

# 住宅都市ガス・水道使用データに基づく用途別給湯需要の推定

## Estimation of Hot Water Demands in Each Use on Domestic City Gas and Water Consumption Data

○上 林 由 果 (大阪大学)                      濱 田 和 紀 (大阪大学)  
山 口 容 平 (大阪大学)                      下 田 吉 之 (大阪大学)

Yuka KAMBAYASHI\*<sup>1</sup> Kazunori HAMADA\*<sup>1</sup> Yohei YAMAGUCHI\*<sup>1</sup> Yoshiyuki SHIMODA\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka University

This paper describes the actual state of hot water demands in each use. We decomposed the domestic city gas and water consumption data into some uses, and analyzed hot water consumption in each use in households classified by the amount and daily fluctuation of hot water consumption. As the result, the frequency of hot water filling and hot water amount in bath had an impact on daily fluctuation of hot water consumption per day in family. And the households, consuming large and stable amount of hot water, had a trend to take a bath regularly.

### はじめに

住宅における給湯消費は家庭用エネルギー消費の約 3 分の 1 を占めるとされており、給湯部門における省エネルギー化が重要である。このような状況の下、自然冷媒ヒートポンプ給湯機やコージェネレーションシステムが登場している。これらの給湯熱源の効率は給湯消費量の日変動や時刻変動に影響を受けると考えられる。そのため、給湯設備効率を評価し、省エネ効果を明らかにするためには、世帯ごとの給湯消費量の日変動及び時刻変動を把握することが重要である。

給湯消費の実態把握を行った既往研究は多数行われている。田中ら<sup>1)</sup>はアンケートにより、世帯構成と湯使用行為生起時刻の関係を分析している。また、前ら<sup>2)</sup>は実測データ分析により、世帯人数と給湯消費量の日変動及び時刻変動の関係を分析している。しかしアンケート分析では日々の変動まで捉えることはできない。また実測データ分析についても住戸全体の給湯消費の分析に留まっており給湯消費量の日変動・時刻変動の要因となる給湯消費の内訳については明らかにされていない。

給湯消費は居住者の給湯行為によって発生し、給湯行為は世帯属性や気象条件等の要因によって決定する。しかし、給湯消費と居住者の行為の関係を表す用途別の給湯データは広く利用可能ではない。そこで本研究では多世帯において住戸全体の水道・都市ガス使用量の計測を行った実測データを用いて用途分解し、分析を行った。これにより本研究では、給湯消費量の日変動及び時刻変動の要因となる世帯ごとの給湯行為習慣を把握することを目的とする。

### 1. データ計測・処理概要

計測概要を Table.1 に示す。対象世帯は大阪府の集合住宅の 118 世帯である。水道・都市ガス使用量及び洗面・脱衣所及びキッチンにおける分電盤の回路別電力消費量が計測されている。解像度は 1 分であるが、水道と都市ガスは 5 分積算値に変換した。電力消費は 5 分間の平均値に変換し、さらに居住者の行為に関係なく常に発生する電力消費 (ベース電力) を除き、居住者の行為に伴う部屋の稼働状態を表すデータとした。Fig.1 に分析に使用した代表世帯・代表日における水道及び都市ガスの使用量データ並びに洗面・脱衣所及びキッチンにおける電力消費量データを示す。水道の消費と同時に都市ガスや電力が消費されていることが分かる。

Table.1 Characteristics of measured data

Object Area	Osaka
Measuring Period	1 Year in 2013
Target Households	118 Households
Data Items	City Gas and Water Use Power Consumption in Washroom and Kitchen
Temporal Resolution	1 Minute Interval

### 2. 分析概要

#### 2.1 水道・都市ガス使用データの用途分解

##### (1) 給湯行為の抽出

給湯用途の水道消費には都市ガス消費が伴うことを想定し、都市ガスが同時に使用される水道使用量データを給湯湯量データとした。さらに 1 回ごとの給湯行為を表す時刻別の離散データである給湯行為データとし、各離散データについて給湯行為 1 回分の湯量[L/回]、平均流量[L/min]及び開始時刻を算出した。

