

スマートグリッド社会における 最適な電気料金体系*

若林舞、宇津木佑季、中村駿介、堀内浩太、
望月雄介、吉川敦也、納見浩太、宮本隆太郎

1. 本研究の課題

2012年3月の東日本大震災が引き起こした福島第一原発の事故を契機に、国内のほとんどすべての原子力発電所が発電を停止し、日本は深刻な電力不足に直面した。その対応として、2014年4月に政府が発表した新しい「エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーの発電量の目標を2020年に1414億kWh、2030年に2140億kWhと打ち立てている。しかし、再生可能エネルギーの大量導入は電力供給の不安定化を引き起こすことが危惧されている。

このような電力需給のひっ迫や電力供給の変動の問題を解決する技術として、スマートグリッドがある。スマートグリッドの普及によって電力事業には多くの可能性が生まれていくといわれている。

そのひとつは、電力事業改革の一環として2016年に予定されている電力小売市場の自由化に関係している。自由化によって、一般消費者は、複数の電力小売事業者が提示する電気料金体系のなかからライフスタイルにあったものを選択すると考えられている。そこで、スマートグリッドを活用して、ピークカットやピークシフトを引き起こす電気料金制度を提供し、それによって上述の問題を需要面からの対応（デマンドレスポンス）によって緩和することが期待されている。

このことに対応して、実際に家計が望まれるデマンドレスポンスをとるかを明らかにするため、大規模な社会実証実験が行われている。一方で、家計はそうしたデマンドレスポンス料金制度を選択するか、そのためにはどのような条件が必要かということについては、あまり研究は行われていない。本研究では、電力小売り会社がデマンドレスポンス料

* 社会科学総合学術院赤尾健一教授の指導の下に作成された。

金制度を提示するにあたって、それが消費者にとって望ましい電気料金体系として支持されるかを明らかにする。

2. 電力需要とデマンドレスポンス

2-1. 電力需要の変動

日本の電力消費量は、戦後、ほぼ一貫して伸びてきた。さらに近年は、経済が安定成長期に入ったといわれながらも、情報化の進展やエアコンの普及にみられるような快適な生活へのニーズの高まりを背景に、電力需要は高い水準を保ったままである。ここでは、電力需要の変化を年別、月別、時間帯別で示す。

はじめに、図2-1で1975年から2013年までの電力需要量の推移を見る。電力需要は1975年から順調に伸び続け、2005年頃にピークを迎える。その後はなだらかに下がってゆくが、これは2011年の東日本大震災による電力不足などの影響を受け、国民のあいだで節電の意識が強まったことが原因の一つとして挙げられる。しかし、依然として電力需要は高い水準を保ったままである。

次に、図2-2で月別の変動を見てみると、1月と8月が最も電力需要が多いことがわかる。その一因として、冷暖房の使用頻度が最も高いことが挙げられる。反対に、冷暖房があまり必要でない4～6月、10、11月は電力需要が比較的少ないことがわかる。このように冷暖房の使用が電力需要量を左右する要因の一つであると推測できる。

時間帯によっても、電力需要は変わってくる。図2-3は、夏期の最大需要発生日における1日の電力需要を表している。これを見ると、9時～20時の需要が多いことがわかる。また、全需要では11時～14時ごろが電力需要のピークで、家庭に限っては日没後の19時～20時が最も電力需要が多いことがわかる。

電力需要のピーク時間はまた、季節によっても変化する。表2-1は、2013年に関して、1日のうちで使用電力が最大となった頻度の最も高い時間帯とその日数を月ごとにまとめたものである。年間を通して、日没直後の17時や18時が多くなっている。これは、日没にともない多くの人が照明を使用するためと推測できる。6月は雨が多く昼間も照明が必要な日が多いため、7、8月は冷房を使用するために、11時や14時に最大電力が使用されていると考えられる。

2-2. 電力需要の変動に対する対応

常に変化する電力需要に応え、安定して顧客に電気を届けるため、電力会社は1つの電源に頼るのではなくさまざまな発電方式を組み合わせることで発電している。電気使用量は昼夜で大きな差があるが、夜間でも一定の電気は使われている。これをベース電力という。ベ

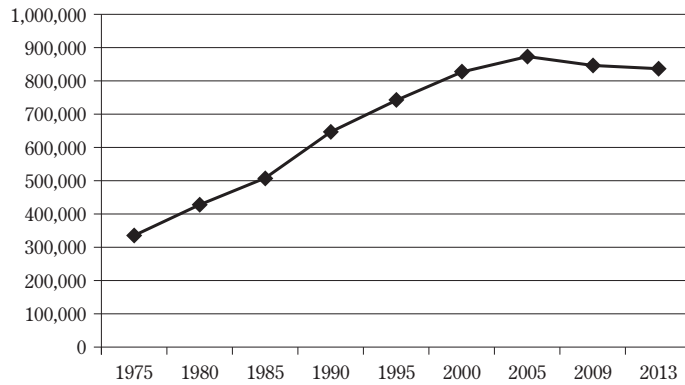


図 2-1 電力需要量の推移 (単位: 100万kWh、沖縄を除く 9 社の合計)

データ: 電気事業連合会 電力統計情報

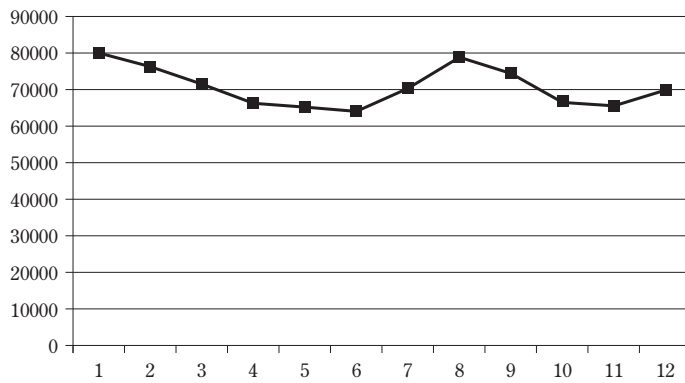


図 2-2 2013年電力需要量の月別変動 (単位: 100万 kWh、沖縄を含む 10 社の合計)

