

ICT を活用した電力需要抑制に関する経済効果の実証研究

研究代表者 中 村 彰 宏 横浜市立大学大学院 国際マネジメント研究科 教授
共同研究者 熊 谷 礼 子 帝塚山大学 経済学部 教授

1 はじめに

平成 22 年 12 月に総務省から公表された『「光の道」構想実現に向けてのとりまとめ』にも示されているように、超高速ブロードバンドネットワーク利活用の促進は、ICT 分野の重要な課題である。しかしながら、決定的な、いわゆるキラーアプリケーションは未だ出てきていない。ブロードバンドアプリケーションに限らず、どのようなサービスを需要家が消費するかは、その便益の大きさに左右されるが、その利用により実際に金銭的な節約が可能となる ICT アプリケーションは、ネットワークの利活用促進にインパクトが大きいと考えられる。

本研究の目的は、ネットワーク利活用の観点から、震災後の電力供給不足の課題に対して、電力需要の有効な抑制方法の一つとして想定されるスマートメーター導入とその効果について実証的観点から検討することである。当該目的のために、表明選好法を主体としたアンケート調査を行って、スマートメーターで電力消費をリアルタイムに可視化・制御し、ネットワーク経由でリアルタイム料金を導入する時の需要家の節電反応(デマンドレスポンス)の程度を計測する。導入が予定されているスマートメーターとリンクしたスマート家電導入インセンティブについても本研究の中で分析を行う。ブロードバンドを活用したアプリケーション促進の観点のみならず、電力供給不足の課題を ICT アプリケーションで解決する方向性を探る意味でも、本研究調査の意義は大きい。

実際、3 月 11 日の東日本大震災に伴う原発事故の影響とその後のエネルギー政策の転換に対応することはわが国の喫緊の課題である。経済学の視点から電力需要を抑制する方策には混雑料金の導入が想定される。送電部門に ICT を活用するものとしてスマートグリッドが注目されているが、長期的な課題である分散型自然エネルギー導入を除けば、混雑料金の導入にはリアルタイム電力消費の把握と混雑料金導入時の需要家の節電反応(デマンドレスポンス)の程度が重要であり、これら導入には双方向通信が必要となる。ブロードバンドのハード側面の普及の経済効果を計測するためには、様々なアプリケーション利用による経済効果を横断的に測定することが必要である (Kondo et. al, 2009 等)。その一方で、現状、まだ普及していないアプリケーションの消費者評価を行うにあたっては、詳細な仮定の検討や分析が必要となり、横断的な評価では必ずしも当該アプリケーションの普及促進に関して、具体的な提言に十分踏み込むことはできない。

冒頭で述べた通り、ネットワーク利活用促進はわが国 ICT 分野の重要な課題である。しかしながら、本研究では、横断的に多くの ICT アプリケーションを扱うのではなく、具体的な一つのアプリケーションとして電力需要抑制を取り上げ、具体的な政策提言につながるような詳細な実証分析を行う事とした。電力のデマンドレスポンスの現状については、アメリカや九州電力での実験結果や、こうした動向のサーベイとして熊谷(2012)、服部・戸田(2011)、Faruqui and Sergici(2010)等がある。ダイナミック料金の具体的メニューとしては、「時間帯別料金(TOU): 1 日を数個の時間帯に分けて課金する時間帯別料金」、「緊急ピーク時課金(CPP): 「緊急ピーク時料金」(需給逼迫が予想される年間数十時間程度: 通常 TOU とセット)」、「緊急ピーク時リベート PTR): 緊急ピーク時の節電量に応じた払い戻し」、「リアルタイム料金(RTP): 卸電力市場に連動した料金」、及び、それらの組み合わせが想定されている。

現在、政府は、総需要の 8 割に当たる需要家にスマートメーターを導入する方針であるが、その費用はスマートメーターの仕様に依存する。スマートメーターの仕様は、導入するダイナミック料金のタイプや通信手段によって、変わってくる。たとえば TOU 料金であれば、時間帯ごとに電力使用量を計測できればよいが、RTP 料金を導入するためには 30 分から 1 時間程度のインターバルで電力使用量を記録・通信する必要がある。事前に電力価格を、事後に電力使用量を通知するためには、メーター自体に双方向通信機能を持たせる方法以外にも、携帯電話や PC にリンクした形で情報をやりとりすることも考えられる。ダイナミック料金が導入された場合には、どのような通信手段で各需要家に日にちや時間帯で異なる電気料金を知らせるかについても課題となる。これらについても本研究の中で整理する。