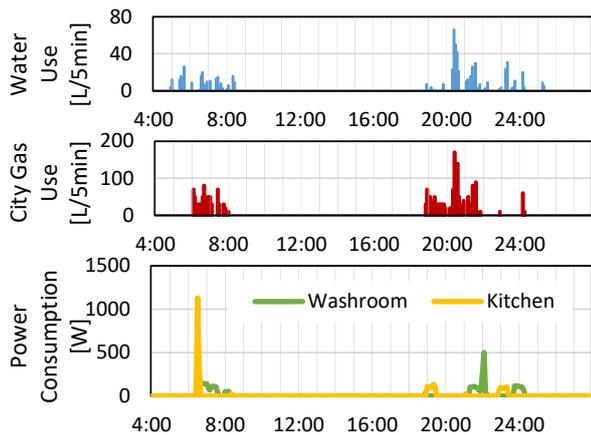


Fig.1 Energy consumption data in a household on a day (The upper diagram : Water use, The middle diagram : City gas use, The lower diagram : Power consumption)

(2) 湯はりの分離

a 湯はり分離手法

湯量と平均流量を用いたクラスタリングによって湯はり用途の給湯行為を分離した。湯はり分離手法の概要を Fig.2 に示す。まず、各世帯において給湯行為 1 回分の湯量と平均流量を変数としたクラスタリングにより給湯行為をクラスタに分類する。次に分離したクラスタのうち湯はりによるものを湯はりクラスタとして抽出する。各クラスタの湯量平均値が閾値を超えるクラスタを湯はりクラスタとして取り出す。この閾値の設定方法は b で述べる。さらに湯はりクラスタに含まれる給湯行為のうち、1 回当たりの湯量が 100 L/回以上かつその日 1 回目の給湯行為を「湯はり」と判定する。また、湯はりと判定された給湯行為の開始時刻が 13 時以前の場合、その日 2 回目の給湯行為も湯はりと判定するものとした。

b 閾値の設定方法

各世帯における給湯行為 1 回分の湯量度数分布の形状が類似する世帯群ごとに閾値を決定した。後述するように湯量度数分布は 100 L/回以上の範囲においてシャワー並びに湯はりと考えられる 2 つの分布に分かれる。110 L/回以上における最頻湯量と、最頻湯量以下で度数が最小となる湯量を変数として全世帯をクラスタリングする。各クラスタに含まれる全世帯における湯量度数分布の 110 L/回以上最頻湯量以下において度数が最小となる湯量を閾値とした。

(3) 湯はり以外の給湯行為の用途分解

Fig.3 に用途分解手法の概要を示す。電力消費データにおける部屋の稼働状態から給湯が発生する部屋を洗面・脱衣所、キッチンあるいはその他と判定する。洗面・脱衣所と判定された給湯行為のうち 13 時以前に発生する行為は「洗顔・朝シャワー」、13 時以降の行為のうち湯量が 10 L/回以下の行為は「洗面所 (小)」、これら以外を「風呂」・「シャワー」とした。ただし、風呂は湯はり後の入浴を表

し、シャワーは湯はりのない日の入浴を表す。

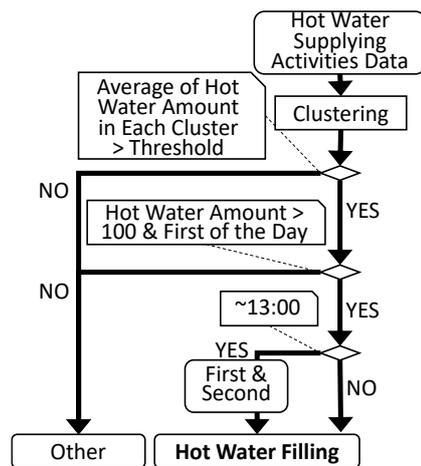


Fig.2 Use decomposition method-Hot water filling

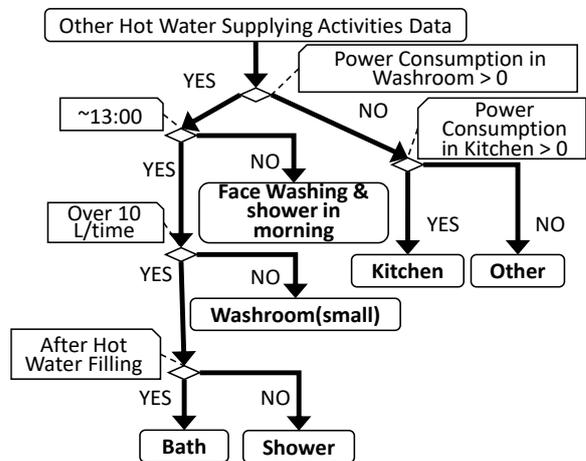


Fig.3 Use decomposition method

2.2 湯はり分離手法適用結果

Fig.4 に代表世帯における湯量度数分布を示す。図より湯量度数分布は 100~160 L/回と 160 L/回以上の範囲において 2 つの分布に分かれている。代表世帯においては、110 L/回以上における最頻湯量 210 L/回と最頻湯量以下で度数が最小となる湯量 150 L/回を変数とし、全世帯をクラスタリングした。各クラスタに含まれる全世帯における湯量度数分布を Fig.5 に示す。代表世帯はクラスタ 2 に分類されたため、閾値を 150 L/回と設定して湯はりを分離した。