データ: 電気事業連合会 電力需要実績

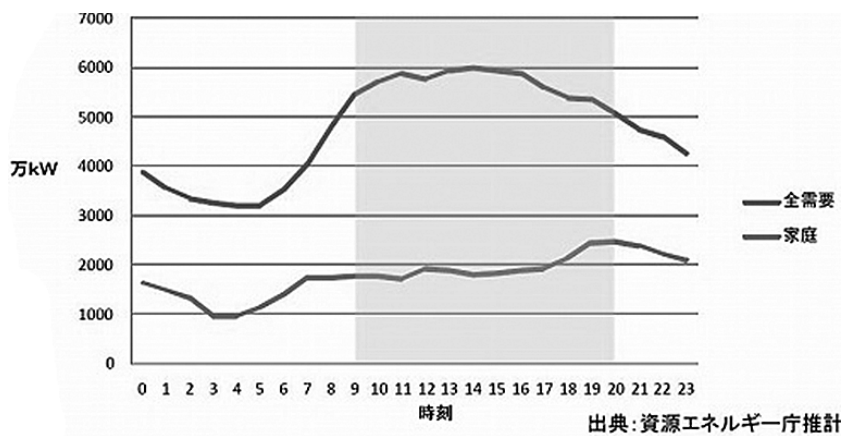


図 2-3 夏季の1日の電力需要 (最大需要発生日)

出典: 電気事業連合会 家庭の節電対策メニュー

表2-1 月別ピークタイムとその日数

| 月 | 時間帯 (日数) |
|-----|------------------|
| 1月 | 18時 (17日) |
| 2月 | 18時 (14日) |
| 3月 | 18時 (23日) |
| 4月 | 18時 (20日) |
| 5月 | 19時 (13日) |
| 6月 | 11時、14時、19時 (9日) |
| 7月 | 11時、14時 (10日) |
| 8月 | 14時 (17日) |
| 9月 | 18時 (17日) |
| 10月 | 17時 (18日) |
| 11月 | 17時 (23日) |
| 12月 | 17時 (18日) |

出典：電気事業連合会 電力統計情報

ース電力をカバーするのは原子力発電と流込式水力発電である。一方、昼間のピーク電力に対しては、変動する電力需要への対応に優れている火力発電や揚水式水力発電によってカバーされている。

需要側で負荷平準化を図る方策としては、ピークシフト、ピークカット、ボトムアップの3つがある。ピークシフトとは、工場などの操業日や時間を計画的にずらしたり、蓄熱を利用することで、電力需要のピークを他の時間にずらすことである。ピークカットとは、冷暖房の設定温度を控えめに設定することなどによって、ピーク時の使用電力そのものの量を減らすことである。ボトムアップとは、エコキュートのように消費電力の少ない深夜に電気を有効に使うものである。

2-3. ピークカットとデマンドレスポンス

デマンドレスポンスとは、料金によって使用抑制を促し需要ピーク時の電力消費を抑え、電力の安定供給を図る仕組みのことである。従来の電力供給システムでは、需要に合わせて供給側を変動させることで需給バランスを一致させてきたのに対し、需要側の調整を求めることが特徴といえる。

日本においてもすでに法人向け電力は自由化されており、各電力会社で用意されたピークカット式の電気料金を利用する企業やビルも少なくない。一方で、一般家庭を含む電力小売市場の完全自由化は2016年に予定されており、一般家庭に対する取り組みは相対的に遅れている。しかし電力の約35%が、家庭で消費されていることから、一般家庭にお

ける需要調整もまた重要課題である。

このため近年関連する研究が多数行われている。主な研究は、ピークカットやピークシフトを引き起こすことが期待される電気料金制度が提供された場合、家計が実際に望まれるデマンドレスポンスをとるかを課題とするものであり、大規模な社会実証実験が行われている。デマンドレスポンス料金制度としては次のものが代表的である。

- ・TOU (Time of Use : 時間帯別料金) 時間帯によって電気料金が異なる。時間帯ごとの料金はあらかじめ定められている。
- ・CPP (Critical Peak Pricing : 緊急ピーク課金) 需給ひっ迫時に電気料金が引き上げられる。引き上げ額はあらかじめ定められており、料金引き上げ発動は事前 (たとえば1日前) に知らされる。年間発動回数に上限 (たとえば10回) が設定される。
- ・RTP (Real Time Pricing : リアルタイムプライシング制度) 時間とともに (たとえば1時間単位) 料金が変動する。料金はあらかじめ定められていないが事前に知らされる。従来からの定額の従量料金制度は固定型 (Fixed) と呼ばれることがある。

次節では、これらのデマンドレスポンス料金制度に対する家計の反応をみた社会実証実験について紹介する。

3. デマンドレスポンスに関する研究

3-1. 海外で行われている社会実証実験

ここではアメリカ合衆国ワシントン州のオリンピック半島での社会実証実験を紹介する。概要は以下の通りである。

- ・実施期間 : 2006年初頭から2007年3月まで
- ・参加世帯数 : 112世帯、その他商業施設など
- ・トリートメント : 固定型、TOU (CPPも行う)、RTP、Control

固定型の参加者は固定価格として8.1¢/kWhを支払う。この価格は協賛社が市場価格に基づいて決定したものである。表3-1はTOUの料金を示す。夏季の緊急時には前日に協力要請があったうえで、2:00~6:00の間の電気価格は35.00¢/kWhとなる。RTPは5分ごとに電気料金に変化する。そのため電気料金の予測が困難な場合、参加者はインターネット上で価格シグナルへの自動応答を選択・調整できるようになっている。Controlは、一定人数の参加者をランダムに割り当てたグループである。このグループになった場合、スマートメーターは自宅に導入はされるが、この計画期間中の電気料金、電気料金契約、使用料請求はなく、このグループの参加者は電気の使用量にかかわらず、謝金として150ドルを受け取る。

実験結果は季節ごとに得られた。すべての季節でTOUは固定型よりも電力消費量が低

表 3-1 TOU における電力単価

| 季節 | 時間帯 | 時間 | 電力単価 (¢/kWh) |
|---------------------|--------|-------------|-----------------|
| 夏季 (7/25~9/30) | オフピーク | 9:00~14:59 | 5.000 |
| | ピークタイム | 15:00~8:59 | 13.500 |
| | クリティカル | 2:00~6:00 | 35.000 |
| それ以外 (10/1~7/24) | オフピーク | 9:00~17:59 | 4.119 |
| | | 21:00~5:59 | |
| | ピークタイム | 6:00~8:59 | 12.150 |
| | | 18:00~20:59 | |

出典：Hammerstrom (2007)

くなる結果となった。また、RTPにおいても、春季と秋季においては固定型よりもピークカットに成功している。

なお、この社会実証実験後、参加者に、再びこの実証実験に参加した場合、どの契約を選ぶかを尋ねた。Control型参加者(17%)を除いたアンケート(複数回答を認める)の結果は、固定型12%、TOU42%、RTP46%であった。このように電力使用量が低減されるのはTOUであるのに対し、消費者が最も好む料金制度はRTPという結果となった。

