

家庭における水資源の有効活用に関する一考察

高田 宏

(2006年10月5日受理)

A study on the efficient use of water resources at home

Hiroshi Takata

In recent years, our life-styles based on the large-scale production and consumption exacerbated global warming and other environmental problems. The fluctuations of precipitation in each area of the world are becoming largely because of the impact of climate change. In the future, a large volume of water is needed for the maintenance of our quality of life in many modern cities. Therefore, it is very important to conserve water based on the efficient use of water resources by the reuses of water, the uses of rain water, and people's behavior of saving water, etc. On thinking about the saving water and efficient use of water resources at home, people need the accurate knowledge about the performance and function of recent sanitary system. Also, people need the accurate estimation of the water consumption in each use.

Therefore, in this paper, the recent sanitary fixtures and water usage are described in each use, kitchen, bathroom, washing and wash basin, and toilet. According to the calculation technique of water demands that has been developed by us, the water consumption of the conventional sanitary fixtures was compared with the water consumption of the saving water sanitary fixtures. It was clarified the possibility of water conservation when the sanitary fixtures of saving water type were applied for the toilet and washing machine.

Key words: Water Resource, Water Saving, Simulation

キーワード：水資源, 節水, シミュレーション

1. はじめに

20世紀後半の飛躍的な産業発展に伴い、われわれはエネルギー・資源を大量消費することで、生活の質を向上させた。しかし、その負の遺産を環境問題という形で突きつけられ、ようやく環境に対する関心の高まりがみられるようになった。21世紀にその問題を持ち越し、今日では多くの製品・商品が環境への影響を考慮して開発されるようになり、生産者も消費者も高い意識で地球環境について考えるようになった。しかしながら、地球温暖化による土地の砂漠化や水河の融解に伴う海水面の上昇など、地球規模での環境変化は進行し続けており、その対策や環境負荷低減に向けた更

なる努力が緊要とされている。

このような地球環境問題は、最近のわが国における気象変動の面からも感じられるところである。2006年の今夏には、各地で異常とも思われる降雨現象が多発した。7月15～24日には九州地方から北陸地方・長野にわたる各地で、7月の月間平均雨量の2倍を超える大雨が発生した。8月にも局所的な豪雨が発生し、8月11日には東広島市西条盆地においても、アメダスの東広島観測所の観測開始以来の最高値となる1時間に73mmの集中豪雨が発生している。一方で、8月に発生した呉市での送水トンネル事故による断水状況を見ると、わが国の水道施設の老朽化、社会基盤の脆弱さについて考えさせられた。災害時の水の確保は生命維

持を図るうえで重要であり、豪雨時の排水対策も含めて、強靱な上下水道施設が必要である。

このような状況の下で、地球環境問題について考えるなら、われわれの日々の生活に立ち返り、生活行為における省資源化を考える必要がある。使いすぎるものの喩えに『湯水のごとく…』というが、生活の中で消費される水や湯には、安全で衛生的な質を確保するために、莫大なエネルギーと資金が投入されており、水資源をいかに扱うかは重要な問題である。

本研究では、われわれの家庭内の日々の生活で使われる水資源について考えるため、生活行為と水使用について考察する。特に近年の水廻り設備における新技術の開発・進歩は目覚しく、設備機器の持つ機能を理解したうえで、水資源の有効活用を考える必要がある。本稿では、その一部の衛生器具を取り上げて考察するとともに、家庭における節水機器の導入効果について、筆者らが開発・研究している建築物における給水・給湯量の予測手法を応用して、検討する。

2. 水使用行為と衛生器具

人びとのライフスタイルの変化に伴い、利便性と快適性を追求した衛生器具の開発が目覚しい。ここでは、家庭における水使用行為と衛生器具について、台所、浴室、洗濯・洗面、トイレの用途別に述べてみる。