Fig.6 に代表世帯における湯はり分離結果の湯量と平均流量の関係を散布図として示す。湯量約 150 L/回以上かつ平均流量約 4 L/min 以上の給湯行為が湯はりと判定されていることがわかる。正解データを用いて精度検証を行った結果、約 90% の正解率が得られた。

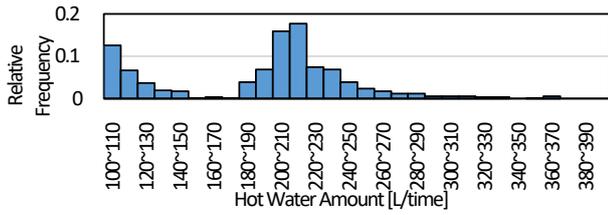


Fig.4 Distribution of hot water amount per time in a household

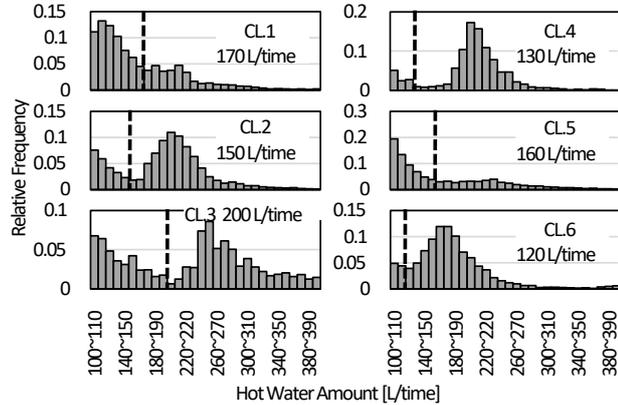


Fig.5 Distribution of hot water amount per time in each cluster of households

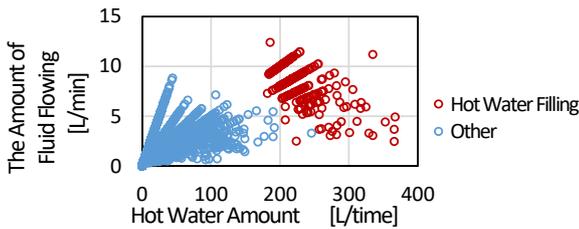


Fig.6 Scatter diagram with hot water amount and amount of fluid flowing of use decomposition result in a household

2.3 水道・都市ガス使用データの用途分解結果

Fig.7 に用途分解結果の用途別世帯・年間平均時刻別湯量を示す。図より、7時と20時にピークがある。7時のピークは洗顔・朝シャワーといった洗面所における給湯行為、20時のピークは台所、湯はり、風呂及びシャワーといった様々な用途の給湯行為によるものであることがわかる。

Fig.8 に用途分解結果と既往研究の住戸全体湯量に対する給湯用途別割合の世帯平均の比較結果を示す。比較する既往研究は3~5人世帯の10世帯で用途別に計測した実測調査である<sup>3)</sup>。図の用途分解結果より、湯はり、風呂及びシャワーが全体湯量に占める割合が約70%、台所用途が全体湯量に占める割合が約10%である。一方、図の既往研究に示されている値では、湯はり、風呂及びシャワーが全体湯量に占める割合が約60%、台所用途が全体湯量に占める割合が約30%とされている。既往研究と比較して、用途分解結果の湯はり、風呂及びシャワーの割合が大きく、また台所用途の割合が小さくなった原因としては、洗面・脱衣所及びキッチンにおける給湯の同時使用が考えられる。

