

別添1

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

令和2年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 大瀧 友里奈

令和3年5月

目 次

I. 総括研究報告	
水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討-----	1
大瀧友里奈	
II. 分担研究報告	
1. ディープラーニング手法の探索 -----	4
2. 需要サイドからの水使用データ活用手法の検討 -----	7
大瀧友里奈、植田一博、本田秀仁	
3. 多様な料金制度の検討 -----	41
穴山禎三、森由美子	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表 -----	73

総括研究報告書

水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

研究代表者 大瀧友里奈 国立大学法人一橋大学・教授
研究分担者 大塚玲（情報セキュリティ大学院大学・教授）
本田秀仁（追手門学院大学・准教授）
植田一博（国立大学法人東京大学・教授）
穴山悌三（公立大学法人長野県立大学・教授）
森由美子（東海大学・教授）

研究要旨

日本で水道スマートメーターを導入した場合のデータの利活用の可能性を検討し、スマートメーター導入の促進に寄与することを目標とし、①ディープラーニング手法によるデータの解析、②需要サイドから手法検討、③多様な料金制度の検討、という3つのアプローチからの研究を進めた。その結果、細かいデータ粒度でのディープラーニング手法の検討には一定程度の目途が立ったが、スマートメータからのデータ粒度である15分～1時間程度の場合については、来年度以降の検討課題となった。需要サイドからの水使用量データの利活用については、先行する電力事例へのヒアリング調査より、防災や商圈分析への適用可能性が明らかになり、一般家庭へのアンケート調査からは災害、漏水、見守り等へのニーズが高いことが明らかになった。多様な料金制度の検討についても、先行する電力事例のサーベイより、ダイヤモンドレスポンスの効果とナッジ手法の適用が増えていることが明らかになった。今後は、アプローチ間の連携をとっていくことが必要である。

1. 研究目的

本研究の目的は、スマートメータから得られるデータの利活用の可能性を検討し、その利点を具体的に示すことにより、スマートメータ導入の促進に寄与することである。そのため、①ディープラーニング手法によるデータの解析、②見える化の方法など需要サイドから手法検討、③多様な料金制度の検討、という3つのアプローチを行う。

2. 研究方法

①ディープラーニング手法による解析

これまでに取得済みの水使用量および水使用行動のデータを用いて、解析に適した形へのデータクリーニング手法や、水使用量データの特徴にあったディープラーニング手法を探索した。

あわせて、機械学習によるデータ分類の国内外の研究をサーベイし、ディープラーニング手法を探索した。

②需要サイドからの水使用データ活用手法の検討

データの利活用で先行している、電力使用量の活用について東京電力およびその関連会社、グリッドデータバンクラボへのヒアリング調査を行った。

また、水使用データの活用について検討し、プロトタイプを提案し、一般家庭を対象にしたアンケート調査を行った。

③多様な料金制度の検討

多様な料金制度の活用が先行している電力について、分析事例のサーベイと検証を行った。

3. 研究結果と考察

各研究項目の詳細は、分担研究報告に記載するため、要点のみ記載する。

①ディープラーニング手法による解析

データの粒度が1秒間の場合のデータから解析を開始した。まずは家庭での水使用を単独水栓での使用に整理しなおして、波形の特徴を把握した。一般的に、家庭での水使用は、複数用途が並列して行われることが多いため、重ね合わせの場合の検討も行った。用途別流量予測器および用途識別器を作成した。用途識別器については、用途毎に利用の有無を出力する独立した二値識別器を複数構成し、全ての識別器で95%を超える精度で用途別の利用状況を推定できることを確認した。再現性とデータ粒度を粗くした場合について、別の家庭での再現性について、検討を実施中である。

また、国際的な研究動向をサーベイ

した結果、水使用量データのディープラーニングについて、分単位のデータでの成功事例はいまだないため、スマートメータからの15分から1時間に1回の粒度のデータをディープラーニングすることで可能になることが何かを考えていくことが必要である。

②需要サイドからの水使用データ活用手法の検討

ヒアリング調査の結果、防災や商圈分析への利活用の可能性があること、それに伴って個人情報保護の仕組みを近く確立する予定であることが明らかになった。一方で、需要サイドの行動やニーズの調査が行われていないことが明らかになった。

一般家庭へのアンケート調査の結果、災害、漏水、見守り等へのニーズが高いことが明らかになった。

③多様な料金制度の検討

電力使用の場合、主としてピーク需要を削減するためのデマンド・レスポンス(DR)の効果がおよそ5~20%程度と検証されていることを確認した。なお近年の研究動向として、一般家庭がDRに反応する際の限定合理性を前提とした誘導方策(ナッジ)に関する研究が増えていることが明らかになった。

このように、今年度は3つのアプローチそれぞれで研究を進めてきたが、今後は、アプローチ間の連携をとりながら、進めていく。

4. 健康危険情報

なし

5. 研究発表
準備中

6. 知的財産権の出願・登録状況
なし

ディープラーニング手法の探索

研究分担者 大塚玲 情報セキュリティ大学院大学・教授

一般家庭の1秒単位の水使用量データと水使用行動を収集し、ディープラーニングの手法を適用することにより、水使用量データのみから水使用行動を推定する手法を開発する。ディープラーニングの手法としては、水使用量データをスペクトログラムによる時間一周波数空間の2次元画像に変換し、畳み込みニューラルネットワークの画像-ラベル識別問題として水使用行動ラベルを推定する手法を検討した。当初、水使用量データのスペクトログラムによる解析を試みたが、実験を重ねた結果、バイアス成分に重点をおいた流量ヒストグラムによる解析性能が高いことが見いだされ、当該流量ヒストグラムを入力とした回帰問題およびラベル識別問題の両方を実践し、ラベル識別問題に関しては95%以上の識別性能を達成した。

機械学習を用いた1秒毎の水使用の流量パターン解析により、家庭全体の使用量を用途別に分類(ディスアグリゲーション)することを目的とする。ディスアグリゲーションの問題は、音声データにおける話者分離 (speech separation), 音源分離(audio source separation)と関係が深い。現時点で最高性能を持つ Autoflow は、オーストラリアで収集されたデータを使って学習し、74~94%の精度を達成したと報告されている。水の消費量を7つの主要な水使用カテゴリ(シャワー、トイレ、水道、衣類洗浄機、食器洗浄機、水冷空調器、散水)に分解している。Autoflow では決定木、動的時間伸縮法(DTW: Dynamic Time Warping)、自己組織化マップ(SOM: Self Organize Map)、隠れマルコフモデル(HMM: Hidden Markov Model)を用いている。一般に流量データの識別問題は、1) サンプリング速度が遅いため流量の特徴が流量データの波形に現れにくいこと、2) 水道の元栓に流量センサを設置するため、同時に複数箇所の水をした場合に重畳した波形が観測される。このため、識別の際には重畳した波形を分解して、それぞれの水使用用途を出力する必要があること、3) センサ設置コストが高額なため、多数の世帯データを得ることが困難であるなどの課題がある。また、Autoflow では、14mlの分解能で5秒から10秒毎に積算した高精度流量計を用いて従来にない高い識別精度を上げている。しかし、従来の研究では、被験者宅の元栓に流量センサを設置し、被験者の水使用日記データから元栓の流量センサ波形にラベル付けしたものを Ground Truth として識別器を学習する研究が多い。しかし、記載ミス等による誤差を取り除けないことから、90%以上の識別率を要求するモデルの学習には問題が多いと考えられる。

本研究では、これまでの研究により、1秒毎のバイアス成分を1分程度集積したヒストグラムを特徴量とした独自の深層学習により、重畳使用にも対応し、95%以上の精度で用途別の水使用量を推定する手法の開発に成功した。さらに2mlの分解能での毎秒毎に積算した超高精度流量データを用い、深層学習の一種である Multi-task Convolutional Autoencoder を用いて既に Autoflow よりも高い識別精度を達成することを示唆する実験データが得られた。具体的には、水道の秒間総流量データから用途別流量予測器および用途識別器を作成した。用途別流量予測については予測データと実データのヒストグラム形状が酷似していることから、ほぼ正確に予測できていることを確認した。また、用途識別器については、用途毎に利用の有無を出力する独立した二値識別器を複数構成し、全ての識別器で95%を超える精度で用途別の利用状況を推定できることを確認した。

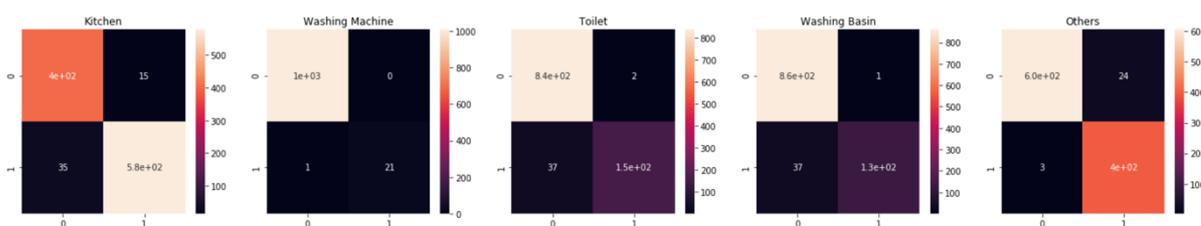


図 1-1: 5 種類の用途別識別器の Confusion Matrix. 図は Kitchen, Washing Machine, Toilet, Washing Basin, Others(その他の用途)の5つの用途について、縦軸は True Label, 横軸は Predicted Label を表している。それぞれ、0 は利用なし, 1 は利用ありを示す。Confusion Matrix から 95% を超える精度で用途別の利用状況を推定できることを確認できる。

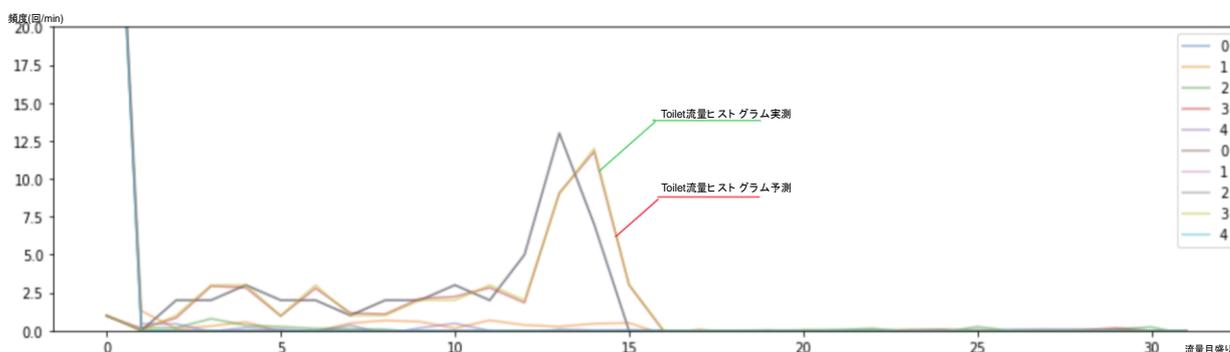


図 1-2: 5 種類の用途別流量予測器の出力結果. 図は 1 分間の総流量の分単位ヒストグラム(秒毎の水量計の目盛りをヒストグラム化したもの)を入力とし、

各用途の分単位ヒストグラムを予測するモデルの出力例を示したものである。図では3番(Toilet)の予測ヒストグラムが実測ヒストグラムに一致していることが分かる。他方, 2番(Washing Machine)のヒストグラムについては、実測値と予測値が異なっていることが判別できる。この時間の2番については使用量が少なく、総量ヒストグラムからの推定が困難であったことが原因として考えられる。

需要サイドからの水使用データ活用手法の検討

研究代表者 大瀧友里奈 国立大学法人一橋大学・教授
研究分担者 植田一博 国立大学法人東京大学・教授
本田秀仁 追手門学院大学・准教授

1. はじめに

日本の水道は、人口減少に伴う水需要の減少、人手不足に伴う検針員確保の困難化、省エネルギー化への社会的要請や設備の老朽化などの様々な課題があり、現行レベルの水道サービスを持続させるためには、最適化や効率化に取り組む必要がある (JWRC,2018)。その解決策の一つとして、無線通信等を利用した水道スマートメータの導入が注目されている。水道スマートメータ導入により、検針・徴収業務の効率化が期待できるだけでなく、詳細な水使用データの収集及び分析が可能になるため、需要予測などを含めた配水運用の高度化やエネルギー使用の効率化、漏水箇所の早期特定及び利用者サービスの向上など、多くの効果を見込むことができるとされている。

しかし、国内における水道スマートメータ導入への取り組みは限定的であり、東京都・横浜市・神戸市・横須賀市など一部の事業者が実証実験をするにとどまっている。一方で、海外では水道スマートメータの導入が進んでいる。齊藤 (2016) によると、2016年8月時点で、日本を除く世界26カ国70都市で計1800万台以上の水道スマートメータが導入されており、その中でもアメリカやヨーロッパの一部の国では、導入台数がそれぞれ100万台を超えている。また、国内においても、電力のスマートメータに関しては、「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)を受けて、2020年代早期までに全戸導入することが決定しており、2019年3月時点で既に5182万台が導入されている。これらのことから、国内水道事業のスマートメータ導入が相対的に遅れているのがわかる。

水道スマートメータの国内導入が進まない要因の一つは、価格差を上回るメリットが見いだせないことにある。そのため、水道使用量データの需要側からみた利活用の可能性を考えていくことが必要である。サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合する超スマート社会 (Society5.0) の到来が予想されるなか、経済産業省は平成29年3月に、新しい産業の在り方を示す「Connected Industries」政策を立ち上げた。「Connected Industries」の5つの重点取組分野のひとつに位置付けられた「スマートライフ分野」では、水道使用量データ利活用も重要な要素の一つとなる。「スマートライフ分野」では、宅内の家電やウェアラブル、センサ等の機器や、サービス事業者、行政・Web等が保持する各種生活関連情報を連携させることで「消費者のニーズにあったサービスの高度化」(NEDO,2019)を目指している。「スマートライフ分野」の中で、いかに水道使用量データが役割を果たせるのかは重要である。

データ利活用の方法を考えていく上では、需要者からのニーズ、またデータ活用に対しての同意が必要である。また高度なサービスの展開のためには、サービス対価の支払い可能性も検討していくことが重要である。

2. 先行事例

2.1 水道使用量データ利活用事例～東京都

東京都は2018年「水道スマートメータトライアルプロジェクト」を発表し、2024年度までに都全体で約10万個のスマート水道メータを導入し、効果の検証を進めることを表明した。先行して、東京都晴海地区において、東京オリンピック期間中及び大会終了後の選手村跡地の住居（2022年度より入居開始、2023年度までに約6000戸）を対象に、水道スマートメータの検証を実施するとしている。そして、そこでは二つの利活用サービス（「見える化サービス」「見守りサービス」）を検証する予定である。

「見える化サービス」とは、パソコンやスマートフォン等で、日々の使用水量を日別や時間別等のグラフや表として確認できるようにするというものである。このサービスにより、①日々の使用量の確認による節水意識の向上、②宅地内漏水の早期発見、が期待されている。「見守りサービス」とは、使用水量の変化をもとに異変を検知し、それを登録された連絡先（家族等）にメールなどで通知するというもので、遠方に住む高齢者や子どもの安否確認などに役立つことが期待されている。また、「検針値の電子化」や、のような「使用量以外のメータデータ（アラーム等）を活用したサービス」も、その他の検討事項として記述されている。

2.2 データ利活用事例～海外

(1) サンフランシスコ（米国）

東京都の報告書（2020）によると、米国サンフランシスコでは、2018年時点で市内18万戸のうち約97%に水道スマートメータを導入している。そして「見える化サービス」と「宅内漏水検知サービス」の二つの顧客向け利活用サービスを展開している。「見える化サービス」は、①1時間単位、1日単位の水道の使用量をウェブサイト上で確認できる、②使用量が多い利用者に対する具体的な節水アドバイス（浄水装置交換費用の助成など）の実施、というものである。「宅内漏水検知サービス」は、1時間ごとの水使用データをもとに漏水を探知し、メールや電話でアラート通知するというものである。漏水に関する導入効果として、対応費用の半減と漏水への対応時間短縮が報告されている。

(2) コチャン郡（韓国）

JWRCの報告書（2019）によると、韓国コチャン郡では、2017年から5年間で全域に水道スマートメータを導入する予定であり、2017年12月時点で、約2万4千戸への導入が

完了している。顧客向け利活用サービスとして「見える化サービス」のほか、「見守りサービス」が展開されている。「見守りサービス」では、水の使用量から使用者の安否状況を確認し、48 時間水使用が確認できない場合に家主や親族などに連絡を取るなどの措置を取っている。コチャン郡では人口の 60%が 60 歳以上であり、「見守りサービス」には社会福祉的な役割も期待されている。

2.3 データ利活用事例～電力

電力ではスマートメータの導入が先行して進んでおり、データの利活用の検討も先行している。東京電力パワーグリッド、中部電力、関西電力、NTT データの 4 社が組合員として運営するグリッドデータバンク・ラボ有限責任事業組合（2018 年 11 月設立）（以下、GDBL）はデータ利活用を検討する中心的な組織であり、スマートメータをはじめとする全国の電力設備データ活用の推進を目指し設立された。GDBL の報告書（2020）では、実証実験段階ではあるが、新たな電力データ利活用サービスとして「災害対応サービス」と「商圈分析サービス」が紹介されている。「災害対応サービス」では、スマートメータのデータから在宅率を割り出し、避難状況を推定して住民へ通知することで、災害発生時の住民避難への活用を目指している。避難状況を定量化して周知した場合の効果について、住民アンケートを実施した結果、従来の避難勧告では「逃げない」と答えた住民のうち 78%の人が、直近の近隣避難人数が分かれば「逃げる」と回答しており、災害時の避難誘導の有効な手段となり得る。「商圈分析サービス」は、店舗をターゲットとしたサービスであり、店舗周辺の生活動向把握を通じて、商品発注や人員配置の検討や、売上予測の精度向上への貢献を目指すサービスである。スマートメータ設置数から出店エリア周辺の世帯数の想定や、30 分電力使用状況から帰宅時間等の住民特性を推定できると考えられている。さらに、不動産情報などの異業種データを追加することで、住民特性の深堀りも可能であるとしている。

2.4 その他の生活データ利活用事例

国内産業が将来目指す姿として経済産業省が提唱した「Connected Industries」の重点 5 分野の 1 つに、「スマートライフ分野」が位置付けられている。NEDO（2018）によると、同分野の中でも特にスマートホームの市場は、世界全体で 2030 年までに 4,000 億ドル（2018 年時点では 150 億ドル）まで拡大すると予測されており、生活データを収集・解析し、個人のニーズを先読みしたサービスの開発が加速している。それに伴い NEDO は、健康増進や介護支援などで新たなサービス事業の創出を目指して、IoT 家電やウェアラブル機器を介して生活データを収集し活用するサービスの実証事業を開始した。ここでは、NEDO の支援のもと企業がコンソーシアムを組んで行った実証事業におけるデータ利活用サービスについて、NEDO の報告書（2019）をもとに紹介する。

(1)高齢者行動特性把握サービス（コニカミノルタ株式会社）

センシングによる高齢者の行動特性の分析を通じて、介護スタッフの業務効率化を推進するサービスである。介護施設の高齢者居室にセンシング機能を設置し、高齢者の行動特性を把握し、介護スタッフの訪室削減を図る。睡眠センサ、室温センサ、人感センサ、ドア開閉検知などから得られるデータを活用する。

(2) ライフデータを活用した会話ロボットによる生活支援（シャープ株式会社）

会話ロボット本体との会話データを含む種々の生活データを収集・分析し、会話ロボットからの音声による適切な促しを通じて、効果的な生活・健康支援を利用者に提供するサービスである。①対話から取得した食事データや健康データを活用した「健康増進アドバイスサービス」、②過去の行動データを利用し会話ロボットと一緒に記憶の呼び起こしを促す「認知トレーニングサービス」、③遠隔地の家族へ状況を通知する「見守りサービス」が想定されている。

(3) ライフデータを活用した健康相談サービス（セコム株式会社）

電話での健康相談サービス。利用者からの口頭申告といった主観的な情報に加え、家庭内にある機器や IoT センサからのライフデータを客観的な情報として活用することで、精度の高い電話健康相談サービスを目指している。

(4) 薬局による在宅高齢者等の生活サポートサービス（メディカルネットワーク株式会社）

患者の服薬状況や生活リズム、バイタルサイン等のライフデータを、在宅医療に取り組む薬局薬剤師等が活用するためのサポートサービスである。薬剤師以外にも、医師やケアマネージャー等への情報提供することで、地域包括ケアシステムを支える多機関の連携を支援する。加えてライフデータを用いたレポートにより患者家族に定期報告などを行うことも想定されている。

(5) 高齢者の生活モニタリングによる地域包括ケアシステム（パナソニック株式会社）

IoT 家電やセンサ情報から、地域包括支援センターの介護従事者の業務に必要なモニタリングデータを集約し、介護業務支援として有用なデータの提供を行うサービスである。

(6) 在宅高齢者向け高度見守りサービス（関西電力株式会社）

在宅高齢者の生活リズム、バイタルサインの変化、睡眠状態等の生活データから生活実態を詳細に把握することで、ケアプラン作成や訪問介護といった介護事業の質の上昇や、緊急駆け付けなどのホームセキュリティ事業の効率化を目指すサービスである。

