

(33) 社会動向と水利用機器普及を考慮した 使用目的別水需要予測に関する研究

清水 聡行^{1*}・山川 幹人²・吉村 敬介³・山田 淳⁴

¹立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

²堺市役所 上下水道局 (〒591-8031 堺市南区桃山台1-1-1)

³(株)ガスアンドパワーインベストメント (〒541-0047 大阪市中央区淡路町4-4-11)

⁴立命館大学 教授 総合理工学研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

* E-mail: rv004986@ed.ritsumei.ac.jp

水道利用の大半を占める生活用水の長期的な水需要予測は、今後の施設計画、水道事業経営計画を策定する上で重要である。近年、水需要が横ばいから減少に転じており、施設更新計画や地球環境問題への対応にあたって、従来のトレンド方式から、使用目的別の水需要構造をふまえた予測方法に転換していくことが必要となってきた。本稿は、使用目的別に詳細な実測と要因を考慮した使用水量算定モデルを作成し、将来予測を行なう方法について提案するものである。作成したモデルを用いたシミュレーションの結果、キッチン水量やトイレ水量は高齢化による使用水量の増加と節水型機器普及による使用水量の減少が相まって現状と大きな変化はなかったが、節水型の洗濯機やシャワーの普及により、原単位水量が現状より約5%程度(15L程度)減少する可能性が示された。

Key Words : Water Demand Forecast, Water Usage with the Intended, Questionnaire Survey

1. はじめに

水需要予測は、水道計画、水資源開発計画さらには下水道計画の基礎となるもので、中でも水道用水の約70%を占める¹⁾家庭用水の需要予測は重要である。近年の我が国の水道用水需要は、人口減少、節水型社会の進展、大口需要家の専用水道への転換などにより多くの事業体で減少傾向にあり、1人あたりの原単位水量も節水意識の向上、節水型機器の普及などにより減少傾向がみられる²⁾。このため、水需要予測手法については、従来用いられてきたマクロなトレンド予測では対応できず、社会経済的な指標を導入する方法や、個別世帯の使用水量を世帯属性やライフスタイルと関連づけて分析するマイクロ分析法が提案されてきた³⁾。しかし、原単位水量の予測にあたっては、測定水量記録を用いた各要因の寄与を定量化する多変量解析では、現状の需要構造の記述はできるものの、要因の独立性が保証されない⁴⁾ため将来にわたる影響要因の変化を十分取り込めないという課題があり、予測に普遍性を持たせることには限界がある。このため、使用目的別に、使用水量と要因の関連性を明確に

することが、精度向上に大きく寄与するものと考えられる。

特に家庭内水需要は、その水利用行動や水利用機器の影響を大きく受けるため、使用目的別使用水量の実態把握とその予測が必要である。使用目的別使用水量の実態調査は、直接生活行動と使用水量の関係を把握できるため、その調査結果は、精度の高い予測を行なうのにきわめて有効であるが、使用目的別水量の測定は、測定方法の確立や対象家庭の協力が必要なことから、解析に十分なサンプル数を確保することが困難である。いくつかの水道事業体で実態調査が試みられた⁵⁾が、使用水量の実態が若干把握できたものの、解析には至らず参考程度にとどまっている^{6)・7)}。

使用目的別使用水量の推定や予測について、村川ら³⁾はアンケート(水利用行動記録)調査と量水器読み取り調査から重回帰式により使用目的別水量を推定し、世帯構成別の水量予測を行なっている。また、浅野ら⁸⁾は既存の使用目的別水量データを基にニューラルネットワークを用いた予測を行なっているが、対象世帯毎の推定にとどまっている。いずれにしても、需要予測には、水の

使い方や機器性能といった水需要に影響を与える要因の影響度の将来変化を組み込むことが重要であり、それらを含んだ予測は少ない。山田ら⁹⁾や中川ら¹⁰⁾は、水利用機器の普及を考慮した使用目的別の需要予測を行っているが、使用目的別水量には、世帯属性、個人属性、ライフスタイルなどの影響を直接的に受けるため、予測にあたって、さらにこれらの要因を組み込んだモデルの確立が望まれる。

本研究は、1994年から継続して行なってきた給水栓取付式自記水量水計による使用目的別水量実測調査の結果を基礎データとして、水利用に関するアンケート調査、文献値、カタログ値を加え、精度の高い家庭用水の需要予測法を提案するものである。

2. 調査概要と使用水量算定モデル作成の手順

(1) 調査概要

使用目的別の水利用実態を把握するため、個別家庭を対象とした使用目的別水量実測調査、実測した家庭の世帯属性、実測時の水利用行動や水利用機器の種類、水利用意識などの聞き取り調査を行なった。また、水量実測家庭を含む対象地域の長期動向を把握するため、測定水量とその影響要因を検討するための経年マイクロアンケートを実施した。加えて、水利用機器の性能に関する文献・カタログ調査を行なった。

a) 使用目的別水量実測調査¹¹⁾

水量実測調査は、給水栓取付式自記水量水計を給水栓等の末端に接続し、5分間隔で使用水量を測定した。したがって、24時間あたり288個の使用水量データを得たことになる。調査対象家庭は、滋賀県内の一般家庭（戸建および集合住宅）である。また、戸建住宅の一部に対しては、水道事業者が設置している量水器（メータ）の読取を行なった。表-1に調査概要を示す。なお、調査世帯の平均世帯人数は3.5人であった。

表-1 使用目的別水量実測調査の概要

調査年度	1994～2004年				
調査件数	172世帯		48世帯		
調査方法	給水栓取付式自記水量水計 を使用目的別に設置		使用時に 量水器読取		
測定期間	2～7日間の連続調査		-		
使用目的別 延測定 日数(回数)	キッチン	トイレ	風呂	ガーデニング	洗車
	403日	390日	353日	40回	15回
日数(回数)	シャワー	洗濯	洗面	掃除	ペット
	469日	442日	118日	11回	10回

b) 経年アンケート調査¹¹⁾

個人・世帯レベルでの水利用行動、水利用機器の保有の状況や節水意識、水利用行動、使用水量についての情

報を得るため2期にわたりアンケート調査を実施した。表-2にアンケート調査の概要を示す。本稿では、1994、1995年を第Ⅰ期、2002、2003、2004年を第Ⅱ期とした。

