

II-41 家庭用水量の構造分析

札幌市水道局 正会員 野島 廣紀
正会員 西條 肇昌
牧野 勝幸
正会員 今野 和夫
佐々木真一

1. はじめに

昭和12年に、給水普及率44.8%、給水人口9万人余りで始まった札幌市の水道は、創設以来半世紀を経過し、昭和62年10月現在で給水普及率は97.8%、給水人口は154万人を超えるに至り、その給水サービスは新たなステップへ移行しようとしている。

このような状況のなか、他の大都市と同様に本市においても、近年使用水量の増加傾向が鈍化しており（図-1）、今後の水需要を的確に予測する必要性がますます求められている。従って、水使用者のニーズ、ウォンツを正確に把握する観点からも、水需要が生じた背景から分析することが重要である。

本市において、現在、使用水量の約70%を家庭用水が占めていることから、他の用途の水量と比べ相対的にその水量の予測の精度が要求される。従って、一般家庭を対象とした水使用状況の実態・意識調査、

(万m³/日)

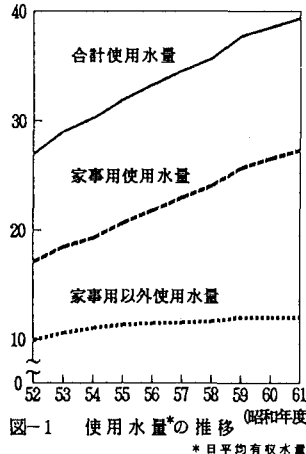


図-1 使用水量*の推移 (昭和年度)
*日平均有収水量

及び水需要構造についての分析を行い、水道計画に反映させることを目的として、本市水道局では、昭和62年2～3月にアンケート方式による「一般家庭における水使用実態調査」を実施したので、以下にその概要と水需要構造の分析結果を報告する。

2. 調査の概要

調査項目は大きく分けて5つに分類される（表-3参照）。①水需要者の属性；水需要発生者の特徴を示す項目で、居住者数、乳幼児の有無、居住区

等である。②生活構造；水使用の機会を示す項目で、住宅種類や水利用機器の普及状況等が含まれる。

③水利用行動；どのような水の使い方をしているかを示す項目で、入浴、シャワー、洗濯、散水等の回数である。④水利用意識；節水意識の強さ、節水の実施内容等、主に節水に関する意識項目である。

⑤供給条件；水圧、水質、料金等が含まれる。

調査対象の抽出、配付・回収等は表-1に示す通りである。

表-1 調査概要

調査対象	札幌市の水道を家事の用途で利用し、1年以上同一家屋に継続して居住している世帯。
標本数	相対精度0.05、信頼度95%として必要数は1,200サンプル。回収率、有効回答率を考慮して発送数は2,000票。
抽出方法	検針カードを利用し、層化2段抽出法により抽出。
水量調査	検針カードにより、1年分を調査。
配付・回収	調査票郵送後に個別訪問し、面接回収。
回収率	64.4%。回収数は1,288票。

3. 水需要構造分析

3-1 分析の方針

(1) 方針

水需要構造の分析は、水需要量予測に生かされるためのものであるから、予測に用いられる1人1日当り使用水量の変動に影響を与えている要因が何であるかを把握することが重要である。

1人1日当り使用水量の予測を行う際に、この水使用影響要因の絞り込みを行わずに数多くの要因をとりあげるならば、いたずらに水需要構造を複雑にし、水需要構造の把握が困難になってしまう。これを解決するためには、①要因の使用水量に対する影響の強さを定量的な分析により判断し、要因の選定を行うこと、さらに、②要因相互間には関連が強く、ある要因で他の要因を代表できるものがあることを

踏まえ、要因関連の大小により要因の独立性を判断して要因の絞り込みを行うこと、の2点により代表要因を選択し、水需要構造をできるだけ単純な形で捉えることが必要と考えられる。