本報告書の構成は以下の通りである。まず、次の第2節で、電力需要抑制に関連した先行研究の簡単なサーベイを報告し、その中で ICT アプリケーションの一つであるスマートメーターの動向についても整理する。続く第3節では、本研究で実施したアンケート調査の概要について説明する。第4節ではアンケート調査を利用して、ダイナミック料金を導入した場合の節電効果に関する分析、スマート家電の導入意向に関する分析の推計モデル及び実証結果について報告する。最後の第5節は、本報告書のまとめに充てる。

なお、本研究では、TOU が導入された場合の節電効果、TOU にプラスして CPP が導入された場合の節電効果を分析した。特に、自己選択型の節電プランを導入した場合の効果を計測するために、TOU, CPP それぞれについてピーク時間帯を 12 時から 16 時の 4 時間、12 時から 14 時の 2 時間、14 時から 16 時の 2 時間、と（仮想的に）設定したケースの分析を行っている。しかしながら、本報告書においては、紙面の都合上、一部の推計結果のみ報告する。

2 電力需要抑制に関する先行研究

本節では、本研究の背景となる電力需要抑制に関する先行研究及び、ICT アプリケーションの一つであるスマートメーターの最近の動向について整理する。

2-1 デマンドレスポンス・プログラム

米国では、移民の増加、IT の進展を背景に、今後も電力需要の増加が見込まれるが、環境制約により新規電源の確保は難しい。また、2000 年のカリフォルニア、2003 年 8 月の米国北東部の大規模停電の発生など、米国における電力供給の信頼度は高いとは言えない。これらを背景に、需要抑制策としてのデマンドレスポンスの重要性が増大しており、そのツールとしてのスマートメーターの導入の検討が進んでいる。2005 年にはエネルギー政策法で各州にデマンドレスポンスの導入とスマートメーターの設置について検討することが義務付けられた。連邦エネルギー規制委員会（Federal Energy Regulatory Commission, FERC）の 2011 年の報告によると、スマートメーターの全メーターにおける設置比率は 2007 年には約 4.7%であったが、2009 年には約 8.7%に達した。

服部・戸田（2011）は文献調査を中心に米国で実施された家庭用デマンドレスポンスのパイロット・プログラムについてその結果を評価し、米国におけるダイナミック料金の本格導入における課題を考察している。服部・戸田によると、当初は TOU や CPP をダイナミック料金として採用するケースが多かったが、近年では RTP を採用するケースも増えてきている。また、TOU と CPP、CPP と PTR と RTP など複数の料金メニューを同時に採用し、比較可能にしたプログラムも増えている。その多くはダイナミック料金を適用された需要家のグループと適用されていないコントロールグループを比較してピーク時の需要削減効果を計測したものである。これらのパイロット・プログラムから、需要削減効果がどの程度あったのかを服部・戸田は次のようにまとめている。ピーク需要の削減効果は小さいもので 2%程度、最大で約 50%と幅があるが、10%~18%の効果を示しているものが多い。従来家庭用電力需要については価格弾力性が低いと考えられていたが、これらプログラムの結果から、家庭用電力需要についてもデマンドレスポンスが期待できることがうかがえる。ただし、個々のパイロット・プログラムでは、当該地域の気候や特性も違い、採用されている料金メニューも様々で、単純な比較は難しい。

日本では、経済産業省の主導のもと、横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市の 4 地域でスマートシティ・スマートコミュニティの実証実験が始まったばかりである。このうち、北九州とけいはんな学研都市ではデマンドレスポンスの実験が行われ、需要抑制効果が確認され始めている。ただし、実験に参加している世帯はもともとエネルギー政策に関心の深い、節電に協力的な、限られた世帯である可能性が高い。一方、今回のアンケート調査では、東京電力、関西電力管内の世帯に幅広く対象を広げてデマンドレスポンスの効果を検証している。

2-2 スマートメーター

スマートメーターに期待される効果には、（1）供給力不足の解消、（2）供給信頼度、電力の品質の向上、（3）再生可能エネルギー電源大量導入に伴う供給信頼度の維持、（4）省エネ効果、（5）電力会社等における業務効率化といったものが挙げられる。我が国におけるスマートメーター導入の便益としては、デマンドレスポンスの導入を可能にし、ピーク需要を抑制し、発電・送電設備の効率化を図ること、大震災後のピーク時の供給力不足を解消することが最も大きい。この便益を最大に得るためには、デマンドレスポンスに