表-2 経年アンケート調査の概要

調査期間	第Ⅰ期	第Ⅱ期
	1994、1995年	2002、2003、2004年
世帯人数別 世帯数 (1)は、集合住宅	2人:104(59)	2人:223(28)
	3人:120(60)	3人:238(12)
	4人:226(66)	4人:261(18)
	5人以上:93(28)	5人以上:139(7)
	総計:543(213)	総計:861(65)
調査地域	滋賀県草津市、大津市	
主な 質問項目	世帯・個人属性、水利用機器保有状況、 水利用行動、節水意識、過去1年間の使用水量	

c) 文献・カタログ調査

水利用機器は、節水型・洗浄剤節約型へ徐々に移行するなど、常に変化を続けており、水使用量にも影響を与えている。また、水利用機器が水利用行動に影響を与えている例もある。水利用機器は多種多様であり、実測調査の機器についてその性能をすべて把握できてはいない。このため、これまでの性能の変遷と発展に加えて、近年見られる新機能や新しく登場した水利用機器についての情報を収集するため、カタログ収集やインターネットでの資料請求、メーカーウェブページや文献などを参考にした。

(2) 使用目的別使用水量算定モデル作成の手順

上記の3つの調査に基づいて、使用目的別使用水量算定モデルを以下のa)～d)の算定手順を用いて構築した（図-1）。

a) 基準利用と基準水量値

標準的な水利用方法を基準利用、基準利用時の水量を基準水量と設定した。基準水量値には使用目的別の実測水量を用いている。基準値とした要因カテゴリーと基準値は、5.で述べる。

b) カテゴリー別使用水量係数の算定

水利用の異なるカテゴリー別に使用水量を求め、基準水量との比をカテゴリー別使用水量係数として算出する。算定には、メーカーカタログ値やメーカーウェブサイトなども参考にした。

c) 使用目的別使用水量係数の算定

カテゴリー別使用水量係数、アンケート調査や統計資料などで得た構成率、普及率、行動率を用いて、使用目的別の1日あたり、1回あたりの使用水量係数および1日あたり使用回数係数を算出する。

d) 使用目的別使用水量の算定

以上の手順で算定した使用目的別使用水量係数および使用回数係数を基準値に乘じ、アンケート調査結果の使

用水量を用いて補正し使用目的別使用水量を算定した。

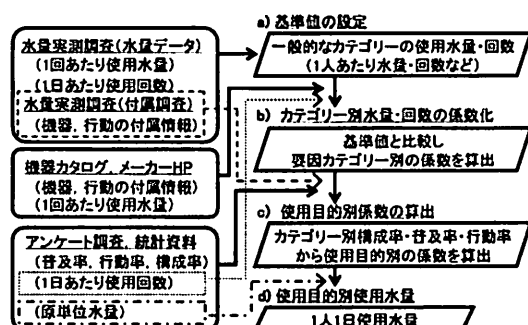


図-1 使用目的別使用水量算定モデル作成の概要

3. 調査結果

個別家庭の水利用実態をふまえた調査や研究の事例がきわめて少ないことはすでに述べたとおりである。使用目的別となるとさらに少ない。使用水量の分布特性を示した研究、報告は若干ある^{12)・13)}。一方、要因分析については、著者らがすでに詳細な分析結果を示している¹¹⁾ので、ここでは、使用目的別水量実測結果のうち、使用目的の平均水量と分布特性を、経年アンケート調査については、ここで用いる使用水量と水利用機器の保有状況、行動率、行動回数の結果のみを示す。

(1) 使用目的別水量実測調査

表-3に実測調査結果を示す。また、図-2に各使用目的別水量の非超過確率を示す。「トイレ」については、使用回数を把握することが重要となるため、使用回数の非超過確率も示している。使用水量の分布特性は、今後の水需要を予測する上で重要な指標となる。特に、分布にばらつきが大きい場合は、水利用形態、ライフスタイルの多様性を反映しており、逆に分布にばらつきが小さい場合は、個人や世帯などの属性による水の使い方よりも水利用機器などの影響が大きいものと考えられる。そのため、機器性能の動向など社会的なトレンドの推移に着目する必要がある。ここでは、ばらつきの程度を示す指標として「ばらつき指数」を式(1)と定義して算出し図-2中に示している。

$$\text{ばらつき指数} = \frac{75\% \text{値} - 25\% \text{値}}{\text{中央値}} \quad (1)$$

ばらつき指数についてみると、「洗濯」のばらつきが他の使用目的と比較すると小さい。洗濯水量は、洗濯機

の性能に依拠していると考えられる。また、「トイレ回数」では、2人世帯でばらつき指数が他の世帯人数と比較して大きく、属性やライフスタイルが回数に直接影響していると考えられる。他の使用目的では、明瞭な傾向は見られなかったが、このことは、水利用の多様さや複雑さを示しているものである。なお、1回あたり水量のばらつき指数は、「風呂」における1回あたり湯張り水量で0.1～0.2程度、風呂残り湯等を利用しない水道水のための「洗濯」における1回あたり水量で0.3程度、「トイレ」の1回あたり水量で0.3～0.6程度であった。

表-3 世帯人数別使用目的別使用水量

使用目的	使用水量[L/人・日]				
	2人	3人	4人	5人以上	全体
キッチン※	57.5	41.5	36.9	37.1	42.8(3.5)
風呂	106.1	88.9	73.1	52.2	77.7(3.8)
(湯張り)	43.6	46.0	28.2	13.7	31.9
(身体洗い)	62.5	42.9	44.9	38.5	45.8
洗濯	64.6	54.4	45.9	45.6	51.8(3.5)
トイレ	52.9	59.4	41.7	36.2	45.1(3.8)
洗面	9.2	8.5	10.1	7.4	9.3(3.4)

()は、平均世帯人数

※ 食器洗浄器使用家庭を除く

(2) 経年アンケート調査

世帯人数別の原単位水量を表-4に、世帯人数別の水利用状況に関する集計結果を表-5に示す。世帯人数、住宅形態によって原単位水量が大きく異なり、世帯人数の減少による原単位水量の増加が見られる。

水利用の状況についてみると、キッチン関連では、「食器洗浄機保有率」は第Ⅱ期において、2人世帯で約17%、3人世帯で約29%、4人世帯で約36%であるが、実際の利用率は50～70%であった。また、利用世帯の使用回数は1日あたり1.3～2回程度であり世帯人数の増加とともに使用回数も増えている。

