

入浴用水量の発生構造と将来予測

細井 由彦¹⁾・城戸 由能¹⁾・竹本 志保²⁾

¹⁾社会開発システム工学科・²⁾(株)菊地測量設計事務所

(1996年8月29日受理)

Structural Analysis of Bath Water Usage and Demand Forecast

by

Yoshihiko HOSOI¹⁾, Yosinobu KIDO¹⁾, and Shiho TAKEMOTO²⁾

¹⁾Department of Social Systems Engineering

²⁾Kikuchi Surveying and Design Office Co. Ltd.

(Received August 29, 1996)

The volume of water used for bathing, together with washing, occupies a considerable ratio of domestic water use. Especially since shower baths have spread over last 20 years. This has contributed to the increasing use of domestic water.

In this paper water used for baths is examined and the volume of bath water is evaluated. It was shown that current high rate of bath water usage per person will continue until about the year 2000 due to popularity of shower baths and after that there will be little increase mainly due to a decrease in family members.

Key words : domestic water demand, bath water use, demand forecast

1. まえがき

入浴による水使用量は、洗濯とならんで家庭内における水使用の大きな部分を占めていると考えられる。とくにシャワーの普及等に伴い、入浴に関する行動についても多様化が見られ、原単位が変化してきていることも予想される。信頼度の高い水供給システムの確立のためには、水使用形態の実態把握と将来予測が不可欠である。また節水対策を検討していく上においても、水使用の構造を把握しておくことが重要である。

本研究では、シャワーを含めた入浴に関するアンケート調査結果と浴槽の出荷実績をもとに、入浴による水使用量について検討した。

2. 入浴方法に関するアンケート調査

実施したアンケート調査の中で本研究に関連する質問項目の概略を表-1に示す。1都、2府17県から得られた270サンプルについて分析を行った。

表-1 アンケートの概略

シャワーの有無
シャワーがいつからあるか
週に何回浴槽に湯をためるか(夏, 夏以外)
浴槽に湯をためる日について
同居人の中で何人ぐらいシャワーを使うか
シャワーの使用時間
同居人の中で何人ぐらい足し水をするか
浴槽に湯をためない日について
シャワーを使用する日は週に何日(夏, 夏以外)
シャワーを使用する日は同居人の中で何人が使用するか
シャワーの使用時間
家族構成と年齢構成
居住地

2. 1 シャワー所有率

回答者の現在のシャワー所有率は92.8%であった。所有した時期から計算した所有率の変化を示したものが、図-1である。図中には他の調査による調査時点での所有率も示したが、今回の調査結果の傾向と同じ線上にある事から、この結果はシャワー所有率の経年変化をよく表しているものと考えられる。

図より1970年頃から1年に約3.2%の割合で

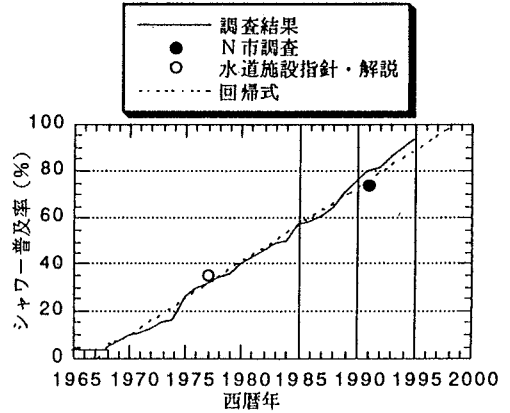


図-1 シャワー普及率

シャワーの普及が進んでいる。すなわち1970年以前にはシャワーのある家庭はごくわずかであったが、30年の間にほとんどの家庭に普及し、2000年までにほぼ全世帯に普及すると予想される。以後の利用のためにj年度におけるシャワーの普及率 s_j (%)を図中の破線である次式で表すことにする。

$$s_j = 3.184j - 6262.5 \quad (1)$$

ただしjは西暦年で、上式は1967年から1998年までの間に適用されるものとする。

2. 2 シャワーと浴槽の使用形態

1週間の入浴行動の形態をまとめたものが図-2である。1人世帯では浴槽を使用せずシャワーのみを使用することが多く、3人以上の世帯になると、シャワーのみよりも浴槽を使用する回数の方が多くなっている。またシャワーのみの回数は夏の方が夏以外よりも多くなる傾向にある。香川、福岡のように頻繁に湯水が発生している地域とその他の地域についての比較も行って見たが、顕著な差異は認められなかった。