3. 研究方法

水道使用量データを利活用したサービス案を複数提示し、アンケート調査で使用者のサービスに対する需要を調査した。サービス案の提示にあたっては、JWRC や東京都の報告書をもとに国内と国外における水道使用量データ活用事例を調査したほか、グリッドデータバンク・ラボ有限責任事業組合（電力会社が出資しているスマートメータのデータ活用方策を検討するラボ）の報告書をもとに、電力業界におけるデータ利活用事例を調査した。さらに、生活データの有効活用による新サービス創出を目指す国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（以下、NEDO）が実証事業を行っているため、そのデータ利活用事例を調査した。アンケート調査では、楽天インサイトに登録しているモニター574人（有効回答数500人）を対象に、水道使用量データを利活用したサービスに対する需要を調査した。

利活用サービスについては、実現可能性の検討はディープラーニングによる解析の結果次第で変わってくるが、現行可能であると考えられる下記のサービスを対象とした。

（1）災害避難通知サービス

①内容

災害発生時に、周囲の家庭の避難状況を携帯端末などで確認できるサービスである。水道使用量データから在宅率を割り出し、周辺家庭の避難状況を推定して住民へ通知する。

②利用者のメリット

災害発生時に周囲の避難状況を把握でき、避難行動の手助けとなる。また、逃げ遅れた住民を自治体側で把握できる。

（2）災害備蓄サービス

①内容

災害に備えて、水道使用量データから各家庭に必要な水備蓄量を個別判定し、備蓄用の飲料水や生活用水の購入・配達・保管を定期的に代行してくれるサービスである。

一般的に備蓄には災害初期を乗り越えるための最低限の備蓄量として「1日3リットル×3日分×家族人数」が必要とされているが、日本気象協会の調査（2020）によると備蓄ができていると答えた人は全体の24.3%にとどまっている。備蓄率が高くないと言え、自動で備蓄を代行するサービスがあれば需要がある可能性があると考えた。また、家庭により必要な量の備蓄量は異なるはずなのに、画一的に1日3リットルと設定していることは、社会の多様性を反映していない。飲料水に加えて生活用水をサービスの内容に含めたのは、災害時において生活用水への需要が高いからである。2011年に発生した東日本大震災のアンケート調査（仙台市,2011）からは、被災者が最も困難を感じたのは、断水によるトイレ・風呂・洗濯用水等の水生活用水不足であった。

②利用者のメリット

利用者の生活実態に即した水備蓄量の算出が可能であり、飲料水だけではなく、生活用

水までカバーしている。購入・配達・保管まで自動で代行してくれるので、手間や保管スペースが不要となる。

(3) 健康管理サービス

①内容

生活データ（電気使用、水使用、体重、睡眠時間等）を使って健康リスクなどを自動で判断してくれるサービスである。スマートメータ・IoT家電・センサ・ウェアラブル端末・会話ロボなどから生活データを収集して分析した内容を通知することを想定している。また通知内容などの情報を医療機関や介護期間、家族などと共有することもできる。

②利用者のメリット

日々の生活実態から健康リスクを自動で把握できる。

(4) 見守りサービス

①内容

水道使用量データを使って、離れて暮らす親族の安否を確認できるサービスである。一定時間内に水使用が確認できない場合に、あらかじめ登録されていた電話番号やメールアドレスに通知がいくことを想定している。

②利用者のメリット

利用者の家族のメリットとして、気軽に利用者の安否を確認できることが挙げられる。

(5) 漏水発見サービス

①内容

使用水量をもとに漏洩情報を感知し、自宅や所有している不動産（別荘、空き家、Airbnb等）の漏水をいち早く発見・通知してくれるサービスである。

②利用者のメリット

漏水による被害を最小限に抑えられる。

(6) リアルタイム見える化サービス

①内容

リアルタイムで、使用水量と料金を確認できるサービスである。

②利用者のメリット

いつでもどこでのくらい水を使用したかを、タイムラグなく把握できる。また利用傾向をもとにした節水アドバイスなどへのサービス展開も考えられる。

(7) クーポン配布サービス

①内容

節水行為に対してクーポンが配布されるサービスである。クーポンの内容は、次回の水道料金が割引されるクーポンやコンビニで使えるクーポンなどが考えられる。他人の水使用量との比較や過去の自分の水使用量との比較を通じて、節水傾向が認められれば、クーポンが配布される。

②利用者のメリット

節水のインセンティブになる。節水による水道料金の削減とクーポンの獲得を通じて金銭的なメリットを獲得できる。

(8) 広告への反映サービス

①内容

家庭の水使用状況がネット広告などに反映されるサービスである。

②利用者のメリット

例えば自炊する頻度が多ければレシピ動画の広告が入るなど、利用者の生活実態を反映した広告が提示される。

(9) 実店舗への反映サービス

①内容

家庭の水使用状況が商業施設誘致や周辺店舗の品揃えに反映されるサービス。

②利用者のメリット

例えば自炊する家庭が多ければ材料の、帰宅時間が遅く自炊が少ない家庭が多ければ調理済みおかずの品揃えを多くするなど、利用者の生活実態を周辺店舗に反映できる。

上記の9種類のサービス案について、どの程度、「サービスをどのくらい利用したいと思うか（以下、「利用意思）」、「サービス利用のために水道使用量データを提供してもよいと思うか（以下、「提供意思）」、「サービス利用のためにお金を支払ってもよいと思うか（以下、「支払意思）」、を確認する質問を行った。

回答にはVAS（visual analog scale）を採用し、左端に0、中央に50、右端に100と数値を記入した数直線を用意し、質問毎に被験者にどのくらいそう思うかという度合いを示してもらった。具体的には、「そのサービスについてどう思うか」という質問では、0を「全く利用したくない」、100を「ぜひ利用したい」として、被験者にどのくらい利用したいと思うかという度合いを示してもらった。「そのためにあなたのご家庭の水使用データを提供することについてどう思うか」という質問に対しても同様に、0を「全く提供したくない」、100を「ぜひ提供したい」として被験者に水使用情報についてどのくらい提示意思があるのかを示してもらった。「そのサービスにお金を支払うことについてどう思うか」という質問でも同様に、0を「全く支払いたくない」、100を「ぜひ支払いたい」としてお金を支払う意思をどのくらい持っているかを示してもらった。また、全ての設問に対してフェアに評価する

ため、質問がランダムに出現するよう設定した。

漏水をいち早く発見できるサービスの利用についてどう思いますか。



そのサービスに、あなたのご家庭の水使用データを提供することについてどう思いますか。



そのサービスに、お金を支払うことについてどう思いますか。



図1 回答形式の例

4. 分析結果と考察

4.1 回答者の属性

有効回答者 500 人の属性（年齢・性別・住居形式・居住都市・家族人数・水道料金）を、表 1 に示した。

表 1 回答者の属性
i)年齢

20代 (20~29 歳)	98 人
30代 (30~39 歳)	100 人
40代 (40~49 歳)	102 人
50代 (50~59 歳)	101 人
60代以上	99 人

ii) 性別

男	248 人
女	246 人
回答しない	6 人

iii)住居形式

戸建て	148 人
マンション・アパート	352 人

iv)居住都市

東京都 23 区	288 人
横浜市	95 人
川崎市	37 人
相模原市	22 人
さいたま市	34 人
千葉市	28 人

v) 家族人数

1 人	132 人
2 人	148 人
3 人	118 人
4 人以上	102 人

vi)水道料金

3,999 円以下	164 人
4,000~7,999 円	181 人
8,000 円以上	155 人

4.2 サービスの需要比較

サービスごとの「利用意思」「提供意思」「支払意思」を明らかにし、サービス間の比較から、利用者がどのくらいそのサービスを利用したいと思っているのか、そのために水使用量データの提供や支払いなどをどの程度する可能性があるのかを調査した。

4.2.1 サービスの「利用意思」の比較

表2 サービスごとの「利用意思」の中央値

災害避難通知	70.0
クーポン	65.0
漏水発見	65.0
リアルタイム見える化	60.0
見守り	60.0
健康管理	51.5
災害備蓄	51.0
実店舗反映	51.0
ネット広告反映	48.0

表3 スティール-デュワズ検定による「利用意思」の多重比較

		<i>p</i> 値	有意差※
1 災害避難通知	2 災害備蓄	0.000	***
1 災害避難通知	3 健康管理	0.000	***
1 災害避難通知	4 見守り	0.000	***
1 災害避難通知	5 漏水発見	0.294	
1 災害避難通知	6 リアルタイム	0.010	***
1 災害避難通知	7 クーポン	0.369	
1 災害避難通知	8 ネット広告反映	0.000	***
1 災害避難通知	9 実店舗への反映	0.000	***
2 災害備蓄	3 健康管理	1.000	
2 災害備蓄	4 見守り	0.000	***
2 災害備蓄	5 漏水発見	0.000	***
2 災害備蓄	6 リアルタイム	0.000	***
2 災害備蓄	7 クーポン	0.000	***
2 災害備蓄	8 ネット広告反映	0.000	***
2 災害備蓄	9 実店舗への反映	0.753	
3 健康管理	4 見守り	0.000	***
3 健康管理	5 漏水発見	0.000	***
3 健康管理	6 リアルタイム	0.000	***
3 健康管理	7 クーポン	0.000	***
3 健康管理	8 ネット広告反映	0.000	***
3 健康管理	9 実店舗への反映	0.942	
4 見守り	5 漏水発見	0.061	*
4 見守り	6 リアルタイム	0.834	
4 見守り	7 クーポン	0.085	*
4 見守り	8 ネット広告反映	0.000	***
4 見守り	9 実店舗への反映	0.000	***
5 漏水発見	6 リアルタイム	0.898	
5 漏水発見	7 クーポン	1.000	
5 漏水発見	8 ネット広告反映	0.000	***
5 漏水発見	9 実店舗への反映	0.000	***
6 リアルタイム	7 クーポン	0.901	
6 リアルタイム	8 ネット広告反映	0.000	***

6 リアルタイム	9 実店舗への反映	0.000	***
7 クーポン	8 ネット広告反映	0.000	***
7 クーポン	9 実店舗への反映	0.000	***
8 ネット広告反映	9 実店舗への反映	0.000	***

※有意差あり ($p<0.05$) 有意傾向あり ($p<0.10$)

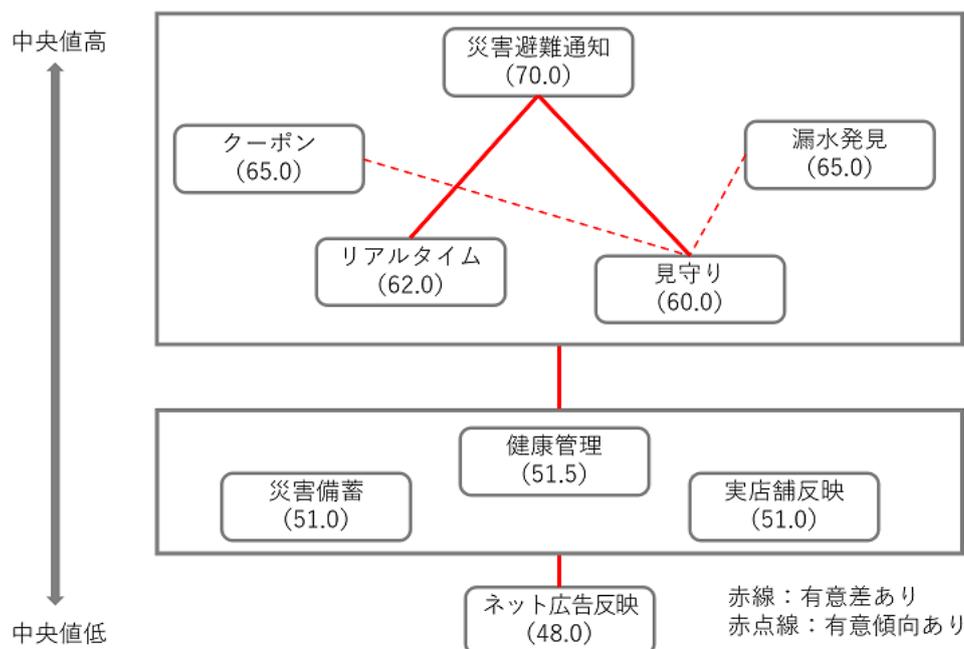


図2 サービスの「利用意思」の比較

有意差あり ($p<0.05$) 有意傾向あり ($p<0.10$)、() の数字は中央値

サービスの「利用意思」は、9つのサービス間で有意に差異があった（クラスカルウォリス検定、 $h=465$ ， $p=0.000$ ）。多重比較した結果を、表3および図2に示す。サービスの利用意思は、図2に示すように、3つのグループに分類できると考える。「利用意思」の高い順に、第一グループが「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「リアルタイム」「見守り」で、第二グループが「健康管理」「災害備蓄」「実店舗反映」、第三グループが「ネット広告反映」となった。

4.2.2 水道使用量データの「提供意思」の比較

表4 サービスごとの「提供意思」の中央値

災害避難通知	60.0
漏水発見	60.0
クーポン	59.0
リアルタイム	55.0

災害備蓄	55.0
見守り	52.0
健康管理	50.0
実店舗反映	50.0
ネット広告反映	50.0

表5 スティール-デュラス検定による「提供意思」の多重比較

		p 値	有意差※
1 災害避難通知	2 災害備蓄	0.125	
1 災害避難通知	3 健康管理	0.000	***
1 災害避難通知	4 見守り	0.011	**
1 災害避難通知	5 漏水発見	0.998	
1 災害避難通知	6 リアルタイム	0.261	
1 災害避難通知	7 クーポン	0.994	
1 災害避難通知	8 ネット広告反映	0.000	***
1 災害避難通知	9 実店舗への反映	0.000	***
2 災害備蓄	3 健康管理	0.008	***
2 災害備蓄	4 見守り	0.992	
2 災害備蓄	5 漏水発見	0.538	
2 災害備蓄	6 リアルタイム	1.000	
2 災害備蓄	7 クーポン	0.648	
2 災害備蓄	8 ネット広告反映	0.000	***
2 災害備蓄	9 実店舗への反映	0.000	***
3 健康管理	4 見守り	0.181	
3 健康管理	5 漏水発見	0.000	***
3 健康管理	6 リアルタイム	0.004	***
3 健康管理	7 クーポン	0.000	***
3 健康管理	8 ネット広告反映	0.175	
3 健康管理	9 実店舗への反映	0.898	
4 見守り	5 漏水発見	0.111	
4 見守り	6 リアルタイム	0.970	
4 見守り	7 クーポン	0.157	
4 見守り	8 ネット広告反映	0.000	***
4 見守り	9 実店舗への反映	0.002	***
5 漏水発見	6 リアルタイム	0.727	
5 漏水発見	7 クーポン	1.000	
5 漏水発見	8 ネット広告反映	0.000	***
5 漏水発見	9 実店舗への反映	0.000	***
6 リアルタイム	7 クーポン	0.826	
6 リアルタイム	8 ネット広告反映	0.000	***
6 リアルタイム	9 実店舗への反映	0.000	***
7 クーポン	8 ネット広告反映	0.000	***
7 クーポン	9 実店舗への反映	0.000	***
8 ネット広告反映	9 実店舗への反映	0.948	

※有意差あり ($p < 0.05$) 有意傾向あり ($p < 0.10$)

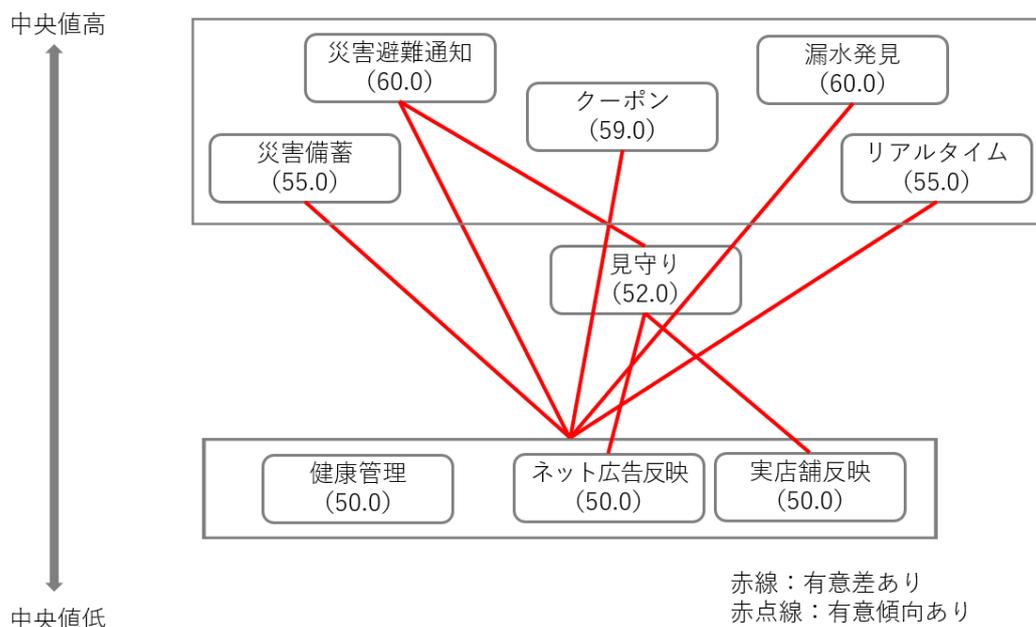


図3 「提供意思」の中央値比較
有意差あり($p < 0.05$)、()の数字は中央値

サービスの水道使用量データの「提供意思」は、9つのサービス間で有意に差異があった(クラスカルウォリス検定、 $h=165, p=0.000$)。多重比較した結果を、表5および図3に示す。水道使用量データの「提供意思」は、図3に示す3つのグループに分類できると考える。「提供意思」が高い順に、第一グループが「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「災害備蓄」「リアルタイム」で、第二グループが「見守り」、第三グループが「健康管理」「ネット広告反映」「実店舗反映」となった。「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「災害備蓄」「リアルタイム」は互いに有意差がなく、サービスに対する水道使用量データの「提供意思」は同程度と考えられる。「健康管理」「ネット広告反映」「実店舗反映」の3つは、他のサービスと比較して有意に「提供意思」が低く、これらのサービスへの水道使用量データの提供には壁があると考えられる。「見守り」は、「災害避難通知」よりも「提供意思」が有意に低く、また「健康管理」との間には有意差が存在しなかったことから、「提供意思」は中程度と見なすのが妥当と考える。

4.2.3 サービスへの「支払意思」の比較

表6 サービスごとの「支払意思」の中央値比較

見守り	50.0
災害備蓄	40.0
漏水発見	39.0
健康管理	30.0
リアルタイム	29.5

表7 スティール-デュワス検定による「支払意思」の多重比較

		<i>p</i> 値	有意差※
2 災害備蓄	3 健康管理	0.003	***
2 災害備蓄	4 見守り	0.033	***
2 災害備蓄	5 漏水発見	0.853	
2 災害備蓄	6 リアルタイム	0.000	***
3 健康管理	4 見守り	0.000	***
3 健康管理	5 漏水発見	0.049	**
3 健康管理	6 リアルタイム	0.983	
4 見守り	5 漏水発見	0.001	***
4 見守り	6 リアルタイム	0.000	***
5 漏水発見	6 リアルタイム	0.009	***

※有意差あり ($p < 0.05$) 有意傾向あり ($p < 0.10$)

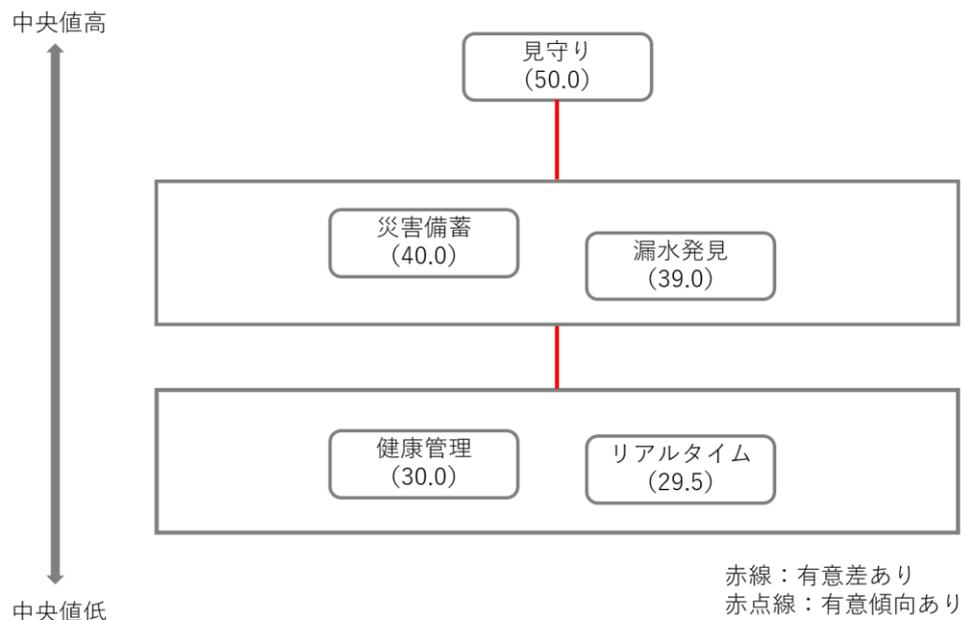


図4 「支払意思」の中央値比較
有意差あり($p<0.05$)、()の数字は中央値

サービスに対する「支払意思」は、5つのサービス間で有意に差異があった(クラスカルウォリス検定、 $h=165, p=0.000$)。多重比較をした結果を、表7および図4に示す。サービスに対する「支払意思」は、図4に示す三つのグループに分類できると考える。「支払意思」が高い順に、第一グループが「見守り」で、第二グループが「災害備蓄」「漏水発見」、第三グループが「健康管理」「リアルタイム」となった。「見守り」「漏水発見」「リアルタイム」は「利用意思」では同程度だったが、「支払意思」では明確な有意差があった。同様に「災害備蓄」「健康管理」も「利用意思」では同程度だったが、「支払意思」では明確な有意差があった。同程度に利用したいと思われているサービスの間でも、お金を支払うことへのハードルに差があると言える。