風呂では、4人世帯以外で湯張り回数が第Ⅰ期からⅡ期にかけて若干減少している。シャワーのみでの利用の増加が考えられる。

洗濯では、第Ⅱ期において全自動洗濯機がほとんどの世帯で普及している。なお、第Ⅱ期のドラム型洗濯機の保有率は、2人世帯で6.3%、3人世帯で1.7%、4人世帯で3.6%、5人以上世帯で5.8%であった。洗濯回数では、世帯人数増加に伴う洗濯回数の増加が見られる。洗濯回数の経年増加が若干見られるが変化率は大きくない。また、風呂残り湯利用を行なう世帯が、60%を超えている。

トイレ関連では、第Ⅱ期で温水洗浄便座が約65%程度普及している。

節水意識では、第Ⅱ期で8割程度の世帯が節水意識を有しているものと考えられる。

水やりなどの「その他」の使用目的では、水やり回数が、経年的に若干増加している。洗車は、自動車保有世帯で1～2ヶ月に1回程度である。なお、自動車保有率は、2人世帯で89%、2人以上世帯で99%であった。

また、水利用機器について年々新製品が販売されるが、多くの機器種別があるため十分把握できなかった。改善の方法として購入・設置時期を調査して使用した。結果を表一6に示す。洗濯機では、1990年代に購入・設置されたものが多く、1990年以前のは少ない。トイレでは、1990年以前に設置されたものも多くあり、買い替えサイクルの違いが見られる。

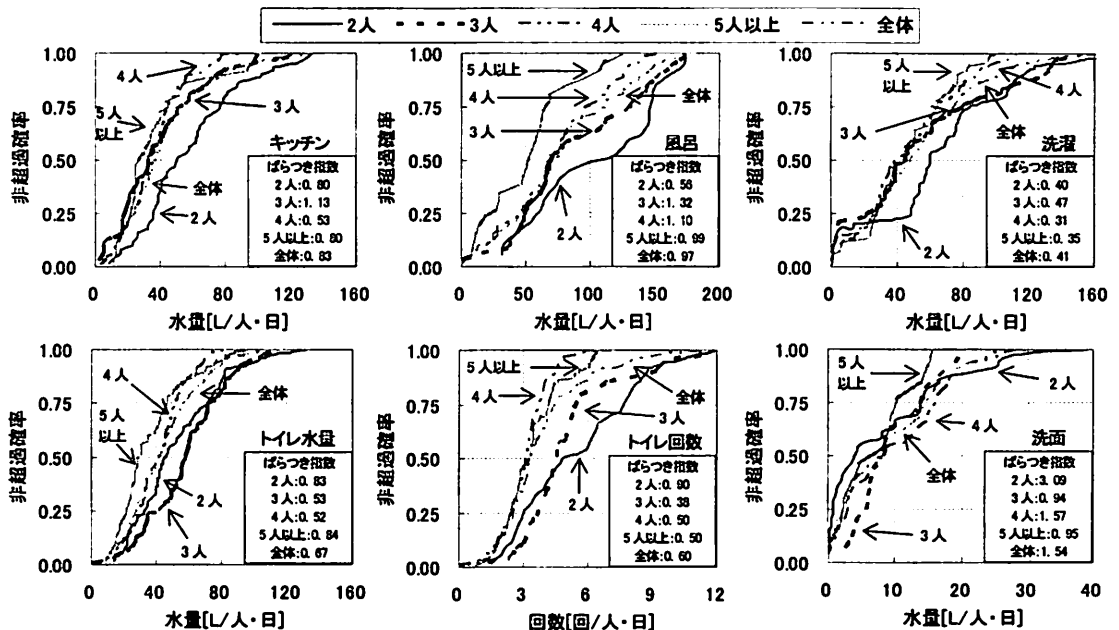
表一4 世帯人数別住宅形態別原単位水量

住宅形態	世帯人数 単位[L/人・日]							
	2人		3人		4人		5人以上	
	I期	II期	I期	II期	I期	II期	I期	II期
戸建	346.5	325.2	298.9	282.4	244.8	243.5	219.6	213.8
集合	293.2	311.3	234.0	255.5	219.6	235.5	195.5	250.9

表一6 世帯人数別洗濯機・トイレの設置時期

機器	設置時期	世帯人数 単位[世帯]			
		2人	3人	4人	5人以上
洗濯機	1990年以前	26(16.8)	23(13.0)	12(7.5)	10(10.2)
	1991～2000年	99(63.1)	124(70.1)	102(63.8)	60(61.2)
	2001年以降	32(20.4)	30(16.9)	46(28.8)	28(28.6)
トイレ	1990年以前	57(37.5)	86(50.6)	59(38.6)	46(47.4)
	1991～2000年	63(41.4)	68(40.0)	70(45.8)	37(38.1)
	2001年以降	32(21.1)	16(9.4)	24(15.7)	14(14.4)

()は、割合[%]



図一2 世帯人数別の各使用目的別水量分布およびトイレ回数分布

表一5 世帯人数別の水利用状況に関する集計結果

項目		2人		3人		4人		5人以上	
		I期	II期	I期	II期	I期	II期	I期	II期
食器洗浄機	保有率[%]	1.9	17.4	4.2	28.5	10.7	35.6	14.1	34.3
	保有世帯の利用率[%]	0.0	51.4	20.0	64.6	54.2	69.3	38.5	62.8
	保有世帯の使用回数[回/日]	-	1.30	-	1.66	-	1.79	-	2.00
湯張り回数[回/日]		0.99	0.83	0.97	0.86	0.78	0.96	0.92	0.90
全自動洗濯機保有率[%]※1		53.8	77.5	66.7	87.6	70.1	93.1	79.6	93.4
洗濯回数[回/日]		0.81	0.88	1.10	1.10	1.31	1.28	1.44	1.46
風呂残り湯再利用率[%]		64.4	60.5	66.7	69.3	61.9	72.3	72.0	76.3
温水洗浄便座保有率[%]		33.7	65.8	26.7	63.7	25.9	62.8	29.0	64.9
水やり回数[回/日]※2		0.40	0.61	0.53	0.57	0.38	0.49	0.51	0.46
洗車回数[回/日]※2		-	0.033	-	0.026	-	0.023	-	0.022
節水意識を有する世帯[%]		83.8	89.6	69.5	81.8	71.4	80.8	76.3	77.0