3-2. 国内で行われている社会実証実験

経済産業省は2009年11月に省内横断的プロジェクトチーム「次世代エネルギー・社会システム協議会」を設置し、スマートグリッド/スマートシティの社会実証地域を公募した。その結果、横浜市、豊田市、けいはんな学研都市(以下「けいはんな」)、北九州市の4地域が選ばれ実験が行われている。その中で「けいはんな」を以下で紹介する。

3-2-1. 「けいはんな」エコシティー次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト

「けいはんな」では次の3つの指標が用いられた。

- ・ピークカット効果 ピークタイムにTOUやCPP変動型電気料金や見える化などの「トリートメント」を実施すると、実施されない場合と比較して、どれだけのピークタイムの電気使用量の削減効果があるか。
- ・1日省エネ効果「トリートメント」が実施された場合に、実施されない場合と比較して、どれだけの1日の総電気使用量の削減効果があるか。
- ・変動型電気料金を採用した場合の電力の価格弾力性。すなわち価格が1%変化すると電気使用量が何%変化するか。

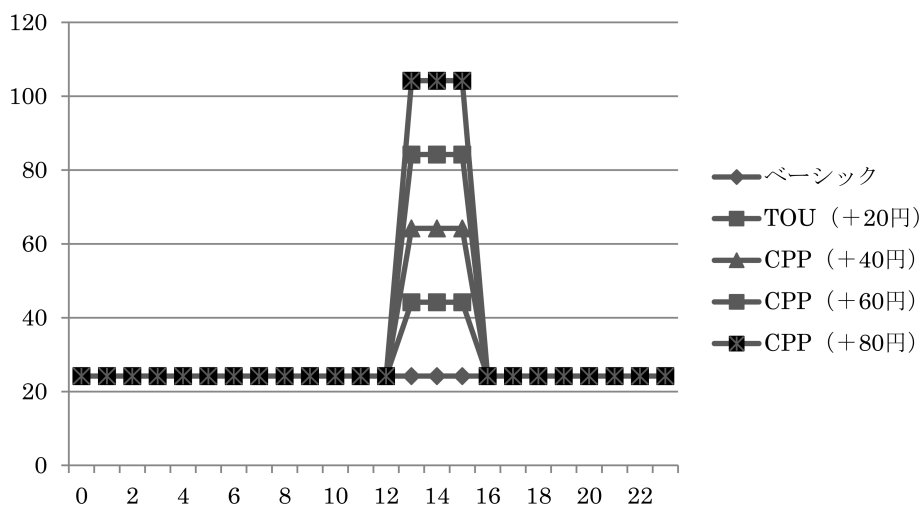


図 3-1 夏変動型 CPP 料金 (ガス電併給)

出典：けいはんなエコシティー推進会議

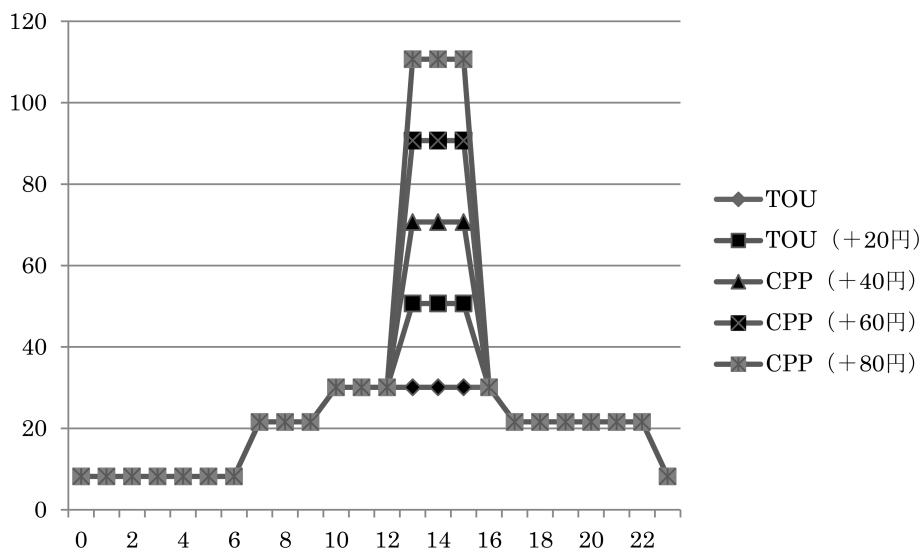


図 3-2 夏変動型 CPP 料金 (オール電化)

出典：けいはんなエコシティー推進会議

注：縦軸は料金、横軸は時間。TOUは23時～7時が8.2円/kwh、7時～10時と17時～23時が21.6円/kwh、10時～17時が30.7円/kwh。

実施内容は以下の通りである。20円上乗せ TOU に、40円/kwh、60円/kwh、80円/kwh の変動型 v-CPP を上乗せして、各5回発動する。発動対象時間帯は13時～16時である。参加世帯は、関西電力管内の戸建て約700世帯で、ガス電併給・オール電化世帯を分けて実証した(図3-1、2を参照)。

実証結果は、TOU が 5% 超、CPP が最大 20% 弱のピークカット効果が認められた。オール電化世帯の方が高いピークカットを示した。また、TOU による省エネ効果は 3%、CPP による省エネ効果は 5% であった。

価格弾力性は、TOU が 0.1、CPP が 0.15 超であり、ガス電併給世帯よりもオール電化世帯の方が価格弾力性は高かった。

以上、社会実証実験からは、消費者はデマンドレスポンスの料金制度に反応し、電力使用を控えピークカットを行うことがわかった。

4. 電気料金体系の現状

本節では国内外で現在採用されている電気料金体系と、それに対する消費者の反応を論じる。

4-1. ヒューストンの電気料金体系の現状について

米国では現在、テキサス州をはじめ複数の州で電力小売市場が自由化されている。ここではその事例としてテキサス州ヒューストンの例を挙げる。

テキサス州では 2002 年より電力市場の完全自由化が行われた。テキサス州の既存の電力事業者は発電・送配電・小売に分離された。しかし、電力事業者が完全に自由化した場合、混線の発生など電力供給に障害が発生することが懸念された。このため Public Utility Commission of Texas (PUCT) の監督のもと、電力市場の管理のために電力事業者を集めて Electric Reliability Council of Texas (ERCOT) が設立された。この ERCOT 参加公営・民間配電事業者のカバーする範囲における小売完全自由化が、テキサス州における電力市場の自由化であり、それは州面積の 75% をカバーしている。

テキサス州の電力小売市場においては、競争の自由化と新規参入業者を増やすために 2007 年ごろまで、既存電力会社（正確には法人分離後の小売事業者）は従来の供給区域のシェアを 40% 喪失するまで、基準価格以外の条件で小売を行うことを禁止された。2014 年現在テキサス州の登録電力小売事業者は 112 社が登録されているが、そのうち新規参入業者の顧客数、電力販売量におけるシェアはともに 60% 以上となっている。

