、上位レベル（圏域レベル）の調整が、下位レベル（都市レベル）にどう影響するかについて検討する。まず、はじめに分析に用いたシナリオについて述べる。このモデルでは、圏域から都市への情報のいくつかをシナリオとして外生化している。ここでは、特に本モデルの中心となっている世帯の動きにかかわるシナリオとして、新規住宅建設と水洗化率の2つを取りあげる。前者は都市レベルでの世帯の動きを、また後者は、水使用レベルでのパターンに属する世帯の動きにかかわるものである。なお、家族数の変化もパターンの変化にかかわる重要な要因であるが、これについては昭和75年度で圏域全体の平均家族数が2・3人になるシナリオを設定している。

さて、新規住宅建設と水洗化率について設定したシナリオは次の通りである。

① 新規住宅建設比率のシナリオ

新規住宅建設数は、外生的に与えられる圏域外からの新規転入世帯数と同数とし、これをどの都市に建設するかをシナリオとしている。具体的には次の3ケースである。

ケース1：中核都市Aでの住宅建設は行わず、都市C、Dにのみ住宅建設を行う。

（C市、D市開発ケース）

ケース2：中核都市Aでの住宅建設は行わず、都市B、Cにのみ住宅建設を行う。

（3市、C市開発ケース）

ケース3：中核都市Aに住宅建設を集中する。（A市再開発ケース）

② 水洗化率のシナリオ

水洗化率については、現在圏域全体で75%であるものが、

ケースA：昭和65年ではば100% （促進型ケース）

ケースB：昭和75年で80%程度 （遅延型ケース）

となる2ケースを設定している。

以上のシナリオより、モデルの演算ケースとしては、水洗化率と新規住宅建設比率のシナリオの組み合わせから6ケースを取りあげることとする。

図-6は、住宅建設ケース1、2における各都市の世帯の変化である。両ケースの相違は、B市とD市の動向である。すなわち、前提の図-4の総合満足度あるいは、これをもとにした4都市間の移動希望先の関連グラフ、図-7により、世帯の移動希望先は、B市、C市両市に希望が集中し、逆にA市、D市は転出が多くなる。ケース2では、B市、C市に住宅建設を行っているため、B、C両市とも世帯が増加し、逆にD市の伸びが抑制されている。さらにケース1では、C市、D市に住宅建設を行っているために、B市に転入を希望する世帯が、住宅数の制限からB市への転入を制限され、それがD市にふりわけられる結果、B市の伸びが抑制され、逆にD市が増加することとなる。ところで、図-7よりA市の世帯は傾年的に減少するはずであるが、住宅数という上限を転入世帯が超えられないために、結果としてA市の世帯の減少が抑制され