すべて世帯単位、※1ドラム型の洗濯機は含めていない、※2戸建住宅のみ

4. 使用目的別水量算定モデルの作成

使用目的別使用水量の算定式を作成し使用水量を予測するためには、将来にわたって変化していく影響要因を抽出し、それらを組み込んだものが望ましい。また、使用水量を目的変数、影響要因を説明変数とするならば、できる限りモデルを簡易にするため、すべての使用目的で共通の説明変数を選択することが望ましいが、使用目的ごとに水利用行動、水利用機器の影響度が異なるため現実的でない。そこで、ここでは使用目的ごとに水利用モデルの作成を行なう。モデルを作成したのは、キッチン、風呂、洗濯、トイレの4使用目的であり、「洗面」については、使用水量全体に占める水量割合が小さいためモデル化しなかった。また、ここでは、モデル中の使用水量係数等のパラメータは世帯人数別に求めているが、5人以上については、サンプル数の制約を受けるため、本稿では、2, 3, 4人世帯についてのみモデルを作成した。

(1) キッチン

a) モデル式と影響要因の選定

キッチン水量は、世帯単位の用途として「炊事基礎水量×炊事回数」、個人単位の飲用として「飲料基礎水量×世帯人数」として推計される⁶⁾が、実際のキッチンにおける水利用は、使用形態が複雑なことから炊事基礎水量や飲料基礎水量を算出することは困難である。また、近年、普及が著しい食器洗浄機の影響も考慮する必要がある^{11)・14)}。そこで、式(2)、(3)に示すようなキッチンモデルを作成した。

$$Ck_i = \left(\sum_{e=1}^n a_{ih_e} \times b_{ih_e} \right) \times \cdots \times \left(\sum_{e=1}^n a_{im_e} \times b_{im_e} \right) \quad (2)$$

$$Qk_i = SQk_i \times Ck_i \div Ck_0 \quad (3)$$

ここに、 Ck : キッチンにおける使用水量係数、 Qk : キッチン水量、 a : 影響要因カテゴリ別使用水量係数、 b : 影響要因カテゴリ別構成率・普及率・行動率、 SQk : 基準とするキッチン水量、 t : シナリオ ($t=0$ (現在), 1, 2, 3, ...)、 i : 世帯人数、 h : 影響要因、 m : 影響要因項目数、 e : カテゴリ、 n : カテゴリ項目数を示す。

本稿では、要因カテゴリ別に使用水量を算出し分散分析による平均値の差の検定を行なった結果から影響要因を「高齢者有無」、「食器洗浄方法」、「節水意識の有無」の3つとした。影響要因の選定には、要因間の関連性を考慮する必要があるが、これらの3つの要因は、最近の社会動向からみてモデルに組み込むことが重要であると考えた。また、サンプル数の制約から要因間の関連性を

を考慮しないこととした。

b) カテゴリ別使用水量係数の算出

カテゴリ別使用水量係数は、実測調査で得られたカテゴリ別使用水量(表-7)から算出した。また、実測値の得られていない食器洗浄機の影響については、文献値より1回あたり使用水量を12.2Lとし¹⁴⁾、実測調査の一部(調査日数20日分)で得られたキッチン水量の詳細な内訳と食器洗浄水量の時間区分別内訳(図-3)を用いて算出した。なお、食器洗浄機は、1日あたり2回使用することで1日分の食器洗浄を行なうことを想定した。「キッチン」におけるカテゴリ別使用水量係数の算出結果を表-8に示す。

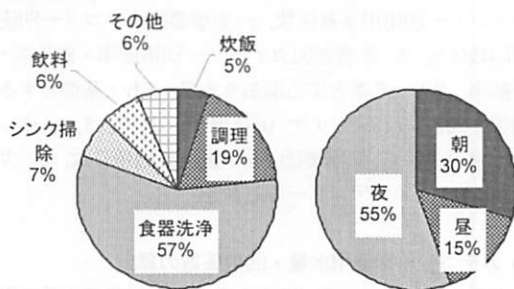


図-3 キッチン水量の内訳 (n=20)
(右は食器洗浄水量の時間区分別内訳)

表-8 「キッチン」におけるカテゴリ別係数算出結果

使用目的	要因	カテゴリ	カテゴリ別係数			
			2人	3人	4人	全体
キッチン	高齢者	いる	1.18	2.70	1.69	1.59
		いない	1	1	1	1
	食器洗浄方法	流し洗い	1	1	1	1
		溜め洗い	0.90	0.47	0.84	0.72
		食器洗浄機	0.60	0.62	0.58	0.59
	節水意識	あり	1	1	1	1
		なし	1.35	3.43	1.66	1.84

※係数が「1」のカテゴリは基準としたもの

(2) 風呂

a) モデル式と影響要因の選定

風呂水量は、世帯単位用途である注水による「湯張り水量」と個人単位用途である足し湯およびシャワーの「身体洗水量」から構成される。特に、湯張りの有無が風呂水量に大きな影響を与えており(表-9)、湯張りの有無によらず「身体洗い」水量は大きく変わらない¹¹⁾。そこで、本稿では「湯張り水量」と「身体洗水量」とを別々にモデル化し、それらを加算することとした。「湯張り水量」のモデル式は、式(4)～(6)で表現される。「身体洗水量」については、式(2)、(3)と同様であるため、ここでは省略する。

本稿では、湯張り水量の影響要因として「浴槽容量」を身体洗水量の影響要因として「シャワーヘッドの種

類」を選定しモデル式に組み込んだ。湯張り回数の影響要因については、「高齢者有無」とした。

$$Cy_i = \left(\sum_{e=1}^n a_{i_e} \times b_{i_e} \right) \times \cdots \times \left(\sum_{e=1}^n a_{i_m} \times b_{i_m} \right) \quad (4)$$

$$Dy_i = \left(\sum_{e=1}^n g_{i_e} \times b_{i_e} \right) \times \cdots \times \left(\sum_{e=1}^n g_{i_m} \times b_{i_m} \right) \quad (5)$$

$$Qy_i = (SQy_i \times Cy_i + Cy_{i_0}) \times (SAy_i \times Dy_i \div Dy_{i_0}) \quad (6)$$