4.3 「利用意思」「提供意思」「支払意思」の関係

サービス毎に、スピアマンの順位相関係数を用いて「利用意思」「提供意思」「支払意思」の関係を明らかにした。

表8 「利用意思」と「提供意思」の関係

サービス	スピアマンの 順位相関係数
災害避難通知	0.580
災害備蓄	0.574
健康管理	0.757
見守り	0.727
漏水発見	0.653
リアルタイム	0.659
クーポン	0.665
ネット広告反映	0.762
実店舗反映	0.795

表9 「提供意思」と「支払い意思」の関係

サービス	スピアマンの 順位相関係数
災害備蓄	0.441
健康管理	0.461
見守り	0.598
漏水発見	0.277
リアルタイム	0.190

表10 「利用意思」と「支払意思」の関係

サービス	スピアマンの 順位相関係数
災害備蓄	0.530
健康管理	0.437
見守り	0.535
漏水発見	0.174
リアルタイム	0.096

「利用意思」と「提供意思」は、全てのサービス間で正の相関があり、特に「健康管理」「見守り」「ネット広告」「実店舗への反映」では、強い正の相関（1~0.7）があった。「災害避難通知」「災害備蓄」「漏水発見」「リアルタイム」「クーポン」に関しては、中程度の正の相関（0.7~0.4）があった。全てのサービスで「利用意思」と「提供意思」は中程度以上の正の相関があるので、「利用したい人=水道使用量データを提供してもよい人」か「利用したくない人=水道使用量データを提供したくない人」という傾向があると解釈できる。特に「見守り」と「健康管理」では強い正の相関があるため、その傾向が相対的に大きいと考えられる。

「提供意思」と「支払意思」の関係は、サービスによって異なる結果となった。「見守り」「災害備蓄」「健康管理」では中程度の正の相関があったが、「漏水発見」「リアルタイム」では相関がないという結果になった。「見守り」「健康管理」「災害備蓄」の場合、「水道使用量データを提供してもよい人=支払いたい人」か「提供したくない人=支払いたくない人」という傾向があると解釈できる。「漏水発見」「リアルタイム」の場合は、他サービスと比較して、「水道使用量データを提供してもよいがお金は支払いたくない」という傾向が強いと見なせる。

「利用意思」と「支払意思」の関係も、サービスによって異なる結果となった。「見守り」「健康管理」「災害備蓄」の場合、「利用意思」と「支払意思」に正の相関があるので、「利用したい人=支払いたい人」か「利用したくない人=支払いたくない人」という傾向があると解釈できる。「漏水発見」「リアルタイム」の場合、「利用意思」と「支払意思」には相関がなく、「サービスを利用したいがお金を支払いたくない」という傾向が強いといえる。

表 11 サービスごとの相関関係

サービス	「利用意思」と「提供意思」の相関関係	「提供意思」と「支払意思」の相関関係	「利用意思」と「支払意思」の相関関係
災害避難通知	++		
クーポン	++		
漏水発見	++	なし	なし
リアルタイム	++	なし	なし
見守り	+++	++	++
健康管理	+++	++	++
災害備蓄	++	++	++
ネット広告反映	+++		
実店舗反映	+++		

※相関係数 $r > 0.70$ のとき+++、 $0.40 < r < 0.70$ のとき++とする

4.4 回答者との属性との関係

サービスごとに、回答者の属性（表 12）が、「利用意思」「提供意思」「支払意思」に影響しているのかを分析した。

表 12 回答者の属性の分類

年齢	20代・30代・40代・50代・60代以上
性別	男性・女性
住居形式	マンションとアパート・戸建て
居住都市	東京都 23 区・横浜市・川崎市・相模原市・さいたま市・千葉市
家族人数	1人・2人・3人・4人以上
水道料金	3,999 円以下・4,000 円以上 6,999 円以下・7,000 円以上

4.4.1 災害避難通知サービス

表 13 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

年齢	「利用意思」	「提供意思」
20代	74.0	68.5
30代	77.0	60.0
40代	70.0	55.5
50代	63.0	53.0
60代以上	63.0	58.0

表 14 スティール-デュワズ検定による「利用意思」「提供意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.999		0.830	
20代	40代	0.625		0.061	*
20代	50代	0.037	**	0.040	**
20代	60代以上	0.033	**	0.170	
30代	40代	0.372		0.633	
30代	50代	0.014	**	0.452	
30代	60代以上	0.007	***	0.863	
40代	50代	0.611		0.995	
40代	60代以上	0.517		0.998	
50代	60代以上	1.000		0.939	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は、年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=18.9, p=0.000$ 、「提供意思」： $h=11.0, p=0.03$ ）。20代/30代の「利用意思」は、50代/60以上の「利用意思」よりも有意に高かった。また、20代の「提供意思」は、40代/50代の「提供意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。

「災害避難通知」サービスの需要は、年齢に影響されると言えるだろう。また、20代/30代のサービスへの「利用意思」が50代/60代以上の「利用意思」よりも有意に高かったことから、サービスに対する若い世代の需要がうかがえる。一方で、サービスへの高い利用意欲を示した20代/30代では、水使用量データの提供に対するハードルが異なる可能性がある。「提供意思」に関して、20代は40代/50代よりも有意に高かった一方で、30代は、40代/50代の間には有意差はなかった。このことから、30代は「利用意思」が高い割に、「提供意思」が低いといえるだろう。

4.4.2 災害備蓄サービス

表 15 性別ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

性別	「利用意思」	「提供意思」
男	54.0	59.0
女	50.5	52.0

表 16 年齢ごとの「提供意思」「支払意思」の中央値

年齢	「提供意思」	「支払意思」
20代	64.0	47.5
30代	54.5	38.0
40代	54.0	45.0
50代	51.0	45.0
60代以上	51.0	32.0

表 17 スティール-デュワス検定による「提供意思」「支払意思」の多重比較

年齢		「提供意思」		「支払意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20 代	30 代	0.826		0.144	
20 代	40 代	0.061	*	0.922	
20 代	50 代	0.039	**	0.404	
20 代	60 代以上	0.171		0.032	**
30 代	40 代	0.633		0.452	
30 代	50 代	0.452		0.934	
30 代	60 代以上	0.863		0.989	
40 代	50 代	0.995		0.771	
40 代	60 代以上	0.998		0.145	
50 代	60 代以上	0.939		0.638	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は性別間で有意な差異があり、いずれも男性の方が女性よりも有意に高かった（ウィルコクソンの順位和検定、「利用意思」： $w=26178, p=0.01$ 、「提供意思」： $w=26443, p=0.01$ ）。

「支払意思」は、年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、 $h=11.8, p=0.02$ ）。20代の「支払意思」は60代以上の「支払意思」よりも有意に高かった。「利用意思」「提供意思」は、年齢間で有意に異なる傾向があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=8.53, p=0.07$ 、「提供意思」： $h=8.46, p=0.08$ ）。20代の「提供意思」は、40代/50代の「提供意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。「利用意思」を年齢ごとに多重比較した結果、有意な差異はなかった。

「災害備蓄」サービスの需要は、性別と年齢に影響を受けることがわかった。特に、男性の方が女性よりも「利用意思」「提供意思」ともに有意に高く、サービスに対する男性からの需要を確認できた。また、20代は、40代/50代よりも「提供意思」が有意に高く、「サービス利用のために、水道使用量データを提供しても良い」と考える人が多いといえる。

4.4.3 健康管理サービス

表 18 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

年齢	「利用意思」	「提供意思」
20代	63.5	59.0
30代	57.5	51.0
40代	51.5	50.0
50代	51.0	50.0
60代以上	50.0	50.0

表 19 スティール-デュワズ検定による「利用意思」「提供意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.934		0.998	
20代	40代	0.245		0.081	*
20代	50代	0.116		0.223	
20代	60代以上	0.000	***	0.016	**
30代	40代	0.733		0.270	
30代	50代	0.600		0.544	
30代	60代以上	0.004	***	0.098	*
40代	50代	1.000		0.996	
40代	60代以上	0.164		0.966	
50代	60代以上	0.186		0.887	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

表 20 性別ごとの「利用意思」「提供意思」「支払意思」の中央値

性別	「利用意思」	「提供意思」	「支払意思」
男	56.0	52.0	31.5
女	50.0	50.0	26.0

表 21 水道料金ごとの「支払意思」の中央値

3,999円以下	35.0
4,000~6,999円	33.0
7,000円以上	24.0

表 22 スティール-デュワス検定による水道料金ごとの「支払意思」の多重比較

水道料金		p 値	有意差※
3,999 円以下	4,000~6,999 円	0.450	
3,999 円以下	7,000 円以上	0.020	**
4,000~6,999 円	7,000 円以上	0.274	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=21.989, p=0.000$ 、「提供意思」： $h=13.715, p=0.008$ ）。20代/30代の「利用意思」は、60代以上の「利用意思」よりも有意に高かった。また、20代の「提供意思」は、40代/60代の「提供意思」よりも有意に高い傾向があった。また、30代の「提供意思」は60代の「提供意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。

「利用意思」「提供意思」「支払意思」は性別間で有意な差異があり、いずれも男性の方が有意に高かった（ウィスコクソンの順位和検定、「利用意思」： $w=24279, p=0.000$ 、「提供意思」： $w=26180, p=0.006$ 、「支払意思」： $w=26600, p=0.013$ ）。

「支払意思」は水道料金間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、 $h=7.217, p=0.027$ ）。3,999円以下の人の「支払意思」は、7,000円以上の人の「支払意思」よりも有意に高かった。

健康管理サービスの需要は、年齢、性別、水道料金に影響を受けることがわかった。20代は「利用意思」「提供意思」とも60代以上の「利用意思」「提供意思」よりも有意に高く、サービスへの需要が感じられた。健康リスクが高いはずの60代以上の需要が、予想に反して低かった。30代も「利用意思」は20代と同程度だったが、「提供意思」は、20代より有意に低かった。30代は、「サービスを利用したいが、情報提供はしたくない」という人が20代よりも多いと考えられる。また、男性が「利用意思」「提供意思」「支払意思」の全てで有意に女性を上回り、男性の健康管理サービスに対する需要が感じられた。また、水道料金の安い人の方が、水道料金が高い人よりも「支払意思」が有意に高かった。

4.4.4 見守りサービス

表 23 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」「支払意思」の中央値

	「利用意思」	「提供意思」	「支払意思」
20代	69.5	64.5	54.5
30代	63.5	51.0	43.0
40代	60.0	52.5	50.0
50代	55.0	52.0	50.0
60代以上	53.0	51.0	34.0

表 24 スティール-デュワズ検定による「利用意思」「提供意思」「支払意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」		「支払意思」	
		p値	有意差※	p値	有意差※	p値	有意差※
20代	30代	0.903		0.621		0.054	*
20代	40代	1.000		0.118		0.576	
20代	50代	0.245		0.190		0.350	
20代	60代以上	0.163		0.015	**	0.005	***
30代	40代	0.923		0.997		0.643	
30代	50代	0.917		0.998		0.857	
30代	60代以上	0.815		0.721		0.897	
40代	50代	0.276		1.000		0.991	
40代	60代以上	0.182		0.909		0.140	
50代	60代以上	1.000		0.893		0.326	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」「支払意思」は年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=18.324, p=0.001$ 、「提供意思」： $h=10.119, p=0.04$ 、「支払意思」： $h=15.001, p=0.000$ ）。20代の「提供意思」は60代以上の「提供意思」よりも有意に高かった。20代の「支払意思」は30代/60代以上の「支払意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。「利用意思」を年齢ごとに多重比較した結果、有意な差異はなかった。

見守りサービスの需要は、年齢により影響を受けることがわかった。20代は60代以上より「提供意思」「支払意思」が有意に高く、20代は60代以上より、サービス利用にあたっての情報提供や金銭負担へのハードルが低いと言える。また、30代は、20代と「利用意思」「提供意思」が同程度であるのに対して、「支払意思」だけは有意に低かった。30代は「サービスを利用したいが、お金を支払いたくない」という人が多いと推測できる。

4.4.5 漏水発見サービス

表 25 年齢ごとの「支払意思」の中央値

20代	43.0
30代	30.0
40代	43.0
50代	40.0
60以上	34.0

表 26 スティール-デュワズ検定による「支払意思」の多重比較

年齢		p 値	有意差※
20 代	30 代	0.023	**
20 代	40 代	0.833	
20 代	50 代	0.212	
20 代	60 代以上	0.036	**
30 代	40 代	0.200	
30 代	50 代	0.846	
30 代	60 代以上	1.000	
40 代	50 代	0.744	
40 代	60 代以上	0.246	
50 代	60 代以上	0.840	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

表 27 水道料金ごとの「利用意思」の中央値

3,999 円以下	61.0
4,000~6,999 円	64.0
7,000 円以上	67.0

表 28 スティール-デュワズ検定による「利用意思」の多重比較

水道料金		p 値	有意差※
3,999 円以下	4,000~6,999 円	0.486	
~3,999 円以下	7,000 円以上	0.056	*
4,000~6,999 円	7,000 円以上	0.392	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「支払意思」は、年齢間で有意な差異があった(クラスカルウォリス検定、 $h=14.0, p=0.001$)。20 代の「支払意思」は、30 代/60 代以上の「支払意思」よりも有意に高かった。「利用意思」は、水道料金間で有意な差異があった(クラスカルウォリス検定、 $h=5.440, p=0.07$)。7,000 円以上の「利用意思」は、3,999 円以下の「利用意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。

漏水発見サービスの需要は、年齢と水道料金に影響を受けることがわかった。20 代は、30 代/60 代以上よりも、「サービスの利用のためお金を支払っても良い」と考える傾向が高く、サービス利用にあたっての金銭的負担へのハードルが低いと推測できる。また、水道

料金の高い人は、水道料金が安い人よりも「サービスの利用のためにお金を支払ってもよい」と考える傾向が高いと言える。水使用量が多い家庭では漏水時の被害額が大きくなるので、漏水を発見することへのインセンティブが高いと考える。

4.4.6 リアルタイム見える化サービス

表 29 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」「支払意思」の中央値

	「利用意思」	「提供意思」	「支払意思」
20代	72.5	64.5	41.0
30代	70.5	59.0	13.5
40代	57.5	53.0	34.5
50代	60.0	51.0	30.0
60以上	53.0	51.0	24.0

表 30 スティール-デュワズ検定による「利用意思」「提供意思」「支払意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」		「支払意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.986		0.986		0.002	***
20代	40代	0.001	***	0.001	***	0.557	
20代	50代	0.005	***	0.005	***	0.236	
20代	60代以上	0.000	***	0.000	***	0.013	**
30代	40代	0.015	**	0.015	**	0.081	*
30代	50代	0.039	**	0.034	**	0.406	
30代	60代以上	0.002	***	0.002	***	0.987	
40代	50代	0.999		0.999		0.889	
40代	60代以上	0.888		0.888		0.224	
50代	60代以上	0.832		0.832		0.807	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

表 31 水道料金ごとの「利用意思」「支払意思」の中央値

	「利用意思」	「支払意思」
3,999円以下	57.0	32.0
4,000~6,999円	61.0	36.0
7,000円以上	70.0	22.0

表 32 スティール-デュワス検定による「利用意思」「支払意思」の多重比較

水道料金		「利用意思」		「支払意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
3,999 円以下	4,000~6,999 円	0.754		0.835	
3,999 円以下	7,000 円以上	0.051	*	0.028	**
4,000~6,999 円	7,000 円以上	0.102		0.004	***

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」「支払意思」は、年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=32.320, p=0.000$ 、「提供意思」： $h=13.785, p=0.008$ 、「支払意思」 $h=18.705, p=0.000$ ）。20代/30代の「利用意思」「提供意思」は、40代/50代/60代以上の「利用意思」「提供意思」よりも有意に高かった。また、20代の「支払意思」は、30代/60代以上の「支払意思」よりも有意に高かった。また、40代の「支払意思」は30代の「支払意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。

また「利用意思」「支払意思」は、水道料金間でも有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=6.636, p=0.036$ 、「支払意思」： $h=6.444, p=0.009$ ）。料金が7,000円以上の人の「利用意思」は、料金が3,999円以下の人の「利用意思」よりも有意に高い傾向が確認できた。また、料金が3,999円以下および4,000~6,999円の人「支払意思」は料金が7,000円以上の人の「支払意思」よりも有意に高かった。

また「利用意思」は、家族人数間で有意傾向な差異が確認できた（クラスカルウォリス検定、 $h=14.0, p=0.001$ ）。

リアルタイム見える化サービスの需要は、年齢と水道料金と家族人数に影響を受けることがわかった。20代および30代の「利用意思」と「提供意思」は高く、一方で40代以上では低かった。ただ「支払意思」に関して30代は40代よりも低く、30代は「利用したいし情報提供もするけど、お金は支払いたくない」という人が多いことが推測できる。20代は「支払意思」も高く、リアルタイム見える化サービスへの需要が最も高いと言える。また水道料金が高い人がこのサービスを利用したいと答える傾向があり、見える化を通じた節水効果を期待していると推測できる。ただし、水道料金の高い人の「支払意思」は水道料金の安い人の「支払意思」よりも有意に低かった。このことから、水道料金の高い人には「サービスを利用したいが、お金を払うほどではない」という人が多いと推測できる。

4.4.7 クーポン配布サービス

表 33 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

年齢	「利用意思」	「提供意思」
20代	75.5	67.0
30代	71.0	60.0
40代	60.0	53.5
50代	68.0	55.0
60以上	55.0	54.0

表 34 スティール-デュワズ検定による「利用意思」「提供意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.712		0.712	
20代	40代	0.000	***	0.000	***
20代	50代	0.004	***	0.004	***
20代	60代以上	0.000	***	0.000	***
30代	40代	0.002	***	0.022	**
30代	50代	0.421		0.421	
30代	60代以上	0.026	**	0.026	**
40代	50代	0.349		0.349	
40代	60代以上	1.000		1.000	
50代	60代以上	0.497		0.498	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=37.957, p=0.000$ 、「提供意思」： $h=14.392, p=0.006$ ）。20代の「利用意思」「提供意思」は、40代/50代/60代以上の「利用意思」よりも有意に高かった。また、30代の「利用意思」「提供意思」は40代/60代以上の「利用意思」よりも有意に高かった。

クーポン配布サービスの需要は、年齢に影響をうけることがわかった。20代/30代の「利用意思」「提供意思」は、40代/60代以上の「利用意思」「提供意思」よりも有意に高く、「サービスを利用したいし、そのために水使用量情報を提供しても良い」という人が多いと推測できる。サービスに対する若者の需要が感じられた。

4.4.8 ネット広告反映サービス

表 35 性別ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

性別	「利用意思」	「提供意思」
男	50.0	50.5
女	40.5	50.0

表 36 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

年齢	「利用意思」	「提供意思」
20代	50.5	58.5
30代	47.0	50.0
40代	44.0	46.0
50代	50.0	50.0
60代以上	42.0	50.0

表 37 スティール-デュワス検定による「利用意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.257		0.182	
20代	40代	0.113		0.002	***
20代	50代	0.180		0.007	***
20代	60代以上	0.041	**	0.044	**
30代	40代	0.995		0.788	
30代	50代	1.000		0.840	
30代	60代以上	0.963		0.998	
40代	50代	0.998		1.000	
40代	60代以上	0.995		0.973	
50代	60代以上	0.970		0.915	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は性別間で有意な差異があり、男性の方が女性よりも有意に高かった（ウィスコクソンの順位和検定、「利用意思」： $w=26218, p=0.006$ 、「提供意思」： $w=26626, p=0.014$ ）。

「利用意思」「提供意思」は年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=9.475, p=0.05$ 、「提供意思」： $h=18.9, p=0.000$ ）。20代の「利用意思」は60代以上の「提供意思」よりも有意に高く、20代の「提供意思」は、40代/50代/60以上の

「提供意思」よりも有意に高かった。

ネット広告反映サービスの需要は、性別と年齢に影響されることがわかった。男性の方が女性よりもサービスの「利用意思」「提供意思」ともに有意に高く、男性からの需要を確認できた。また、20代は、「利用意思」が60代よりも有意に高く、「提供意思」も40代以上より有意に高かった。このことから、20代は「サービスを利用したいし、水使用量情報を提供しても良い」という人が多いことが推測でき、需要が高いことが推測される。

4.4.9 実店舗反映サービス

表 38 年齢ごとの「利用意思」「提供意思」の中央値

年齢	「利用意思」	「提供意思」
20代	63.5	60.0
30代	50.5	50.0
40代	50.0	50.0
50代	50.0	50.0
60代以上	50.0	50.0

表 39 スティール-デュワズ検定による「利用意思」の多重比較

年齢		「利用意思」		「提供意思」	
		<i>p</i> 値	有意差※	<i>p</i> 値	有意差※
20代	30代	0.143		0.504	
20代	40代	0.002	***	0.003	***
20代	50代	0.003	***	0.011	**
20代	60代以上	0.000	***	0.004	***
30代	40代	0.595		0.368	
30代	50代	0.646		0.572	
30代	60代以上	0.311		0.392	
40代	50代	1.000		0.998	
40代	60代以上	0.972		1.000	
50代	60代以上	0.984		0.991	

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

表 40 性別ごとの「利用意思」の中央値

男	51.5
女	50.0

表 41 家族人数ごとの「利用意思」の中央値

1人	51.0
2人	50.0
3人	50.0
4人以上	54.0

表 42 スティール-デュワス検定による「利用意思」の多重比較

家族人数		p値	有意差※
1人	2人	0.926	
1人	3人	0.914	
1人	4人以上	0.173	
2人	3人	0.989	
2人	4人以上	0.024	**
3人	4人以上	0.022	**