本研究における具体的な分析手法としては、以下の4段階で行う。①要因のカテゴリー間の1人1日当り使用水量の差を一元配置の分散分析により検定し、小さい有意水準で有意差がある要因、すなわち、使用水量への影響の強い要因を選定する。②①で選定された要因についてカテゴリーの変動に伴う使用水量の差を求める。③①で選定された要因の相互の関連の大小をクramer係数により求め、独立性から要因の絞り込みを行い、代表要因を決定する。④この代表要因を用いて数量化理論1類により1人1日当り使用水量の変動を分析する。

2) 分析対象の抽出

水需要構造の分析に当り、回収できた1288サンプルから、表-2の条件に該当するサンプルを除外し、残った948サンプルについて水需要構造の分析を行った。

表-2 分析対象からの除外条件

- ① 漏水等により、使用水量が確認できなかった世帯。

② メーターが他の世帯と共用になっている世帯。

③ 店舗等との併用住宅等、住居専用住宅でない世帯。

④ 過去1年以内に居住者数又は、水使用機器・設備に変動があった世帯。

⑤ 井戸を所有し、それを日常使用している世帯。

⑥ 居住者数の回答において矛盾の見られたもの。

⑦ 上記①～⑥の条件に当てはまるサンプルを除外した後、1人1日当り使用水量が信頼区間99.8% ($\bar{x} \pm 3.09 \sigma$) を超え、使用水量が異常と思われる世帯。

分析対象サンプルの1人1日当り使用水量の分布は図-2に示す通りで、平均値は183.3ℓ/人日であった。

3-2 要因の使用水量への影響の強さ

(1) 分散分析と階層化^{1), 2)}

各要因におけるカテゴリー間の1人1日使用水量の差を一元配置の分散分析によって検定し(ただし、その要因のカテゴリー数が2つの場合はt検定)、各要因の使用水量に対する影響の強さを調べた。

最初に、全ての要因について検定し、使用水量に最も強い影響を示す要因を求め、次に、この要因で階層化し、再び検定を行う。この階層化を繰り返す

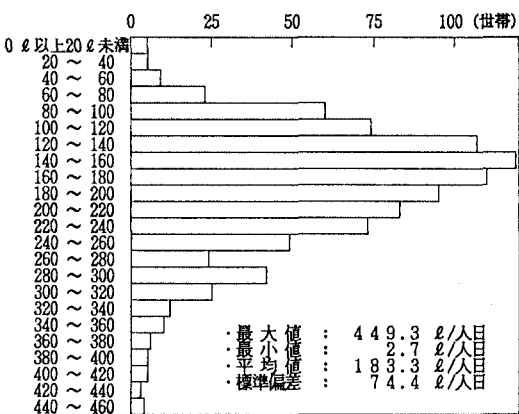


図-2 1人1日当り使用水量の分布

3段階まで行った。分析結果を表-3にまとめて示す。以下、その結果と階層化要因の選定について述べる。

① 階層化無しの段階では、生活構造と水利用行動において、ほとんどの要因で有意差がある。水洗便所の有無は有意水準10%であり、使用水量に対する影響が小さい。水洗便所の普及率は97.2%と高く、全体平均では変動要因としての影響が小さくなったと言えよう。有意差がある要因中、最も小さい有意水準で有意差があるのは、居住者数である。

② 次に、この居住者数別に階層化した。この段階以降は、十分なサンプル数が得られた2～4人世帯を分析の対象としている。水需要者の属性の要因の大部分が有意差を示さなくなり、居住者数との相関性があると思われる。使用水量への影響が強い要因は、住居特性、水利用機器の普及状況、水利用行動に多く含まれている。これらの中で、最も強い影響を示す要因として選ばれたのが、風呂の有無である。

③ 2段階目は風呂が有る場合について階層化した。影響が最も強い要因は洗濯回数(冬)である。また、夏・冬に分けて質問している水利用行動の要因の全てにおいて、冬の方が影響が強いことがわかる。

④ 3段階目に洗濯回数(冬)で階層化を行うと、使用水量への影響が強い要因として庭の蛇口の有無、または、延床面積があげられる。また、3人世帯では、3段階の階層化を通して入浴回数(冬)が影響の強い要因であることがわかる。