関する詳細な検討が望まれる。前述のように、すでにいくつかのパイロット・プログラムが我が国でも実施されつつあるが、まだ十分な分析はなされていない。地域や需要家のタイプによってデマンドレスポンスの程度は変わってくるので、どの地域のどのような需要家にどのようなダイナミックプライシングでデマンドレスポンスが見込まれるのかも明らかにする必要がある。筆者らが事前に行った新電力事業者へのヒアリングでは、世帯属性によって、節電しやすい時間帯や節電の方法（家電の使用時間をずらす、家電の使用を控える、外出するなど）は様々である可能性が示唆された。ダイナミックプライシングの設計にあたっては、ダイナミックプライシングのメニューを用意することで、より多くの需要家の参加、節電を見込める可能性もある。そこで今回の研究では、CPPの料金水準設定とともに、CPPの持続時間により節電行動がどのように違うかを検証している。

3 アンケート調査

本研究では、アンケート調査データを中心に ICT を活用した電力料金のダイナミック料金化による各需要家の反応、スマート家電購入の動向について分析を行っている。本節では、分析に用いたアンケート調査の概要について述べる。

3-1 分析対象と実施方法

本研究では、ダイナミック料金導入による各需要家の電力需要抑制行動と、スマート家電導入に対する傾向について分析する。

前節の電力需要抑制に関する先行研究で述べた通り、各国の社会実証実験を始め、当該分野では多くの実証分析がある。社会実証実験では、モニターとなる各家庭の電力使用量をモニターし、実際に（あるいは仮想的に）電力料金を変化させた事前事後でどのように使用量が変化したかを分析する方法が取られる。社会実証実験は同時にアンケート調査等も行われ、様々な角度から分析が試みられる。

一方、本研究のようにアンケート調査のみの研究において、回答者が回答可能な形でデータ収集するには、様々な制約がある。我が国ではダイナミック料金は、ごく一部で試験的に導入されているのみであり、ダイナミック料金導入の効果を計測するためには、仮想的状況を想定させた表明選好法を取る必要がある。ダイナミック料金導入という仮想的状況変化に対応して電力使用量を回答することは、通常の回答者はほぼ不可能であると言ってよい。そのため、本研究では、まず、使用している家電製品を問（図1）、何らかの（仮想的な）料金変化が導入された想定のもとで、どの家電に関して節電行動ができそうか（図2）を問う形式で、ダイナミック料金導入効果を計測することとした。分析の対象とした家電製品の選択に関しては、より多くの選択肢を用意したプレ調査（平成24年11日実施、サンプル数1020）において、利用世帯の多い家電、節電対象と回答された世帯の多い家電に関する調査結果から選択した。

加えて、先にも触れた通り、筆者らが行ったヒアリング調査によると、ダイナミック料金を実施された場合、当該時間帯に外出する形で節電行動を行うケースがあり得る。ただし、ダイナミック料金への加入が任意である場合、料金が上がる昼間の時間帯に留守にしている世帯が、最もダイナミック料金に加入しやすくなることが予想される。実際、双方向通信を利用したダイナミック料金導入が現状と比較して電力需要削減につながるのは、こうした世帯ではなく、当該方式が導入されなければ現状、電力需要ピーク時間帯に実際に電力を消費している世帯となる。そのため、本研究では、平日昼間の時間帯に実際に在宅の世帯員について調査をしている。その上で、ダイナミック料金が（仮想的に）導入された際に、外出という形で節電行動をするかどうかについても調査した。従って、上記の家電製品の使用を抑制する形での節電行動は、外出しないケースを想定して回答させる形式としている。

また、実際に双方向通信を利用したダイナミック料金が導入されて、節電行動がより大きな金銭的メリットにつながることであれば、当然、家電ごとの消費電力量の情報も現在よりも広く知られることとなることが予想される。実際、筆者らが行ったヒアリング調査によると、節電行動にはこのようなコンサルテーションが効果的であるという。本調査では、図3のような形で、回答者に情報を与えることで、節電情報がより知れ渡った状況を再現することとした。

ダイナミック料金の導入パターンについては、次の6つのケースを想定して調査を行った。なお、ダイナミック料金の発動のタイミングは、8月の平日と想定させた。CPPについては、特に電力需給がひっ迫する猛暑日（8月の5日間程度）であるとの仮定も設定している。