※ *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

「利用意思」「提供意思」は年齢間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、「利用意思」： $h=24.578, p=0.000$ 、「提供意思」： $h=18.811, p=0.001$ ）。20代の「利用意思」「提供意思」は、40代/50代/60代の「利用意思」「提供意思」よりも有意に高かった。

「利用意思」は性別間で有意な差異があり、男性の方が女性よりも有意に高かった（ウィルコクソンの順位和検定、 $w=25877, p=0.003$ ）。

また、「利用意思」は、家族人数間で有意な差異があった（クラスカルウォリス検定、 $h=10.016, p=0.018$ ）。家族が4人以上いる人の「利用意思」は、家族が2人および3人の人の「利用意思」よりも有意に高かった。

実店舗反映サービスの需要は、年齢と性別と家族人数に影響を受けていることがわかった。20代は、40代以上よりも「利用意思」「提供意思」が有意に高く、「サービスを利用したいし、そのために水道使用量情報を提供しても良い」という人が多いと推測できる。また、男性の「利用意思」が女性よりも有意に高く、男性からの需要の方が高いようだ。また、家族人数に関しては4人以上家族がいる人の「利用意思」が有意に高く、ファミリー層からの需要の可能性が推測できる。

5. 結論

水道スマートメータ導入を加速させるため、水道使用量データを活用したダイヤモンドサイド向けの9つのサービス案を提示し、モニター500人を対象として、サービスの「利用意思」、水道使用量データの「提供意思」、サービスに対する「支払意思」を調査した結果、以下の点が明らかになった。

①提案サービスに対する評価

- 1) 「利用意思」を、9つのサービス間で順位付けることができた。「利用意思」が高い順に、第一グループが「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「リアルタイム」「見守り」、第二グループが「健康管理」「災害備蓄」「実店舗反映」、第三グループが「ネット広告反映」となった。
- 2) 「提供意思」を、9つのサービス間で順位付けることができた。「提供意思」が高い順に、第一グループが「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「災害備蓄」「リアルタイム」、第二グループが「見守り」、第三グループが「健康管理」「ネット広告反映」「実店舗反映」となった。
- 3) 「支払意思」を、5つのサービス間で順位付けることができた。「支払意思」が高い順に、第一グループが「見守り」、第二グループが「災害備蓄」「漏水発見」、第三グループが「健康管理」「リアルタイム」となった。

②「利用意思」「提供意思」「支払意思」の関係性

サービスごとに、「利用意思」と「提供意思」の関係、「提供意思」と「支払意思」の関係、「利用意思」と「支払意思」の関係を提示できた。

③サービスの需要に影響を与える要因

サービスごとに、「利用意思」「提供意思」「支払意思」が、どの属性（年齢・性別・居住形式・居住都市・家族人数・水道料金）に影響を受けるのかを提示できた。

5.1 提案サービスに対する評価について

サービスを利用したいと考える人が、有意に多かった「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「リアルタイム」「見守り」は、サービスとしての需要が相対的に高いと考えられる。また、水道データを利活用したサービスを実装するためには、個人情報である水道使用量データを提供してもらう必要があるため、上記5サービスの中でも、「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「リアルタイム」は、「提供意思」が他のサービスより有意に高いため、実現できる可能性が相対的に高い有望なサービスだといえるだろう。ただし、「リアルタイム」に関しては、「支払意思」が他のサービスよりも有意に低いことから、サービス利用のためにお金を支払うことに抵抗を感じる人が多いと考えられる。サービスの継続的な提供のため

めには、対価として利用者にお金を支払ってもらう必要があるので、今後「リアルタイム」サービスを実装するには、さらなる付加価値が求められるだろう。

相関分析の結果から、「漏水発見」サービスは、「利用したいがお金は支払いたくない」という傾向が他のサービスと比較して強いことが明らかになった。その意味では、「見守り」サービスは「支払意思」が他のサービスよりも有意に高く、「サービス利用にあたりお金を支払ってもよい」と言う人が多いことから、事業性は高いと考えられる。

5.2 「利用意思」「提供意思」「支払意思」の関係性について

「利用意思」と「提供意思」はすべてのサービスにおいて中程度以上の正の相関があり、サービスを利用したい人＝水使用量データを提供してもよい人、という傾向がみられた。サービスを実装する上では、使用者からの水使用量データ提供の承諾が必要不可欠であるが、個人情報である生活データの提供に抵抗を感じる人も多く、課題の一つとされている。その中で、利用したいと思うサービスを作れば、水使用量データの提供も許容する可能性があるという解決策を示唆できた。また①でも説明したが、「利用意思」と「支払意思」の相関から、「リアルタイム」や「漏水発見」のような「利用したいがお金は支払いたくない」という傾向が相対的にあるサービスと、「見守り」「健康管理」「災害備蓄」など「利用のためにお金を支払ってもよい」という傾向があるサービスに分類できた。

5.3 サービスの需要に影響を与える要因について

サービスの「利用意思」「提供意思」「支払意思」に影響を与える属性として、年齢、性別、水道料金、家族人数、があがった。なかでも、年齢がサービスへの評価に影響を与える場合が多く、すべてのサービスにおいて、年齢による評価の有意差（有意傾向を含む）が見られた。全体の傾向として、若い世代、特に20代は「利用意思」「提供意思」「支払意思」ともに、他の世代（特に60代以上）より有意に高く、「リアルタイム」「災害避難通知」「クーポン」では特にその傾向が強かった。（「リアルタイム」では20代/30代の「利用意思」「提供意思」が、40代/50代/60代以上「利用意思」「提供意思」よりも有意に高く、「災害避難通知」では20代/30代の「利用意思」が50代/60代以上の「利用意思」よりも有意に高かった。「クーポン」では20代/30代の「利用意思」「提供意思」が40代/60代以上の「利用意思」「提供意思」よりも有意に高く、20代については、50代と比較しても有意に高かった。）高齢者の利用を見込んでいた「健康管理」サービスにおいても同様であり、予想とは反して60代以上よりも20代の「利用意思」が有意に高くなる結果となった。

一方で、20代と30代では、「支払意思」に関しては大きく異なる傾向がある。30代は60代と同じくらい「支払意思」が低い傾向があり、「支払意思」も高い20代と有意な差が出るサービスがみられた（「見守り」「漏水発見」「リアルタイム」）。このように、年齢によってサービスへの評価にはばらつきが見られた。

このように、水道使用量データを活用した新サービスを提案し、その実装に向けて重要な示唆を本研究では示すことができたと考える。

今後のサービスの提案にあたっては、以下のような課題がある。

- ・「災害避難通知」「漏水発見」「クーポン」「リアルタイム」など、需要が高いと考えられるサービスについて、「どこに魅力を感じたのか」を特定する
- ・「利用したいけれどお金は支払いたくない」サービスと「お金を支払ってでも利用したい」サービスがあることを認識し、前者に関してはさらなる付加価値向上を目指す
- ・年齢によるニーズの差異（若い世代の需要が高い、高齢世代の需要が低い）に関して、その理由を分析し、より幅広い世代に受け入れられるサービスの提案、もしくはより年齢に特化したサービスの提案に繋げる

水道スマートメータの導入のインセンティブになり得る、水道使用量データの利活用サービスを提案することは意義深く、関連の取り組みを引き続き注視したい。

<参考文献>

公共財団法人水道技術研究センター,A-Smart プロジェクト(2018.3)「スマート水道メータ導入の手引き」

<インターネット上の文献と資料>

以下参照 URL は 2021 年 1 月 28 日時点である。

経済産業省商務情報政策局情報産業課（平成 30 年 7 月）「スマートライフ政策について」（https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/smart_life/pdf/smart_life_180713.pdf）

斉藤晴茂(2016.8.26)「水道スマートメータの価値を考える」

(http://www.jwrc-net.or.jp/kenshuu-koushuu/handout/sk04_03.pdf)

資源エネルギー庁（2020.3）「電量データの有効活用について」

(<https://www8.cao.go.jp/kiseikaikaku/kisei/meeting/wg/seicho/20200319/200319seicho02.pdf>)

新エネルギー・産業技術総合開発機構(2019.6.22)「IoT センサを活用した新産業モデル創出基盤整備事業 研究開発項目(6)IoT 技術を活用したライフデータの高度利用システムの開発 IoT 家電・センサーからのライフデータによる高齢者の生活サポートサービス基盤の研究開発」

(https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html)

新エネルギー・産業技術総合開発機構（2019.6.22）「IoT センサを活用した新産業モデル創

出基盤整備事業 研究開発項目(6)IoT 技術を活用したライフデータの高度利用システムの開発 高齢者の健康増進・介護負担軽減のためのライフデータ利活用プラットフォームの研究開発と実証実験」

(https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html)

新エネルギー・産業技術総合開発機構(2019.10.4)「IoT を活用した新産業モデル創出基盤整備事業」

(<https://www.nedo.go.jp/content/100899064.pdf>)

JWRC (2019.9)「海外の水道事業におけるスマートメーターの利用状況」

(<http://www.jwrc-net.or.jp/chousa-kenkyuu/comparison/abroad06.pdf>)

仙台市(平成23年9月)「東日本大震災における市民アンケート調査」

(<https://www.city.sendai.jp/kekaku/kurashi/anzen/saigaitaisaku/kanren/documents/houkokuusyosyo3.pdf>)

東京都水道局(2020.3.19)「水道スマートメータリアルプロジェクト実施プラン」

(<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2020/03/19/documents/18.pdf>)

山口哲生(2020.2.10)「グリッドデータバンク・ラボの取り組みについて～電力データの活用に向けた環境整備～」

(https://www.soumu.go.jp/main_content/000683154.pdf)

<Web サイト>

川崎市 HP

(<https://www.city.kawasaki.jp/shisei/category/51-4-3-2-0-0-0-0-0-0-0.html>)

さいたま市 HP

(<https://www.city.saitama.jp/006/013/005/001/index.html>)

相模原市 HP

(<https://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/toukei/1010325/jinko/index.html>)

新エネルギー・産業技術総合開発機構

(https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101002.html)

千葉市 HP

(<https://www.city.chiba.jp/sogoseisaku/sogoseisaku/kikaku/tokei/jinkou-jyuki.html>)

東京都の統計

(<https://www.toukei.metro.tokyo.lg.jp/juukiy/2020/jy20000001.htm>)

「トクする!防災」プロジェクト

(<https://tokusuru-bosai.jp/try/try20.html>)

横浜市 HP

(<https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/yokohamashi/tokei-chosa/portal/jinko/>)

多様な料金制度の検討

—電力消費データ分析の経緯と事例の検証—

研究分担者 穴山悌三 公立大学法人長野県立大学・教授

森由美子 東海大学・教授

<本稿の構成>

1. 本稿の位置付け
2. 電力消費データ分析の経緯
3. 近年の主たる電力消費データ分析の動向
4. 近年のわが国における具体的な分析事例
5. 水道料金制度検討を念頭に置く観点からの留意点
6. 本稿の成果と課題
7. 主要文献リスト

1. 本稿の位置付け

本稿は、現在に至る電力消費データ分析の動向と研究事例を調査し、検証を加え、ひいては水使用量データを活用した新たな料金制度の検討に役立てることを狙いとした研究成果をディスカッションペーパーとしてとりまとめたものである。

2. 電力消費データ分析の経緯

(1) 歴史的経緯

経済学における市場分析においては、一般に需要曲線や需要の価格弾力性の推計を行い、当該市場の態様を明らかにすることが試みられる。電気は特殊な財であり¹、必需的な性格も有することから、非弾力的な財（価格が変化しても需要の変化量が相対的に小さい財）であるということが共通理解となる一方で、その確実な供給には中長期的な観点からの設備投資を必要とすることから、伝統的な料金理論における「ピーク・ロード・プライシング（peak-load pricing）」の研究が多く重ねられ、その過程において需要の価格弾力性が推計されてき

¹ 穴山[2005]は、電気という財の特質として、①非貯蔵性、②同質性、③共通必需性、④ネットワークシステム供給、⑤装置型産業、⑥サービス製品を挙げている。

た。たとえば Matsukawa[2001]は、1993年の日本の東北4県の家計の時間帯別需要データから需要関数を推計して、時間帯別電灯料金選択家計の価格弾力性（絶対値表示）を、ピーク時：0.70～0.78、オフピーク時：0.51～0.72と推計している。

また、特に1980年代以降のわが国においては、夏季平日のピーク時間帯の需要の尖鋭化が電力設備投資額の増嵩を招き、電気事業者の財務体質悪化が深刻な経営問題となっていた。当時の円高差益還元を求める社会的要請や、広く規制改革を求める声が高まっていたことなどもあって、電気事業制度改革の検討が進んでいたが、併せて先鋭化するピーク需要をいかに平準化するかが社会的にも重要な問題であった。このための試みの一環として、前述のピークロード料金の在り方が検討され、たとえば1996年から1999年にかけて福岡で実施された夏季平日のピーク時間帯の電力消費量削減に応じて協力金を支払う実験では、電力需要の協力金単価に関する弾力性（絶対値表示）は0.06～0.14（松川[2003]）であった。

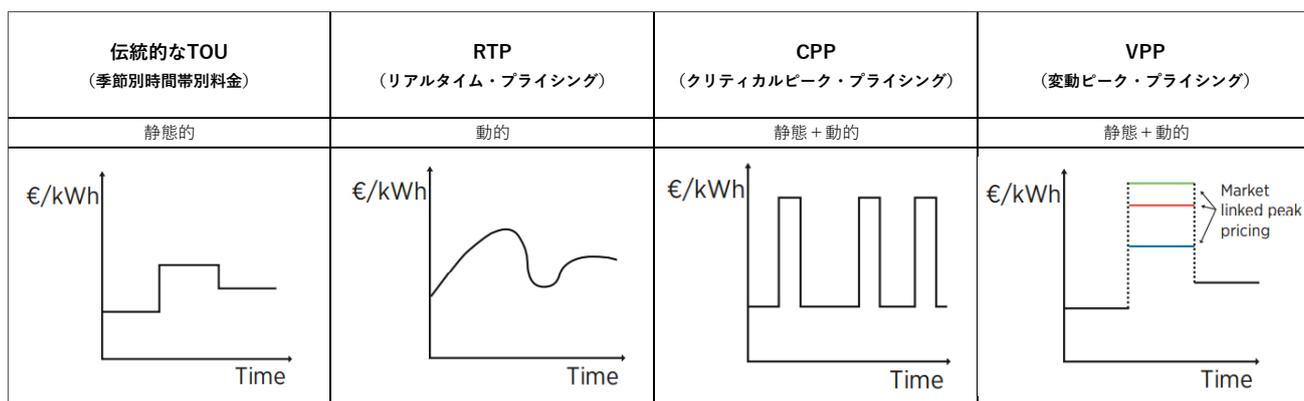
このような「需要家側に何らかの働きかけを行い、電力の使い方を社会的に望ましい形に誘導すること」を「デマンドサイド・マネジメント（Demand-Side Management: DSM）」といい、DSMは電力負荷を直接的ないし間接的に制御すること（ロード・マネジメント）を試みた米国における統合資源計画（Integrated Resource Planning）の流れも汲んでいる。DSMのうち特に「時間的に変化する電力価格、もしくは卸電力価格高騰時や需給逼迫時に電力使用を減らすように設計された報酬に反応して、最終需要家自らが通常の電力消費パターンから電力使用を変化させること」（浅野・永田[2015]）は「デマンド・レスポンス（Demand Response: DR）」と呼ばれる²。DRの分類として、後述する価格が変化するように設計された料金体系を「価格ベースのプログラム（Price-based Programs）」と呼び、計器や電気機器の直接制御（Direct Load Control: DLC）や電力負荷を遮断ないし削減するプログラム（Interruptible/Curtailable Load Programs）などのように、需要削減に対するインセンティブの支払を行う「誘因ベースのプログラム（Incentive-based Programs）」と区別することができる。

どのタイプのDRであっても基本的な手法として家庭用需要家向けの情報提供が行われ、いわゆる「見える化」などが行われる。わが国ではHEMS（Home Energy Management System）と呼ばれる家庭における機器制御システムが開発されてきたが、需要家に対して家

² 米国連邦規制当局（Federal Energy Regulatory Commission: FERC）のDRの定義は「時間経過に伴う電力価格の変化、または卸売市場価格が高いときやシステムの信頼性が危険にさらされているときに電力使用量を減らすように設計されたインセンティブ支払いに応じた、最終消費者による通常の消費パターンからの電力使用量の変化」である。他に米国エネルギー省（DOE）や研究論文等にそれぞれ定義がある。

庭内の情報端末や表示器を介して使用情報を伝え、電力消費量の変化を促す試みは、NEDOプロジェクトなどでも実施されてきた。また、電力料金を随時変化させて電力消費量の変化を促す「ダイナミック・プライシング (Dynamic Pricing: DP)」については、主として計量上の課題などから主として産業用・業務用等の大口需要家向けの実験として、1980年代以降に国内外で行われてきた経緯がある。

DRについて、大口需要家のみならず家庭用需要家が対象となる検討が本格的に進んだのは、電気事業制度改革を通じて市場取引の依存度を高めていた米国のカリフォルニア州における2000～2001年の深刻な電力危機や2003年の北米大停電が発生した2000年代以降のことである。電力危機は電力市場の不完全性とピークロード・マネジメントの重要性を改めて明確化し、これを踏まえたDR、たとえば従前からの季節別時間帯別料金制度 (Time-of-Use: TOU) に加え、卸電力市場価格を柔軟に小売価格へ連動させるリアルタイム・プライシング (Real Time Pricing: RTP) や、電力需給のタイト化が予想される緊急ピーク時に特別な価格を提示するクリティカルピーク・プライシング (Critical Peak Pricing: CPP)³、市場価格に連動してピーク時の料金を変動させる変動ピーク・プライシング (Variable Peak Pricing: VPP) などに関する研究の蓄積や制度面への応用が従前以上に盛んに行われるようになった。



(出所) IRENA[2019]等を参考に作成。図部分は同Table1から引用。

(図1) DR料金体系の例

また情報通信技術の発展と再生可能エネルギーを含む分散型電源の相対的な効率性向上

³ DPは課金水準を変化させることによって消費行動変化を促すが、他方で報奨(リベートなど)のようにインセンティブを付与する方式もあり、たとえばCPPに対応する方式はクリティカル・ピーク・リベート(Critical Peak Rebate: CPR)と呼ばれる。これらは理論的には同等の効果を持つことが予想されるが、実証実験においては、後述するように行動経済学的なバイアス等の存在によって実質的な効果が異なることが多い。

等を背景として、電力系統を地域的に最適制御するスマートグリッド（Smart Grid）と呼ばれる概念が普及し⁴、その一つの要素としてスマートメーターを活用した多種多様な DR が検討されるに至った。スマートグリッドのシステムを構成する要素としては、スマートメーターの他に、配電設備網(distribution grids)に接続される分散型電源(distributed generation: DG)、マイクログリッド(microgrids: MGs)、蓄電システム(energy storage systems: ESSs)、電気自動車(electric vehicles: EVs)などがあり、分散型エネルギー資源(distributed energy resources: DERs)と総称される。DRもその一つの資源と見なされる(DR resources)。

スマートメーター⁵については、年間50～100時間程度の夏季ピーク需要の抑制を主に目的としたカリフォルニア州での導入以外に、2000年代初めからイタリア、スウェーデン、オランダ、カナダ、オーストラリアにおいても導入が進みつつあったが、2009年のEU指令で「2020年までに少なくとも80%の需要家にスマートメーターを導入(to be equipped with intelligent metering systems)」とされてから導入が加速し、現在は2020～2025年に殆どの加盟国で目標達成すると見込まれている⁶。スマートメーター導入の費用対効果の分析では、標準的なメーター費用の回避や検針費用の節減以上に電力費用の節減に資することが見込まれている⁷。

他方、わが国でも、電気事業制度改革における小売自由化範囲拡大の検討にあたり、家庭用需要家の供給事業者変更(スイッチング)にはスマートメーターの普及拡大が有効ではないかとの問題意識があり各一般電気事業者は原則全家庭に対する導入計画を立案していた。また変動性電源である再生可能エネルギーを導入するための課題解決を図る必要もあって、次世代型のスマートコミュニティ⁸に対する関心も高まっていたことから、2009年11月に

⁴ 依田・田中・伊藤[2017]は、その契機を2009年の米国オバマ大統領就任後の景気対策としてグリーン・ニューディール政策が打ち出され、スマートグリッド関連予算が多数の実証事業を可能にしたことを挙げている。

⁵ スマートメーターの「スマート」は、“Advanced metering infrastructure (AMI)”とも称される。

⁶ smartEn[2020]によれば、欧州10か国(フランス、フィンランド、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、ルーマニア、スロベニア、スペイン、英国)のうち7か国でスマートメーター導入済みであり、イタリアとスロベニアも2025年までには全戸導入予定で、ドイツのみ今後8年で大口需要家とプロシューマー(太陽光発電設置者等)へのスマートメーター導入と他の消費者へのデジタル・メーター(後日スマートメーターにアップデート可能なもの)を導入としている。ただしこれらのスマートメーターがエネルギー・マネジメント・システムやスマートグリッドと相互接続可能なのは、まだフランス、フィンランド、イタリア、英国の4か国にとどまっている。