⑤ 以上をまとめると、使用水量への影響が強い

要因は、順に、居住者数、風呂の有無、洗濯回数

(冬)、庭の蛇口の有無、または延床面積である。

(2) 要因の選定について

(1)の⑤で述べた5つの要因に加えて、使用水量への影響が強い要因を選定するに当り、①階層化無しの段階で有意水準 0.5%で有意差がある要因、かつ、これに加えて、②風呂有りで階層化した2段階目以降において、有意水準10%以内で有意差を示す居住者数項目が2項目以上ある要因、の2条件を設定した。ただし、夏・冬に分けて質問している要因は、より有意な差があった方を採用した。その結果、表-4に示す17要因が選定された。

表-4 分散分析による選定要因

分類	水使用影響要因
水需要者の属性	・居住者数
生活構造	・住宅種類 ・延床面積 ・庭の蛇口の有無 ・蛇口数(合計) ・風呂の有無 ・シャワーの有無 ・貯湯式給湯器の有無 ・セントラルヒーティングの有無
水利用行動	・入浴回数(冬) ・浴槽入替回数(冬) ・シャワー回数(冬) ・洗濯回数(冬) ・散水の有無 ・散水回数
水利用意識	・節水の認識
供給条件	・料金の高低

3-3 要因別使用水量の差

3-2で選定された要因を中心に、カテゴリの変動に伴う使用水量の変動を調べたのが、図-3～9及び表-5～8である。

(1) 水需要者の属性

①居住者数；使用水量は居住者数の増加に伴いはば直線的な減少傾向を示す(図-3)。回帰直線を図中に点線で示した。この式から、1人増加するごとに約14ℓ使用水量が減少することがわかる。

(2) 生活構造

①住宅種類；6人以上の世帯を除き、一戸建住宅の方が使用水量が多く、その差は平均で23.8ℓ/人日である(図-3)。住宅種類による階層化を行い分析した結果、この差は、一戸建住宅の方が水利用機器の普及率と散水の実施率が高いことに起因していると考えられる。②延床面積、蛇口数(合計)；2要因とも、2人世帯を除き、使用水量と正の相関関係にあることがわかる(図-4,5)。③水利用機器；水利用機器の有無による使用水量の差とその普及率を合わせて表-5に示

表-3 分散分析結果のまとめ

分類	No	水使用影響要因 (調査項目)	カテゴリ数	階層化項目	項目							
					洗濯回数				風呂有り			
					1,2	3,4	回		1,2	3,4	回	
水需要者の属性	1	居住者数	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	2	延床面積	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	3	2才未満乳幼児の有無	2	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	4	65才以上居住者の有無	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	5	男子居住者数	4	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	6	女子居住者数	4	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	7	記入者性別	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	8	記入者年齢	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	9	世帯主年齢	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10	居住区	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●
生活構造	11	住宅種類	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	12	部屋数	7	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	13	延床面積	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	14	庭の蛇口の有無	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	15	蛇口数(合計)	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	16	水洗便所の有無	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	17	風呂	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	18	シャワー	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	19	洗濯機	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	20	自家用車	2	△	△	△	△	△	△	△	△	△
水利用機器の普及状況	21	貯湯式給湯器	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	22	瞬間湯沸器	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	23	皿洗器	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	24	ディスポーザー	2	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	25	セントラルヒーティング	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	26	サモスタット付混合栓	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	27	水洗便所の型式	4	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	28	風呂の容積	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	29	洗濯機の型式	6	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	30	入浴回数(週)(夏)	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水利用行動	31	入浴回数(週)(冬)	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	32	浴槽入替回数(週)(夏)	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	33	浴槽入替回数(週)(冬)	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	34	シャワー回数(週)(夏)	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	35	シャワー回数(週)(冬)	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	36	洗濯回数(週)(夏)	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	37	洗濯回数(週)(冬)	6	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	38	洗車場所	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	39	洗車回数(月)	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	散水の有無	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水利用意識	41	散水回数(月)(夏)	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	42	散水回数(月)(冬)	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	43	外食の有無	2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	44	外食回数(月)(夏)	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	外食回数(月)(冬)	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	46	節水の認識	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	47	節水内容1(浴槽入替回数減)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	48	節水内容2(風呂回数を減)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	49	節水内容3(風呂水の再利用)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	50	節水内容4(散水洗車に利用)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
供給条件	51	節水内容5(少量の手洗い)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	52	節水内容6(すすぎ水の節約)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	53	節水内容7(まとめ洗い)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	54	節水内容8(蛇口閉めの励行)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	55	節水内容9(なんとなく)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	56	節水内容10(その他)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	57	将来の節水動向	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	58	将来の水需要	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	59	水の器具合(水圧)	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	60	漏水の頻度(水質)	4	●	●	●	●	●	●	●	●	●
供給条件	61	断水の頻度	4	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	62	料金の高低	5	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	63	口の径	3	●	●	●	●	●	●	●	●	●