2.1. 台所

システムキッチンに代表されるように、台所廻りの使い勝手は常に追求され、飛躍的に進化し続けている。図1に一般世帯における主要耐久消費財等（家事用品・冷暖房器具等）の普及率を示す¹⁾。システムキッチンの普及率は年々上昇しており、2006年3月末現在で50.8%となっている。台所での水使用は主に調理・食器洗浄である。台所流しには、利便性の良いシングルレバー混合水栓が設置されるのが一般的となり、近年では食器洗い乾燥機の開発も進んでいる。また、給湯機器から台所が離れている場合、すぐに湯が出ないなどの、湯待ちとムダ水の問題が生じる。その対策として、湯待ち時間を解消し、ムダ水を削減するために、台所下のデッドスペースに小型タンクを設置し、即時に湯が使えるシステムも開発されている。

使い勝手の良いシングルレバー水栓であるが、中央式給湯方式などで常時湯が使える場合、湯を必要としない行為にもかかわらず、使用者が無意識のうちに湯を浪費する問題もある。湯待ち時の吐水にしても、レバーを給湯側に回して吐水したほうが、給湯配管内の冷えた水を早く出すことができ、湯待ち時間が短くな

る。当たり前のことであるが、使用者も器具特性を理解し、意識的に節水に心がけることが重要である。

ドイツの家庭などで一般的であった食器洗い乾燥機も、近年、国内の各メーカーで生産され、低価格化も進んでおり、日本の家庭でも普及率は上昇している。調査対象となったのが2005年からであったため、図1には示していないが、2006年3月末現在の食器洗い乾燥機の普及率は24.4%である¹⁾。食器洗い乾燥機の節水、省エネ効果については、近年、各研究者によって実験研究がなされており、新井ら²⁾の、食器数の違い（2, 4, 6人分）による洗浄機と手洗いでの使用湯量・消費熱量の比較実験によると、使用湯量は食洗機のほうが少ないが、消費熱量は、洗浄・乾燥作業に電力消費量を伴う食洗機では、6人分の食器を手洗いする場合に等しい結果が得られている。ただし、食洗機は洗浄モードが多数あり、使用方法によっては消費熱量の削減も可能と考える。

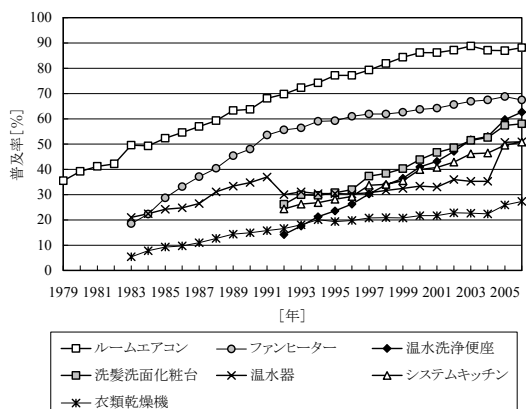


図1 主要耐久消費財等（家事用品・冷房器具等）の普及率（一般世帯）（2006年3月末現在）¹⁾

2.2. 浴室

日本人は風呂好き民族と言われるほど、浴室には快適性を求め、こだわりのある機能を持った機器が開発されている。水流を利用してマッサージ効果が得られる浴槽、半身浴用のベンチ付き浴槽、ミストサウナなど、さまざまな付加機能が製品化されている。入浴行為では、水や湯が直接体に触れることによって、快適感を得るため、ある程度の水・湯使用は快適性を確保するために必要である。したがって、いかに無駄な湯消費を少なくするかを考えることが重要である。最近では、自動止水機能の付いた水栓や手元に止水ボタンのあるシャワーヘッドなどの製品があり、使用者が必要時のみ湯が使えるようになっている。