⁷ たとえばTorriti[2020]ではドイツの試算結果としてその効果がメーター1個あたり年間240ユーロに達すると紹介している。

⁸ スマートコミュニティという用語は、わが国の2014年4月閣議決定のエネルギー基本計画において

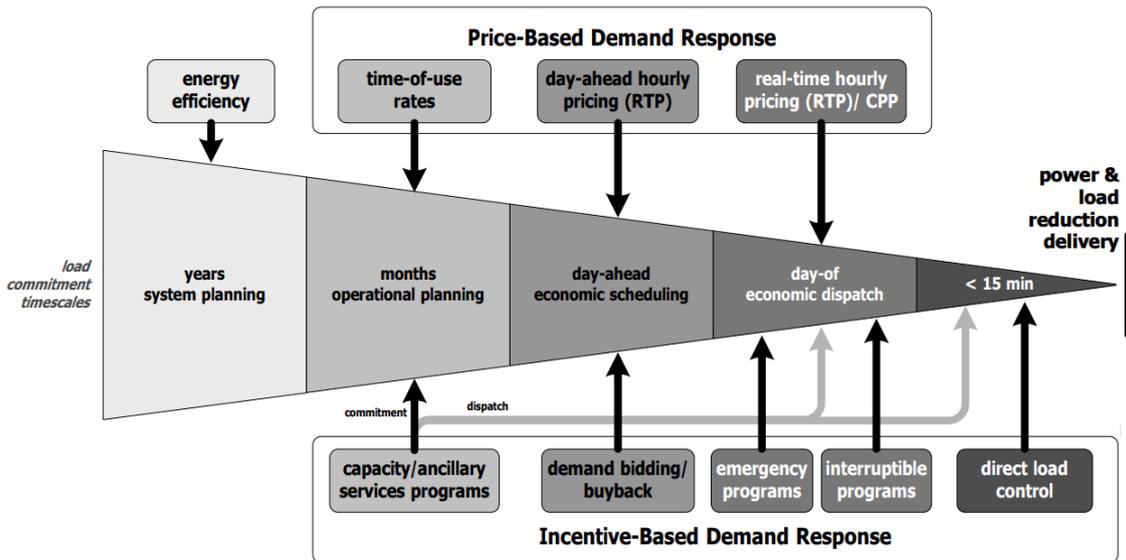
は次世代エネルギー・社会システム実証事業が立ち上がり、この事業の一環として、横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市の4地域でDRを含むフィールド実験が設計され、2011～2014年度にDRの経済効果が測定された。なお、このように2011年3月の東日本大震災とこれに伴う原子力発電所事故後の需給逼迫の経験前からDRの活用に関する問題意識と検討は継続して存在していたが、震災後の社会的認知は大きく高まっている(4地域実証結果をまとめた論文・著作として依田・田中・伊藤[2015]やMatsukawa[2016]などがある)。

なおDRの効果は、狭義には電力消費量の抑制もしくはシフトを指すが、電気という財の特質に即して時間軸の異なる効果を有する。すなわち、事故発生時の対応のための予備力対応(Contingency)、風力や太陽光等の変動性電源への柔軟な対応(Flexibility)、中長期的な電源代替としての容量面での対応(Capacity)である(Olsen, et al.[2013]、Lee et al. [2016])。品質維持のための系統安定機能はアンシラリー・サービス(Ancillary Service: AS)と呼ばれ、電力市場において重要な役割を果たしているが、電力におけるDR分析を論じる際は、これら容量市場やAS市場との関係についても念頭に置く必要がある(Du, et al.[2019], Ch.1 他を参照)。ただし電力品質の維持を目的とする場合、価格ベースのDRでは応答が遅れるため有効に機能し得ないのではないかと指摘がされており、効率的なエネルギー・マネジメント・システム(EMS)の有無がポイントとなる(Joskow and Wolfram[2012])。

DRは需要家が価格やインセンティブに反応して需要を変動させることから最終小売市場での需要家行動を指す場合が多いが、たとえば米国のPJMやMISO(Midcontinent Independent System Operator)の独立系統運用者(ISO)が管轄する地域の電力市場では、卸市場等でDRが行われている(Dahlke and Prorok[2019]、Hale et al.[2018])。この場合、最適化問題は需要家の費用節減に止まらず、系統全体での環境負荷や経済性を考慮した予備力確保費用の最小化等がターゲットとなり、別途その計算が行われる(Shehata[2019]など)。

以上のDRを、実際に電力が消費される実需要時に至るまでのタイムラインに並べると、次頁図2のようになり、品質維持のための電力系統運用上、実需の直前になるほど迅速で確実なDRコントロールが必要になる。

「再生可能エネルギーやコージェネレーション等の分散型エネルギーを用いつつ、ITや蓄電池等の技術を活用したエネルギー・マネジメント・システムを通じて、分散型エネルギーシステムにおけるエネルギー需給を総合的に管理し、エネルギーの利活用を最適化するとともに、高齢者の見守りなど他の生活支援サービスも取り込んだ新たな社会システムを構築したもの」と定義されている。



(出所) U.S. Department of Energy [2006], Fig.2-3, p.15.

(図2) 実需要までの DR 手段

(2) DR に関する主な実証の成果 (日本の4地域実証)

わが国の代表的な DR 実証である 2010 年代前半の 4 地域実証の成果を確認しておく⁹。4 地域で実証した DR の概要は図3の通りである。

		制御手法		
		電気料金の表示	電気料金の表示 + リコメド (省エネコンサル)	電気料金の表示 + 自動制御
料金メニューによる効果	TOU (※1)	けいはんな	けいはんな <省エネコンサル>	横浜 <エアコン>
	CPP (※2)	北九州 <料金変動> その他3地域 <ポイント与奪>	豊田 <Webポータル、スマートフォン、フォトフレームで節電行動アドバイス> けいはんな <省エネコンサル>	横浜 <エアコン> 豊田 <エアコン、照明、TV>
	RTP (※3)	豊田 <Webポータル、スマートフォン、フォトフレームで地域内ランキング、電気料金等表示>	豊田 <Webポータル、スマートフォン、フォトフレームで節電行動アドバイス>	豊田 <蓄電池、PHV>

(※1) TOU(Time of Use) : 時間帯別料金 (時間帯に応じて異なる料金を課すもの)

(※2) CPP(Critical Peak Pricing) : ピーク別料金 (需給が逼迫しそうな場合に、事前通知をした上で変動された高い料金を課すもの)

(※3) RTP(Real Time Pricing) : リアルタイム料金 (需給バランスに刻一刻と対応して料金が変動するもの)

(出所) 資源エネルギー庁省エネルギー新エネルギー部[2016]

(図3) 4 地域実証における DR の概要

⁹ 実証結果については、地域ごとにいくつか論文が存在する。たとえば Matsukawa[2016]は、けいはんな学研都市の実証結果を詳細に扱っており、依田・田中・伊藤[2017]は、北九州市、けいはんな学研都市、横浜市の3地域を総合的に論じている。

北九州市のマンション住民 180 世帯を対象にした実験では、4 段階の CPP (kWh 単価をランダムに 50 円、75 円、100 円、150 円にする) を発動し、既存の TOU の昼間料金水準の 23.4 円/kWh よりも遥かに高い水準をつける。実験協力世帯は宅内表示 (in-home displays: IHDs) で 30 分ごとの消費量を確認でき、DR 発動時には IHDs での表示と共に前日夕と当日朝に電子メールで通知が行われた。実験は 2012 年夏、同冬、2013 年夏と実施され、2012 年夏には各 CPP でそれぞれ節電率は 9.0%, 9.6%, 12.6%, 13.1% と金額が増すほど節電行動が観察されたが、2012 年冬には各 10.2%, 10.7%, 9.0%, 12.0% と CPP 水準による行動差はあまり認められなくなり、2013 年夏も各 11.1%, 10.1%, 9.7%, 10.1% と特に高金額帯において前年からの効果の低下がみられる結果となった。この結果は、DR における電力消費データ分析を現実の政策適用に応用するに際しては、行動経済学的な要素を加味して考慮する必要があることを示唆している。

けいはんな学研都市では、実験協力世帯 691 に IHDs を貸与し、うち 154 世帯には節電要請 (Conservation Requests: CRs)、384 世帯には CPP の DR を実施した。DR 発動日には、前者には IHDs、パソコン、携帯電話で閲覧可能な道義的勧告 (Moral Suasion) を含むメッセージが送られ、後者には通常 25 円/kWh の料金単価が 3 段階の CPP (kWh 単価をランダムに 65 円、85 円、105 円にする) を発動した。2012 年夏の節電率は、CRs が平均 3.1% であったのに対して、CPP は各 15.1%, 16.7%, 18.2% の効果があった。同冬の節電率は、CRs が 3.2%、CPP は各 16.3%, 16.4%, 18.9% であった。依田・田中・伊藤[2017]の推計モデルによればこれらの価格弾力性は 0.1 から 0.2 に相当する。また同論文は、この実証の節電要請や CPP 発動のサイクルを観察することで、DR 発動が継続する場合の順化 (繰り返しの刺激に対する反応の低下) や、節電行動の定着化 (習慣形成) の効果についても検証しており、人間の内的動機に訴える節電要請の効果には持続性がなく、外的動機に訴える DP の効果は実験期間中持続して有効であり、また後者については省エネ行動の定着もみられたと論じている。他方 Matsukawa[2016]はこの実証結果に対して上記と異なるモデルを適用することで自己価格弾力性 (絶対値表示) が 0.157 から 0.389 の範囲にあることを示した。

横浜市では、IHDs を設置した 2153 の実験協力世帯をランダムに 4 グループに分けた。①CPP への加入を選択 (opt in) できるグループ、②前年度の電力消費量に基づいて CPP に加入していたらいくら電気代が得ないし損になったかという機会費用 (shadow bill) の提示を受けて翌年夏の CPP 加入を選択できるグループ、③機会費用の提示に加えて翌年夏の CPP 加入に 6000 円のキャッシュ・インセンティブを与える約束で翌年夏の CPP 加入を選択できるグループ、そして④コントロール・グループである。CPP は発動日の 13 時~16 時の料金 kWh 単価を 100 円とし、発動日以外の同時間帯は 45 円、それ以外は 21 円の TOU となる。コントロール・グループと CPP 加入を選択しない場合は一律 26 円の適用となる。

結果としての翌年夏の CPP 加入率は、①単純な選択制 16.0%、②機会費用の呈示 30.8%、③機会費用の呈示+インセンティブ付与 47.5%だった。自らの意思で CPP の選択加入をした世帯の 2014 年夏の節電効果は、CPP と TOU の併用のケースで、①22.0%、②9.0%、③13.2%であり、選択加入しなかつたコントロール・グループの効果は、①3.7%、②2.9%、③6.6%となる。この結果は、仮に加入率を高める目的での施策は最終的な目的の達成に必ずしも有効とは限らないことを示唆している。

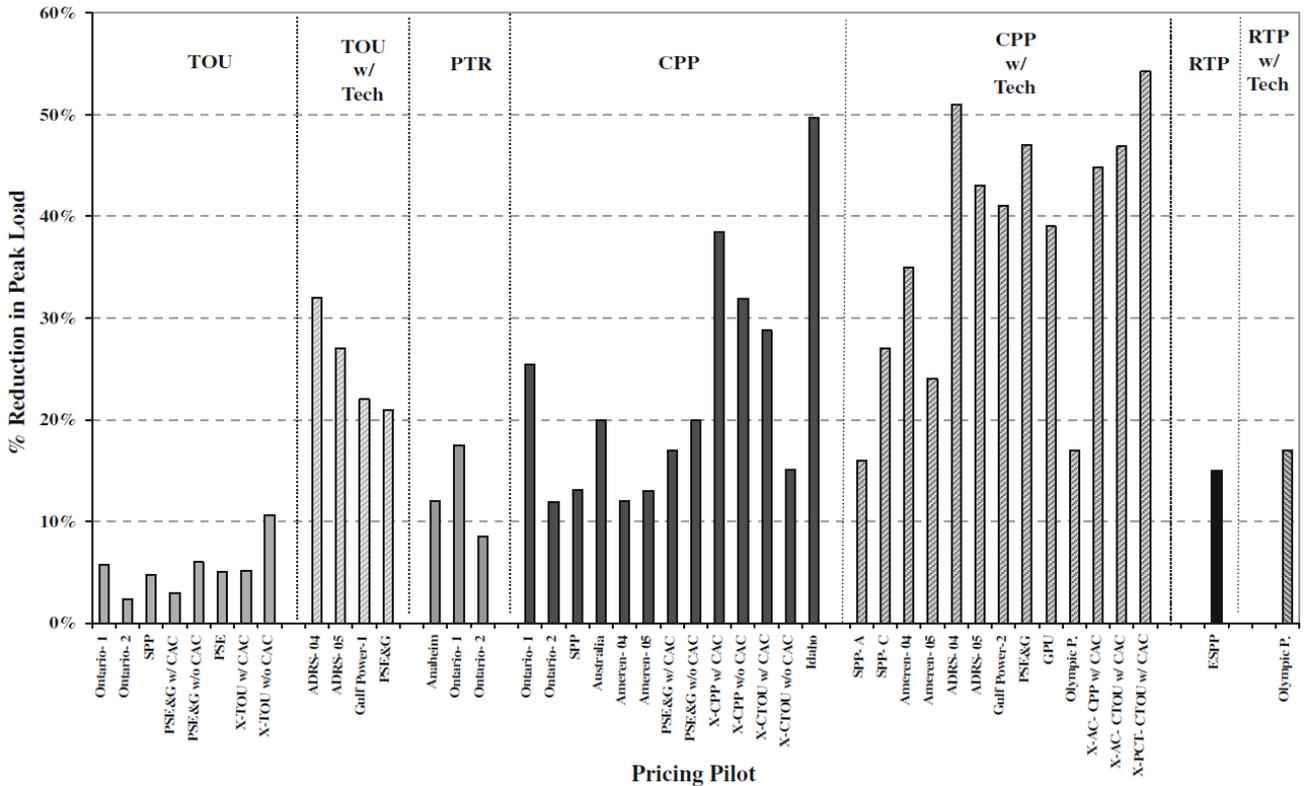
豊田市の実証はトヨタが中心となってエネルギー情報マネジメントシステム (EDMS) の開発研究の一環として行われており、純粹な DR 結果は公表ベースでは認められなかった。2011 年度から 5 年間にわたり継続して実施した行動誘発として、DR に伴うポイント・インセンティブの付与、非金銭的インセンティブとして EDMS のポータルサイト、コミュニティ内のランキング、掲示板、地域情報配信等のサービスを提供することで、生活者の意識変革・行動変化を促すこと、そしてリコメンド(行動支援)や機器の間接制御が実施された。実証結果の詳細は確認できないが、2011 年度のポイント・インセンティブによる CO₂削減効果は 27.5%であったと実証事業成果報告に記されている。

これら 4 地域実証結果は「約 2 割のピークカットが継続的に可能であること、CPP の価格を高くした場合でも、その効果は飛躍的に伸びるわけではないことを確認」と総括され、また併せて「①電気料金負担が増加する可能性、②オフピーク時間帯の安く受ける割引メリットよりもピーク時間帯に電気料金が大幅に割高となるデメリットを重視する、③需要の大きい時間帯に電気料金を引き上げるのはフェアではない等の課題があり、CPP の普及には更なる取組が必要と考えられる」としている(資源エネルギー庁省エネ・新エネ部[2016])。

(3) DR に関する主な実証の成果 (国外実証)

前述の通り、米国では DR のフィールド実験に対する予算措置が取られたことから多くの実証実験が行われたが、依田・田中・伊藤[2017]はその殆どが RCT (無作為比較対照法)に基づいていないとして結果の信頼性に疑問を呈する。また 2000 年以降に米国で実施された 15 の実証をサーベイした論文(Faruqui and Sergici [2010])と、米国エネルギー省(DOE)の支援を受けて実施された各種の消費者行動研究(Consumer Behavior Study: CBS)の成果報告(Cappers, et al. [2015])を紹介している。

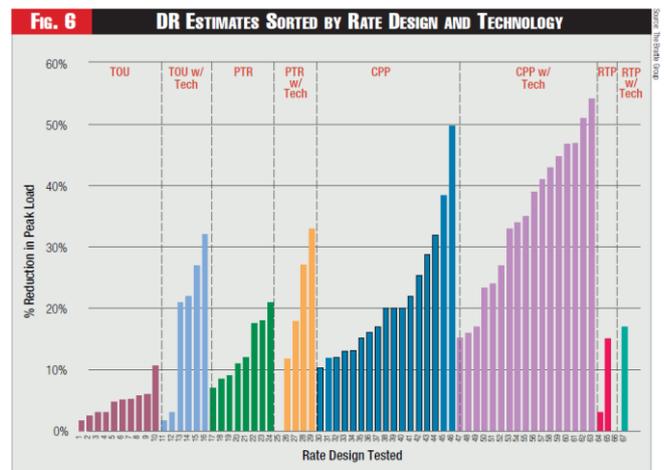
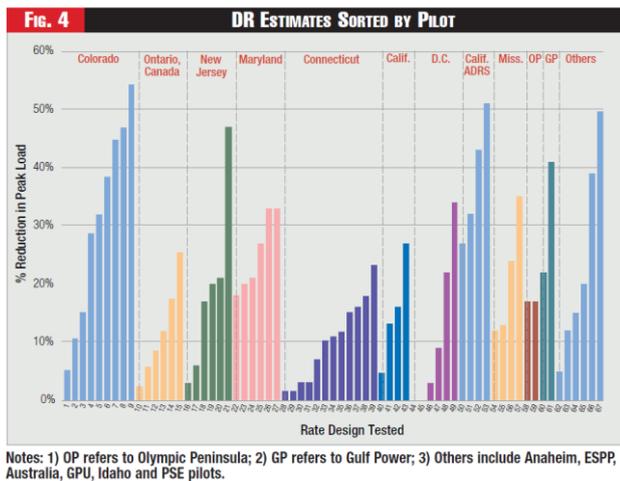
Faruqui and Sergici [2010]は、15 の事例を対象とする研究成果から、DR の反応程度は価格上昇の度合い、集中式空調の有無、遠隔からプログラムで温度調整可能なエアコンや機器管理システムの活用などによること等を明らかにし、ピーク需要の削減率として、TOU は 3~6%、CPP は 13~20%、そして削減に資する技術を伴って CPP を用いれば 27~44%の削減が可能であると整理した(図 4)。



(出所) Faruqui and Sergici [2010], p.215, Fig.1

(図4) 米国等の15実証(1996~2007年実施)におけるDR効果

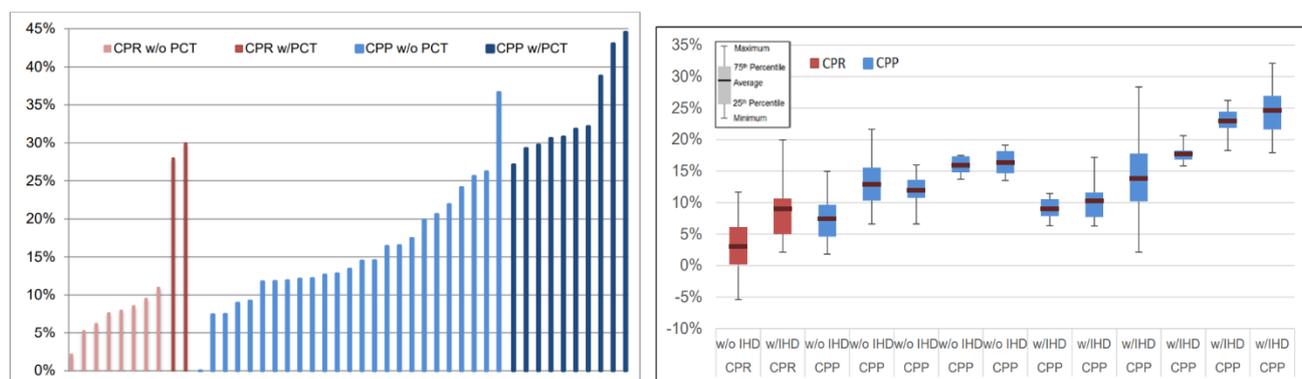
また Faruqui, Hledik, and Sergici [2010]は、米国各地で実施された67実証のDRの削減効果が5%未満から50%超まで幅広く分布することを踏まえ、実施州による違い(地理的条件の差異)や(図5左)、料金制度のタイプと支援技術の有無(図5右)によって、削減効果が変わることを示している。



(出所) Faruqui, A. et al. [2010], pp.34-35, Fig.4 & 6.

(図5) 米国の67実証におけるDR効果(地理的条件、料金制度のタイプと支援技術の有無)

Cappers, et al. [2015] は、米国の 10 事業者が実施した 11 実証をサーベイし、CPP によるピーク需要の削減率が平均 21%であるのに対してリベートを用いる CPR は平均 11%に留まること、遠隔制御のエアコン (Programmable Communicating Thermostats: PCT) を活用する場合に削減効果が大きく (図 6 左)、宅内表示がない場合でも一定の削減効果があること (図 6 右) を確認した。



(出所) Cappers, et al. [2015], pp.38-39 Fig.10 & 11.