注) ● 有意水準 0.5%で有意差がある項目
○ 有意水準 1.0%で有意差がある項目
△ 有意水準 2.5%で有意差がある項目
* 有意水準 5.0%で有意差がある項目
△ 有意水準 10.0%で有意差がある項目
- 階層化項目
- F値(値)を計算できなかった項目

す。普及率が低く使用水量の差が大きい、庭の蛇口、貯湯式給湯器、セントラルヒーティングの3機器は、

今後、その普及に伴い使用水量を増加させる要因と言えよう。一方、水洗便所、洗濯機は高普及であるため、今後、使用水量を増加させる効果は小さいと考える。

(3) 水 利 用 行 動

①入浴回数（冬）；風呂を所有している世帯について、使用水量の変動を示したのが図-6である。0回を除き、入浴回数の増加に伴い使用水量も増加する傾向にある。なお、浴槽入替回数（冬）は、入浴回数（冬）とほぼ同じ傾向であった。②シャワー回数（冬）；シャワーを所有している世帯について、使用水量の変動を示したのが図-7である。全世帯平均では利用回数が11回以上増加しても、使用水量は増加していない。これは、世帯当りの延回数のため、居住者数の影響が大きいと思われる。3人世帯では、シャワー回数と使用水量はほぼ正の相関関係にある。③洗濯回数（冬）；全世帯平均では0回を除き、洗濯回数が変化しても使用水量は大きな変化を示さない（図-8）。しかし、2、4人世帯では、洗濯回数の増加に伴い使用水量もほぼ

直線的に増加している。④散水の有無、散水回数；散水をする世帯の方が、19.4ℓ/人日使用水量が多い（表-6）。また、4人世帯を除き、散水回数が月9回までは回数の増加と共に使用水量も増加する傾向にある（図-9）。月10回（3日に1回）以上では、散水先が問題になってくると思われる。

(4) 水 利 用 意 識

①節水の認識；節水している人は普通の人比べ17.6ℓ/人日使用水量が少なくなっている（表-7）。今後の節水意識の浸透により、使用水量を減少させる要因となろう。

(5) 供 給 条 件

①料金の高低；「高い」→「安い」と感じるのに従い、使用水量は減少している（表-8）。これは、単価よりも使用水量の方が料金の高低の感覚に影響していることの表れとみられる。