また、浴槽に湯を張った場合、入浴行為によらず損

なわれる浴槽からの放熱を削減するための工夫が各メーカーによって施されている。浴室の天井，床，壁に保温材を使用し，浴室全体での保温効果を高め，さらに浴槽の断熱効果を高めるため，二重断熱構造，真空断熱材を採用した浴槽を開発している。これによって，浴槽の湯の温度低下が抑えられ，現在多様化しているライフスタイルにより，家族の入浴時間がばらついても，浴室・浴槽の湯温が保たれており，体を温めるための掛け湯量や浴槽への足し湯量の削減が期待できる。このような浴室設備の導入にはインシヤルコストが高くなるが，省エネルギーの観点でみるなら，使用湯量の削減は地球環境負荷の低減へつながることが明らかであり，有効な省エネルギー手法と考える。

2.3. 洗濯・洗面

家庭における水資源の有効活用を考えるなら，風呂の残り湯の洗濯への再利用は欠かせないものである。最近の洗濯機には風呂水用ポンプを内蔵しているタイプが多くなっている。また，全自動洗濯機および洗濯乾燥機が普及し，機器の節水化も進んでいる。ひと昔前の洗濯機では洗濯1回あたり120L程度の水を使用していたが，最近では使用水量70L前後のものが多くなっている。また，利便性の良いドラムタイプや，乾燥にヒートポンプを使用することによって使用水量を少なくするタイプなど，環境配慮や経済性を追求した機器が開発されている。

洗面は，1回あたり使用水量は少ないが，家庭の中で頻繁に使用される用途である。表1に集合住宅等で行われたアンケート調査の結果から得られた，用途別の水・湯使用頻度を示す^{3-6), 注1)}。4人世帯でみるなら，洗面は，トイレ，台所の次に使用頻度が高い用途である。近年，洗面にシングルレバー混合水栓を設置する例が多く，台所と同様に無意識のうちに湯を浪費する恐れがある。また，図1にみられるように，洗髪洗面化粧台の普及率も年々上昇している。

2.4. トイレ

温水洗浄便座，洗浄音発生装置など，わが国のトイレ廻りの機能は充実しており，世界の最先端をリードしている。図1に示すように，温水洗浄便座の普及率の上昇は著しい。しかし，トイレの節水技術は世界各国で研究されており，アメリカでは90年代から1回あたりの洗浄水量が6Lの便器の普及が推進されている。日本では1970年代に節水型便器が開発され，当時12~20Lであった洗浄水量を8~13Lに減少させている。その後さらに節水化が進み，近年ようやく1回あたり大6L，小4.5Lの超節水便器が日本のメーカーで