(図 6) 米国の 11 実証における DR 効果 (PCT・IHD の有無と CPP/CPR)

3. 近年の主たる電力消費データ分析の動向

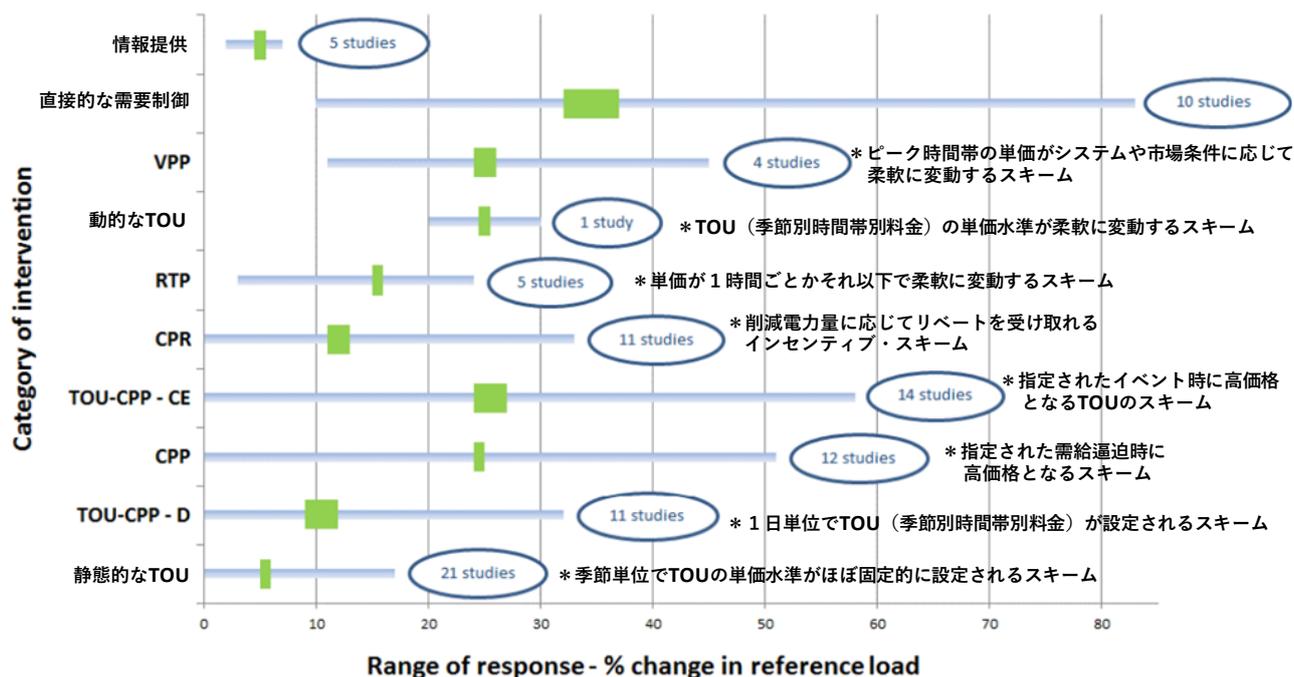
以上、電力消費データ分析の経緯と主な研究成果の蓄積について概観してきたが、近年における分析動向と方向性について整理しておく。DR を政策として実装・展開する場合にその効果を左右するのは、①消費者の DR プログラムへの参加率、②参加者の行動変容 (需要応答)、③その行動変容の持続程度、である (米国 EPRI[2012]にいうところの participation, performance, and persistence)。

まずプログラムへの参加率については、Parrish, et al. [2020]のサーベイによって近年の 29 プログラム、35 の DR メニューについての選択加入 (opt-in) と選択退出 (opt-out) の参加率が確認できる。プログラムへの参加率自体は 2%~98%と様々であり、複数の DR メニューオプションを提示したプログラムの実例 (Potter, et al. [2014], Blumsack and Hines[2013]) からは、DR メニューの種類による参加率の差は認められず、むしろ参加を促すための方策 (個別説明、信頼できる機関の活用、ローカル・ミーティングや地域コミュニティの取組みなど) の重要性が示唆されている。Parrish, et al. [2020] は選択加入方式を採用した約半数の事例でターゲットとする人口の 10%以下しか参加しなかったことと共に、参加率が相対的に高い選択退出方式の場合は後述する需要応答が相対的に小さくなることを指摘している。

次にプログラム参加者の行動変容の程度については、CPP 等の金銭的インセンティブを

用いてピーク時における電力消費量の変化を促す方法については、これまでに確認した通り一定の効果を持ち、制度の設計にもよるが、およそ7~22%程度の効果を有すると期待されている (Faruqui, and Sergici [2010]など)。他方、同じ金銭的インセンティブではあるが、リベートの形で提供されると (CPR)、その効果は CPP の半分程度であることも示されている (Wolak[2011]など)。

また Parrish, et al. [2020]は近年の 52 の研究論文 (うち 40 は実証プログラム) をサーベイ¹⁰し、参照需要からの削減率を図7のようにまとめた。



(出所) Parrish, et al. [2020], Fig.4, p.9 に加筆

(図7) 52論文で報告された海外 DR プログラムでの需要応答：参照需要からの削減率

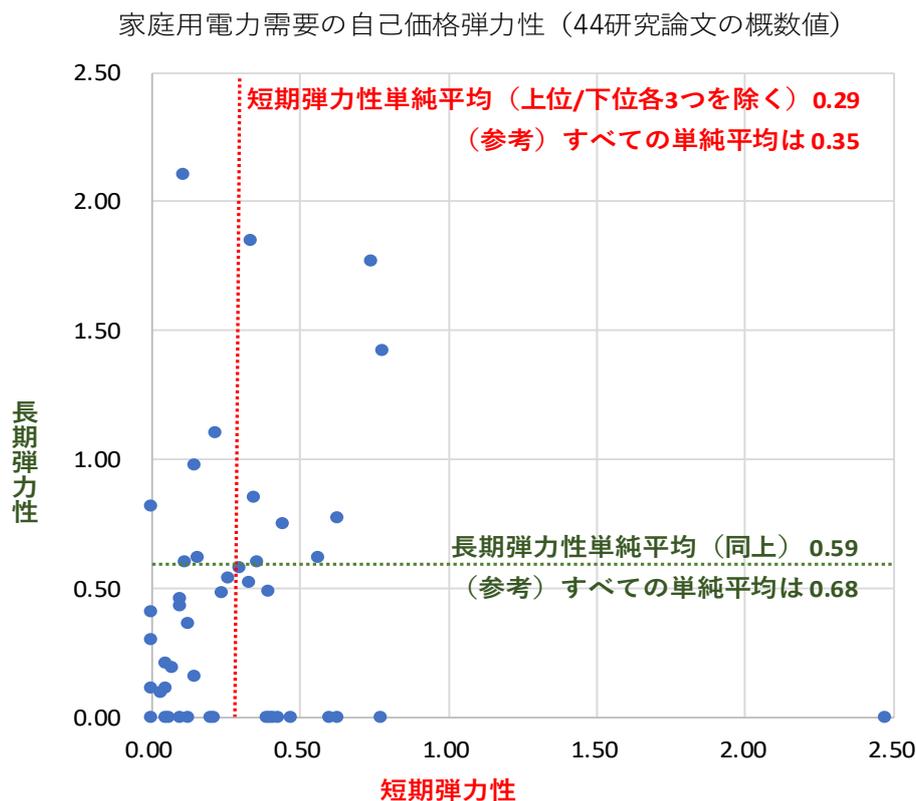
これによれば、家電機器の直接制御による場合の効果は平均的に 30~40%を大きな削減を期待でき¹¹、他方で、単なる節電情報の提供や静態的な TOU (わが国でも伝統的に採用され

¹⁰ このサーベイがカバーする DR 事例は、全体で 83 (うち 64 が試行的実証) であり、11 のインタビュー調査を含む。対象は米国、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、UAE、UK、その他欧州国の 18 か国で、63%が米国、30%が欧州で実施された事例である。日本を対象とする調査は含まれていない。なお、図7はこのうち需要応答の情報が得られた 52 論文を扱っており、また図中の研究論文数は複数メニューを対象を含む研究を各メニューでカウントしているため合計数は 52 にならない。

¹¹ DR はその殆どが節電行動を促す方向で設計されてきたが、近年の太陽光発電や風力発電のような変動制電源が系統内で一定以上に増大すると、供給力過大時にこれに見合う需要増が必要になる場合がある。このため、こうした状況下では DR は需要削減ではなく需要増加の効果が期待される。

てきた季節別時間帯別料金制度など) が主に 10%未満の削減効果しか期待できないのに対して、殆どの DR メニューが 10~30%の削減期待効果を示していることは、上述の既往研究の成果と概ね整合的である。機器を直接操作するような介入や、ピーク時間、需給逼迫の市場価格高騰時などに応じて柔軟に価格を変動させるダイナミックなスキームは、平均的な期待削減効果が高い。こうしたスキームの実効性を高めるポイントとして、自動化技術の水準とリアルタイムの情報、情報家電の保有等とベースとなる電力需要水準、ピークとオフピークの価格比や比較可能なインセンティブなどが指摘されるが、これらの要因がすべての期待効果差を説明できるわけではないと結論している。

家庭用電力需要の弾力性の推計は、前提となる需要関数をいかに導出するかなど、研究によって多様であるために一括して論じることは困難な面があるが、研究動向を概観する目的で敢えて個々のアプローチの違い等を捨象して、近年に至る 44 の各研究が推計した短期および長期の自己価格弾力性を図 8 にプロットした。値が上位および下位の各 3 つを除いた単純平均は、短期 0.29、長期 0.59 となり、先述の諸研究とも概ね整合的である。



* 最大/最小値を導出する研究はその中間値をプロットし、単純平均算出にも用いている。
短期/長期の片方のみ導出の研究は、便宜的に導出がない方の値を 0 として軸上にプロットした。

(出所) 表 1 を元に作成

(図 8) 近年に至る 44 研究論文が導出した家庭用電力需要の自己価格弾力性

表1：家庭用電力需要の自己価格弾力性（少数第2位以下四捨五入、絶対値表示）

研究論文	国	短期	長期
Aalami et al. [2010]	イラン	0.10	—
Alberini et al. [2011]	米国	0.08-0.15	0.45-0.75
AL-Faris [2002]	GCC諸国	0.04-0.18	0.82-3.39
Arthur et al. [2012]	モザンビーク	0.60	—
Atakhanova et al. [2007]	カザフスタン	0.22	1.10
Athukorala et al. [2010]	スリランカ	0.16	0.62
Blazquez et al. [2013]	スペイン	0.07	0.19
Boogen et al. [2014]	スイス	0.54-0.59	0.56-0.68
Boogen et al. [2017]	スイス	0.30	0.58
Boonekamp [2007]	オランダ	—	0.11
Boonekamp [2017]	オランダ	0.12	—
Burke et al. [2018]	米国	0.06-0.24	0.95-1.01
Burns et al. [2020]	オーストラリア	0.20	—
Cambell [2018]	ジャマイカ	—	0.82
Chindakar et al. [2019]	インド	0.39	—
Espey et al. [2014]	米国	0.35	0.85
Filippini et al. [2004]	インド	0.29-0.51	—
Filippini [2011]	スイス	0.65-0.84	1.27-2.27
Gautam et al. [2018]	米国	0.05	0.11
Halicioglu [2007]	トルコ	0.33	0.52
Holtedahl et al. [2004]	台湾	0.15	0.16
Hondroyannis [2004]	ギリシャ	—	0.41
Ishaque [2018]	パキスタン	0.10	0.46
Kwon et al. [2016]	韓国	0.05	0.21
Labandera et al. [2017]	諸国	0.13	0.37
Lijesen [2007]	オランダ	0.00	—
Loi et al. [2018]	シンガポール	0.05-0.37	—
Matar [2018]	サウジアラビア	0.05	—
Narayan et al. [2005]	オーストラリア	0.26	0.54
Nasir et al. [2008]	パキスタン	0.63	0.77
Okajima et al. [2013]	日本	0.40	0.49
Rai et al. [2014]	オーストラリア	0.45	0.75
Schulte [2017]	ドイツ	0.43	—
Shaik et al. [2018]	米国	0.41	—
Shi et al. [2012]	中国	2.48	—
Silk et al. [1997]	米国	0.24	0.48
Silva et al. [2012]	ポルトガル都市部	0.59-0.67	—
Silva et al. [2012]	ポルトガル地方部	0.65-0.90	—
Tambe et al. [2014]	インド	0.47	—
Vita et al. [2006]	ナンビア	—	0.30
Volland et al. [2019]	スイス	0.34	1.85
Wolak [2011]	英国	RTP:0.03, CPP:0.09	—
Woo et al. [2018]	米国	0.04	0.10
Yin et al. [2016]	中国都市部	0.36	0.60
Yin et al. [2016]	中国地方部	0.78	1.42
Zachariadis et al. [2007]	キプロス	0.10	0.43

（出所）Andruszkiewicz et al. [2019], Yin et al. [2016] を参考に作成した。

これまでに実施された実証においては、こうした金銭的インセンティブの付与のみならず、非金銭的なインセンティブ付与についても検証されてきた。その一つが宅内表示 (IHDs) による情報提供であり、市場の失敗の要素である情報の非対称性を緩和する機能が基本的に与えられる。たとえば、現在の価格表示機能、過去の自身の使用量との比較データ等は、本来情報が完全に流通・蓄積されていれば知ることができる情報へのアクセスを容易にするという意味において、経済的な分析において仮定される「合理的な個人」に近づくための方法である。

ただし、この IHDs への表示や、あるいはスマートフォンや PC に表示されるメールや SNS のメッセージなどを介して、単なる情報の非対称性の解消以上の情報が積極的に提供される場合は、最終消費者に対するより意図的・積極的な介入が行われたと解することができる。これには、既に述べたような説得的な節電要請 (Conservation Requests: CRs) ないし道義的勧告 (Moral Suasion) や、社会比較 (Social Comparison) などが含まれて、主たるアプローチとしては行動経済学でいう「ナッジ (Nudge)」の検証になる。近年はこうしたリサーチ・クエスチョンに係る研究が増えており、その成果が蓄積されている (たとえば Jessoe and Rapson [2014], Ito, Ida, and Tanaka [2018], Gillan [2017], Allcott and Kessler [2019], Knittel and Stolper [2019] など)。一例として、メッセージのフレーミング効果についての研究があり (Nab, Jansma, and Gosselt [2020] など)、温暖化対策等の社会的意義やアウトカム、参照点 (point of reference) などの設計によってその介入効果は変化し得ることから、制度面での実装に当たってはこれらの知見も活用されることになる。

また、こうした行動の限定合理性や迅速な反応の難しさを前提に、データを用いたクラスタリングを実施してより効果的なプログラムとするための参加者のターゲティングや、参加者がプログラム等を活用して自動的に電力消費量を変化させる具体的な方法の在り方に関する研究なども進んでいる (Todd-Blick, et al. [2020], Patel, et al. [2016] など)。家庭の最適行動のアルゴリズムとしてエネルギー費用最小化を目指す様々なモデルが採用されるが、スマートメーターの設置に加えていわゆるスマート家電や蓄電池システム、電力取引などが可能なスマートグリッドの実装をふまえた各種予測や最適化のための研究も進んでいる (モデル計算に関する研究蓄積のサーベイとして、Alam, et al. [2016] や Jordehi [2019] がある)。

さらに、こうした自動応答等の進化と普及が進めば、DR は電力の実需給市場のみならず、アンシラリー・サービス市場での活用等も進むことが期待されるため、再生可能エネルギーを大量導入するための柔軟性 (flexibility) の研究の文脈でも成果が蓄積されている。

ただし、これらの DR が実装に至れば、各家計における影響が生じることになる。これまでの実証実験レベルでは仮に CPP を採用する場合も原則的に収支の中立性を前提とした設計が行われるのが一般的であるが、各家計の所得やタイプによって異なる影響が予想される

ため、こうした公正上の問題を扱う研究も行われている（Torriti and Yunusov [2020], Cappers, et al. [2018]など）。

最後に、行動変容の持続の観点からは、わが国の北九州市の実証結果でも述べた通り、プログラムを継続した場合の効果の低下が観察されており、グローバルな実証結果においても反応疲れ（response fatigue）の問題として認識されている。たとえば、Allcott [2011]は、Opower 社が用いた社会的比較のナッジ効果が短期的に 11～20%の料金上昇に匹敵することを明らかにしたが、Allcott and Roger [2014] はそのプログラムの効果の持続性を分析し、限界効果が習慣化によって低下することを示した。しかし他方で、長期的には習慣や技術がある種の資本として蓄積されることで長期的効果を過小評価すべきではないとの見方もある。行動変容の持続に関する実態はまだ解明途上であるが、このほか特に近年では SDGs などの社会的問題意識の高まりが行動変容の常態化を促す可能性もあり、また上記の行動経済学的な成果の活用も期待されるところである。

4. 近年のわが国における具体的な分析事例

ここでは近年のわが国の電力産業についての実証を扱った分析事例を紹介する。以下、Kim, Shimada, Ochi, et al.[2016]、小松、向井、西尾他 [2017]、Li, Gao, Ruan, and Ushifusa[2018]、Ida, Murakami, and Tanaka[2020]、Ida, Ushifusa, Tanaka, et al. [2020] の概要を順に述べる。

Kim, Shimada, Ochi, et al. [2016] は、2012 年以降 3 年間の沼島に居住する 50 世帯を対象に、パネルデータによる変量効果モデルで、ライフスタイル要因、ウェブサイト閲覧頻度、気象要因のコントロールが、1 時間当たりのエネルギー消費量にどのくらい影響を与えるかを検証した。結果は、実験前よりダイナミック・プライシングを導入した方が、13.8%のエネルギー消費の削減が見られることが明らかにされている。

小松、向井、西尾他[2017]は、2017 年度冬期にスマートフォンアプリを用いた家庭省エネサービスの実証研究を行い、その結果を報告している。介入効果の検証は、総合効果に関するマッチング法による検証と、レポート・アラートなどの個別効果に関する RCT による検証を行い、パネルデータ回帰分析を行っている。その結果、平均的な省エネ効果は 2.5%で、アプリ利用頻度の高いモニターは、利用頻度の少ないモニターに比べて省エネ効果が 1.6%高いこと、個別効果については、統計的に有意な結果は得られていないが、いずれの通知を行った場合も、使用料が低下することを確認している。通知によるアプリ閲覧の促進効果についても、簡便な回帰分析を実施している。レポートのみ、アラートのみ、レポートとアラートの併用の場合で、いずれも、平均閲覧率は増加傾向を示し、レポートとアラート

併用の場合において日中平均閲覧率が 3.05 向上し、統計的に有意な結果となっている。

Li, Gao, Ruan, and Ushifusa[2018]は、2017 年の九州電力のウェブサイトから 500,000 のデータを収集し、とくに電気使用量の変動の大きい真夏の 8 月と真冬の 1 月について、1 日の電気量の変動を電気自動車とヒートポンプを導入することで、深夜と早朝の谷をアップさせることを試みた。電気効率を 39%、燃料電池の熱効率を 46%、慣例的な給湯器の熱効率を 85%、天然ガスとガソリンの CO₂ 排出要因をそれぞれ 2.29 kg/Nm³、2.32 kg/L と仮定すると、0.483 kg/kWh となった。CO₂ 排出要因は、九州電力から取り入れた電力として計算された。高効率の技術の容量に対しての年間の平均 CO₂ 排出削減は、ヒートポンプで 0.3 kg/kWh、電気自動車で 1.8 kg/kWh、燃料電池で 1.75 kg/kWh、太陽光発電 1.45 kg/kWh となった。

Ida, Murakami, and Tanaka[2020]は、2013 年の夏、横浜市における太陽光発電のスマートメーター実証実験において、CPP の効果を RCT アプローチを使って、スマートメーターと HEMS を装備した 1,202 戸の家庭を対象に、選択バイアスを避けるために無作為にトリートメントとコントロール・グループを決めて、3 つのグループに分けて分析を行った。コントロール・グループは、合計 353 世帯からなり、164 世帯は横浜市と定額の契約を行い、157 世帯は時間帯別料金(TOU 料金)の契約を行っている。トリートメント・グループの T1 は、合計 427 世帯であり、211 世帯は定額契約、190 世帯は TOU 料金契約を行っており、加えて、CPP0.6 ドルを受け取っている。トリートメント・グループ 2 は、422 世帯で、210 世帯は定額契約、181 世帯は TOU 料金契約を行っている。その上、CPP1 ドルを受け取っている。30 分間隔のデータで、ピークカット効果をパネルデータによる固定効果モデルで推定した。結果、CPP 料金は太陽光発電の生産消費者の 3~4%の利用削減を促し、ソーラーパネルなしの利用者はその 4 分の 1 だった。太陽光発電を利用すればするほど、ピークカットが小さくなることを導きだした。90%以上の回答者で、エアコンの利用の制限により、ピーク時間の需要を削減し、10%以下の回答者で新しいエネルギー装置を購入したことが判明した。

Ida, Ushifusa, Tanaka et al. [2020] は、4 つの分析を行っているが、そのうち 3 つの分析について述べる。

1 つめは、2016 年 4 月の電力市場が完全な規制緩和に入る以前の 2016 年 1 月からの 3 ヶ月の期間で、My Voice Communications Inc.という日本のリサーチ企業により地理的、性別、年齢において日本の平均的な人口を代表する 11,000 世帯として抽出された回答者を対象に、WEB ベースでの調査を実施している。このデータをもとに、ランダムロジットモデル(Random parameter logit:以下、RPL)を使い、効用関数を推計している。電力会社の選択を新規参入会社、既存の会社、料金プランを一律料金、時間帯別料金、再生可能エネルギー

導入率、原子力導入率により、月額料金が、異なるプランを1~3(1.新規事業者による定額料金で再生可能エネルギー40%、原子力エネルギー20%、2.既存の事業者による時間帯別料金、再生可能エネルギー20%、原子力エネルギー40%、3.既存の事業者による定額プランで、再生可能エネルギー10%、原子力エネルギー10%)まで提示し、それによって、効用がどの程度変化するのか、さらに、支払い意思額(Willingness to Pay: WTP)を計測した。