1. TOU 4時間（12-16時）

2. TOU 4 時間 (12-16 時) + CPP 4 時間 (12-16 時)
3. TOU 2 時間 (12-14 時)
4. TOU 2 時間 (12-14 時) + CPP 2 時間 (12-14 時)
5. TOU 2 時間 (14-16 時)
6. TOU 2 時間 (14-16 時) + CPP 2 時間 (14-16 時)

テレビ：リビング（ダイニング含む）
テレビ：リビング・ダイニング以外
パソコン（利用中、または、スリープなどシャットダウンしていない状態）
IH クッキングヒーター
食洗機
炊飯器
電気ポット
電子レンジ
掃除機
アイロン
洗濯機
衣類乾燥機・浴室乾燥機
温水便座（保温中も含む）
エアコン：リビング（居間、リビング・ダイニングを含む）
エアコン：ダイニング（食堂）（リビング・ダイニングで 1 台の場合はリビングの方でお答えください）
エアコン：その他の部屋※
照明：リビング（居間、リビング・ダイニングを含む）
照明：ダイニング（食堂）（リビング・ダイニングで 1 台の場合はリビングの方でお答えください）
照明：その他の部屋※
（冷蔵庫など常時 ON のもの以外）何も利用していない／今年控えた電化製品はない

図 1：8 月の平日に利用している/利用していた家電製品

「テレビ（リビング・居間）」を切る
「テレビ（リビング・居間以外）」を切る
「パソコン」を利用しないでシャットダウンする
「IH クッキングヒーター」を利用しない（別の時間に利用）
「食洗機」を利用しない（別の時間に利用）
「炊飯器」でご飯を炊かない（別の時間に利用）
「電気ポット」を利用しない（別の時間に利用）
「電子レンジ」を利用しない（別の時間に利用）
「掃除機」を利用しない（別の時間に利用）
「アイロン」を利用しない（別の時間に利用）
「洗濯機」を利用しない（別の時間に利用）
「衣類乾燥機・浴室乾燥機」を利用しない（別の時間に利用）
「温水便座」のスイッチを切る
エアコンを切る、設定温度を上げるなど：リビング（居間、リビングダイニングを含む）
エアコンを切る、設定温度を上げるなど：ダイニング（食堂）
エアコンを切る、設定温度を上げるなど：その他の部屋（子供部屋・高齢者部屋など）
照明を切る：リビング（居間、リビングダイニングを含む）
照明を切る：ダイニング（食堂）
照明を切る：その他の部屋（子供部屋・高齢者部屋など）
8 月の平日の昼は節電しない・できない（節電対象の電化製品は何もない）

図 2：節電行動の複数回答形式設問の選択肢

電気料金の目安	
掃除機	30分 12円
アイロン	20分 10円
テレビ	1時間 液晶32型 3.7円
衣類乾燥機・浴室乾燥機	1回 70円
食洗機	1回 18円
洗濯機	1回 0.7円
炊飯器	1回 12円
ホームベーカリー	1回 40円
パソコン	1時間 デスクトップ 3.6円 / ノート 0.97円
電子レンジ	5分 1円
温水便座	1日 6円
エアコン	11畳以上の新しいエアコン：1時間 20円（1000W）
	10畳以下の新しいエアコン：1時間 9円（400W）
	※ 設定温度を上げると10%程度の節電
	※ 10年以上前の古いエアコンの場合電気代は約2倍
照明	12畳：蛍光灯なら120W 1時間 2.4円 白熱灯なら 480W 1時間 4.8円
	6畳：蛍光灯なら60W 1時間 1.2円 白熱灯なら 200W 1時間 2円

図3：回答者に与えた家電ごとの節電効果の情報

本研究では、ダイナミックプライシングをICTによる双方向通信を活用しフレキシブルに発動するケースや、需要家側からその日の世帯の状況に応じて料金プランを選択するケース（ICT活用により電力会社へ通知）等についても調査している。また、こうした状況においては、手動による節電には限界もあると想定されるため、自動で節電可能となるスマート家電について、その購入傾向についての調査も行っている。これらの詳細について、紙面の都合上、本報告書では割愛する。