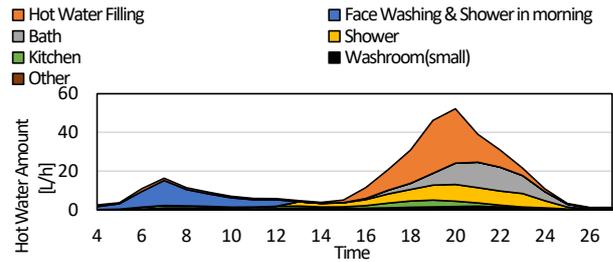


Fig.7 Hot water amount per hour of use decomposition result

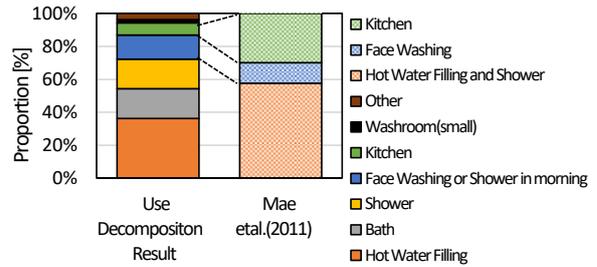


Fig.8 Proportion of use decomposition result

3. 世帯類型別用途別給湯行為分析

3.1 分析方法

給湯消費量の平均と日変動の大きさとで世帯を分類し、世帯類型ごとの給湯行為習慣を明らかにする。日偏差は1日当たりの給湯消費量から月平均を除いた残差の年間での標準偏差を表す<sup>3)</sup>。Fig.9 に世帯分類方法の概要を示す。1日当たりの給湯消費量の年間平均と日偏差の中央値を分類の閾値とし、消費量・変動量の大小を組み合わせた4つの世帯類型A、B、C、Dに分けた。以下では、世帯類型ごとに給湯消費量に占める割合の大きな湯はり、風呂、シャワー及び洗顔・朝シャワーについて分析する。

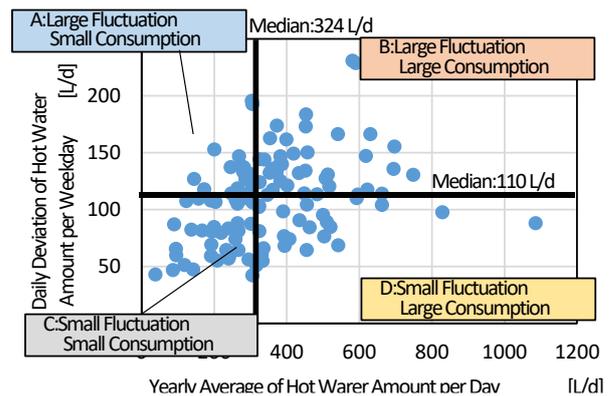


Fig.9 Method of classifying 118 households

(2) 世帯類型ごとの用途別給湯行為分析

a 湯はり頻度

Fig.10 に世帯・月平均湯はり頻度の月変化を示す。変動が小さく消費が大きい世帯類型Dで年間を通して高頻度で湯はりを行っていることがわかる。このことから消費量及び日変動には湯はり頻度が影響するとわかった。

b 洗顔・朝シャワー湯量の日変動

Fig.11 に世帯類型ごとの洗顔・朝シャワー1日当たり湯

量の日偏差の度数分布を示す。変動が大きい世帯類型 A、B に洗顔・朝シャワー1 日当たり湯量の日偏差が大きい世帯が多いことがわかる。このことから、日変動の大きさには朝シャワーの有無が影響していると考えられる。

#### c 湯はりの有無と風呂・シャワー湯量の関係

湯はりの有無と風呂・シャワー1 回当たりの湯量の関係について分析した。Fig.12 世帯類型ごとの風呂及びシャワー1 回当たりの湯量の年間平均の関係を散布図として示す。湯はりの有無によって風呂・シャワー1 回当たりの湯量は異なり、その関係性は世帯ごとに異なることがわかる。特に消費が大きい世帯類型 B、D に湯はり後の風呂の湯量の方が大きい世帯が多いことが見て取れる。このことから消費が大きい世帯では浴槽へたし湯をしながら入浴する習慣があると考えられる。

#### d 湯はり開始時刻

給湯消費量に占める割合の大きな湯はりの開始時刻について分析した。Fig.13 に世帯類型ごとの湯はり開始時刻エントロピーの度数分布を示す。エントロピーとは変動性の大きさを表す指標であり、式(1)によって算出した<sup>4)</sup>。

$$H_n = -\sum_{t=4}^{27} P_n(t) \log(P_n(t)) \quad (1)$$

$n$  は世帯番号、 $t$  は時刻を表す。また  $P_n(t)$  は時刻別湯はり開始確率密度であり、1 日において湯はりが開始される時刻の度数分布を表す。図より、変動が小さく消費が大きい世帯類型 D にはエントロピーが小さい世帯が多いことがわかる。また Fig.14 に世帯類型ごとの湯はり年間最頻開始時刻の度数分布を示す。世帯類型 D には 21 時までに湯はりを行う世帯が多いことがわかる。これらの結果より、世帯類型 D は湯はりを 21 時までの時刻に規則的に行う習慣をもつことがわかった。