ここに、 Cy ：湯張りにおける使用水量係数、 Dy ：湯張りにおける使用回数係数、 Qy ：湯張り水量、 a ：影響要因カテゴリ別使用水量係数、 g ：影響要因カテゴリ別使用回数係数、 b ：影響要因カテゴリ別構成率・普及率・行動率、 SQy ：基準とする湯張り水量、 SAy ：基準とする湯張り回数、 i ：シナリオ（ $i=0$ (現在)、1, 2, 3, ...）、 i ：世帯人数、 h ：影響要因、 m ：影響要因項目数、 e ：カテゴリ、 n ：カテゴリ項目数を示す。

b) カテゴリ別使用水量・回数係数の算出

湯張り水量について、1回あたり水量には世帯人数の影響がないものと考え、各世帯人数で係数を統一した。表-10に浴槽容量有無別1回あたり湯張り水量を示す。湯張り回数における「高齢者有無」の影響はサンプル数が少なく分析できなかったため、経年アンケート調査結果を用いた（表-11）。シャワーヘッドについて、実測調査で調査機器のシャワーヘッドは従来型であったため、節水型シャワーヘッドは、メーカーウェブサイト¹⁵⁾を参考にシャワー水量が15%減少するとしカテゴリ別使用水量係数を算出した。結果を表-12に示す。

表-11 高齢者有無別湯張り回数（アンケート結果）

高齢者有無	世帯人数 単位[回/世帯・日]							
	2人		3人		4人		5人以上	
	I期	II期	I期	II期	I期	II期	I期	II期
いる	0.98	0.79	1.00	0.62	0.83	0.77	0.96	0.90
いない	0.96	0.80	0.95	0.91	0.75	0.98	0.88	0.89

表-12 「風呂」のカテゴリ別係数算出結果

使用目的	要因	カテゴリ	カテゴリ別係数			
			2人	3人	4人	全体
湯張り	浴槽容量	200L未満	1			
		200L以上	1.20			
身体洗い	シャワーヘッド	いる	0.99	0.68	0.79	0.86
		いない	1	1	1	1
身体洗い	シャワーヘッド	従来型	1	1	1	1
		節水型	0.88	0.88	0.88	0.88

※係数が「1」のカテゴリは基準としたもの

※浴槽容量は湯張り1回あたりの係数

(3) 洗濯

a) モデル式と影響要因の選定

洗濯水量算定モデル式の構造は、式(4)～(6)と同様のため、ここでは省略する。ここでは、「1回あたり使用水量」と「洗濯回数」とに分けてモデル式を構築した。洗濯水量は、洗濯機のパフォーマンス、洗濯回数、風呂残り湯利用に大きな影響を受ける。そこで、本稿では1回あたりの洗濯用水の影響要因を「洗濯機種類」と「残り湯利用の有無」とし、洗濯回数の影響要因については「高齢者有無」とした。洗濯機の種類は3種類（縦型全自動2種類、ドラム式）とした。なお、現在、普及している洗濯乾燥機については、乾燥機能使用時に水量を要するが、乾燥機の使用率が低かったことから考慮しないこととした。

b) カテゴリ別使用水量・回数係数の算出

「湯張り水量」と同様に、1回あたり水量には世帯人数の影響がないものと考え、各世帯人数で係数を統一した。

表-7 「キッチン」における要因カテゴリ別使用水量

影響要因		世帯人数 単位[L/人・日]											
		2人			3人			4人			5人以上		
		n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定
高齢者 (65歳以上)	いる	21	65.1		5	88.2	***	4	58.1	**	4	23.4	
	いない	34	55.0		34	32.7	***	80	34.4	**	21	45.4	
節水意識	あり	31	58.2	**	36	32.8	***	66	32.0	***	22	44.0	
	なし	13	78.2		3	112.6	***	11	53.3	***	0	-	-
食器の洗い方	流し洗い	39	62.6		25	42.6		49	40.7		6	27.7	
	溜め洗い	5	58.1		5	19.9		33	34.4		4	22.7	

***:1%有意, **:5%有意, *:10%有意(上段:t検定, 下段:マン・ホイットニーのU検定)

表-9 湯張りの「あった日」と「無かった日」との使用水量の違い

影響要因		世帯人数 単位[L/人・日]											
		2人			3人			4人			5人以上		
		n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定
湯張り	あり	9	151.8	***	24	108.5	***	38	95.5	***	11	78.7	***
	なし	10	65.0	***	9	38.8	***	28	42.0	***	15	34.2	***

***:1%有意, **:5%有意, *:10%有意(上段:t検定, 下段:マン・ホイットニーのU検定)

表-10 浴槽容量別1回あたり湯張り水量

影響要因		世帯人数 単位[L/回]											
		2人			3人			4人			5人以上		
		n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定	n	水量	検定
風呂容量	200L未満	7	184.1	***	14	180.7	**	27	184.2	***	6	153.8	*
	200L以上	2	254.0	**	10	202.3	**	9	223.9	**	5	196.4	*

***:1%有意, **:5%有意, *:10%有意(上段:t検定, 下段:マン・ホイットニーのU検定)

使用回数については、世帯人数の影響があるため、世帯人数別に算出した。実測調査で得られている水量は、比較的、標準使用水量が多いものが多く、最新のドラム型などの洗濯機の実測データはない。そこで、メーカーウェブサイトやカタログを参考に算出した。結果を表-13に示す。なお、実測調査で得られた1回あたり使用水量のうち標準使用水量が125L以上のものを「従来型」とした。残り湯利用時の1回あたり水量は、洗濯機種類による違いがない¹¹⁾ものとし、水道水のみを使用した「従来型」と比較し係数化した。なお、洗濯回数について、実測調査では「高齢者有無」の影響が見られたが、アンケート調査(第Ⅱ期)では影響が見られなかった。ここでは、アンケート調査結果を採用し、「高齢者有無」によって洗濯回数に違いが無いものとした(表-14)。

表-13 1回あたり洗濯水量のカテゴリー別係数算出結果

使用目的	要因	カテゴリー	カテゴリー別係数
洗濯	洗濯方法	水道水のみ	従来型(125L程度)
		残り湯	利用する
		ドラム型(約80L)	0.82
		縦型全自動(100L程度)	0.80
			0.42

※係数が「1」のカテゴリーは基準としたもの
※洗濯1回あたりの係数

表-14 高齢者有無別洗濯回数(アンケート結果)

高齢者有無	世帯人数 単位[回/世帯・日]							
	2人		3人		4人		5人以上	
	I期	II期	I期	II期	I期	II期	I期	II期
いる	0.72	0.86	0.94	1.11	0.89	1.23	1.38	1.52
いない	0.81	0.89	1.11	1.10	1.32	1.29	1.45	1.42