表1 用途別の水・湯使用頻度

世帯人数	夏期平日			冬期平日		
	洗面			洗面		
	文献A ³⁾	文献B ⁴⁾	文献C ⁵⁾	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	2.10	—	—	1.74
2人	2.20	(4.50)	—	1.88	(4.50)	—
3人	3.33	(6.45)	文献B ⁴⁾	2.71	(6.45)	文献B"
4人	5.35	8.75	8.84	6.50	8.75	8.84
5人	4.77	(9.00)	(17.00)	4.77	(9.00)	(17.00)
	入浴			入浴		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.07	—	—	0.11
2人	0.50	(1.00)	—	0.75	(1.00)	—
3人	0.67	(1.82)	文献B"	0.94	(1.50)	文献B"
4人	0.74	1.76	1.46	1.22	1.93	1.74
5人	1.08	(1.98)	(2.00)	0.38	(1.67)	(2.50)
	入浴・シャワー			入浴・シャワー		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.21	—	—	0.29
2人	0.60	(1.00)	—	0.38	(1.00)	—
3人	0.75	(1.82)	文献B"	0.71	(1.50)	文献B"
4人	0.65	1.76	1.46	0.61	1.93	1.74
5人	2.31	(1.98)	(2.00)	1.77	(1.67)	(2.50)
	シャワー			シャワー		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.74	—	—	0.56
2人	1.00	(1.00)	—	0.75	(0.00)	—
3人	1.75	(0.43)	文献B"	0.41	(0.21)	文献B"
4人	2.04	1.99	2.42	0.72	0.39	0.33
5人	2.15	(0.86)	(1.25)	0.15	(0.52)	(0.00)
	浴槽注水			浴槽注水		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.27	—	—	0.41
2人	0.80	—	—	0.63	—	—
3人	0.67	—	文献B"	0.65	—	文献B"
4人	0.61	—	—	0.78	—	—
5人	1.31	—	—	0.46	—	—
	洗濯			洗濯		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.37	—	—	0.33
2人	1.50	(1.50)	—	1.00	(1.50)	—
3人	1.83	(1.00)	文献B"	1.29	(1.00)	文献B"
4人	1.70	1.79	1.51	0.94	1.70	1.27
5人	2.15	(1.76)	(1.32)	1.38	(1.48)	(1.07)
	台所他			台所他		
	文献A	文献B'	文献C	文献A	文献B'	文献C
1人	—	—	0.60	—	—	0.60
2人	5.90	—	—	5.63	—	—
3人	7.92	—	文献B"	7.59	—	文献B"
4人	8.87	—	—	7.22	—	—
5人	9.31	—	—	8.92	—	—
	大便			大便		
	文献A	文献D ⁶⁾		文献A	文献D	
		男子	女子		男子	女子
1人	—	0.90	0.86	—	0.90	0.86
2人	1.60	1.80	1.72	0.63	1.80	1.72
3人	2.08	2.69	2.59	1.47	2.69	2.59
4人	2.78	3.59	3.45	2.56	3.59	3.45
5人	3.62	4.49	4.31	2.54	4.49	4.31
	小便			小便		
	文献A	文献D		文献A	文献D	
		男子	女子		男子	女子
1人	—	2.62	3.15	—	2.62	3.15
2人	5.20	5.23	6.29	5.75	5.23	6.29
3人	7.00	7.85	9.44	7.24	7.85	9.44
4人	9.17	10.47	12.58	8.06	10.47	12.58
5人	13.69	13.09	15.73	12.23	13.09	15.73

注 単位：[回/(戸・日)]
() 内の数値はサンプル数が5以下の集計値である。

家庭用として商品化された。各メーカーによって節水化の努力がなされているが、洗浄水の洗浄能力や搬送能力とのバランスを保ちつつ、器具開発を進めていくことが必要である。さらに、便器表面を特殊加工し、汚れにくくする技術も製品に採用されている。これにより、トイレ掃除の使用水量の削減が期待される。

家庭用便器ではないが、デンマークでは洗浄水を必要としない男性用小便器も開発されている。トラップに水や尿より比重の軽い特殊な液体を使い、便器表面は特殊な撥水加工により汚れにくくしている。日本でも小学校や公共施設への設置例がみられる。

トイレ利用は人間の生理的現象であるため、1日の利用回数を減らすことは難しい。表1に示すように、家庭におけるトイレ利用頻度は多く、1回あたり使用水量も多い。したがって、トイレ用途は器具性能の向上、節水化、雑用水の再利用などによって、水資源の有効活用や省エネが大きく期待される用途である。

3. 使用水量の予測

前述したように、家庭における水使用行為では、各用途で家族1人1人が目的に応じて器具を操作し、水や湯を吐水している。筆者らは、そのような使用者の水使用行為をモデル化し、各種建築物における使用水量、使用湯量を予測する手法を開発・研究している⁷⁾。これは、建築設備の機器容量や配管サイズの決定に用いる手法として、各種建築物の瞬時・時間・日などの時系列的な水量・湯量を予測することを目的としているが、この手法を応用することで、家庭における節水器具の導入効果や、風呂の残り湯の再利用による節水効果などを検討することができる。ここでは、予測手法について述べ、次章で節水器具を導入した場合の節水効果について検討する。