ただし回答のあった単身世帯の90%は20歳以上40歳未満の集団に属しており、60歳以上の集団に属するものは3.5%であった。したがって単身世帯だけでなく、年齢によるライフスタイルの違いが反映されている可能性もある。

浴槽を使用しない日にシャワーを使用する人の延べ人数より、浴槽を使用しない日のシャワーの利用率を求めたものが図-3である。世帯人数による顕著な差は見られない。一方浴槽を使用してなおかつシャワー

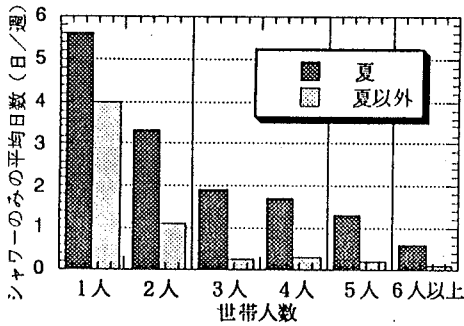


図-2 (a) シャワーのみの日数

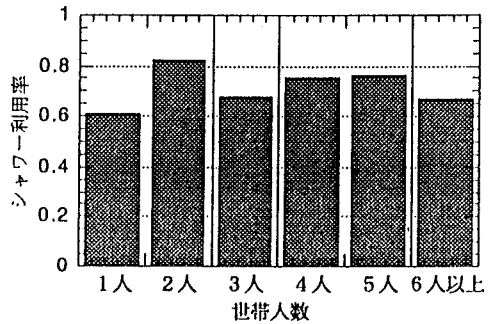


図-4 浴槽使用日のシャワー利用率

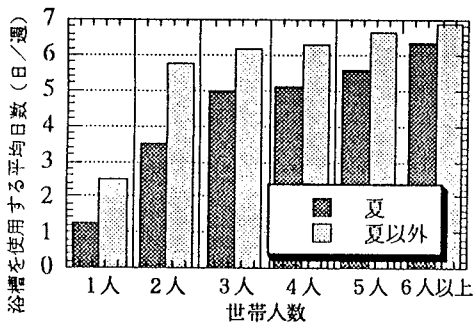


図-2 (b) 浴槽を使用する日数

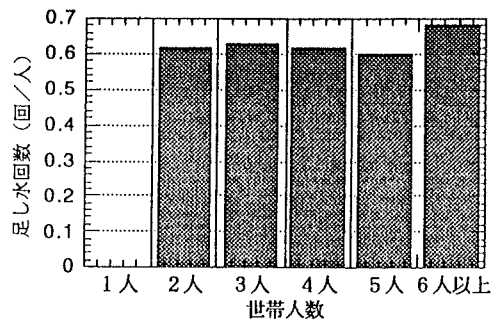


図-5 足し水の数

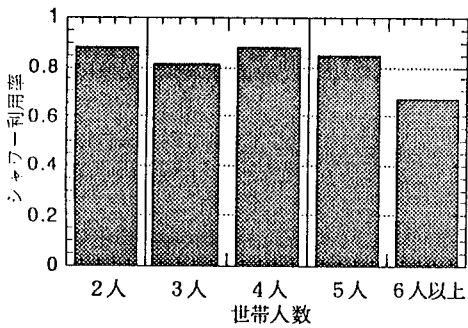


図-3 シャワーのみの日のシャワー利用率

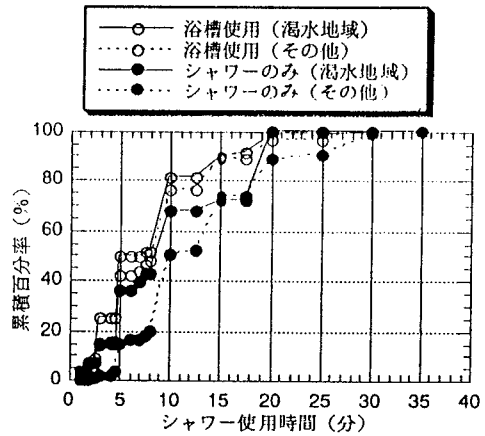


図-6 シャワー使用時間の分布

を使用する人の延べ人数より、浴槽を使用した場合のシャワーの利用度を求めたものが図-4である。全体では72%の利用率となっており、シャワーは浴槽の使用の有無に関わらずよく利用されていることが分かる。いずれの場合にも、世帯人数による差異は顕著ではなく、シャワーの利用の仕方は個人に依存するものであることが分かる。

自分が浴槽を使用したときに、すでにためられている湯にさらに足し水(湯)を行う人の延べ人数の割合

は図-5のようになり、63%の人が足し水(湯)を行っている。この場合も世帯人数による差は見られない。

2.3 シャワーの使用時間

シャワー使用時間を、湯水が頻繁に発生する地域(ここでは香川県と福岡県とした)とその他の地域に