(4) トイレ

a) モデル式と影響要因の選定

トイレ水量算定モデルも式(4)～(6)と同様のため、ここでは省略する。トイレ水量は、トイレの性能、使用回数に大きな影響を受ける¹¹⁾。本稿では、影響要因を機器要因として「標準使用水量(3種類)」と「温水洗浄便座」、使用回数の要因として「高齢者有無」の3つの要因を組み込んだ。なお、温水洗浄便座については、使用水量が1回あたり約0.5L程度とされており¹⁶⁾、係数化するよりも普及率と使用回数から算定した水量を加算した方が、モデルが簡易になるため1人1日あたり2回使用すると仮定し、普及率を乗じた後にモデル式で算定された水量に加算することとした。

b) カテゴリー別使用水量・回数係数の算出

1回あたり水量には世帯人数の影響がないものと考え、

各世帯人数で係数を統一した。使用回数については、「高齢者有無」の影響がある(表-15)。また、「洗濯」と同様に実測調査で得られている水量は、最新の6L型などのトイレの実測データはない。そこで、メーカーウェブサイト¹⁶⁾やカタログを参考に算出した。結果を表-16に示す。

表-16 「トイレ」の使用水量・回数係数算出結果

使用目的	要因	カテゴリー	カテゴリー別係数			
			2人	3人	4人	全体
トイレ	機器	標準使用水量	1			
		10L以上	0.70			
		8～10L程度	0.43			
	回数	高齢者	1.87	2.06	1.09	1.56
		いる	1	1	1	1
		いない				

※係数が「1」のカテゴリーは基準としたもの
※標準使用水量は1回あたりの係数

5. シナリオシミュレーション

(1) 基準値の設定と現在値の算出

シミュレーションに用いるための基準とする使用目的別使用水量を表-17に示す。前述したモデル式を用い、実測調査から得られた使用目的別水量と第Ⅱ期アンケート調査結果(構成率、普及率、行動率)を用いて現在値を算出した。表-17中の3人世帯については、想定される傾向と異なる数値となっている。この要因としては、サンプル数の影響や食事スタイルや在宅時間などの影響が考えられる。しかしながら、本稿では、これらの要因を組み込むことは困難であると判断し実測値をそのまま採用した。また、サンプル数の影響を受けてカテゴリー別使用水量係数、回数係数が世帯人数で大きく異なっているため算出には、「全体」の係数値を採用した。また、個人単位用途である「身体洗い水量」、「洗面」については、サンプル全体の1人1日あたり水量を採用した。第Ⅱ期アンケート調査結果より、「浴槽種類」、「洗濯機種類」、「トイレ種類」、「温水洗浄便座」の普及率は、世帯人数による差異が見られなかったのと同じ普及率とし、洗濯機とトイレは普及率が100%であると仮定した。「その他」については、主に「洗車」と「水やり」で構成されていると考え、1回あたり水量と第Ⅱ期アンケート結果から求めた。なお、サンプル数の信頼性を考慮し、アンケート調査で得られた使用水量(原単位水量)で補正を行なった。現在値の算出結果は、シナリオシミュレーション結果と合わせて表-19に示した。

表-15 高齢者有無別トイレ回数

影響要因		世帯人数 単位[回/人・日]											
		2人			3人			4人			5人以上		
		n	回数	検定	n	回数	検定	n	回数	検定	n	回数	検定
高齢者(65歳以上)	いる	34	7.5	***	5	9.4	***	19	3.3		28	3.8	
	いない	32	4.0	***	36	4.8	***	114	3.1		45	3.5	
											全体		
											88		
											227		
											5.5		
											3.5		

***:1%有意, **:5%有意, *:10%有意(上段:t検定, 下段:マン・ホイットニーのU検定)

(2) シナリオ設定

社会動向や水の使い方、機器性能や普及を考慮した使用目的別使用水量を予測するためには、シナリオを設定する必要がある。ここでは、3つのシナリオを設定した。

「シナリオ1」では、料金算定などに適用される5年程度の中期経営計画として2015年を目標年とし、高齢化が進み、各使用目的で食器洗浄機などの節水型の機器や製品が普及し、ドラム型洗濯機といった最新型機器への買い替えが進む。また、風呂水再利用などの節水行動が増加する。「シナリオ2」では、10年程度を見通した地域水道ビジョン¹⁷⁾を考慮して2020年を目標年とし、快適高齢化、節水意識・行動がさらに進むこととした。「シナリオ3」では、施設の大規模な更新をとまう30～40年先の長期計画を目標とする。高齢化率をシナリオ2と同様にし、機器の普及、節水行動がもっとも節水できるシナリオを想定した。

(3) シナリオ別フレーム値の設定

本シナリオで設定した影響要因別のフレーム値を使用目的別に表-18に示す。現在の普及率・行動率は第Ⅱ期のアンケート調査結果である。将来のフレーム値設定にあたっては、シナリオ設定で対象となった機器の普及率をここ数年のトレンドより推定した。なお、「高齢者の有無」については、1990、1995、2000、2005年の国勢調査結果のうち滋賀県の結果¹⁸⁾をもとに線形回帰線によって求めた。「食器洗浄」については、食器洗浄機の保有率や実際の利用状況が世帯人数によって異なるので、世帯人数別に行動率を設定した。食器洗浄機の使用が毎年1%程度増加すると想定した。「浴槽容量」については、詳しい統計資料が入手できなかったが、近年、販売されている浴槽が300L程度である¹⁶⁾ことから、「200L以上」が徐々に増加するものと想定した。「シャワーヘッド」についても詳しい統計資料が入手できなかったが、各シナリオで10%程度普及が進むものと仮定した。風呂水量

に大きな影響を及ぼす「湯張り回数」は、経年的に減少傾向であったので、どの世帯人数についても5%程度減少するものと想定し、1世帯1日あたり2人、3人、4人世帯でそれぞれ0.7、0.8、0.85回を下限値とした。洗濯機種類についても、詳細な統計資料が入手できなかった。「ドラム型」については、2009年1月のウェブ市場調査で普及率が約10%であったが¹⁹⁾、洗濯機販売台数(約470万台/年)のうち、約2割が「ドラム型」でありメーカー各社とも今後もシェアを拡大していくと想定している²⁰⁾。本稿では、シナリオ2で普及率が25%まで拡大するものとし、「従来型」から「最新型」へ90%程度買い替えが進むものと想定した。「風呂残り湯利用」については、すでにある程度行動率が高いため、シナリオ1、2では、80%程度を上限値とした。「トイレ種類」についても詳細な統計資料が入手できなかった。そこで、日本衛生設備機器工業会のウェブサイト²¹⁾を参考に1990年以前のトイレを「従来型」と定義し、毎年約1%ずつ最新のもの(6L型トイレ)に買い替えが進むと仮定した。温水洗浄便座の普及率については、アンケート調査結果と内閣府が実施している消費動向調査²²⁾とが大きく変わらなかったため、消費動向調査結果の経年変化をロジスティック回帰し設定した。節水意識については、すでにかかなり高い値を示しており、シナリオ1、2では、2人世帯で90%程度、3人、4人世帯で85%程度を上限値とした。