3.1. 算定の手順

給水・給湯負荷を各用途における水・湯の使用行為によって発生する水量・湯量と定義し、用途ごとの時系列負荷の算定法について、集合住宅を例として示す。

時系列負荷算定の手順を図2に示す。対象建物の用途、規模、人数などの建物特性の入力を行い、対象建物用途の負荷算定モデルで設定した器具開放率^(注2)をもとに、建物内各用途で水・湯使用がランダムに発生

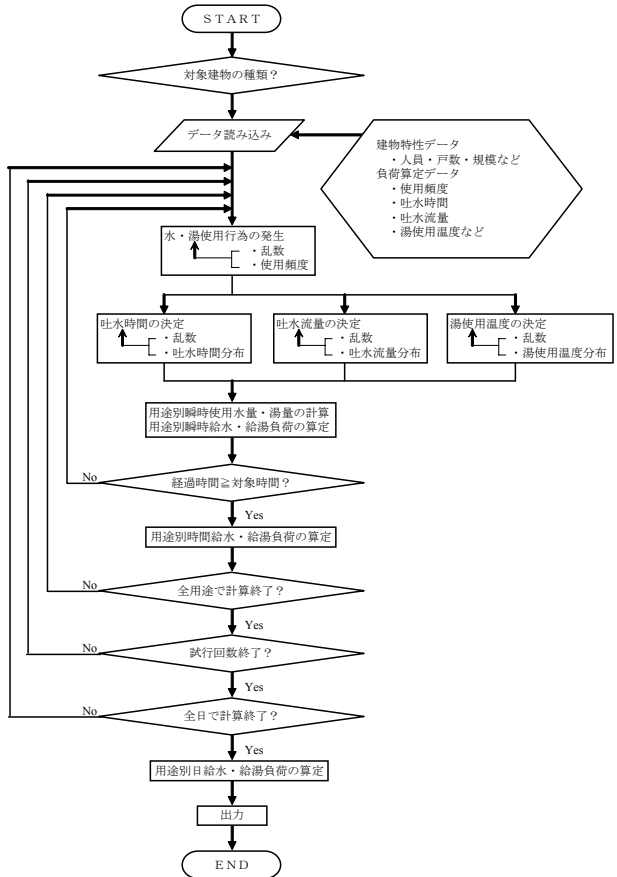


図2 時系列負荷算定の手順⁷⁾

表2 用途別給水・給湯負荷算定モデル（4人世帯，夏期平日）

項目	入浴	入浴・シャワー	シャワー	浴槽注水	洗面		台所他		洗濯	便所	
					湯使用	水使用	湯使用	水使用		大便	小便
1日あたり使用頻度 [回/戸・日]	0.74	0.65	2.04	0.61	5.35	5.35	8.87	8.87	1.70	2.78	9.17
1回あたり吐水時間 [sec]	180 Exp.	420 Exp.	480 Exp.	600 Erl.15	30 Exp.	40 Hyp.5	40 Hyp.5	100 Hyp.5	480 Exp.	60 Exp.	50 Exp.
吐水流量 [L/min]	9.0 Erl.7	9.0 Erl.7	8.5 Erl.7	14.0 Erl.20	8.5 Erl.10	12.0 Erl.4	8.0 Erl.4	12.0 Erl.3	15.0 Erl.5	10.0 Erl.6	10.0 Erl.6
湯使用温度 [°C]	41.0 Erl.20	41.0 Erl.20	41.0 Erl.20	43.0 Erl.20	37.0 Erl.20	—	38.0 Erl.20	—	—	—	—
器具使用率	1.00	1.00	1.00	1.00	0.40	0.60	0.40	0.60	1.00	1.00	1.00