2つめは、2015年1月から9月に横浜市青葉区のHEMSを設置した1063世帯を対象に、30分値での電力消費データを計測した。1063世帯を介入しない531とトリートメントを施す532世帯の2つのグループに分けて実施した。結果として983世帯が参加した。プランの種類、月額電気料金を説明変数とするランダム効用モデルを最尤法により推計し、限界支払意思額を計測した。コントロール・グループの電気料金の支払い率に関する係数は、-23.91で、トリートメント・グループの係数は、-23.15となった。新規参入企業のパラメーターは、コントロール・グループで-0.60で、トリートメント・グループで-0.58であった。時間帯別料金の係数は、コントロール・グループで0.25、トリートメント・グループで-0.14であった。再生可能エネルギーの係数は、コントロール・グループで0.053、トリートメント・グループで0.051、原子力発電比率は、-0.12、-0.13であった。貨幣の限界効用は、-0.0034で、トリートメント・グループで-0.0032で、限界的支払意思額は、新規参入企業については-238.04円、トリートメント・グループについては-252.98円、時間帯別料金については125.93円、トリートメント・グループでは-9.04円、再生可能エネルギー率については22.4円、23.72円、原子力エネルギー率については、-49.0696円、-56.4047円となった。

4つめは、竹中工務店と京都大学により、2014年の7月14日から8月1日までの土日祝日を除く2週間について竹中工務店の東京本店の5階と6階で、13時30分から15時30分の高い需要が見込まれる時間帯に、電力貯蓄の要求を提案する実験である。自動デマンド・レスポンスを前提に固定効果モデルで分析している。211の従業員の中で、48人はopt-inパフォーマンスインセンティブグループ(T1)、51人はopt-in固定インセンティブグループ(T2)、58人はopt-outパフォーマンスインセンティブグループ(T3)、54人はopt-out固定インセンティブグループ(T4)に割り当てられた。パフォーマンスインセンティブは、DRに参加するそれぞれの時間につき500円のコーヒークーポンで、6日間で3000円のクーポンを受け取るもので、固定インセンティブは、6日間を通してコーヒー2杯分のクーポン1000円を受け取る。結果は、ITTについて、T3が、最も削減効果が大きく、T1、T4、T2と続き、パフォーマンスインセンティブグループが固定インセンティブグループより、削減効果が高いことが導きだされている。

Gamil, Sugimura, Nakadomari, Senjyu, et al. [2020]は、沖縄において、デマンド・レスポ

ンスと海水電力システムを導入した再生可能なマイクログリッドの最適なサイズについて、混合線形プログラミング技術を利用し、4つのシナリオ（①太陽光電池 PV、水力発電、蓄電池システムの改良、②RTP、③海水発電システム、④デマンド・レスポンスなしの RTP）で、検証した。シナリオ①は、13,944 百万円の総費用と等しい需要を示した。シナリオ②は、蓄電池システムの削減がシナリオ①に比べて RTP を採用することにより -20%削減できた。シナリオ①と比べて、総費用について 130 万円の削減が出来た。シナリオ③は、蓄電池システムの数に 0 に減少させ、発生単位の数は有意に増加した。その数は、シナリオ①の 1.5 倍、化学生産物からの収入は 1 億 7805 万 4000 円に達した。

取り上げた 8 つの分析は、前節の 2016 年以前の研究の特徴でも述べられているように、①消費者の DR プログラムへの参加率、②参加者の行動変容に主眼をおいたものであると言える。また、金銭的、非金銭的インセンティブの付与による効果についての分析も見られ、再生可能エネルギーの導入に関する効果の分析が増えているという点が、特徴であると言える。さらに、スマートフォンなどのアプリを取り入れることによる行動変容の変化に関しての分析が行われている点は、新しい側面である。いずれの分析も分析手法は異なり、対象地域についても都市から離島まで異なるものの、ピーク・ロード・プライシングの導入により、省エネ効果が見込まれることが確認されている。

表 2. 2016 年以降の日本の実証実験のサーベイ

	Kim, Shimada, Ochi, et al. [2016]	小松、向井、西尾他 [2017]	Li, Gao, Ruan, and Ushifusa [2018]	Ida, Murakami, and Tanaka [2020]	Ida, Ushifusa, Tanaka et al. [2020] (1)	Ida, Ushifusa, Tanaka et al. [2020] (2)	Ida, Ushifusa, Tanaka et al. [2020] (4)	Gamil, Sugimura, Nakadomari, Senjyu, et al. [2020]
対象地域	沼島に居住する 50 世帯	スマートフォンアプリ	九州電力のウェブサイト 500,000 のデータ	横浜市 スマートメーターと HEMS を装備した 1,202 戸の家庭を対象	日本の平均的な人口を代表する 11,000 世帯	横浜市青葉区の HEMS を設置した 1063 世帯	竹中工務店の東京本店の 5 階と 6 階	沖縄
分析期間	2012 年以降 3 年間	2017 年度冬期	2017 年度の 8 月、1 月	2013 年夏	2016 年 1 月からの 3 ヶ月	2015 年 1 月から 9 月	2014 年の 7 月 14 日から 8 月 1 日までの土日祝日を除く 2 週間	

<p>分析方法</p>	<p>パネルデータによる変量効果モデル</p>	<p>パネルデータ回帰分析</p>		<p>CPP の効果を RCT アプローチ 固定効果モデル</p>	<p>ランダムロジックモデル</p>	<p>プランの種類、月額電気料金を説明変数とするランダム効用モデルを最尤法により推計</p>	<p>固定効果モデル 211 の従業員の中で、48 人は opt-in パフォーマンスインセンティブグループ (T1)、51 人は opt-in 固定インセンティブグループ (T2)、58 人は opt-out パフォーマンスインセンティブグループ (T3)、54 人は opt-out 固定インセンティブグループ (T4) に割り当てられた。</p>	<p>混合線形プログラミング技術</p>
<p>分析内容</p>	<p>ライフスタイル要因、ウェブサイト閲覧頻度、気象要因のコントロールが、1 時間当たりのエネルギー消費量に与える影響</p>	<p>家庭省エネルギーサービスの実証研究 総合効果に関するマッチング法による検証と、レポート・アラートなどの個別効果に関する RCT による検証</p>	<p>電気量の変動を電気自動車とヒートポンプの導入による深夜と早朝の谷をアプさせること。</p>	<p>トリートメントとコントロール・グループを、3 つのグループに分けて分析</p>	<p>1.新規事業者による定額料金で再生可能エネルギー40%、原子力エネルギー20%、2.既存の事業者による時間別料金、再生可能エネルギー20%、原子力エネルギー40%、3.既存の事業者による定額プランで、再生可能エネルギー10%、原子力エネルギー10%）まで提示</p>	<p>介入しない 531 とトリートメントを施す 532 世帯の 2 つのグループに分けて実施</p>	<p>13 時 30 分から 15 時 30 分の高い需要が見込まれる時間帯に、電力貯蓄の要求を提案する実験。</p>	<p>デマンド・レスポンスと海水電力システムを導入した再生可能なマイクログリッドの最適なサイズ ①太陽光電池 PV、水力発電、蓄電池システムの改良、②RTP、③海水発電システム、④デマンド・レスポンスなしの RTP</p>
<p>分析結果</p>	<p>ダイナミック・プライシングを導入した方が、13.8%のエネルギー消費の削減が見られた。</p>	<p>平均的な省エネ効果は 2.5% アブリ利用頻度の高いモニターは、利用頻度の少ないモニターに比べて省エネ効果が 1.6% 高い。</p>	<p>CO2 排出削減は、ヒートポンプで 0.3 kg/kWh、電気自動車で 1.8 kg/kWh、燃料電池で 1.75 kg/kWh、太陽光発電 1.45 kg/kWh</p>	<p>CPP 料金は太陽光発電の生産消費者の 3~4% の利用削減を促し、ソーラーパネルなしの利用者はその 4 分の 1</p>		<p>時間別料金の係数は、コントロール・グループで 0.25、トリートメント・グループで -0.14 再生可能エネルギーの係数は、コントロール・グループで 0.053、トリートメント・グループで 0.051、原子力発電比率</p>	<p>T3 が、最も削減効果が大きく、T1、T4、T2 と続き、パフォーマンスインセンティブグループが固定インセンティブグループより、削減効果が高いことが導きだされている。</p>	<p>シナリオ①は、13,944 百万円の総費用と等しい需要を示した。シナリオ②は、蓄電池システムの削減がシナリオ③に比べて RTP を採用することにより -20% 削減できた。シナリオ①と比べて、総費用について 130 万円の削減が出来た。シナリオ③は、</p>

						は、-0.12、-0.13 貨幣の限界効用は、-0.0034で、トリートメント・グループで-0.0032で、限界的支払意思額は、新規参入企業については-238.04円、トリートメント・グループについては-252.98円、時間帯別料金については125.93円、トリートメント・グループでは-9.04円、再生可能エネルギー率については22.4円、23.72円、原子力エネルギー率については、-49.0696円、-56.4047円	蓄電池システムの数に減少させ、発生単位の数は有意に増加した。その数は、シナリオ①の1.5倍、化学生産物からの収入は1億7805万4000円に達した。
--	--	--	--	--	--	---	--

出所：各論文についての要点をまとめて筆者作成。

5. 水道料金制度検討を念頭に置く観点からの留意点

電力分野でのスマートメーター導入とこれを活用してきたDRとその知見について整理してきたが、特に今後の水道料金制度検討を念頭に置く観点からは、電気と水という財の性質の違いや、各事業の特質などを考慮する必要がある。本稿では、特にプログラム導入を検討する上で重要な期待効果の捉え方等に関して、これまでのレビューをふまえていくつか留意点を指摘したい。

(1) 期待効果測定における時間軸の設定

電力のDRは、石油危機後の省エネルギー意識の高まりや、ピーク時間帯の需要の尖鋭化が電力設備投資額の増嵩を招いて経営問題となった歴史的経緯にその源泉があることについては既述の通りであり、この場合は中長期にわたる省エネルギー・高効率機器の導入促進および既に保有している低効率機器の代替などへの期待も高い。すなわち、DRによる短期的な（1日単位・週間単位・季節単位での）需要シフトのみならず、中長期的な（数年以上の単位での）需要抑制や負荷パターンの変化も併せ

て期待されている。加えて近年では、太陽光発電や風力発電のような変動性電源の大量導入と共にアンシラリー・サービスと呼ばれる系統安定機能のための活用が DR にも期待されるようになってきており、この場合は逆に、分単位・秒単位での即応性や需要応答の確実性が求められ、これらフレキシビリティ (flexibility) を高めることが DR のプログラム実装とその普及拡大を推進する大きな動機となっている。

水道事業への DR 適用を検討するにあたっては、こうした電力の DR の知見が大いに参考になることは無論であるが、ただしそのまま直接的に参照されて制度設計が進むわけではなく、電気と水の財の性質やその使われ方の違い (たとえば、貯蔵性、品質の考え方、その財が投入されて価値を生む機器・サービスなどの違い、他の産業・サービスなどとの関連など)、それを扱う産業組織の違いなどをふまえる必要がある。その際、これらの相違が DR プログラムの期待効果に与える影響は、今後スマートメーターを実装し、プログラム導入実施を検討するにあたって特に重要な論点の一つになるだろう。

電力の場合、省エネルギーに関する問題意識は、消費者の短期的・直接的な利益向上 (費用節減) ばかりではなく、中長期的な高効率機器の導入普及による産業政策的経済波及効果や、(特にわが国のようなエネルギー資源に乏しい国にとっては) エネルギー安全保障の向上にも繋がるといった、幅広い時間スパンでの効果が期待できる。従って、既述のように仮に短期 0.3 程度、長期 0.6 程度の価格弾力性であるとして、これらを通じて短期から長期にわたる多面的な効果¹²を期待便益として織り込むことも妥当と考えられる。

他方、水道事業への適用を考える場合、その貯蔵性や品質維持のためのネットワーク・サービスの性質の違いをふまえると、電力におけるアンシラリー・サービスのよような瞬時の運用は事業者に求められず、DR に対する技術的要請も相対的に小さい可能性がある。また、これを日単位での負荷シフトでみた場合、負荷平準化による設備投資等の回避・節減効果がどの程度かが問われるが、詳細は今後の検討に委ねる必要があるものの、直感的には、電力設備と水道設備のピーク需要回避に係る期待効果の

¹² ただし様々な期待効果が語られる電力分野においても、期待効果の測定は慎重に行うべきとの見方もある。たとえば、Blasch, et al. [2020] は家庭が現状の生活を維持しようとするバイアスが働くために古い家電機器をそのまま使うなどの行動を調べ、David, et al. [2021] はランダムに選択した家庭の 1 か月間の電気料金を大幅に変動させるフィールド実験をしても需要は硬直的だったことを述べている。記述の通り他に多くの研究成果が蓄積されていることから、これらの研究成果が直ちに DR 効果がないことを意味するものではないが、実際のプログラム設計にあたっては様々な要素を考慮すべきだということを示唆していよう。

違いは存在しているようにも思われる。従って、水道事業の場合は、とりわけ中長期的な期待効果をどう見込むかが重要視されるべき可能性があり、期待効果測定にあっても、単に短期的視野にとどまれば、こうした本来見込むべき効果を軽視するおそれがあることに留意しなくてはならない。

(2) 都市部と地方部との対比

電力分野における研究成果の蓄積は、どのような社会的経済的状況や、あるいはプログラム参加家計がどのような性質を持っている時に効果が認められるかという領域にも及んでいる。たとえば、Srivastava, et al. [2018] は 2006 年から 2017 年にかけて公表された 32 本の研究論文のメタ分析によって、DR プログラムが成功する地域の条件として、より高度に都市化が進んでいること、経済成長が高いこと、再生可能エネルギー政策がより支持されていることを示した。他方、表 1 に含む研究には国内の都市部と地方部との対比を行った研究があり（ポルトガルが対象の Silva, et al. [2012]、中国が対象の Yin et al. [2016]）、それぞれ都市部よりも地方部の方が弾力的である（ポルトガルは都市部 0.63 に対して地方部 0.78、中国は短期弾力性が都市部 0.36 に対して地方部 0.78、長期弾力性が都市部 0.60 に対して地方部 1.42）。

ここで DR 効果の大きさを論じるにあたって、上記の「より高度に都市化が進んだ地域の方が成功する」との結果と、「都市部よりも地方部の方が弾力的である」との結果とは一見相矛盾するようだが、必ずしもそうとは限らない。たとえば、同じ中国を対象とした Li, et. Al. [2011] では都市部 0.36 に対して地方部 0.06 となっており、地方部においては電気使用が必需的なものの割合が多いためこのような結果になると理解されている。こうしたことを考慮すれば、「地方部」と一括りにして解されるものではなく、その地域の経済的な発展段階や成熟度、家計の所得水準やライフスタイルなどによって、当該地域の価格弾力性や DR 効果の程度が変わり得るものだと考えることが妥当であろう。実際に、所得水準が高いほど DR プログラムへの参加意思が低下するとの研究結果もある（Wang, et al. [2020]）。これらをふまえた仮定として、必需財的使用が中核を占める発展途上状況から経済発展段階に至るにつれて地方部の都市化が進み、電力の価格弾力性も大きくなるが、ある段階で（おそらくは高効率の家電製品等がある程度普及してライフスタイルが定着するなどした段階で）また価格に対して非弾力的となり、必需財的な使われ方をする。また高所得になるほど金銭的なインセンティブに対する反応が薄れると考えられることもこの一つの要因となり得る。しかしこれがさらに進んで「未来型都市」のような資本装備、たとえばスマートグリッドのような最先端の各種技術や関連設備が備わって機能する状況に至

れば、ハード面およびソフト面でのサポートが有効に機能する場合に DR はまた有効性を高めよう。

水道事業への適用を考える上では、その地域性が事業展開に密接に関わることから、上記の点にはとりわけ留意が必要であろう。都市部か地方部かという単純な二分法ではなく、先述の時間軸の検討と併せて、どのような地域・コミュニティへと展開していくのか、その以降の工程表と各段階で予想される成熟・発展状況等との関連も含めて、総合的に検討していくことが重要であろう。その際、電力の場合は周辺機器・システムなども含めた総合的な効果（たとえば、電気自動車などを含む蓄電システム、ヒートポンプや地域熱供給などの面的供給が可能なエネルギーシステムの活用など）も考慮したビジョンが相対的に描きやすいのに対して、水道事業の場合はどこでどのように包括的に便益を見出していけるかについて、前向きな検討が期待されるところである。

（3）期待効果における社会的意義の観点

最近の電力の DR においては、その実施理由として社会的意義が重視されている。たとえば、「電力等のエネルギー需要削減が CO2 排出量の削減を通じて地球温暖化問題に対処するための脱炭素社会の実現に資する」という社会的意義は、電力の DR プログラムの導入・普及を図る上で、近年ますます強調される傾向にある。特に環境意識が高い欧州では、電力市場改革もかつてのような効率性向上よりもむしろ再生可能エネルギーの導入拡大やこれを可能にするための各種の施策が注目され、DR によって需要側のフレキシビリティを高めること（demand side flexibility）が進むことへの期待も高い（こうした観点から DR の潜在的役割を述べたものとして Hale, et al. [2018]、欧州の市場モニタリングとして Delta Energy & Environment Ltd. and smartEn [2019]、ドイツ・スウェーデン・フランス・英国の4か国の家庭用電力需要が持つフレキシビリティの大きさに関する研究をレビューした Mata, et al. [2020]などがある）。

先述の通り Wang, et al. [2020] では高所得層ほど DR プログラムへの参加意思が低下することを指摘したが、Ito [2015]、Matsukawa [2016]、Royal and Rustamov [2018] などが指摘するように、非金銭的インセンティブも DR の実効性を有する。DR の導入や有効性の阻害要因についての検討は様々存在するが（たとえば Nolan and O'Malley [2015]、Haeri, et al. [2018]など）、それらの殆どが金銭的インセンティブと非金銭的インセンティブを併用してプログラムを設計することによって DR の実効性を高め得ると指摘している。また、DR の阻害要因として、プログラム参加者

が被る負の効用があげられる（たとえば生活上の不便や不快感を強いられるなど）。これらは時に先入観によって形成されている場合があるため、信頼できる主体による丁寧なコミュニケーションが重要であると言われている。

水道事業は、DRに関わる機器やその使われ方の特質を電力のそれと比較した場合、相対的に手段が少ない可能性があり、また仮に相対的により必需財的な使われ方をする場合は金銭的インセンティブを用いたDRの効果が電力以上に小さくなる可能性もある。もしも今後の研究成果の蓄積等によってかかる状況が観察されるような場合には、電力において環境面での社会的意義が強調されている状況に鑑みて、水道におけるDRの社会的意義についても説得的な材料の蓄積やその効果的な普及啓発などについても検討が必要になるだろう。電力分野の研究では、高所得層等で金銭的インセンティブが低下した場合には精神面でのモチベーションを高めることでDR効果が期待できることが確認されている。これは水道事業へのDRプログラムの適用を検討する際にも留意すべき点である。

6. 本稿の成果と課題

本稿は、現在に至る電力消費データ分析の動向と研究事例を調査し、検証を加え、ひいては水使用量データを活用した新たな料金制度の検討に役立てることを狙いとして、特に電力分野のDRに関する分析の経緯と最近に至る動向を文献レビューによって明らかにし、ディスカッションとして、DRの期待効果の測定には時間軸を考慮する必要があること、単純な都市部と地方部との二分法ではなくその地域の実態に応じた検討が必要であること、そして水道事業の場合も精神面のモチベーションとなるような非金銭的インセンティブについて考える必要があることなどを述べてきた。

近年の電力消費データ分析はDRプログラム実証等の検証やモデル解析について行われるのが一般的であり、その研究論文数は膨大な数に及ぶが、本稿はある程度包括的に全体像を示すことができたのではないかと考える。他方、個々の論文紹介や論文名の例示についてややアドホックになった点が反省としてあり、いかに網羅的かつ重要な諸点の内容について具体的に充実させていくべきかについては、引き続き今後の課題としたい。

また「水使用量データを活用した新たな料金制度の検討に役立てる」という狙いに対して、電力分野の研究成果で得た知見を活かすという意味で若干のディスカッションを含めたほうが、より具体的で実践的な教訓が得られたのではないかとの反省もある。この点については、次のステージでの研究において改めて取組む所存である。

謝辞) 本稿は、厚生労働省科学研究費助成「水道スマートメーター導入に向けた

データ利活用の検討(20LA1006)」における「多様な料金制度の検討」の一環として作成した。ここに改めて感謝を述べる。

7. 主要文献リスト

- 浅野浩志・永田豊[2015], 「デマンド・レスポンスの国内外の動向と当所の取り組み」, 『電力経済研究』, No.62, pp.1-8.
- 穴山悌三[2005], 『電力産業の経済学』, NTT 出版.
- 依田高典・田中誠・伊藤公一朗[2017], 『スマートグリッド・エコノミクスーフィールド実験・行動経済学・ビッグデータが拓くエビデンス政策ー』, 有斐閣.
- 小松秀樹、向井登志広、西尾健一郎、伊原克将、佐々木正信、小川崇、大谷智子、伊藤千加、大館陽子[2017] 「スマートフォンを活用した家庭向け省エネサービスの実証研究：2017年度冬期の省エネ効果」 *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, Vol.40, No.3, pp39-48.
- 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部[2016], 「次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～」, https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/pdf/018_04_00.pdf.
- 松川勇[2003], 『ピークロード料金の経済分析ー理論・実証・政策ー』, 日本評論社.
- Alam, M.R., M. St-Hilaire, and T. Kunz [2016], “Computational Methods for Residential Energy Cost Optimization in Smart Grids: A Survey,” *ACM Computing Surveys*, 49(1), Article 2:1-34.
- Aalami, H.A., P. Moghaddam, G.R. Yousefi [2010], “Demand Response Modeling Considering Interruptible/Curtailable Loads and Capacity Market Programs,” *Applied Energy*, 87(1), pp.243–250.
- Alberini, A., and M. Filippini [2011], “Response of Residential Electricity Demand to Price: The Effect of Measurement Error,” *Energy Economics*, 33(5), pp.889-895.
- Al-Faris, A. R. F. [2002], “The Demand for Electricity in the GCC Countries,” *Energy Policy*, 30(2), pp.117–124.
- Allcott, H. [2011], “Social norms and energy conservation.” *Journal of Public Economics* 95(9–10), pp.1082–1095.
- Allcott, H. and T. Roger [2014], “The Short-Run and Long-Run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation,” *American Economic Review* 104(10), pp.3003–3037.
- Allcott, H., and J. B. Kessler [2019], “The Welfare Effects of Nudges: A Case Study of Energy Use Social Comparisons,” *American Economic Journal: Applied Economics*, 11(1), pp.