表-17 基準となる要因カテゴリーと基準値

使用目的	要因	カテゴリー	2人	3人	4人
キッチン	高齢者	いない	60.3(7)	28.7(15)	33.8(24)
		食器洗浄方法			
		流し洗い			
風呂	湯張り	浴槽容量	200L未満	177.3(54)	45.8(140)
		シャワー			
		従来型			
洗濯	機器	標準使用水量	125L以上	134.1(97)	13.8(169)
		標準使用水量			
		10L以上			
トイレ	回数	高齢者	4.0(32)	4.6(36)	3.1(114)
		いない			

単位:キッチン[L/人・日]、湯張り[L/回]、体洗い[L/人・日]、洗濯機器[L/回]
トイレ機器[L/回]、トイレ回数[回/人・日]

()は、調査日数[日]

表-18 シナリオ別フレーム値

要因	カテゴリー	現在			シナリオ1			シナリオ2			シナリオ3		
		2人	3人	4人	2人	3人	4人	2人	3人	4人	2人	3人	4人
高齢者	いる	43.8	23.0	12.2	53.7	35.7	24.8	57.3	38.8	26.7	57.3	38.8	26.7
	いない	56.2	77.0	87.8	46.3	64.3	75.2	42.7	61.2	73.3	42.7	61.2	73.3
食器洗浄	流し洗い	22.9	26.5	19.5	16.0	15.0	14.0	15.0	14.0	13.0		0	
	溜め洗い	67.0	54.7	56.3	64.0	60.0	56.0	60.0	56.0	52.0		0	
	食洗機	10.1	18.8	24.2	20.0	25.0	30.0	25.0	30.0	35.0		100	
浴槽容量	200L未満		28.6			25.0			20.0			20.0	
	200L以上		71.4			75.0			80.0			80.0	
シャワー ヘッド	従来型		89.2			80.0			70.0			0	
	節水型		10.8			20.0			30.0			100	
洗濯機	従来型		77.0			30.0			10.0			0	
	縦型最新式(100L程度)		18.9			55.0			65.0			0	
	ドラム型		4.1			15.0			25.0			100	
トイレ	従来型		43.4			35.0			30.0			0	
	8〜10L/回のトイレ		56.6			55.0			55.0			0	
	6L/回のトイレ		0.0			10.0			15.0			100	
温水 洗浄便座	あり		64.2			77.6			80.4			100	
	なし		35.8			22.4			19.6			0	
節水意識	あり	89.6	81.8	80.8	90.0	85.0	85.0	90.0	85.0	85.0		100	
	なし	10.4	18.2	19.2	10.0	15.0	15.0	10.0	15.0	15.0		0	
風呂残り湯利用率		60.5	69.3	72.3	65.0	74.0	77.0	70.0	79.0	80.0		100	
高齢者なし湯張り回数[回/世帯・日]		0.80	0.91	0.98	0.75	0.85	0.90	0.70	0.80	0.85	0.70	0.80	0.85

(4) シミュレーション結果

設定したシナリオのシミュレーション結果を使用目的別に表－19に示す。また、結果の算定に使用した使用目的別使用水量係数を表－20に示した。シナリオ1, 2のように高齢化や節水型社会が進行した場合、原単位水量が約5%程度減少することが示された。また、節水型機器や節水行動がもっとも普及した場合は、原単位水量が約20%程度減少することが示された。使用目的別にみると、「キッチン」、「トイレ」では、高齢化と節水機器の普及が相殺し使用水量に大きな変動はない。しかしながら、最新の節水機器がほぼ100%普及した場合は、両使用目的で現状よりも約30～40%程度減少している。「風呂」では、節水型シャワーによりやや減少する。ただし、湯張りの有無による影響が大きく湯張り回数の動向に留意が必要である。「洗濯」については、シナリオ2では、節水機器の普及、残り湯利用の影響で約10%の減少した。また、最新型の洗濯機の普及により、30%程度減少することが示された。

本稿でのシミュレーションは、家庭内水需要を支配する要因のうち「世帯属性」や「機器利用」に着目し行なったものである。機器の性能や普及などの動向は全国と違いがないと考える。したがって、自然条件や水道料金などが大きく異ならない地域では、本稿の結果が十分適用可能であると考ええる。

6. 結論

本研究では、水量実測調査、経年アンケート調査を基に文献値などを加えて使用目的別水量の算定モデルを作

成し、使用目的別の需要予測を行なった。得られた知見を以下に示す。

1) 実測調査の結果、使用目的別使用水量・回数の分布特性は、「洗濯水量」で他の使用目的と比較してばらつきが小さく機器性能に依拠しているものと考えられた。「トイレ回数」では、世帯人数別にみると2人世帯でばらつきが大きく、2人世帯では属性などが大きく影響を及ぼしているものと考えられた。

2) 使用目的別予測手法の精度を上げるため、実測調査結果にアンケート調査結果、文献値などを加え、高齢化の進展や節水型社会を組み込んだ使用目的別水量の算定モデルを提案し、シミュレーションに必要な係数を要因カテゴリ別使用水量から算出した。

3) シナリオシミュレーションの結果、高齢化や節水型社会が緩やかなトレンドで進行した場合で原単位水量が5%程度減少することが示された。使用目的別にみると、「キッチン」や「トイレ」では、高齢化と節水機器の普及が相まって使用水量に大きな変動はない。「風呂」では、節水型シャワーによりやや減少する。「洗濯」については、節水機器の普及、残り湯利用の影響で20%の減少が示された。また、もっとも節水となる機器普及や行動を想定した場合、原単位水量で約20%程度減少することが示された。

以上のことから、高齢化や節水意識の向上といった社会動向と水利用機器の普及を組み込んだ使用目的の水需要予測ができた。しかしながら、高齢化や節水意識など要因については、将来にわたる影響度の変化を将来予測に組み込むまで至らなかった。このことは、今後の課題である。

表－19 シナリオシミュレーション結果

単位[L/人・日]