注 分布形について、Exp.: 指数分布, Erl.: アーラン分布, Hyp.: 超指数分布, 数値: フェーズ

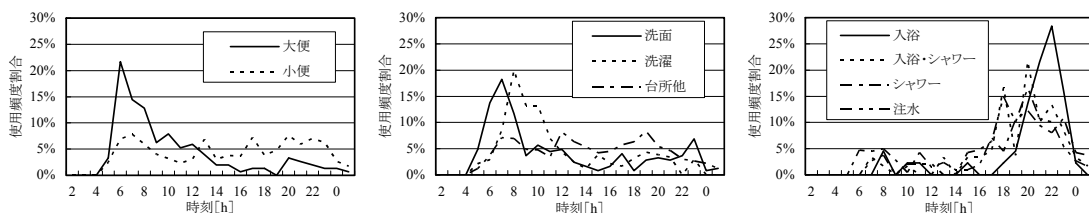


図3 用途別水使用頻度の時間変化（8月平日）

するものとして、モンテカルロ法を適用したシミュレーションを行う。時刻別の試行を1日に渡り行い、各用途における瞬時・時間・日負荷を算定する。なお、ここで示す算定法としては、水と湯の時系列負荷を同時に計算することを考えている。

表2に用途別給水・給湯負荷算定モデルとして設定した例（4人世帯、夏期平日を想定）を示す。時刻別の水・湯使用頻度割合は図3に示すようなパターンを設定している。各用途における水使用と湯使用の発生は、それぞれの使用割合の合計値が1となるようにした器具使用率^{注3)}のもとに、乱数を用いて実行している。また、同表に示したモデルでは、浴室における水使用と洗濯における湯使用は考慮しておらず、掃除や散水などによる水・湯使用は「台所他」に含んでいる。

現在のコンピュータ技術の発展は目覚ましいものであり、これらのシミュレーションはソフト化して各自が所有するパーソナルコンピュータによって容易に使用できるものを考えている。図4に算定ソフトのイメージ画面を示す。本算定法は設備設計用として、瞬時・時間・日負荷の計算が可能であるが、家庭用として使用する場合には、時間・日負荷の計算によって「どれくらいの量」を「どのような時間帯」に水や湯を使っているかを把握することが重要であり、瞬時負荷の算定までは、特に必要としないものとする。

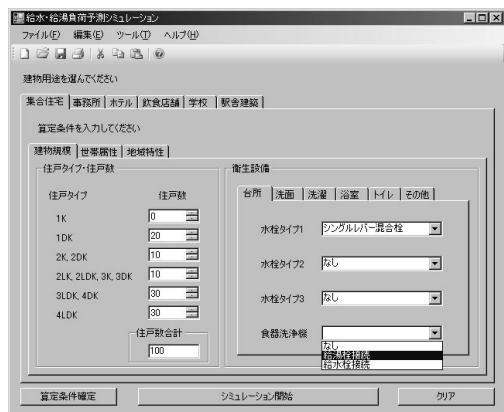


図4 算定ソフトのイメージ画面

3.2. 算定モデル

算定モデル（表2）は、家庭における水・湯使用行為をアンケート調査や実測の結果をもとにモデル化したものであり、使用頻度や使用温度などの各条件は、器具特性や使用者の属性によって適宜数値を変えて使用することが可能である。表で示した条件では、洗濯機やトイレ便器は従来型の機器を想定しており、洗濯機の1回あたり使用水量は120L、便器の1回あたり使用水量は大10L、小8Lとなっている。2章で述べたように、最近の衛生器具、家庭機器の効率化は進んでおり、各種製品が節水化されている。次章では、最近の節水型器具を導入した場合の節水効果を検討するため、洗濯機は最近の一般的な機器仕様（1回あたり使用水量：70L）に、トイレ便器は超節水型便器（1回あたり使用水量：大6L、小4.5L）に変更して、算定を行っている。なお、算定モデルの数値の変更は、吐水流量はそのままとし、吐水時間を短くしている。

4. 節水効果の検討

小規模の集合住宅（住戸数10戸、いずれも4人世帯）を想定して、夏期平日における給水・給湯量の算定シミュレーションを行った。午前5時台から翌日の午前1時台までの1時間ごとに100回の試行を行った。夏期の給水温度を25℃、給湯温度を60℃とし、計算過程で発生した使用水量・湯量を温度比から給水・給湯量に換算して算出している。なお、算定結果は1秒単位で出力されるが、本論文では1時間合計値、1日合計値に集計している。