分けて、累積分布で示したものが図-6である。シャワーのみを使用する場合には湯水頻発地域で使用時間が短くなる傾向が見られる（平均値、湯水頻発地域10.7分、その他の地域13.9分）が、浴槽を使用する場合（平均値、湯水頻発地域8.5分、その他の地域9.5分）には差は小さくなる。

浴槽を使用しないときにシャワー使用時間が長くなるのは、体を温めるための湯が必要になるためと考えられる。したがって季節や地域さらに浴室内の暖房設備の有無が影響を及ぼすと予想される。

3. 浴槽の普及状況²⁾

3.1 浴槽の普及数量

浴槽について、800型、900型、1000型、1100型、1200型と1300型以上の6機種に分けた出荷台数の変化を図-7に示す。

年度 k における浴槽の全機種合計存在量 x_j は、浴槽普及率の調査結果¹⁾に世帯数をかける事により求めた。筆者らは電気洗濯機について、年度ごとの出荷数と所有率などの関係から、各年度に使用されている洗濯機の年齢別構成割合を求めた²⁾。本研究においても同様な分析を試みたが、浴槽の寿命が長いのに対して、過去にさかのぼって得られるデータが限られていたため、全ての使用されている浴槽の年齢までを推定することは不可能であった。そこで機種別出荷データの得られた昭和55年（1980年）以降に販売された浴槽の残存率は1であるとし年度 j に使用されている浴槽数を次式で表した。

$$x_j = \left(\sum_{k=k_0}^j \sum_{i=1}^6 n_{k,i} \right) + R_j \quad (2)$$

ここで k_0 は昭和55年を表し、 R_j は年度 k_0 より前に購入された全ての機種種の浴槽のうち年度 j に残存している数量を示す。

国勢調査による世帯総数に浴槽普及率をかけることにより、各年度の浴槽の総数を求め、式(2)の左辺に代入し、昭和55年以降の各年度の各型式の出荷数 $n_{k,i}$ を右辺に代入することにより R_j を求めた。