テキサス州では電力メーターの読み取りは配電事業者によってなされている。各小売電力事業者は配電事業者から顧客の月間電気使用量の報告を受けて料金の徴収を行っている。

電力小売市場自由化後のヒューストンにおいては、次のような電気料金制度が存在する。表 4-1 の 3 つの料金は、Reliant Energy Retail Service, LLC 社によるものである。同社はヒューストン中心に 180 万以上の顧客を抱える電力小売り事業者であり、その顧客の

表 4-1 Reliant Energy Retail Service, LLC 社の料金体系

| | | |
|---|-------------------------------|-----------|
| サービス名 | Reliant Secure Advantage 12 | |
| 契約期間 | 12 か月 | |
| 価格のタイプ | 固定型 | |
| 従量電気料金 | 6.2¢ | |
| 月額固定サービス料 | 9.95\$ | 800kWh 未満 |
| | 0.00\$ | 800kWh 以上 |
| 中途解約料 | 150\$ | |
| Center Point Energy Delivery Charges | | |
| 従量配送電料 | 4.9801¢ | per kWh |
| 固定配送電料 | 8.52\$ | per month |
| サービス名 | Reliant Clear Flex Plan | |
| 契約期間 | 1 か月ごと | |
| 価格のタイプ | 変動型 | |
| 従量電気料金 | 4.9¢ | per kWh |
| 月額固定サービス料 | 9.95\$ | 800kWh 未満 |
| | 0.00\$ | 800kWh 以上 |
| 中途解約料 | 0\$ | |
| Center Point Energy Delivery Charges (上に同じ) | | |
| サービス名 | Reliant Learn and Conserve 24 | |
| 契約期間 | 24 か月 | |
| 価格のタイプ | 固定型 | |
| 従量電気料金 | 7.9¢ | per kWh |
| 月額固定サービス料 | 0.00\$ | per month |
| 中途解約料 | 295\$ | |
| Center Point Energy Delivery Charges (上に同じ) | | |

出典：Reliant Energy Retail Service, LLC 公式 HP
「Compare Plans & Sign Up」

注：料金は 2014/9/1 現在のものである。

65%はヒューストン市のものである。

Reliant Secure Advantage 12 を選択した場合、12 か月間電気料金を固定される。Reliant Clear Flex Plan は月ごとに契約を更新していく電気料金体系である。顧客は価格を、契約時に作成される顧客アカウントから確認できる。Reliant Learn and Conserve 24 は無料で \$249 相当の「Nest Learning Thermostat」と呼ばれる温度調節装置がオプションでつく電気料金体系となっている。この温度調節装置はスマートフォン等のデバイスからの遠隔操作が可能であり、プログラムが自動学習して室温管理を行うことができる。

次の表 4-2 は、Gexa Energy 社が提供する風力発電のみによる電力供給サービスである。同社はヒューストン中心に 17 万以上の顧客を抱える電力小売り事業者である。表の

表 4-2 Gexa Green 12 — 100% Wind, Pollution Free

| サービス名 | Gexa Green 12 — 100% Wind, Pollution Free | |
|---|--|-----------------|
| 契約期間 | 12 か月 | |
| 価格のタイプ | 固定型 | |
| 従量電気料金 | 7.7¢ | |
| 月額固定サービス料 | 9.95\$ | per kWh |
| | 0.00\$ | 1,000kWh 未 満 |
| 中途解約料 | 150\$ | 1,000kWh 以 上 |
| Center Point Energy Delivery Charges | | |
| 従量配送電料 | 4¢ | |
| 固定配送電料 | 8.72\$ | per kWh |
| | | |

出典：Gexa Energy 公式 HP 「Do you currently have service with us?」

注：料金は 2014/9/1 現在のものである。

Gexa Green 12 は 12 か月間固定の電気料金である。

以上、テキサス州では電力小売り自由化が行われているが、その電気料金体系には、契約期間による従量電気料金の差が存在する程度で、価格タイプは固定型となっている。また、デマンド式料金制度に対する家計の需要も高くないことがうかがえる。

4-2. 日本の電気料金体系について

ここでは日本の電気料金体系の現状として、家庭向けの標準的料金制度である従量電灯制度と、新しい料金制度であるピークシフト料金制度を取り上げる。両者の比較を通じて、どちらの電気料金体系が得か、プランを乗り換えるインセンティブが存在するのかを論じる。特に、家計電力需要のピークであり、ピークシフト料金制度において電気料金が最も高く設定されている 7/1～9/30 平日 13 時～16 時の電力使用量が、家計の電気料金支出にどれほどの影響を与えるのか、また、家計の節電努力によってその支出をどの程度低減できるのかを明らかにする。

4-2-1. 関西電力における家庭向け電気料金体系¹⁾

関西電力には平均月使用量が 800kWh 未満の個人を対象とする 4 つの料金制度がある。すなわち、標準的な「従量電灯 A」、平日ピークタイムのピークカット及び夜間のピークシフトを促す「はぴ e タイム」、夜間の電力使用を促す「時間帯別電灯」、夏のピークシフ

表 4-3 関西電力の電気料金体系

| 従量電灯 A | | はぴ e タイム | | | |
|--------|------------|----------|--------------------------------------|------------------|---------|
| 価格タイプ | 固定 | | 固定 | | |
| 従量電気料金 | 15~120kWh | 20.84 円 | デイトタイム (10 時~17 時) | 夏季 (7/1~9/30) | 36.86 円 |
| | | | | 夏季以外 | 33.51 円 |
| | 120~300kWh | 27.27 円 | リビングタイム (7 時~10 時及び 17 時~23 時) | | 25.29 円 |
| | 300~kWh | 31.09 円 | ナイトタイム (23 時~翌 7 時) | | 11.07 円 |

| 時間帯別電灯 | | | | 季時別電灯 PS (ピークシフトプラン) | | |
|--------|------------------|-----------|-----------------|---|-----------|---------|
| 価格タイプ | 固定 | | | 固定 | | |
| 従量電気料金 | 昼間 (7 時~23 時) | ~90kWh | 22.72 円 | ピーク時間 (7/1 ~ 9/30 平日 13 時~ 16 時) | | 21.92 円 |
| | | 90~230kWh | 29.67 円 | | | |
| | | 230kWh~ | 33.91 円 | オフピーク時間 (ピーク時間を 除く 7 時~23 時) | ~90kWh | 21.92 円 |
| | 夜間 (23 時~翌 7 時) | 11.07 円 | | | 90~230kWh | 28.62 円 |
| | | | | | 230~kWh | 32.77 円 |
| | | | 夜間 (23 時~翌 7 時) | | 11.07 円 | |