3-4 要因間の関連の分析

本節では、表-4に示された17要因の相互の関連をクラマー係数^{3), 4)}により分析し、代表要因の絞

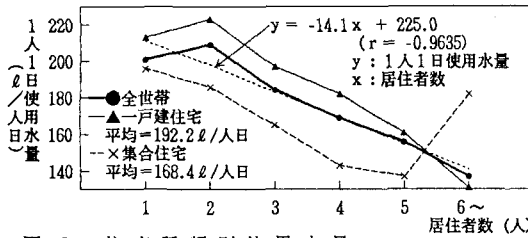


図-3 住宅種類別使用水量

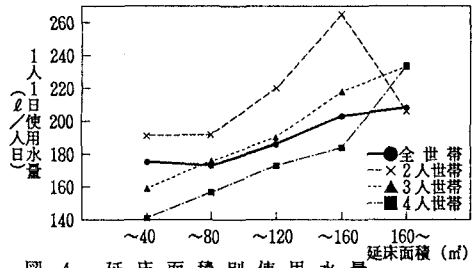


図-4 延床面積別使用水量

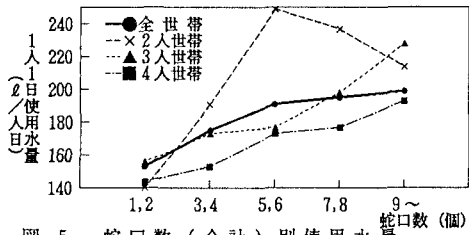


図-5 蛇口数（合計）別使用水量

表-5 水利用機器の有無別使用水量の差

単位：ℓ/人日、()内は有意水準

水利用機器	水 量 差	普及率	水 利 用 機 器	水 量 差	普及率
水洗便所	29.4(10.0)	97.2	貯湯式給湯器	18.4(0.5)	32.1
風呂	44.5(0.5)	90.0	瞬間湯沸器	0.0(-)	49.3
シャワー	19.3*(0.5)	69.4	皿洗器	83.5(0.5)	1.2
洗濯機	49.1(2.5)	98.3	デイスボーター	69.5(5.0)	0.6
庭の蛇口	26.9(0.5)	38.0	セントラルヒーティング	44.5(0.5)	7.7
自家用車	-6.0(-)	69.5	サモスタット付混合栓	39.0(0.5)	3.6

*風呂所有世帯の値。全世帯では29.1ℓ/人日。

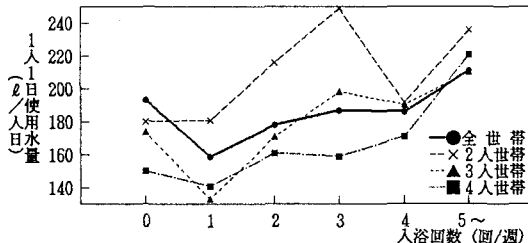


図-6 冬の入浴回数別使用水量

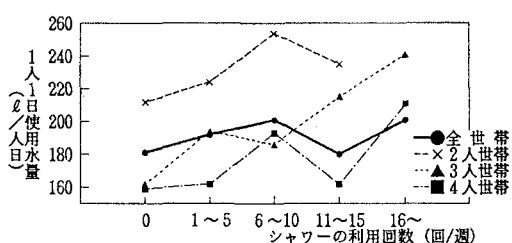


図-7 冬のシャワーの利用回数別使用水量

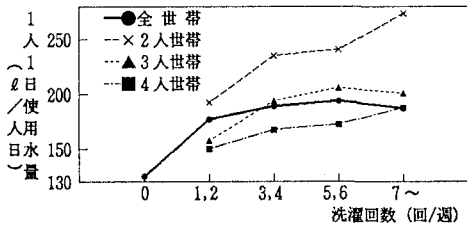


図-8 冬の洗濯回数別使用水量

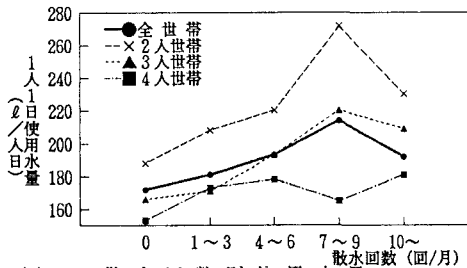


図-9 散水回数別使用水量

り込みを行う。クラマー係数は χ^2 検定値をもとに計算され、最大値1、最小値0をとり、関連が大きいほど値も大きい。定義式は次式で与えられる。

$$Cr = \sqrt{\chi^2 / n (\max(K, L) - 1)}$$

ここで、
Cr : クラマー係数、 χ^2 : χ^2 検定による統計量
n : サンプル数、K・L : カテゴリーの数

17要因の相互の関連図を描いたのが図-10である。点線で囲んであるのは、水利用機器の普及状況の要因は水利用行動の要因のカテゴリーの一部に含まれていることなどを表している。このことから、点線で囲まれている要因の中では、入浴回数、シャワー回数、蛇口数(計)、散水回数が、使用水量とのクラマー係数も大きく、代表要因となろう。住宅種類は、庭の蛇口の有無、散水の有無との関連が強く、また、散水回数、シャワーの有無、貯湯式給湯器の有無とも関連を示している。これは、住宅種類が、ある程度水利用機器や機会を限定していることのためとも言えよう。住居特性の2要因のうち、住宅種類よりも延床面積の方が、使用水量とのクラマー係数も大きく、他の要因との独立性が保たれていることから、延床面積を代表要因と考えることができる。また、他の要因とあまり関連のみられない、居住者数、洗濯回数、節水の認識、セントラルヒーティングの有無が代表要因となる。しかし、料金の高低は、独立性はみられるが、現状の使用水量を反映してい