3.2 浴槽による水使用量

浴槽には水を容量の6割まで注水すると考えて、そ

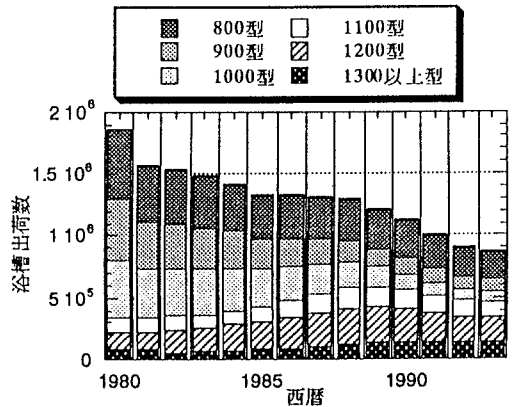


図-7 浴槽出荷数の変化

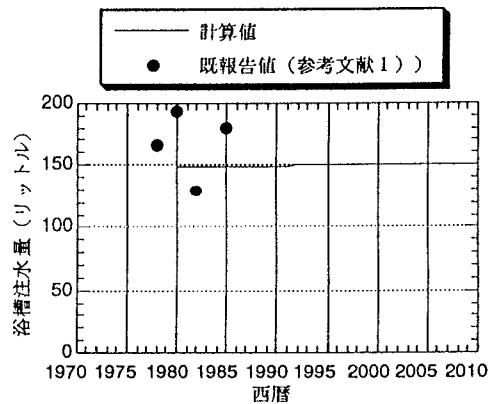


図-8 浴槽注水量の変化

れぞれの機種種の注水量 w_j ($i = 1 \sim 6$) を求めた。同じ型の場合販売年度による容量の違いはないものとし、添え字 k は除いている。以上の結果より年度 j における浴槽に注水のための水量 w_j を次式で求めた。

$$w_j = \left(\sum_{k=k_0}^j \sum_{i=1}^6 n_{k,i} w_i \right) + R_j w_R \quad (3)$$

$$w_R = \frac{\sum_{i=1}^6 w_{k_0,i} n_{k_0,i}}{\sum_{i=1}^6 n_{k_0,i}} \quad (4)$$

ここで w_R は昭和55年 ($k = k_0$) より前の浴槽の平均注水量で、昭和55年のものに等しいと仮定して与えた。

浴槽への1回当たりの平均注水量 w_j はつぎのように表される。

$$w_j' = w_j / x_j \quad (5)$$

3. 3 浴槽注水量の算定結果

式(2)～(5)を用いて浴槽への1回あたりの注水基礎水量を求めたところ、昭和55年以前は147.3リットルで、その後毎年に徐々に増加し、平成5年には148.6リットルという値を得た。図-7に示されるように、これは従来の調査結果ともそれほど矛盾しない妥当な計算結果であると考えられる。

4. 入浴による使用水量の構造と節水対策

4. 1 浴槽の動向と注水量²⁾

年度 k における浴槽の総出荷数は次式で表される。

$$\sum_i n_{k,i} = \sum_i (a_{k,i}g_k + b_{k,i}q_k + c_{k,i}f_k) \quad (6)$$

ここで g_k , q_k , f_k は、それぞれ、年度 k に新たに独立した世帯数、すでに浴槽を保有していて年度 k に買い換える世帯数、年度 k になるまで浴槽を保有していない世帯数である。 $a_{k,i}$, $b_{k,i}$, $c_{k,i}$ は、それぞれ、 g_k , q_k , f_k の世帯が、年度 k において型式 i の浴槽を購入する割合である。

新築された住宅の浴槽所有率は昭和54年(1979年)に97%をこえ、平成4年(1992年)には99.4%に達している。したがって将来予測を行うに当たっては式(6)中の $\sum_i a_{k,i} = 1$ と考えてもよい。

3. 1において仮定したように将来予測を行う範囲においては昭和55年(1980年)以降に購入されたものは全て残存し、買い換えられるのは昭和54年以前に購入されたものであるとすると、式(6)の右辺第2項はつぎのように表される。