236-76.

- Andruszkiewicz, J., J. Lorenc, and A. Weychan [2019], "Demand Price Elasticity of Residential Electricity Consumers with Zonal Tariff Settlement Based on Their Load Profiles," *Energies*, 12, 4317; doi:10.3390/en12224317, 1-22.
- Arthur M. de F.S.R., C. A. Bond, B. Willson [2012], "Estimation of elasticities for domestic energy demand in Mozambique," *Energy Economics*, 34(2), pp.398-409.
- Atakhanova, Z., and P. Howie [2007], "Electricity Demand in Kazakhstan," *Energy Policy*, 35, pp.3729–3743.
- Athukorala, P. P. A., and C. Wilson [2010], "Estimating Short and Long-Term Residential Demand for Electricity: New Evidence from Sri Lanka," *Energy Economics*, 32 (Suppl. 1), S34–S40.
- Blasch, J., and C. Damiano [2020], "Behavioral Anomalies and Energy-related Individual Choices: The Role of Status-quo Bias," *The Energy Journal*, 41(6), pp.181-214.
- Blazquez, L., N. Boogen, and M. Filippini [2013], "Residential Electricity Demand in Spain: New Empirical Evidence Using Aggregate Data," *Energy Economics*, 36, pp.648–657.
- Blumsack, S. and P. Hines [2013], *Analysis of Green Mountain Power Critical Peak Events During the Summer/Fall of 2012*, VT: Green Mountain Power.
- Boogen, N., S. Datta, M. Filippini [2014], *Going Beyond Tradition: Estimating Residential Electricity Demand Using an Appliance Index and Energy Services*, Working Paper 14/200; CER-ETH: Zurich, Switzerland.
- Boogen, N., S. Datta, M. Filippini [2017], "Dynamic Models of Residential Electricity Demand: Evidence from Switzerland," *Energy Strategy Reviews*, 18, pp.85–92.
- Boonekamp, P.G.M. [2007], "Price Elasticities, Policy Measures and Actual Developments in Household Energy Consumption - A Bottom-up Analysis for the Netherlands," *Energy Economics*, 29(2), pp.133–157.
- Burke, P.J., and A. Abayasekara [2018], "The Price Elasticity of Electricity Demand in the United States: A Three-Dimensional Analysis," *Energy Journal*, 39, pp.123–146.
- Burns, K., and B. Mountain [2020], "Do Households Respond to Time-Of-Use Tariffs? Evidence from Australia," VEPC Working Paper WP2007, Victoria Energy Policy Centre, Victoria University.
- Byrne, D. P., A. L. Nauze, and L. A. Martin [2021], "An Experimental Study of Monthly Electricity Demand (In)elasticity," *The Energy Journal*, 42(2), pp.205-222.
- Campbell, A. [2018], "Price and Income Elasticities of Electricity Demand: Evidence from

- Jamaica," *Energy Economics*, 69, pp.19–32.
- Cappers, P., Hans, L., and Scheer, R. [2015], *American Recovery and Reinvestment Act of 2009. Interim Report on Customer Acceptance, Retention, and Response to Time-Based Rates from the Consumer Behavior Studies*, LBNL-183029, U. S. Department of Energy.
- Cappers, P., C. A. Spurlock, A. Todd, and L. Jin [2018], "Are vulnerable customers any different than their peers when exposed to critical peak pricing: Evidence from the U.S.," *Energy Policy*, 123, pp.421-432.
- Chindakar, N., and N. Goyal [2019], "One Price doesn't Fit all: An Examination of Heterogeneity in Price Elasticity of Residential Electricity in India," *Energy Economics*, 81, pp.765–778.
- Dahlke, S., and M. Prorok [2019], "Consumer Savings, Price, and Emissions Impacts of Increasing Demand Response in the Midcontinent Electricity Market," *The Energy Journal*, 40(3), pp.243-262.
- David P., B. Andrea, L. Nauze, and L. A. Martin, [2021], "An Experimental Study of Monthly Electricity Demand (In)elasticity," *The Energy Journal*, 42(2), pp.205-222.
- Delta Energy & Environment Ltd. (Delta-EE), and smartEn (Smart Energy Europe) [2019], *EU Market Monitor for Demand Side Flexibility 2019*.
- De Vita, G., K. Endresen, and L. C. Hunt [2006], "An Empirical Analysis of Energy Demand in Namibia," *Energy Policy*, 34, pp.3447–3463.
- Du, P., Lu, N., and Zhong, H. [2019], *Demand Response in Smart Grids*, Springer.
- Espey, J.A., and M. Espey [2004], "Turning on the Lights: A Meta-analysis of Residential Electricity Demand Elasticities," *Journal of Agricultural Economics*, 36, pp.65–81.
- Faruqui, A., Hledik, R., and Sergici, S. [2010], "Rethinking Prices -The changing architecture of demand response in America-," *Public Utilities Fortnightly*, January 2010, pp.30-39.
- Faruqui, A. and Sergici, S. [2010], "Household response to dynamic pricing of electricity: a survey of 15 experiments," *Journal of Regulatory Economics*, 38(2), pp.193-225.
- Filippini, M. [2011], "Short- and Long-run Time-of-Use Price Elasticities in Swiss Residential Electricity Demand," *Energy Policy*, 39, pp.5811–5817.
- Filippini, M., and S. Pachuari [2004], "Elasticities of Electricity Demand in Urban Indian Households," *Energy Policy*, 32(3), pp.429–436.
- Gamil, M.M., Sugimura, M., Nakadomari, A., Senjyu, T., Howlder, H.O.R., Takahashi, H., and Hemeida, A. M. [2020], "Optimal Sizing of a Real Remote Japanese Microgrid with Sea Water Electrolysis Plant Under Time-Based Demand Response Programs," *Energies*, 13,

3666.

- Gautam, T.K., and K.P. Paudel [2018], “Estimating Sectoral Demands for Electricity Using the Pooled Mean Group Method,” *Applied Energy*, 231, pp.54–67.
- Gillan, J. M. [2017], *Dynamic Pricing, Attention, and Automation: Evidence from a Field Experiment in Electricity Consumption*, JOB MARKET PAPER.
- Haeri, H., K. Horkitz, H. Lee, J. Wang, T. Hardman, H. Ratcliffe, M. Izawa, J. Brant, J. Eckstein, N. Preston, and L. Garth [2018], *Assessment of Barriers to Demand Response in the Northwest’s Public Power Sector*, For Bonneville Power Administration, The Cadmus Group LLC.
- Hale, E., L. Bird, R. Padmanabhan, and C. Volpi [2018], *Potential Roles for Demand Response in High-Growth Electric Systems with Increasing Shares of Renewable Generation*, National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy.
- Halicioglu, F. [2007], “Residential Electricity Demand Dynamics in Turkey,” *Energy Economics*, 29(2), pp.199–210.
- Holtedahl, P., and F. Joutz [2004], “Residential Electricity Demand in Taiwan,” *Energy Economics*, 26(2), pp.201–224.
- Hondroyannis, G. [2004], “Estimating Residential Demand for Electricity in Greece,” *Energy Economics*, 26(3), pp.319–334.
- Honjo, Shiraki, and Ashina [2018], “Dynamic linear modeling of monthly electricity demand in Japan: Time variation of electricity conservation effect,”
- Ida, T., Murakami, K., and Tanaka, M. [2020], “Electricity demand response in Japan: Experimental evidence from a residential photovoltaic power-generation system,” *Economics of Energy and Environmental Policy*, 5(1), pp73-88.
- Ida, T., Ushifusa, Y., Tanaka, K., Murakami, K., and Ishihara, T. [2020], “Behavioral Study of Demand Response: Web-Based Survey, Field Experiment, and Laboratory Experiment,” in T. Hatanaka, Y. Wasa, and K. Uchida (eds.), *Economically Enabled Energy Management - Interplay Between Control Engineering and Economics-*, pp117–151, Springer.
- Ishaque, H. [2018], “Revisiting Income and Price Elasticities of Electricity Demand in Pakistan,” *Economic Research*, 31, pp.1137–1151.
- Ito, K. [2015], “Asymmetric Incentives in Subsidies: Evidence from a Large-Scale Electricity Rebate Program,” *American Economic Journal: Economic Policy*, 7(3), pp.209–237.
- Ito, K., Ida, T., and Tanaka, M. [2018], “Moral Suasion and Economic Incentives: Field Experimental Evidence from Energy Demand,” *American Economic Journal: Economic*

Policy, 10(1), pp.240–267.

International Renewable Energy Agency (IRENA) [2019], *Innovation Landscape Brief: Time-of-Use Tariffs*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Jessoe, K. and D. Rapson [2014], “Knowledge Is (Less) Power: Experimental Evidence from Residential Energy Use,” *American Economic Review*, 104(4), pp. 1417-38.

Jordehi, A. R. [2019], “Optimisation of Demand Response in Electric Power Systems, A Review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, pp.308-319.

Joskow, P.L. and C. Wolfram [2012], “Dynamic pricing of electricity,” *American Economic Review*, 102(3), pp.381–385.

Kim, Thoa Shimada, K., Ochi, Y., Matsumoto, T., Matsugi, H., and Awata, T.[2016], “An Experimental Study of the Impact of Dynamic Electricity Pricing on Consumer Behavior: An Analysis for a Remote Island in Japan,” *Energies*, 9. 1093.

Knittel, C. R., and S. Stolper [2019], *Using Machine Learning to Target Treatment: The Case of Household Energy Use*, NBER Working Paper Series, 26531.

Kwon, S., S.H. Cho, R.K. Roberts, H.J. Kim, K.H. Park, and T.H.E. Yu [2016], “Short-run and the Long-run Effects of Electricity Price on Electricity Intensity across Regions,” *Applied Energy*, 172, pp.372–382.

Labandeira, X., J.M. Labeaga, X. López-Otero [2017], “A Meta-analysis on the Price Elasticity of Energy Demand,” *Energy Policy*, 102, pp.549–568.

Lee, M.P., B. Foster, D. Kathan, M. O’Brien, A. Park, and S. Peirovi [2016], “Assessment of Demand Response and Advanced Metering,” Staff Report, Federal Energy Regulatory Commission (FERC).

Li, H., L. Dong, and M. Xie [2011], “A Study on the Comprehensive Evaluation and Optimization of How Removing Gas and Electricity Subsidies Would Affect Households’ Living,” *Economic Research Journal*, 2, pp.100–112.

Li, Y., Gao, W., Ruan, Y., and Ushifusa, Y. [2018], “Grid Load Shifting and Performance Assessments of Residential Efficient Energy Technologies, a Case Study in Japan,” *Sustainability*, 10.

Lijesen, M.G. [2007], “The Real-time Price Elasticity of Electricity,” *Energy Economics*, 29, pp.249–258.

Loi, T.S.A., and J. Le Ng [2018], “Analysing Households’ Responsiveness towards Socio-economic Determinants of Residential Electricity Consumption in Singapore,” *Energy Policy*, 112, pp.415–426.

- Mata É., J. Ottosson, and J. Nilsson [2019], “A review of flexibility of residential electricity demand as climate solution in four EU countries,” *Environmental Research Letters*, 15(7), 073001.
- Matar, W. [2018], “Households’ Response to Changes in Electricity Pricing Schemes: Bridging Microeconomic and Engineering Principles,” *Energy Economics*, 75, pp.300–308.
- Matsukawa, I. [2016], *Consumer Energy Conservation Behavior After Fukushima -Evidence from Field Experiments*, Springer.
- Matsukawa, I. [2001], “Household Response to Optimal Peak-Load Pricing of Electricity,” *Journal of Regulatory Economics*, 20, pp.249-267.
- Nab, M., S. Jansma, and J. Gosselt [2020], “Tell me what is on the line and make it personal: Energizing Dutch homeowners through message framing,” *Energy Research & Social Science*, 70, 101760.
- Narayan, P. K., and R. Smyth [2005], “The Residential Demand for Electricity in Australia: An Application of the Bounds Testing Approach to Cointegration,” *Energy Policy*, 33(4), pp.467–474.
- Nasir, M., M. S. Tariq, and A. Arif [2008], “Residential Demand for Electricity in Pakistan,” *The Pakistan Development Review*, 47(4), pp.457–467.
- Nolan, S., and M. O’Malley [2015], “Challenges and Barriers to Demand Response Deployment and Evaluation,” *Applied Energy*, 152, pp.1-10.
- Okajima, S., and H. Okajima [2013], “Estimation of Japanese Price Elasticities of Residential Electricity Demand, 1990–2007,” *Energy Economics*, 40, pp.433–440.
- Olsen, D. J. et al. [2013], “Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part 1: Load Availability Profiles and Constraints for the Western Interconnection,” LBNL-6417E.
- Parrish, B., P. Heptonstall, R. Gross, and B. K. Sovacool [2020], “A systematic review of motivations, enablers and barriers for consumer engagement with residential demand response,” *Energy Policy*, 138, pp.1-11.
- Patel, S., S. Borgeson, R. Rajagopal, C. A. Spurlock, L. Jin, and A. Todd [2016], *Time Will Tell: Using Smart Meter Time Series Data to Derive Household Features and Explain Heterogeneity in Pricing Programs*, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- Potter, J. M., S. S. George, L. R. Jiminez [2014], *Smart Pricing Options Final Evaluation*, CA: Sacramento Municipal Utility District (SMUD).
- Ponocko, J. [2019], *Data Analytics-Based Demand Profiling and Advanced Demand Side*

Management for Flexible Operation of Sustainable Power Networks, Doctoral Thesis, Springer.

- Rai, A.M., L. Reedman, and P.W. Graham [2014], "Price and Income Elasticities of Residential Electricity Demand: The Australian Evidence," In Proceedings of the 2014 Australian Conference of Economists ESAMACE 2104, Australia, 1–4 July 2014.
- Royal, A., and G. Rustamov [2018], "Do Small Pecuniary Incentives Motivate Residential Peak Energy Reductions? Experimental Evidence," *Applied Economics*, 50(57), pp.6193–6202.
- Schulte, I., and P. Heindl [2017], "Price and Income Elasticities of Residential Energy Demand in Germany," *Energy Policy*, 102, pp.512–528.
- Shaik, S., and O.A. Yeboah [2018], "Does Climate Influence Energy Demand? A Regional Analysis," *Applied Energy*, 212, pp.691–703.
- Shehata, A. M. [2019], "Model predictive control of electric power and reserve dynamic dispatch including demand response," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37, pp.159–170.
- Shi, G., X. Zheng, and F. Song [2012], "Estimating Elasticity for Residential Electricity Demand in China," *The Scientific World Journal*, Volume 2012, Article ID 395629.
- Silk, J. I., and F. L. Joutz [1997], "Short and Long-Run Elasticities in US Residential Electricity Demand: A Co-Integration Approach," *Energy Economics*, 19(4), pp.493–513.
- Silva, S., I. Soares, C. Pinho [2018], "Electricity Residential Demand Elasticities: Urban versus Rural Areas in Portugal," *Energy*, 144, pp.627–632.
- Smart Energy Europe (smartEn) [2020], *The Implementation of the Electricity Market Design to Drive Demand-side Flexibility – smartEn Monitoring Report*, November 2020.
- Srivastava, A., S. V. Passel, and E. Laes [2018], "Assessing the success of electricity demand response programs: A meta-analysis," *Energy Research & Social Science*, 40, pp.110–117.
- Susowake, Y., Masrur, H., Yabiku, T., Senjyu, T., Howlader, A.M., Abdel-Akher, M., and Hemeida, A. M. [2020], "A Multi-Objective Optimization Approach towards a Proposed Smart Apartment with Demand-Response in Japan," *Energies*, 13, 127.
- Tambe, V.J., and S.K. Joshi [2014], "Estimating Price Elasticity of Electricity for the Major Consumer Categories of Gujarat State," In Proceedings of the 2014 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Australia, 28 September–1 October 2014.
- Todd-Blick, A., C. A. Spurlock, L. Jin, P. Cappers, S. Borgeson, D. Fredman, J. Zuboy [2020],

- “Winners are not keepers: Characterizing household engagement, gains, and energy patterns in demand response using machine learning in the United States,” *Energy Research & Social Science*, 70.
- Torriti, J. [2020], *Appraising the Economics of Smart Meters -Costs and Benefits-*, Routledge Studies in Energy Policy, Routledge.
- Torriti, J., and T. Yunusov [2020], “It’s only a matter of time: Flexibility, activities and time of use tariffs in the United Kingdom,” *Energy Research & Social Science*, 69.
- U.S. Department of Energy [2006], *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them*.
- U.S. Electric Power Research Institute (EPRI) [2012], *Understanding Electric Utility Customers – Summary Report: What We Know and What We Need to Know*, CA.
- U.S. Federal Energy Regulatory Commission [2009], *A National Assessment of Demand Response Potential*.
- Volland, B., and I. Tilov [2019], “Price Elasticities of Electricity Demand in Switzerland: Results from a Household Panel,” IRENE Working Paper.
- Wang, B., Q. Cai, and Z. Sun [2020], “Determinants of Willingness to Participate in Urban Incentive-Based Energy Demand-Side Response: An Empirical Micro-Data Analysis,” *Sustainability* 2020, 12(19), 8052, pp.1-18.
- Wolak, F. A. [2011], “Do Residential Customers Respond to Hourly Prices? Evidence from a Dynamic Pricing Experiment,” *American Economic Review*, 101(3), pp.83–87.
- Woo, C.K., Y. Liu, J. Zarnikau, A. Shiu, X. Luo, and F. Kahrl [2018], “Price Elasticities of Retail Energy Demands in the United States: New Evidence from a Panel of Monthly Data for 2001–2016,” *Applied Energy*, 222, pp.460–474.
- Yin, H., H. Zhou, and K. Zhu [2016], “Long- and Short-run Elasticities of Residential Electricity Consumption in China: A Partial Adjustment Model with Panel Data,” *Applied Economics*, 48(28), pp.2587–2599.
- Zachariadis, T., and N. Pashourtidou [2007], “An Empirical Analysis of Electricity Consumption in Cyprus,” *Energy Economics*, 29(2), pp.183–198.

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
該当なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
該当なし					

「厚生労働科学研究費における倫理審査及び利益相反の管理の状況に関する報告について

令和3年5月21日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立大学法人一橋大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 中 野 聡

次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）

2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

3. 研究者名（所属部局・職名） 大学院社会学研究科 ・ 教授

（氏名・フリガナ） 大瀧 友里奈 ・ オオタキ ユリナ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称： ）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査の場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合は委託先機関：
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> （有の場合はその内容：

（留意事項） ・ 該当する□にチェックを入れること。
・ 分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

「厚生労働科学研究費における倫理審査及び利益相反の管理の状況に関する報告について

令和3年5月25日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 情報セキュリティ大学院大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 後藤 厚宏

次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討
3. 研究者名 （所属部局・職名） 情報セキュリティ研究科・教授
（氏名・フリガナ） 大塚 玲・オオツカ アキラ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 （※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称：）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査の場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：）
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合は委託先機関：）
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：）
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> （有の場合はその内容：）

（留意事項） ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和3年 5月 19日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立大学法人東京大学

所属研究機関長 職 名 総長

氏 名 藤井 輝夫

次の職員の（元号） 年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業

2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

3. 研究者名（所属部署・職名） 大学院総合文化研究科・教授

（氏名・フリガナ） 植田 一博・ウエダ カズヒロ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称： ）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査に場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由： ）
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合は委託先機関： ）
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由： ）
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> （有の場合はその内容： ）

（留意事項） ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

「厚生労働科学研究費における倫理審査及び利益相反の管理の状況に関する報告について

2021 年 5 月 19 日

厚生労働大臣
~~(国立医薬品食品衛生研究所長)~~ 殿
 国立保健医療科学院長

機関名 追手門学院大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 真銅 正宏

次の職員の令和 2 年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討
3. 研究者名 (所属部局・職名) 心理学部 准教授
 (氏名・フリガナ) 本田 秀仁 ホンダ ヒデヒト

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
 ・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

「厚生労働科学研究費における倫理審査及び利益相反の管理の状況に関する報告について

令和3年 5月 21日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 長野県立大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 金田一 真澄

次の職員の令和3年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）

2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

3. 研究者名 （所属部局・職名）グローバルマネジメント学部 ・ 教授

（氏名・フリガナ） 穴山 悌三 ・ アナヤマ テイゾウ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称： ）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査の場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合は委託先機関：
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> （有の場合はその内容：

（留意事項） ・ 該当する□にチェックを入れること。
・ 分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

「厚生労働科学研究費における倫理審査及び利益相反の管理の状況に関する報告について

令和3年 4月 1日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 東海大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 山田 清志

次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）

2. 研究課題名 水道スマートメーター導入に向けたデータ利活用の検討

3. 研究者名（所属部局・職名）政治経済学部経済学科・教授

（氏名・フリガナ） 森 由美子・モリユミコ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称：）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査の場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (有の場合はその内容: 外部発表時に COI 情報の開示を指示)

（留意事項） ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。