図5に、表2に示した算定条件を用いた場合（以下、「従来型」という。）の結果と、洗濯機とトイレ便器に節水型機器を導入した場合（以下、「節水型」という。）の結果として、用途別の給水・給湯量の時間変動を示す。なお、各時間帯の値は、1住戸あたりの給水・給湯量としている。従来型に比べ、節水型のピーク時間帯の給水量が大きく減少していることがわかる。

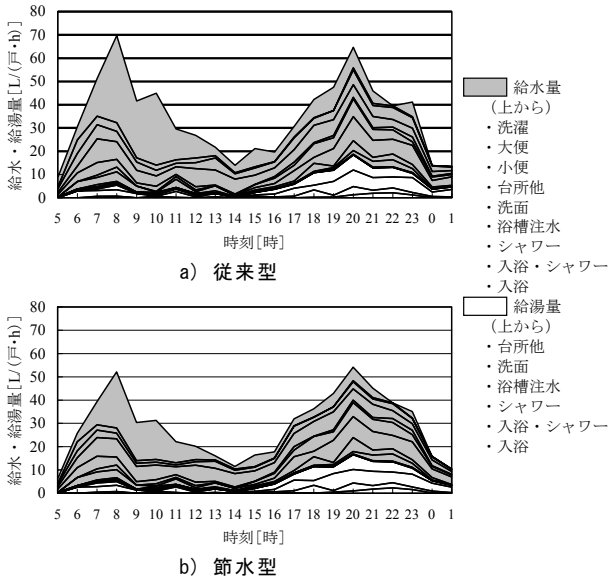


図5 従来型と節水型の時間給水・給湯負荷の算定結果

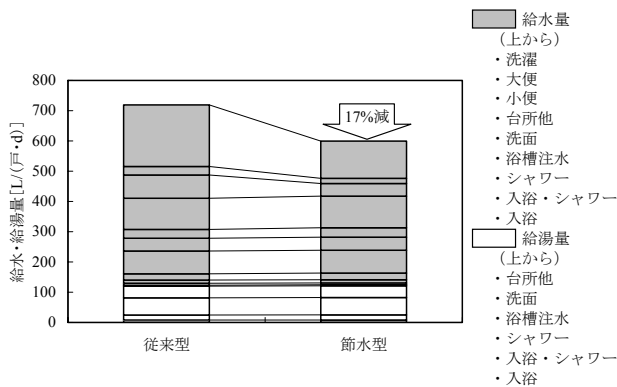


図6 従来型と節水型の日給水・給湯負荷の算定結果

図6に、従来型と節水型における1住戸1日あたり合計給水・給湯量を示す。従来型に比べ節水型では約120Lの給水量が減少しており、節水効果は約17%である。

以上のように、本算定法を用いて、節水器具の導入による節水効果や時系列的な給水・給湯量の変動を把握することが可能である。このことは、建築設備設計者の設計データとなるだけでなく、使用者や建物管理者も建物の新築時、リニューアル時の設備選択、維持管理などに役立つものと考えている。

5. おわりに

本研究では、家庭における水資源の有効活用について考え、水使用行為と最近の衛生器具について考察した。さらに、筆者らが開発を進めている負荷算定法を応用して、節水型機器の導入効果について検討した。

今回算定を行った条件では、風呂の残り湯の使用や雨水の利用などは考えなかったが、更なる水資源の有効活用を考えるなら、算定条件に盛り込めるよう、算定モデルの改良が必要と考えている。