使用目的	世帯人数	2人世帯				3人世帯				4人世帯			
		現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
キッチン		63.4	63.3	63.5	47.3	29.1	29.5	29.5	21.4	36.5	34.2	34.0	25.0
風呂	湯張り	76.4	70.7	66.2	66.2	65.6	60.8	57.5	57.5	53.0	48.4	46.0	46.0
	身体洗い	45.2	44.7	44.1	40.2	50.1	49.5	48.9	44.6	49.4	48.8	48.2	43.9
洗濯		41.8	38.5	36.6	28.6	39.8	37.1	35.5	28.8	39.7	37.2	35.8	29.0
トイレ※		57.2	56.8	55.7	32.8	65.5	66.0	64.6	38.0	40.8	42.7	41.7	24.0
洗面			9.3				10.3				10.2		
その他			31.9				22.0				14.0		
合計値		325.2	315.2	307.3	256.3	282.4	275.3	268.3	222.6	243.5	235.5	229.8	192.1

※トイレ水量には、温水洗浄便座の使用水量を含めている

表－20 使用目的別使用水量・回数係数算定結果

使用目的	世帯人数	2人世帯				3人世帯				4人世帯			
		現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	現在値	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
キッチン		1.050	1.050	1.053	0.783	0.976	0.989	0.991	0.720	0.989	0.925	0.922	0.678
風呂	湯張り	0.862	0.797	0.746	0.746	1.002	0.928	0.877	0.877	1.095	0.999	0.949	0.949
	身体洗い	0.987	0.976	0.964	0.878	0.987	0.976	0.964	0.878	0.987	0.976	0.964	0.878
洗濯		0.709	0.653	0.621	0.485	0.728	0.679	0.649	0.527	0.848	0.795	0.765	0.620
トイレ		1.031	1.010	0.989	0.573	0.935	0.932	0.911	0.528	0.885	0.911	0.887	0.499

※使用水量係数、回数係数はモデル式の構造上まとめることができる

謝辞：本研究を進めるにあたり、調査に協力いただいた調査対象家庭ならびに、1994年から2004年度の立命館大学環境計画研究室卒業生、大学院生に謝意を表する。

参考文献

- 1) 社団法人 日本水道協会：水道統計
- 2) 例えば、堀真佐司ほか：大阪府営水道における将来需要予測，第56回全国水道研究発表会講演集，pp.54-55，2005.
- 3) 村川三郎，坂上恭助，越川康夫，小原剛：水使用行為分析に基づく集合住宅の水使用量予測に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第409号，pp.23-33，1990.
- 4) 例えば，萩原良巳，小泉明，西澤常彦：アンケート調査をもとにした水使用影響関連分析，衛生工学研究討論会講演論文集，Vol.17，pp.1-6，1981.
- 5) 例えば，田坂英美ほか：一般家庭における目的別使用水量の実態，第56回全国水道研究発表会講演集，pp.66-67，2005.
- 6) 社団法人 日本水道協会：水道施設設計指針2000，pp.31-35，2000.
- 7) 社団法人 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧，第4巻 給排水衛生設備設計篇，pp.11，2001.
- 8) 浅野良昭，野本健太，市川憲良，浅野美代子：戸建て住宅における用途別使用水量の推定に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第527号，pp.53-59，2000.
- 9) 山田淳，吉村敬介，山川幹人：ライフスタイルの変化による住宅内での水利用構造と環境負荷への影響予測，第32回環境システム研究発表会講演集，pp.343-348，2004.
- 10) 中川直子，大淵雅寛，真田圭太郎，荒巻俊也：水利用機器を考慮した家庭用水使用量予測 - 東京都におけるケーススタディ，第21回水文・水資源学会総会・研究発表会，2008.
- 11) 清水聡行，吉村敬介，山川幹人，山田淳：生活用水需要予測のための需要構造調査とその要因分析，環境工学研究論文集，Vol.45，pp.571-578，2008.
- 12) 山田淳：環境情報における原単位の役割について，環境問題シンポジウム講演集，Vol.3，pp.13-18，1975.
- 13) Otaki Y., Otaki M., P.Pengchai, Ohta Y. and Aramaki T.: Micro-components survey of residential indoor water consumption in Chiang Mai, Drinking Water Engineering and Science., Vol.1, pp.17-25, 2008.
- 14) 独立行政法人 国民生活センター：卓上型食器洗い乾燥機（概要）－様々な洗浄機構のものを中心に－，2005.
http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20051006_1g.pdf
- 15) 例えば，（株）TOTO：オンラインカタログ，pp.52-53
http://www.toto.co.jp/products/faucet/s02_1.htm
- 16) 例えば，（株）TOTO：ウェブサイト
<http://www.toto.co.jp/products/toilet/t00031/ecology/>
- 17) 厚生労働省：地域水道ビジョン作成の手引き，2005.
<http://www-bm.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/topics/dl/chiiki03.pdf>
- 18) 総務省 統計局：国勢調査，1985～2005.
- 19) メディア・マーケティング・ネットワーク：パヒナランキング，自宅で使っている洗濯機・乾燥機（第2回）
https://www.mmmnet.co.jp/pagina_new/ranking/2009/20090227.html
- 20) 例えば，上田雄三郎：家電製品の最近の動向－洗濯乾燥機6－ナショナルヒートポンプななめドラム式洗濯乾燥機 NA－VR 2 2 0 0 シリーズ－，電機，日本電機工業会，pp.57-59，2008.
- 21) 日本衛生設備機器工業会：トイレナビ
<http://www.sanitary-net.com/index.html>
- 22) 内閣府経済社会総合研究所景気統計部：消費動向調査（2009年3月調査）.

(2009.5.22 受付)

Study on Water Demand Forecasting of Intended Uses Considering Social Trend and Spread of Water-Use Equipment

Toshiyuki SHIMIZU¹, Mikioto YAMAKAWA², Keisuke YOSHIMURA³
and Kiyoshi YAMADA⁴

¹Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²Sakai City Waterworks and Sewerage Bureau

³Gas and Power Investment Co., Ltd.

⁴Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

The results of forecasting domestic water demands in long terms are important for planning water supply facilities and operation and management systems. Recently, structure water demands are being complicated due to the variation of its effecting factors. Therefore, this study was purposed to clear up the factors effecting. Besides, changes of the factors were analyzed by the results of the surveys carried out at intervals. Additionally, the actual situation of intended water usage was analyzed by measurement survey. And model considering social trend and spread of water-use equipment to calculate the amount of water demand of each intended uses established. Using the model, the effect of change in lifestyle on the structure of residential water usage targeting a future time frame of 10 and 15 years from 2005 was estimated.