表-6 散水の有無別使用水量 (ℓ/人日)

	使用水量	構成比(%)
あ	190.9	60.9
なし	175.5	39.1

表-7 節水の認識別使用水量 (ℓ/人日)

	使用水量	構成比(%)
節水している	171.5	36.8
普通	189.1	48.4
節水していない	192.3	14.8

表-8 料金の高低別使用水量 (ℓ/人日)

	使用水量	構成比(%)
非常に高い	193.3	8.9
高い	200.3	34.1
普通	173.9	44.7
安い	166.0	2.2
わからない	166.1	10.1

ることの表れであることから、予測に用いられる要因としては不適当と考える。また、貯湯式給湯器は、これまで代表要因として採用された要因との関連が弱く、独立していることから、これを代表要因と考えることができる。以上の結果、代表要因は図-10中において2重線で囲まれている10要因となる。

3-5 数量化理論Ⅰ類による分析

数量化理論Ⅰ類により、3-4で絞り込まれた10個の代表要因を用いて、1人1日当たり使用水量を外的基準として分析した結果を図-11に示す。ここの分析対象となっているのは、全ての代表要因について完全回答であった944サンプルである。

アイテムレンジの大きいものは、居住者数、洗濯回数(冬)、入浴回数(冬)であり、居住者数、水利用行動、水利用意識、生活構造の順で影響が大きいことがわかる。また、居住者数が増えるとカテゴリースコアが小さくなること、洗濯回数が増えると