3-2 データ概要

計画停電による節電意識の違いを考慮するために、関東、関西を対象とした。

表1：調査データのサンプル分布

自宅の広さ	(人)	世帯年収	(人)	夏(8月)の電気料金	(人)
16.5平方メートル未満 (5坪未満)	64	100万円未満	51	1,000円未満	5
16.5~32平方メートル (5坪以上10坪未満)	203	100万円以上~150万円未満	32	1,000円以上2,000円未満	40
33~65平方メートル (10坪以上20坪未満)	319	150万円以上~200万円未満	49	2,000円以上3,000円未満	109
66~98平方メートル (20坪以上30坪未満)	412	200万円以上~250万円未満	62	3,000円以上4,000円未満	151
99~131平方メートル (30坪以上40坪未満)	271	250万円以上~300万円未満	97	4,000円以上5,000円未満	150
132~164平方メートル (40坪以上50坪未満)	185	300万円以上~350万円未満	100	5,000円以上6,000円未満	105
165~197平方メートル (50坪以上60坪未満)	101	350万円以上~400万円未満	94	6,000円以上8,000円未満	162
198~230平方メートル (60坪以上70坪未満)	51	400万円以上~450万円未満	96	8,000円以上10,000円未満	196
231~263平方メートル (70坪以上80坪未満)	39	450万円以上~500万円未満	105	10,000円以上12,500円未満	233
264~296平方メートル (80坪以上90坪未満)	27	500万円以上~550万円未満	90	12,500円以上15,000円未満	143
297~329平方メートル (90坪以上100坪未満)	31	550万円以上~600万円未満	88	15,000円以上17,500円未満	80
330平方メートル以上 (100坪以上)	10	600万円以上~650万円未満	68	17,500円以上20,000円未満	77
		650万円以上~700万円未満	70	20,000円以上25,000円未満	139
		700万円以上~750万円未満	69	25,000円以上30,000円未満	106
		750万円以上~800万円未満	79	30,000円以上	17
		800万円以上~850万円未満	60		
		850万円以上~900万円未満	35		
		900万円以上~950万円未満	43		
		950万円以上~1000万円未満	107		
		1000万円以上	126		
		わからない/答えたくない	192		

二段階調査を行い、一段階目で、電力料金プランを選択する（あるいは強く意見を述べる）世帯員であること、現在の電力料金を回答できること、現在の契約電力料金が答えられること、との条件のもと二段階目の調査に進んだ。二段階調査は1,713サンプルとなっている。サンプル分布は表1のとおりである。

3 ダイナミック料金導入に対するデマンドレスポンス

本研究では、TOUが導入された場合の節電効果、TOUにプラスしてCPPが導入された場合の節電効果を分析した。特に、ピーク時間帯に関する自己選択型の節電プランを導入した場合の効果を計測するために、TOU、CPPそれぞれについてピーク時間帯を12時から16時の4時間、12時から14時の2時間、14時から16時の2時間、と（仮想的に）設定したケースの分析を行っている。しかしながら、本報告書においては、紙面の都合上、ピーク時間帯を変更した効果に関する分析を中心に報告する。

TOU自体は、時間帯別料金であり、必ずしも双方向通信を必要とするわけではない。しかしながら、現在普及している電力メーターは時間帯別電力使用量を計測していないため、TOU導入のためには、実質的には現在より高度なスマートメーター導入が必要となる。次節で扱うCPP導入には、さらに日時ごとの情報を記憶することが必要となり、一般的には双方向通信も備えたスマートメーターが導入されることが多い。ダイナミック料金が導入された場合、現在のように一カ月の電力使用量を単純にメーターから読み取る検診作業はより複雑となり、（現状でもそうであるが）インフラさえ整えばデータ通信を利用した方が、検診よりもコスト面で効率的となる。

なお、諸外国の例を見ても、CPPが実施される場合には合わせてTOUが実施されるため、次節のCPP導入に伴う電力需要抑制行動を分析する際には、その前提としてTOU実施の上にさらにCPPが導入されたケースとして分析することが、事実即した分析となる。

TOU導入の効果を計測するにあたり、本研究では、時間帯別電力料金差異を4倍と想定することとした。調査内の設問では、ピーク時間帯以外の電力料金が、現在の通常料金の1/2となり、ピーク時間帯の電力料金が通常料金の2倍となるという仮想的想定のもと、回答者はピーク時間帯の節電行動について回答している。

米国のデマンドレスポンス・プログラムを概観すると、一般にオフピーク料金水準に対してピーク時間帯の料金が高くなるほど需要削減効果が大きい、その程度は逓減する。(Faruqui and Sergici, 2010)。しかしながら、現実に需要家に受け入れられる料金差異をそれほど大きくすることは難しい。特に、東日本大震災を契機とした原子力発電所の事故等による世論の批判を考慮すれば、わが国で受け入れられる料金差異は小さいだろう。また調査実務の観点からは、料金差異にバリエーションを設けてその効果を分析する場合、行動経済学的見地に立てば、どのような順序で回答者に提示するかにより結果が異なることも想定される。こうした点を踏まえ、本調査では、料金差異については上記のように4倍と固定することとし、その上で、どのような属性の世帯が料金差異が導入され、情報が与えられた場合に、節電行動をしやすいかについて分析することとした。