#### 5. まとめ

本論文では給湯消費量の日変動・時刻変動の要因となる世帯ごとの給湯行為習慣を把握することを目的として、住戸全体の水道・都市ガス使用量データを用途分解し、給湯消費量の年間平均と日変動の大きさで分類した世帯類型ごとに用途別給湯行為について分析した。分析の結果から、給湯消費量は湯はりの有無や風呂・シャワーの湯量、また湯はりや風呂・シャワーを行う時間帯によって日変動・時刻変動することがわかった。また湯はりの有無により入浴 1 回あたりの湯量が異なることもわかった。さらに変動が小さく消費が大きい世帯類型では湯はりを 21 時までの時刻に規則的に高頻度で行い、その後たし湯をしながら入浴するといった習慣があることがわかった。

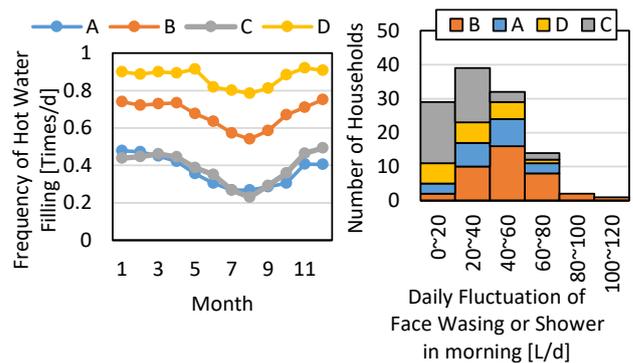


Fig.10 Frequency of hot water filling

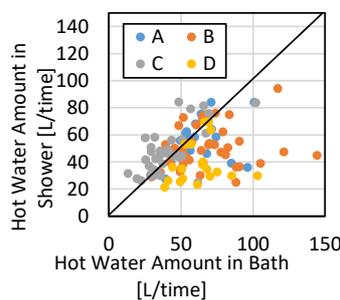


Fig.12 Scatter diagram with hot water amount in bath and shower of 118 households

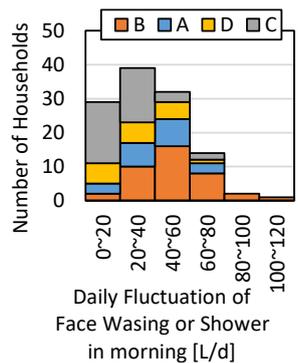


Fig.11 Distribution of daily deviation of hot water amount

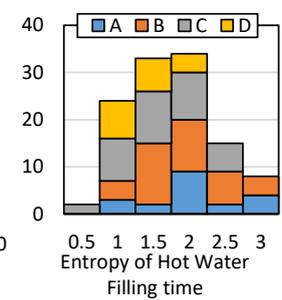


Fig.13 Distribution of entropy of hot water filling time

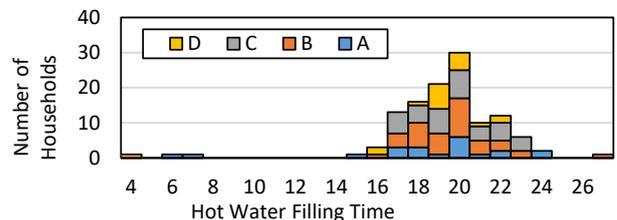


Fig.14 Distribution of hot water filling time

#### 謝辞

本論文に示した研究成果は JST, CREST 「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」の一環として得られた結果である。

#### 参考文献

- 1) 田中瑠美他 住宅における水・湯使用実態に関する研究 (その1) 世帯構成からみた水・湯使用行為の生活時間特性 日本建築学会大会術講演梗概集 (近畿), pp.467-468, 2005 年 9 月
- 2) 前真之他 住宅における給湯使用の実態調査及び標準化に関する研究 (その1. 湯消費の平均と季節・日・時刻変動) 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1521-1524, 2005 年 8 月
- 3) 前真之他 日変動と短時間出湯を考慮した実験用給湯消費モード修正 M1 の設定とガス瞬間式給湯機の効率評価に関する実験的検討 住宅のための省エネルギー手法の実験的評価に関する研究その3 日本建築学会環境系論文集 第76巻 第659号, pp.49-57, 2011 年 1 月
- 4) Kwac, J., Flora J., & Rajagopal, R. Household Energy Consumption Segmentation Using Hourly Data. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(1), pp.420-430., 2014