出典：関西電力 HP 「電気料金のご案内」

トを促す「季時別電灯 PS」である（表 4-3 を参照）。

従量電灯 A は、関西電力管内において最も多くの人に利用されている。このプランでは、使用量によって電力量料金単価が異なる 3 段階料金制度となっており、基本料金に含まれる 15kwh までの料金とは別に 15kWh 超過 120kWh まで、120kWh 超過 300kWh までと 300kWh 超過の 3 段階に分かれている。時間帯による電気料金の差はなく、使用量のみで料金が決まるのが特徴である。ピークシフトプランは、使用時間によって電気料金が異なる。このため、ピーク時間の電気使用を避けるようにすることで、支出額をより節約できる。

4-2-2. ケーススタディ

ここではケーススタディとして、具体的な家庭（1 戸建て 4 人世帯。日中在宅者 1 人）（以下 N 家とする）における電力消費の実態に基づいて、ピークシフトプランと従量電灯プランの電気料金を比較した。

N 家のデータは実際に 11 月 5 日~8 日の 4 日間で計測した時間帯別の使用量を月間使

表 4-4 2つのケースの時間帯別月間電力使用量 (単位: kWh)

| | N 家 | 関西電力 |
|---------------------|-----|------|
| ピークタイム (13~16) | 90 | 5 |
| オフピーク (7~13, 16~23) | 240 | 197 |
| 夜間 (23~翌7) | 120 | 278 |
| 合計 | 450 | 480 |

表 4-5 月間電気使用量の比較 (2つの料金制度×2つのケース) (単位: 円)

| | N 家 (450kWh) | 関西電力 (480kWh) |
|-------------------|--------------|---------------|
| ピークシフト (季時別電灯 PS) | 15080 | 9280 |
| 従量電灯 A | 13080 | 14081 |

用量として換算したものである。一方、関西電力のモデルケースは、同社 HP に記載されているものである。関西電力によれば、このモデルケースは時間帯別の平均使用電力量を用いており、特定の家族構成を想定したものではない²⁾。

表 4-4 は、N 家と関西電力モデルケースのそれぞれの1ヶ月の電気使用量を時間帯別に表している。このデータと関西電力の HP で用意されている電気料金シミュレーション³⁾を用いて、電気料金を算出したものが表 4-5 である。ただし燃料費調整額には平成 26 年 10 月度のものを用いた。

表 4-5 から確認される一番の特徴は、ピークシフトプラン間における2つのケースの間の約 6000 円の電気料金差である。N 家の方が関西電力モデルケースよりも総電力使用量が低いにも関わらず、電気料金は N 家の方が顕著に高くなっている。料金を大きく左右している要因はピークタイムの電気使用量である。表 4-4 における関西電力のピークタイム使用量が 5kWh となっているが、1ヶ月の待機電力は約 2kWh⁴⁾であるため、モデルケースでは、ほぼこの時間帯に電気を使用していないということが想定されていると言える。この時間の使用量をうまく抑えることができれば料金の低減を図れるが、日中家に人がいるような家庭においては、それは非現実的である。

ケーススタディからわかることは、関西電力のピークシフトプランは、日中に在宅者のいる世帯に対しては、それを利用するインセンティブはないということである。そのような家庭がピークシフトプランを活用するには、生活そのものを大きく変える必要が生じる。一方で、独り暮らしの勤労者のように日中は不在のことが多い世帯にとっては、ピークシフトプランへの乗り換えインセンティブはある。ただし問題として、そうした世帯は以前から日中は電力を使用していないので、乗り換えによって電力料金は節約できて、電力使用量の削減は期待できないことが予想される。

日中に在宅者のいる一般家庭において、使用料金を低減するためには多くの人数が家に

いることになる夕方から就寝前と土曜日や日曜・祝日といった時間帯での使用量を抑えることが考えられる。7、8月を除けば家庭の電力需要のピークは午後6時前後なので、この時間帯の電力使用量を抑えることは意義のあることである。

5. デマンドレスポンス料金制度のコンジョイント分析

5-1-1. 課題とデータ

社会実証実験では、消費者は割り振られたデマンドレスポンス料金制度に対して節電などにより反応をすることが明らかにされた。しかしながら、電力小売り自由化がすでに行われているアメリカにおいても、ヒューストンの事例を見る限り、そうした料金制度の普及は進んでいない。一方、日本では電力小売り自由化は未だ行われていないものの、ピークシフトのための料金制度が用意されている。しかしながら、東京電力のようにその利用が低調であったり、関西電力のケースのように、ピークタイムに電力使用の多い家庭では、従来の従量料金制度からの乗り換えインセンティブが低い価格設定となっていたりしている。

以上のことから、スマートグリッド社会においてデマンドレスポンス料金制度が活用されるためには、各家計が、どのような料金であれば従前の従量料金制度から乗り換えてよいと考えるかを明らかにすることが重要な課題となる。本節では、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)の平成24年度採択課題「エネルギー需給ネットワークにおけるエージェントの戦略的行動を公共利益に統合する最適化メカニズム」(研究代表:早稲田大学理工学術院教授 内田健康)の研究活動の一環として収集されたインターネットによるアンケート調査データを用いて、どのような価格設定であれば、消費者はデマンドレスポンス料金制度に乗り換えるかを明らかにする。

5-1-2. アンケート

上記のアンケート調査の概要は以下の通りである。

- ・調査方法:日経リサーチアクセスパネルによるインターネット調査
- ・調査対象者:20~69歳男女
- ・調査地域:日本全国。ただし本研究では、調査されたもののなかから関西電力管内と東京電力管内のものを抽出して用いた。データ数1554。
- ・調査期間:2014年3月14日(金)~3月18日(火)

アンケートでは、各回答者に現在利用している電気料金を尋ねたうえで、デマンドレスポンス料金制度について説明を行い、同料金制度に関する質問と回答者のライフスタイルに関する質問を行っている。

デマンドレスポンス料金制度として選択肢にあげたものは以下の6種類である。図5-1～3の左側は、回答者のイメージ喚起のためにアンケート中に示されたものである。一方、右側はピークタイムを14:00～16:00と仮定し、想定される電力価格の時間帯別変化を示したものである。

(1) TOU

社会の電力使用量のピーク時とオフピーク時に応じて2つ以上の時間帯を設定し、ピーク時間帯に高単価を設定する。

(2) CPP

電力系統混雑時や卸料金が低いときに大幅な割増単価を適用する。TOUとは異なり、発動日数に上限があるのみで、料金適用となる日はあらかじめ決められていない。

(3) RTP

最長でも1時間ごとにリアルタイムの小売料金単価を電力料金に適用する。

(4) 自動技術コントロール制度 (Direct Load Control : DLC)