$$\sum_i b_{k,i}q_k = R_{k-1} - R_k \quad (7)$$

昭和54年以前の浴槽を所有している世帯 R のうち、1年間に買い換える世帯の割合を α とすると、 R はつぎようになる。

$$\frac{dR}{dt} = -\alpha R$$

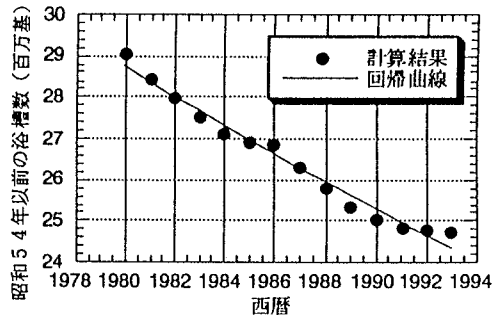


図-9 昭和54年以前の浴槽の残存数の変化

これをといて次式を得る。

$$R = R_0 \exp(-\alpha t) \quad (8)$$

3. 1において求めた R_j を示したものが図-9である。これより将来予測のために式(8)による図中に示すような回帰曲線を求めるとつぎようになる。

$$R_j = 2.919 \times 10^{18} \exp(-0.0128j) \quad (9)$$

式(9)を式(7)に代入することにより、式(6)の右辺第2項が求められる。

一方、式(6)の右辺第3項はつぎのように表される。

$$\sum_i c_{k,i}f_k = f_k - f_{k+1} \quad (10)$$

既存の未保有世帯 f の1年当たりの新規購入割合を β とすると、 $\sum_i a_{k,i} = 1$ としているから、次式を得る。

$$\frac{df}{dt} = -\beta f$$

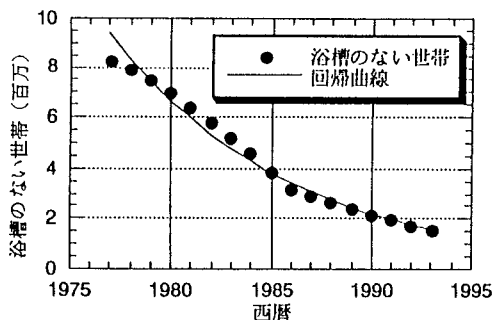
これを解いて次式を得る。

$$f = f_0 \exp(-\beta t) \quad (11)$$

浴槽普及率のデータをもとに、浴槽のない世帯数の変化を求めたものが図-10である。式(11)より図中のような回帰曲線を引き次式を得た。

$$f_j = 4.445 \times 10^{103} \exp(-0.1126j) \quad (12)$$

式(12)を式(10)に代入して式(6)の右辺第3項が求められる。



図一 1 0 浴槽のない世帯数の変化

以上の結果より将来における年度 j の浴槽購入数はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 n_j &= \sum_i n_{j,i} \\
 &= g_j + 3.760 \times 10^{16} \exp(-0.0128j) \\
 &\quad + 4.734 \times 10^{102} \exp(-0.1126j) \quad (13)
 \end{aligned}$$

上式で求められる将来の購入数と、購入される浴槽の平均容量は平成5年(1993年)と同じであるとして、3.2に述べた方法で浴槽の注水量を求めた。

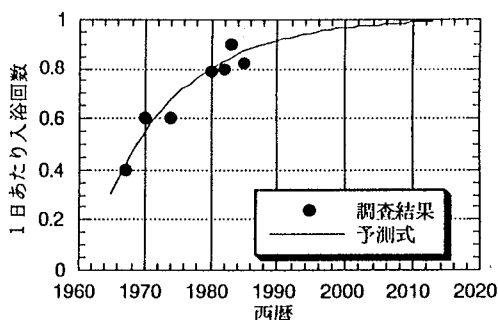
4.2 シャワーの利用による水量

浴槽に湯をためた場合のシャワーの使用割合は図-4より、世帯人数による区別は行わずに一律に0.72とした。またその場合のシャワーの使用時間は、渇水地域もそれ以外の地域も含めて全ての平均値である9.2分とし、シャワー1分あたりの使用水量は12リットルとした。浴槽に湯をためた場合の足し水をずる割合はすべての延べ人数より求めて0.63とし、その水量は洗い場で使われる水量の原単位としてよく用いられる1人あたり40リットルとした。シャワーのみ使用する場合の使用時間も全ての平均値を取って13.0分とした。