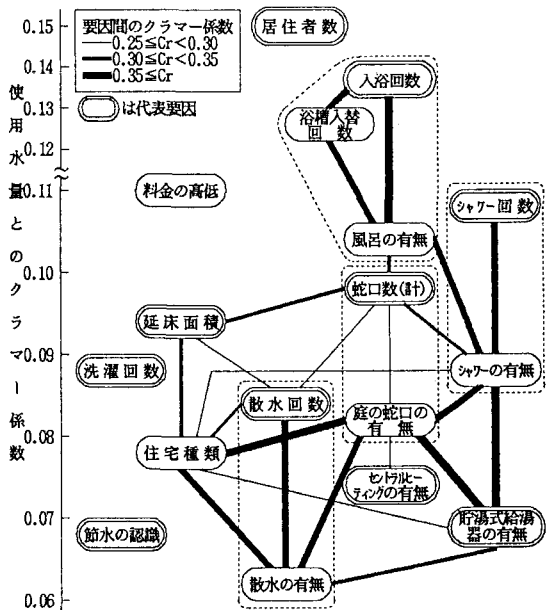


図-10 水使用影響要因間の関連

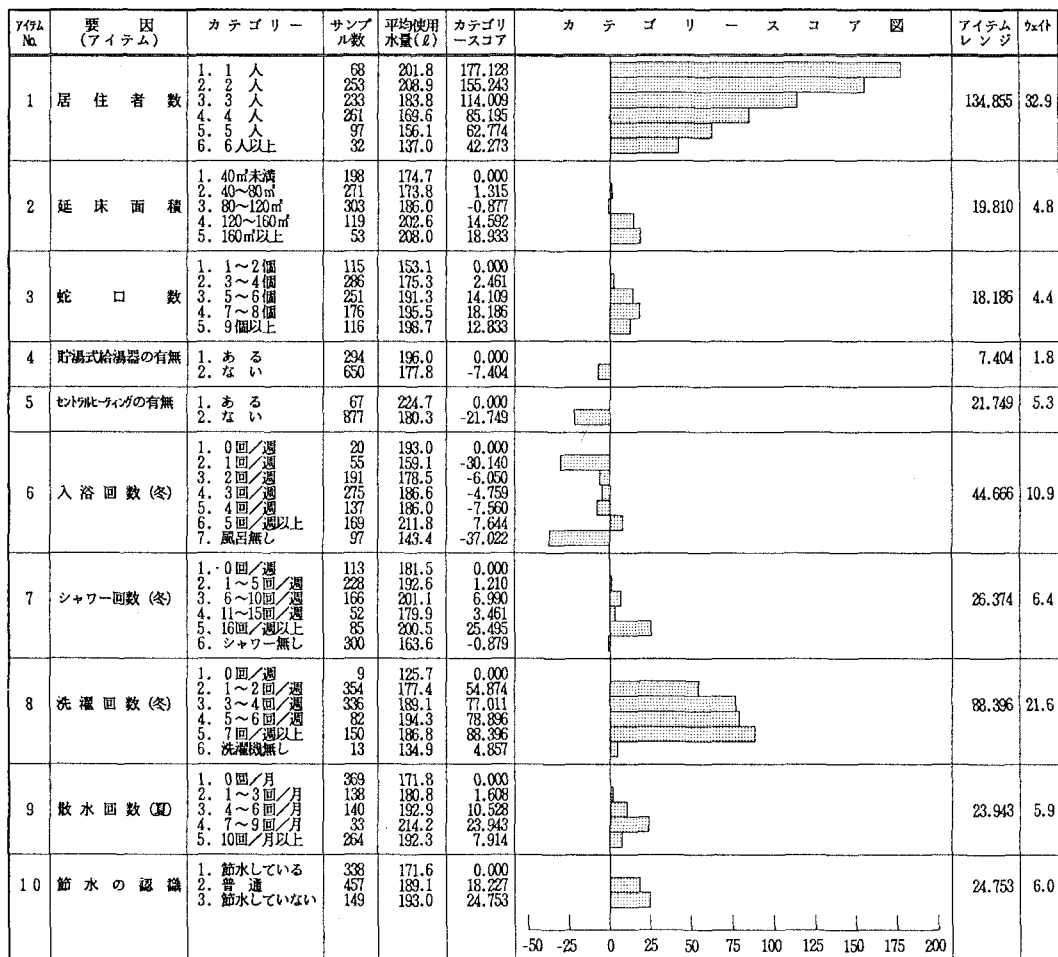


図-11 数量化理論Ⅰ類による分析結果

(1人1日当り平均使用水量:183.5ℓ/人日, 重相関係数:0.5315)

カテゴリースコアも大きくなることわかる。ここで、各要因の使用水量の変動に対するウェイトを、アイテムレンジの総和に対する各々の要因のアイテムレンジの比率で表すことにする。これにより、居住者数だけで変動の約1/3を説明していることがわかり、更に、洗濯回数(冬)と入浴回数(冬)を加えると変動の約2/3を説明できることになる。

4. おわりに

本稿では、水需要予測における1人1日当り使用水量の変動に影響を与える代表要因を絞り込む過程を中心に述べた。代表要因を絞り込む方法は、数量化理論Ⅰ類や重回帰分析における説明変数の選択等もあるが、本稿における手法の方が、要因の使用水量への影響や要因相互間の関連性が理解しやすい。

今後の課題としては、今回はプログラムの制約上できなかった有意差のないカテゴリー同士の集約を行い、更に需要構造を単純化することがあげられる。また、この種の調査を引き続き行い、代表要因のウェイトの経年変化の把握、及び選択される代表要因に対する検討を更に進める必要があろう。

最後に、ご協力いただいた調査対象の方々、及び調査業務を担当された関係各位に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 山田淳・大西功:長期予測のための水需要構造分析, 第35回全国水道研究発表会講演集, 1984
- 2) 山田淳・大西功:長期予測のための水需要構造分析(Ⅱ), 第36回全国水道研究発表会講演集, 1985
- 3) 西村一夫・高橋巖・三田村晃:水道事業経営のための水需要予測(Ⅰ), 水道協会雑誌, No.577, 1982
- 4) 西村一夫・高橋巖・三田村晃:水道事業経営のための水需要予測(Ⅱ), 水道協会雑誌, No.580, 1983