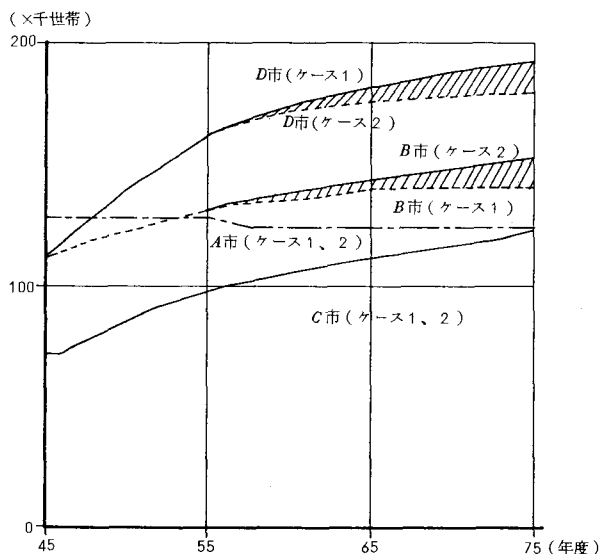


図-6 住宅建設シナリオによる世帯の変化

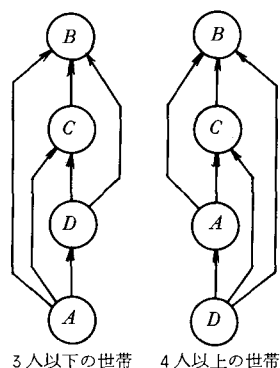


図-7 現住地からの移動希望先

ていることがわかる。このように、住宅建設といった圏域レベルの調整が、各都市の世帯の増減傾向を抑制するが、このような調整の結果、各都市の水需要がどう変化するかを次にみることにする。図-8は、中核都市Aにおける住宅建設ケース1と3の場合の市民1人当たり使用水量（原単位で、A市トータル水量を人口で除したもの）と人口密度との関連である。このA市では、事業所用水は、事業所数が圏域全体の世帯数によって規定されるため、住宅建設ケースには関係がない。したがって、ケース1では、A市の人口密度が減少するために、業務中心型の都市としての性格が強まり、原単位は増加することになる。一方、ケース3では、A市に住宅建設を行うことにより人口密度が増大し、いわゆる職住混在型となり、家庭用水が増加するために原単位は減少することになる。他の3都市については、各都市の家庭用水の占有比率が60%を超えており（A市では40%未満でいずれも昭和55年度の値）、またこれらの都市の事業所数は世帯数によって規定されるため、住宅建設ケースによって原単位は、あまり変化しない。むしろ水洗化率によって大きく変化する。図-9は、水洗化シナリオによるB、C、Dの3市の水需要の変化を示したものである。同図より3都市は、住宅建設ケース1あるいは2とも水洗化促進ケースの場合、水洗化率がほぼ100%となる昭和65年以降、原単位が減少している。これはA市の場合と同様である。これに対して、水洗化遅延ケースでは、いずれも原単位が促進型にくらべて小となっている。

以上の結果は、圏域における調整によって、各都市の活動が制御され、その結果として各都市の水需要（原単位）が変化することを示している。

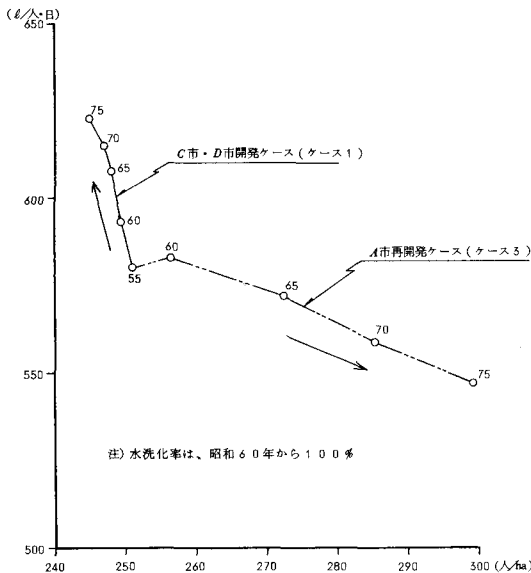


図-8 住宅建設シナリオによるA市水需要の変化
(水洗化ケース促進型)

5. おわりに

本研究の狙いは、地域の水需要を地域レベル、市町村レベル、水使用者レベルの3つのレベルからなる階層システムとしてとらえ、上位レベルの調整が下位にどのように影響し、結果として市町村レベルの水需要がどう変化するかを分析することであった。これを行うために、水需要の発生は水使用者レベルで生ずるものとし、そこでの水使用パターンをアンケートデータをもとに設定し、パターンに属する世帯の動きを中心に水需要システムモデルを作成した。シミュレーションの結果からは、地域レベルでの住宅建設が、各都市の世帯の急激な転入、転出を抑制すること、及び住宅建設のシナリオによっては、人口密度が減少することにより、事業用水の比率が高くなり、結果として当該都市の市民一人当りの原単位が高くなっていくことが示された。

今後の課題としては次のものがあげられる。

- (i) 地域レベル・市町村レベルの間での都市活動の関連について、本研究では、世帯の動きに限定したため、業務・工場に関する市場機構にもとづく事業所の動きについての考察は省略した。地域レベルの調整の波及効果を考える上では、事業所の集積、分散を記述するモデルの導入が必要となろう。
- (ii) 水利用が、都市活動により規定されるとしたとき、それが同時に惹起する土地利用、エネルギー利用との関連についての検討も必要となる。
- (iii) 本研究で提示したモデルでは、地域レベルの調整が下位にいかに関係するかを分析しようとするものであったが、下位レベルへの影響に対する評価は行っていない。これを行うためには、水供給をモデルに組み込むことが必要となる。

〔参考文献〕

- 1) 萩原、渡辺、今田、西沢：都市特性パターンを考慮した水需要構造分析、NSC研究年報Vol.9(1)、1981
- 2) 萩原、小泉、西沢：アンケート調査をもとにした水使用影響要因関連分析、第17回衛生工学研究討論会講演集、1981
- 3) 西沢、渡辺、今田：節水意識と水需要影響要因関連分析、第3回土木計画学研究発表会講演集、1981

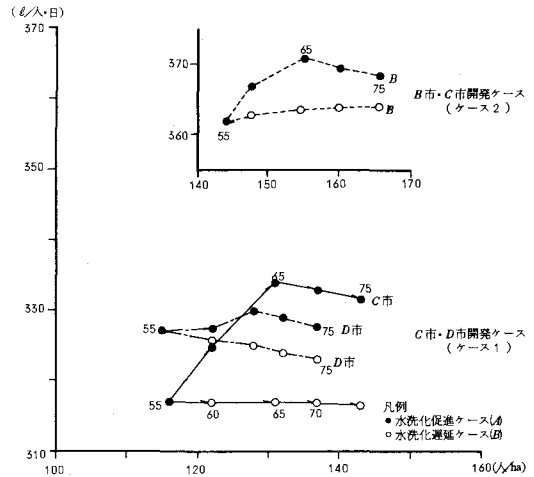


図-9 水洗化シナリオによる都市水需要の変化