4.3 入浴回数とシャワーの利用

1日当たりの入浴回数に関する調査結果¹⁾を示したものが図-11である。入浴回数も徐々に増加する傾向にある。これを次式で表されるような図中の曲線で回帰した。

$$z_j = 1.0 - 3.053 \times 10^{69} \exp(-0.0816j) \quad (14)$$



図一 1 1 入浴回数に関する調査報告と回帰曲線

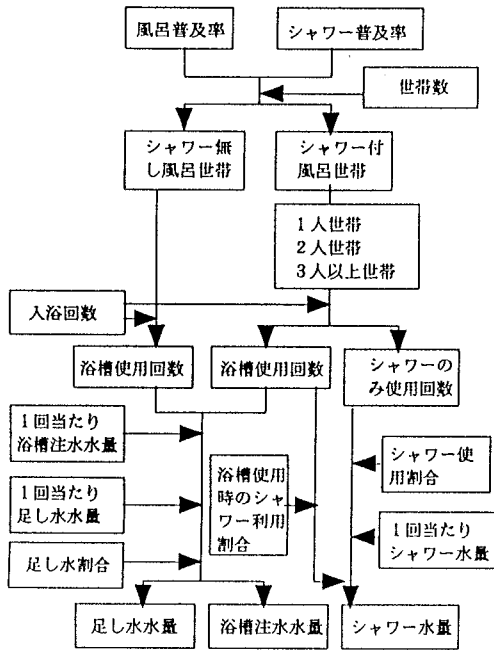
図-2に示される結果より、夏とそれ以外の値を1:3の比率で考慮して、1日あたり浴槽に湯をためる割合と、シャワーのみの割合を求めると、それぞれ単身世帯で0.31と0.63、2人世帯で0.74と0.24、3人以上世帯で0.89と0.07となった。シャワー所有世帯に対してはこの比率を入浴回数に適用した。

4.4 入浴による水量の計算結果

これまでの結果を利用して図-12に示す方法で、一人当たりの入浴による使用水量の変化を計算した。計算式を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 w' &= \frac{(b-s)z}{p} \sum_i h_i (w_b + ir_{ib} w_{ib}) \\
 &+ \frac{szw_{ss}}{p} \sum_i ih_i r_{is} r_{ss} + \frac{sz}{p} \sum_i h_i r_{ib} (w_b + ir_{ib} w_{ib} + ir_{ib} w_{ib}) \quad (15) \\
 &= \frac{z}{p} [w_b(b-s) + s \sum_i h_i r_{ib}] + s \sum_i ih_i (w_{ss} r_{is} r_{ss} + w_{ib} r_{ib} r_{ib}) \\
 &\quad + w_{ib} \sum_i [(b-s)ih_i r_{ib} + sh_i r_{ib} r_{ib}] \quad (16)
 \end{aligned}$$

ここで b は浴槽普及率、 s はシャワー普及率、 h_i は世帯人数が i 人の世帯数の全世帯数に対する割合、ただし $i=3$ は3人以上の全世帯とする。 p は平均世帯人数である。これらは年によって変化するが、これまで定義したものも含めて、年度を示す添字 j は省略している。 r_{ib} 、 r_{is} はそれぞれ i 人の世帯が入浴時に浴槽に湯をためる割合と、シャワーのみを使用する割合を示しており、その値は4.3で示したものである。 r_{bs} 、 w_{bs} はそれぞれ浴槽に湯をためて使用する場合のシャワー利用率とそのときのシャワーに使う水量である。 w_{ss} はシャワーのみを使用するときの水量であ