各家電機器に取り付けたセンサーが、各機器の電力使用状況をリアルタイムで計測し、電力管理・制御システムに送る。あらかじめ決めておいた最大使用可能電力量の範囲内で必要性に応じて家電機器への配電を削減したりオフにしたりする。契約電力量を超えるとある一定以上は電力を使えなくなる可能性がある。

(5) 自動技術コントロール制度と緊急ピーク時課金の併合 (MIX)

あらかじめ決めておいた最大使用可能電力量の範囲内で、必要性に応じて家電機器への配電を調節しながら、電気需要が多くなった緊急時には大幅な割増単価を適用する。

(6) 従量料金制度 (FIX)

電力使用量に応じて比例的に料金が增加する。

アンケートにおいて、回答者は、現在「月額9000円の従量料金制を導入している」と仮定した上で、以上の中から好ましい料金制度を1つ選ぶ。各料金制度には、制度乗り換えのための初期費用および月間料金（いずれも回答者ごとにランダムに異なる）が同時に示される。

5-1-3. 分析

ここではコンジョイント分析によって分析を行う。分析には統計パッケージNLogitを用いた。

ある料金体系 j の下で得られる効用 U_j を以下の式で表現する。

$$U_j = \beta_1 \times \text{monthly fee} + \beta_2 \times \text{switching cost} + (\gamma_{1j} z_1 + \gamma_{2j} z_2 + \dots + \gamma_{nj} z_n)$$

ここで、 $\beta_1 \times \text{monthly fee} + \beta_2 \times \text{switching cost}$ は、attributes と呼ばれ、料金体系 j の属性に関わって効用に影響を与える部分である。一方、 $(\gamma_{1j} z_1 + \gamma_{2j} z_2 + \dots + \gamma_{nj} z_n)$ は、

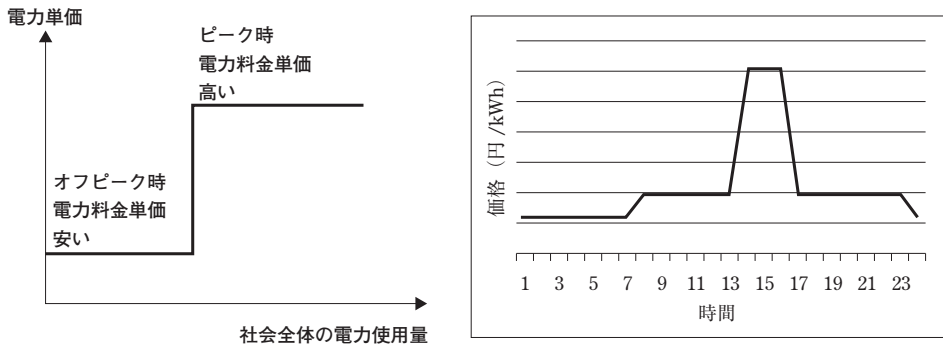


図 5-1 TOU 電力単価イメージと時間帯別価格変化

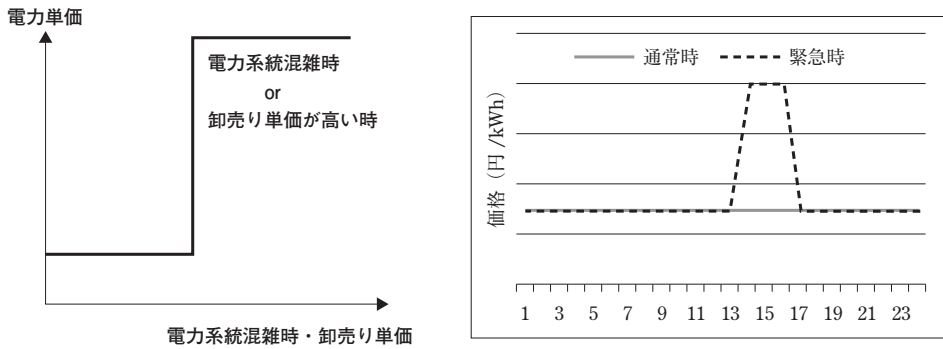


図 5-2 CPP 電力単価イメージと CPP 時間帯別価格変化

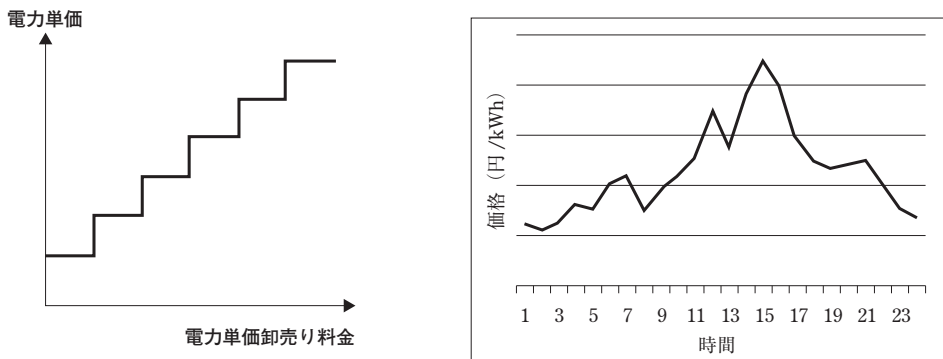


図 5-3 RTP 電力単価と時間帯別価格変化のイメージ

表 5-1 各個人属性にかかる係数

| | TOU | CPP | RTP | DLC | MIX |
|-------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Spring | -0.56235 D-05 | -0.19797 D-05 | 0.27602 D-04*** | -0.20200 D-05 | 0.35202 D-05 |
| Summer | -0.76793 D-05 | 0.11487 D-04 | -0.17603 D-04** | 0.55206 D-05 | 0.11713 D-04 |
| Autumn | 0.74578 D-05 | -0.10351 D-04 | 0 | 0.10665 D-04 | 0.16858 D-04 |
| Winter | -0.61007 D-05 | -0.10093 D-04 | -0.21163 D-04*** | -0.48274 D-05 | -0.17466 D-04** |
| All-electric home | -0.56185*** | -0.39563*** | -0.18142* | -0.22321** | -0.40387*** |
| 1 generation | 0.95237*** | 0.428 | -0.08721 | 0.45552* | 0.63310** |
| 2 generations | 0.85866*** | 0.27302 | -0.30653 | 0.37846 | 0.38274 |
| 3 generations | 0.83144** | 0.25572 | -0.32554 | 0.47751 | 0.48178 |
| Single | 0.75011*** | 0.43892* | -0.08422 | 0.23804 | 0.36309 |
| Family size | -0.0263 | 0.07363 | 0.12532** | -0.01507 | -0.00601 |
| Education | 0.07721*** | .06628*** | 0.08895*** | .04432** | 0.03105 |
| Income | 0.12373*** | .06844*** | 0.11426*** | .09983*** | 0.12276*** |
| Area | -0.10915* | -0.17131** | -0.13705** | -0.32400*** | -0.12220* |