また、本報では大きく取り扱わなかったが、近年、食器洗い乾燥機や温水床暖房など、家庭における給湯需要は大きくなっている。また、環境負荷低減に向けて高効率の給湯機器も開発されており、自動風呂給湯機能を有するなど、機器の多機能化も進んでいる。貯湯槽をもつ中央式給湯システムの場合、ライフスタイルの違いにより機器性能が変化することが考えられ、その実態や性能評価については、現在、各研究者によって進められている。環境負荷低減に向けて、家庭内のエネルギー消費の1/3を占める給湯エネルギーの削減が強く望まれており、設備や機器などのハード面と使い方などのソフト面からの努力が必要と考える。そのためには、各メーカーの衛生器具、給湯機器などの更なる開発に加えて、使用者側も機器特性を理解し、効率的な使い方について考える必要がある。本報で示した負荷算定法がひとつのツールとしてその一助となればと考えている。

【注】

1) 既往文献³⁾では、8、11月の平日と休日にアンケート調査を実施しており、表中には8月平日の値を夏期平日、11月平日の値を冬期平日として示している。既往文献⁵⁾の单身・独身寮の数値は单身者と独身者の平均値として示し、「浴槽注水」は「入浴」「入浴・シャワー」の合計値としている。既往文献⁴⁾の社宅におけるアンケート調査では入浴行為について「バス浴」か「シャワー浴」の2項目で設問していたため、「バス浴」の利用頻度を2で除して、「入浴」「入浴・シャワー」の利用頻度としている。また、既往文献⁶⁾では、7月に実施したアンケート調査をもとに男性・女性1人あたりの大小便の利用回数が示されており、世帯人数を乗じて示している。さらに季

節による利用回数の変化も考えられるが、表中では参考値として冬期にも同じ値を示している。

- 2) 衛生器具の使用において、器具の開閉操作により吐水される1分間あたりの頻度を器具開放率と定義する。
- 3) 設定した1日あたり使用頻度に対して、水あるいは湯使用が行われる割合を器具使用率と定義する。本報では、水あるいは湯のみを使う用途については、原則として1.00を設定している。また、「洗面」、「台所他」のように、水と湯が混在して使われる場合には、それぞれ推定される使用割合として、合計値が1.00となるように決めている。ここでは、両用途について、水と湯の割合をそれぞれ0.60と0.40とした器具使用率を用いている。なお、これについては、シングルレバー水栓、湯水混合水栓といった給水栓等の種類によって、設定が異なることも考えられる。さらに、棟の戸数規模などを考慮に入れる場合に、使用頻度の逡減率として適用することも考えられる。この器具使用率については、算定条件のパラメータとして、さらなるデータ蓄積のもとに、それぞれの値を用意する必要があると考えている。

【参考文献】

- 1) 内閣府経済社会総合研究所景気統計部：家計消費の動向（平成18年版），独立行政法人国立印刷局（2006）

- 2) 新井麻理亜，近藤武士，岩本静男，鎌田元康：節水・節湯器具の評価に関する研究（その8）洗淨食器数の違いによる食器洗い乾燥機と手洗い実験の比較，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），D-1，pp.405-406，（2006）
- 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使用水量予測に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，第409号，pp.23-33，（1990）
- 4) 高田 宏，村川三郎：給水温度が異なる地域の集合住宅における水と湯の使用割合の解析，日本建築学会環境系論文集，No.572，pp.63-68，（2003）
- 5) 村川三郎，西名大作，越川康夫，高田 宏，森脇雄二，西胤暢夫，橋本俊二：単身・独身寮における住戸別給湯負荷の実態とその解析－月および日あたり使用湯量・消費熱量について－，空気調和・衛生工学会論文集，No.77，pp.31-41，（2000）
- 6) 越川康夫，村川三郎，坂上恭助，飯尾昭彦，市川憲良：成人を対象としたトイレ利用行動とその意識に関する分析，空気調和・衛生工学会論文集，No.65，pp.41-52，（1997）
- 7) 高田 宏，村川三郎：モンテカルロシミュレーションによる集合住宅の給水・給湯負荷算定法に関する検討，日本建築学会環境系論文集，No.578，pp.39-45，（2004）