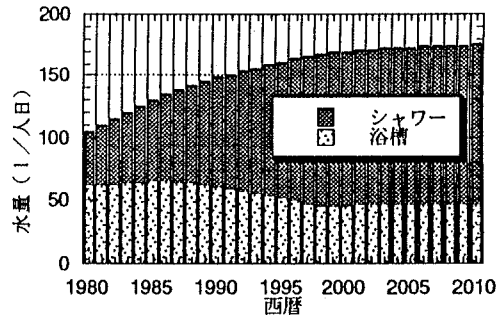


図一12 入浴水量の計算方法

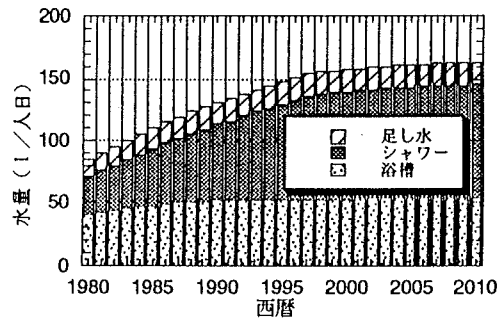
る。 r_{ss} はシャワーのみを利用する日に、世帯人がシャワーを利用する割合で、単身世帯の場合は1とした。 r_{ba} は浴槽を使用したときの足し水をする割合で、単身世帯では0とした。 w_{ba} は1回あたりの足し水水量である。これらの値については4.2で述べたものを使用した。 w_b は浴槽への注水量で4.1に述べたようにして求めた。

式(15)の右辺第1, 2, 3項はそれぞれ、シャワーのない風呂によるもの、シャワーのある世帯のシャワーのみ使用の場合によるもの、シャワーのある世帯の浴槽使用時の寄与を示し、式(16)の第1, 2, 3項は、浴槽への注水量、シャワー水量、足し水水量を示している。

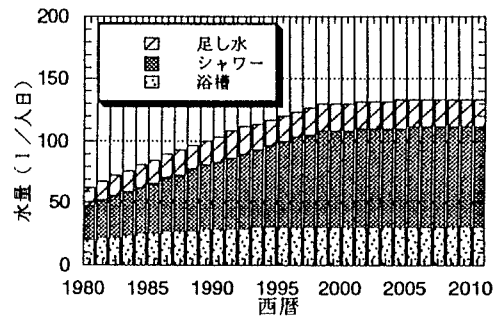
計算の結果を図一13に示す。入浴の水量の中でシャワーの占める割合が高く、シャワーの普及が進むに連れて、水量が増加していることがわかる。とくに単身世帯において、浴槽への注水量が減りシャワー水量の増加が著しいのは、単身者世帯ではシャワーが普及すると、シャワーのみを利用する日が多くなるためである。



(a) 単身世帯



(b) 2人世帯



(c) 3人以上世帯

図一13 入浴水量の変化

図一14は全世帯で平均した1人1日あたりの水量の変化を示している。シャワーがほとんどの世帯に普及し終わる今世紀以降には、水量の増加がゆるやかになる。

図一15は水量増加に影響を及ぼす各種要因を、1995年を1として、1980年と2010年と比較したものである。1980年から1995年までは、シャワーや浴槽の普及率、入浴回数が大きく伸びており、急激な水量の増加につながったものと考えられ

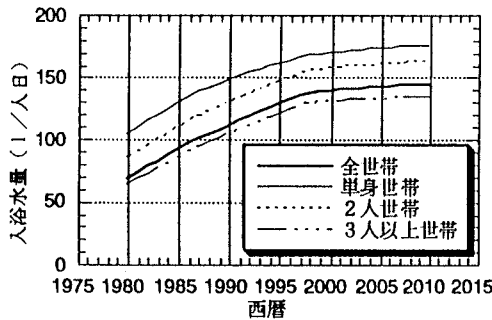


図-14 入浴水量の変化

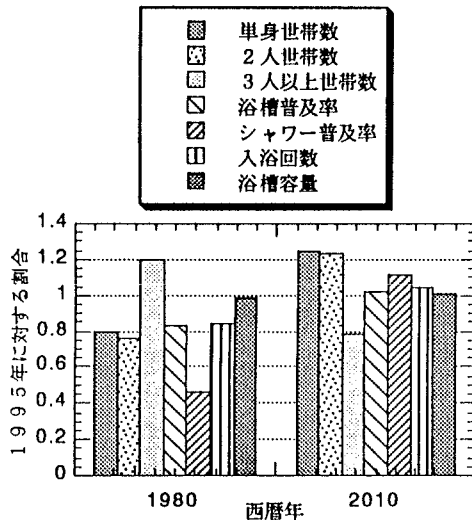


図-15 水量変化要素の比較

る。これに対し1995年から2010年までの間は、シャワー普及率は伸びているものの、その他は変化が少なく、各世帯人数別にはゆるやかな水量増加となっている。しかし世帯人数の構成が少なくなるために、2人以下の世帯の影響を受けて、水量が増加している。