注 1：“xxxxxD-nn”は、xxxxx $\times 10^{-m}$ を表す。

注 2：***、**、*は、それぞれ1%、5%、10%水準で有意であることを表す。

characteristics と呼ばれ、個人属性に関わって、料金体系 j が効用に影響を与える部分である。すなわち、attributes は料金制度の属性を示し、characteristics は回答者の個人属性を示す。アンケートにおいては、TOU、CPP、RTP、DLC、MIX、FIX のうち、どれが好ましいか回答者は選択する。FIX は従量料金制を維持することを意味し、他の選択肢のいずれかが、従量料金制の効用を上回るとき、消費者はその料金体系に移行する。アンケートの従量料金制では、*monthly fee* が 9000 円、*switching cost* が 0 円と設定されている。また、FIX の characteristics の値は 0 に標準化されている。よって、

$$U_j \geq U_{FIX} = \beta_1 \times 9000$$

を満たせば、消費者は料金体系 j に移行する。

表 5-1 は、計算の結果得られた各個人属性にかかる係数の一覧である⁵⁾。

1 の Spring、Summer、Autumn、Winter は、各季節における 1 か月あたりの電気料金を表し、選択肢の数字が大きいほど高額である。All-electric home は、オール電化住宅を 1：導入している、2：導入していないの 2 択である。次に、1 generation、2 generations、3 generations、Single は、家族構成を表し、それぞれ、夫婦のみ、夫婦と子供（2 世代）、3 世代、1 人のみの世帯を意味する。なお、分析では、家族構成に対して「その他」と答えた回答者のデータは削除した。Family size は、自らを含む家族の人数を示す。Education、Income はそれぞれ最終学歴、収入を示し、選択肢の数字が大きいほど最終学

歴が高いこと、収入が多いことを意味する。最後に、Area は電力供給を受けている電力会社を指し、選択肢は 0：東京電力、1：関西電力である。

初めに TOU の結果を述べる。以下、有意な係数の符号について解釈する。All-electric home における負の係数は、オール電化を導入していないと効用が下がることを意味する。これは、TOU に移行する際に節約される電力量が、オール電化の方が多いためと解釈できる。家族構成は、全ての係数が正であるが、夫婦のみにおいて TOU 移行による効用増加が最も高い。これは、電力料金の高い時間帯に外出しやすい世帯であるためと考えられる。夫婦に続くのが、2 世代、3 世代世帯である。これら世帯の場合、夫婦のみに比べ、日中の在宅人数が多く、在宅者全員が外出することが困難なため、効用が相対的に低くなると考えられる。1 人のみ世帯の値が更に低い理由は、料金の高い時間帯は元々外出している可能性が高いためである。すなわち、TOU に移行するメリットがあまり大きくない。次に Education や Income で正の効用を得ているのは、学歴の高いあるいは収入の高い人は、電力消費に関心が高いためと考えられる。Area については後述する。

次に、CPP に関して述べる。有意な係数の符号は TOU と同じであり、したがってその解釈は TOU に準じる。ここで 1 人のみ世帯の値が高いのは、1 人暮らしの場合、電力価格の上昇が予告された時間帯に在宅を予定していたとき、予定を変更し外出するという即応的な選択を容易にできることによると考えられる。

RTP においては、Spring、Summer、Winter、All-electric home、Family size、Education、Income、Area が有意である。春の電気料金に対する効用が正であるのは、電力需給バランスに応じた電力価格の提供により、価格が最適化され、春には RTP に移行することで支出が減少することが要因と考えられる。一方、夏冬の電気料金に対して負の係数が出ている。RTP の場合、電力需要が増加する夏冬は電気価格が高くなり、したがってこれらの季節には支出が増加するか、あるいは電気の節約によって大きな不効用が発生するためと考えられる。係数は有意ではないものの、家族構成のうち、生活スタイルを変更しやすい、夫婦や 1 人のみ世帯においてもなお、負の効用が出ていることから、RTP に対応することの困難さが推察される。家族の人数に対する係数が正値をとっていることは、大家族であるほど需要ピーク時の電力節約が容易であることを示唆する。これはエコキュートやエネファームなど、ピークシフトのための設備が大家族向きであることと関係しているかもしれない。

DLC においては、All-electric home、1 generation、Education、Income、Area の係数が有意である。夫婦のみ世帯においては、1 人のみ在宅している時間が多いと予想され、DLC によって節電可能な電力量が多いことから係数が正であると考えられる。

CPP と DLC の併合である MIX においては、Winter、All-electric home、1 generation、Income、Area の係数が有意である。ここでも夫婦のみ世帯にかかる係数が大きくなって

いる。冬の電気料金の係数が負であることは、CPP、DLCの符号と整合的であり、さらに言えばすべてのデマンドレスポンス料金制度の符号と同じである。これは、価格が高くなっても冬の電力節約は困難であることを意味していると考えられる。

最後に、Areaはすべての料金制度で係数は負であった。すなわち、東京電力管内の家計の方が関西電力管内の家計よりも効用が大きい。別の言い方をすれば、同じピークシフト料金制度に対して、他の条件が等しいならば、東京電力管内の家計はより高い料金を支払ってもよいと考えている。この地域差が何によって生じるかはここでの分析からはわからない。

次に、以上の結果を用い、各料金体系への最大支払意思額（支払ってもよい金額）を算出する。各料金体系から得られる効用は

$$U_j = \beta_1 \times \text{monthly fee} + \beta_2 \times \text{switching cost} + \text{characteristics}_j$$

$$j = \text{TOU, CPP, RTP, DLC, MIX}$$

で表される。Characteristicsの値は家計によって異なるので、ここでは代表的家計として、各最頻値を実現する家計を想定した。表5-2が回答者の最頻パターンである⁶⁾。また、表5-3は計算された代表的家計のcharacteristicsの値である。

Attributeの係数は $\beta_1 = -0.95953\text{D}-04$ 、 $\beta_2 = -0.64912\text{D}-04$ である。各料金体系への移行料金（switching cost）は、TOU、CPP、RTPにおいては7500円、DLC、MIXにおいては11000円と仮定した。この額は、アンケート調査におけるswitching costの平均値（前者は7442円、後者は11228円）に基づく。DLC、MIXにおいて他の料金体系より高いのは、機器を新たに購入する必要があるためである。

料金体系 j の効用が $U_j \geq U_{\text{FIX}} = \beta_1 \times 9000$ を満たせば、 j への移行が生じるから、移行が生じる最大のmonthly feeは次の式で与えられる。

$$\text{monthly fee} \leq 9000 - \frac{\text{characteristics}_j + \beta_2 \times \text{switching cost}}{\beta_1}$$

図5-4に最大支払意思額を示した。この値よりmonthly feeが小さく与えられたとき、回答者は電力体系を移行する。そこに示されているように、いずれも前提条件である月額9000円（従量料金制）を下回り、TOU、RTP、DLC、CPP、MIXの順に最大支払意思額が高いことが示された。

TOUは、支払意思額が最も高い（最も普及の可能性が高い）上に、関西電力の「はびeタイム」のように、特別な機器の設置をせずとも実施できる。にも拘わらず、一般消費者にひろく支持されるTOU料金体系が存在しないことは残念なことである。

謝辞

武蔵大学経済学部の田中健太専任講師には本研究で用いたデータの提供並びに貴重なアドバイスをいただきました。記してここに感謝申し上げます。

表 5-2 回答者の最頻パターン

| characteristics | 回答 | 属性詳細 |
|-------------------|-------|--------------------|
| Spring | 5500 | (単位：円/月) |
| Summer | 10500 | (単位：円/月) |
| Autumn | 5500 | (単位：円/月) |
| Winter | 5500 | (単位：円/月) |
| All-electric home | 2 | オール電化を導入していない |
| 1 generation | 0 | |
| 2 generations | 1 | 夫婦と子供(2世代)の世帯 |
| 3 generations | 0 | |
| Single | 0 | |
| Family size | 2 | (単位：人) |
| Education | 7 | 4年制大学卒 |
| Income | 2 | 年収：300万円以上 500万円未満 |
| Area | 0 | 東京電力 |

表 5-3 各料金制度における characteristics の合計

| | TOU | CPP | RTP | DLC | MIX |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| characteristics | 0.36619 | 0.22714 | 0.28302 | 0.49076 | 0.16485 |

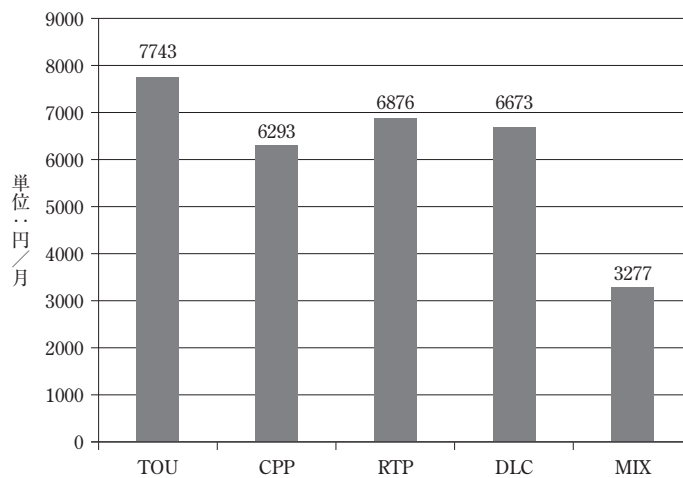


図 5-4 電気料金体系別最大支払意思額

注

- 1) 日本において契約口数と電気使用量が最も多いのは東京電力だが、同社において用意されているピークシフトプランは、消費電力の大きい店や事務所向けである。(東京電力で想定されている推奨基準が1か月の使用量 600kWh 以上に対し、電気事業連合会による一般家庭の平均使用量は 300kWh) そのためここでは、二番目に契約口数・電気使用量が多い関西電力のプランを取り上げる。
- 2) 関西電力への電話インタビューによる。
- 3) 関西電力 https://www2.kepco.co.jp/home/ryoukin/simu_denki/servlet/n08.simulation.N08NB00Servlet
・季別電灯 PS (ピークシフト) https://www2.kepco.co.jp/home/ryoukin/simu_denki/servlet/n08.simulation.N08NK00Servlet
- 4) 関東電気保安協会 https://www.kdh.or.jp/safe/energy_saving/saving_knowledge/stand_by.html
- 5) 決定係数は 14.24%、自由度調整済み決定係数は、14.14%であった。
- 6) 代表的家計における家族構成と家族人数の組み合わせは不自然であるが、子供の人数にばらつきがあるため、最頻値においては起こりうる結果である。

参考文献

- [1] Gexa Energy ホームページ『Do you currently have service with us?』<http://www.gexaenergy.com/customer-type> (アクセス 2015 3/28)
- [2] Hammerstrom, D.J. (Principal Investigator) (2007) “Pacific Northwest GridWise™ Testbed Demonstration Projects. Part I. Olympic Peninsula Project.” http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-17167.pdf (アクセス 2015 3/28)
- [3] Public Utility Commission of Texas ホームページ『Report Cards on Retail Competition and Summary of Market Share Data』<https://www.puc.texas.gov/industry/electric/reports/RptCard/PastRC.aspx> (アクセス 2015 3/28)
- [4] Reliant Energy Retail Service, LLC ホームページ『Compare Plans & Sign Up』<https://www.reliant.com/public/loadNewEnroll.htm> (アクセス 2015 3/28)
- [5] アクセンチュア『スマートグリッドがもたらす新しい世界』<http://www.accenture.com/jp-ja/landing-pages/Pages/smartgrid.aspx> (アクセス 2015 3/28)
- [6] 関西電力ホームページ『電気料金のご案内』<http://www.kepco.co.jp/home/ryoukin/menu/> (アクセス 2015 3/28)
- [7] 経済産業省ホームページ『エネルギー基本計画』<http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140411001/20140411001-1.pdf> (アクセス 2015 3/28)
- [8] けいはんなエコシティー推進会議 <http://keihanna.biz/ecocity-pj/index.html> (アクセス 2015 3/28)
- [9] 資源エネルギー庁ホームページ『家庭の節電対策メニュー』http://www.meti.go.jp/earthquake/electricity_supply/0513_electricity_supply_02_08.pdf (アクセス 2015 3/28)
- [10] 資源エネルギー庁ホームページ 省エネルギー・新エネルギー部 新産業・社会システム推進室『デマンドレスポンスについて ～スマートコミュニティ社会実証実験結果から～』http://www.chugoku.meti.go.jp/topics/energy/130605_1.pdf (アクセス 2015 3/28)
- [11] 電気事業連合会ホームページ「再生可能エネルギー導入拡大に伴う技術的課題と対応策について」http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/pdf/002_04_00.pdf (アクセス 2015 3/28)
- [12] 電気事業連合会ホームページ『電力データ』<http://www.fepec.or.jp/library/data/index.html> (アクセス 2015 3/28)
- [13] 東京電力『電気料金メニュー』<http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/index-j.html> (アクセス 2015 3/28)