4.5 節水対策の効果

表-2に示す各ケースについて、世帯人数別の1人1回あたりの入浴水量を求めたものが図-16である。現在の使用方法では世帯人数が2人以下の場合は浴槽に水をためずにシャワーのみを利用した方が、使用水量が少なくなる。世帯人数が3人以上になると浴槽に水をためる方が水量が少ない。

もしシャワーのみ使用の場合にその使用時間を湯水

表-2 検討した入浴法

ケース1	浴槽に湯をためる。シャワーも0.72人が9.2分間使用する
ケース2	ケース1でシャワーの使用時間を湯水頻発地域なみに8.5分とする
ケース3	シャワーのみを使用する。使用時間は13.0分である
ケース4	ケース3でシャワー使用時間を湯水頻発地域なみに10.7分とする
ケース5	浴槽に湯をためる。シャワーは一切使用しないようにする
ケース6	浴槽に湯をため、かつ全ての人が9.2分間シャワーを使用する

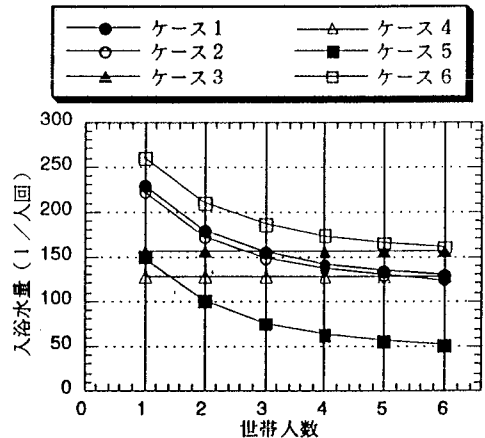


図-16 1人当たりの入浴水量

頻発地域なみ(10.7分)とすると、5人世帯まではシャワーのみを使用する方が水量が少なくなる。そのためには、単に節水の呼びかけをするだけではなく、地域によっては浴槽内の暖房設備を整えるなどの方策も必要になり、エネルギー的な面からの検討も必要になるであろう。

浴槽を使用時にはシャワーは一切使用しない事にすると、2人以上の世帯で明らかに節水する事が出来る。清潔感に対する欲望、日常習慣上難しいことかも知れないが、湯水で状況が切迫している場合の一時的方策としては有効である。

長期的な対策としては、浴室を暖かくしてシャワー使用時の体を温めるための使用水量を減らすための方法、水温設定が正確に出来て温度調整のために流す水量を減少させる、使用中にこまめに湯の停止と供給を定温で行えるようにする等の技術の開発や、シャワーの使用時間を短くするために、浴槽使用時にはできるだけシャワーの使用をおさえることや、洗濯はできるだけ浴槽を使用したときの残り湯を利用するなどの生活上の工夫を進めてゆくことが考えられる。

5. あとがき

シャワーが急速に全世帯に普及しつつあり、入浴における使用水量はシャワーの使い方如何にかかっている。ここでは、1日以内におけるシャワーの使用回数や、浴槽にためた残り水を洗濯に使うなどの組み合わせは考慮しなかった。今後の検討課題である。

アンケートにお答えいただいた方々に謝意を表す。

本研究は文部省科学研究費、平成7年度一般研究(C)及び8年度基盤研究(C)（いずれも研究代表者細井由彦）の補助を受けて行われた。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道施設設計指針・解説，1990.
- 2) 細井由彦・城戸由能・森下和美：水使用機器の普及による家庭内水使用量の変化，鳥取大学工学部研究報告，第26巻，pp. 195-205，1995.