本研究の特徴としては、これまでの先行研究にない視点として、ピーク時間帯を変化させた場合の効果について分析している点が挙げられる。前節で示した通り、本研究に用いるアンケート調査では、ピーク時間帯として12-16時（4時間）、12-14時（2時間）、14-16時（2時間）の三パターン想定してデータ収集を行っている。双方向通信を利用して、一定程度の時間にわたるピーク時間の中で個々の需要家が可能な時間帯に節電行動を自己選択の形で行う形式の効果を観察することが目的である。

推計モデルは、前節の設問設定で、節電を実施すると回答された家電の個数を被説明変数(*NofAPP*)とし、在宅者や所得などの世帯属性を説明変数とした次のようなモデルである。

$$\begin{aligned} NofAPP = & a_0 + a_1 \times Leave_H4 + a_2 \times Leave_H2E + a_3 \times Leave_H2L \\ & + a_4 \times Femall + a_5 \times Male1 + a_6 \times F_M2 \\ & + a_7 \times OLD + a_8 \times UNIV + a_9 \times HIGH + a_{10} \times ELKN + a_{11} \times BFR \\ & + a_{12} \times EEX8 + a_{13} \times HINCOME + a_{14} \times FloorSpace \end{aligned}$$

Leave_Hx は、節電要請あるいは電力料金が上昇するピーク時間帯に外出すると答えた場合に1、外出しな

いと答えた場合に0となるダミー変数である。末尾の4,2E,2Lはそれぞれ、12-16時の時間帯が指定された場合、12-14時が指定された場合、14-16時が指定された場合の外出の有無を表す。Femal1は、高齢者や未成年・学生を除き、成人では女性が1人で在宅している場合のダミー変数である。Male1は、同男性が一人で在宅する場合のダミー変数である。は、高齢者や未成年・学生を除き、F_M2成人では夫婦二人で在宅している場合のダミー変数である。OLDは高齢者が在宅している場合に1を取るダミー変数、UNIVは大学生以上の学生が在宅している場合に1を取るダミー変数、HIGHは中高生が在宅している場合に1を取るダミー変数、ELKNは小学生・幼稚園児が在宅している時に1を取るダミー変数、BFRCは未就学児が在宅している時に1を取るダミー変数である。また、EEX8は世帯所得に対する電力料金支払額(%)、HINCOMEは世帯所得、FloorSpaceは自宅の床面積である。

在宅者のバリエーションにより、節電行動の傾向が異なれば、節電可能な時間帯が分散し、分散型節電が実施される可能性があると考え、その点を実証するモデルとなる。分散型節電が可能であれば、それぞれの需要家が自己申告で節電時間帯を宣言した後に、一定の中央制御を実施し平準化することも、双方向通信を利用すれば可能となる。

3-1 ピーク設定が4時間（12時から16時まで）のCPP導入に伴う電力需要抑制行動

前節で説明したモデルの推計結果を報告する。推計実施にあたっては、ネガティブバイノミアルモデルにより推計を行っている。ネガティブバイノミアルモデルは、被説明変数がカウントデータであるケースで利用される推計モデルである。特に、本研究のモデルにおいては、被説明変数に0の値が生じる。被説明変数が0のケースは、当該需要家が全く節電行動をする気がないケースである。これは、節電はしようと思うがその程度に違いがある（被説明変数が）1以上の需要家とは明確に異なる行動様式である。こうした状況に適したモデルはゼロインフレーションネガティブバイノミアルモデルであるが、当モデルは収束計算が失敗することも多く、今回のデータでもいくつかのモデルで収束しないケースがあり、収束したモデルにおいても説明変数が有意となるものがなかったため、通常のネガティブバイノミアルモデルにより推計を行った。

なお、料金が上昇する（あるいは節電要請のある）ピーク時間帯に在宅者がいない等のために、もともと常時通電の家電（冷蔵庫など）以外利用していないという世帯のサンプルは、推計から除いて分析している。

本研究では、19種類の家電製品についてそれぞれの節電の有無を調査している。被説明変数としては、19種類の利用家電製品のうち、節電をした家電の数となっている。従って、被説明変数が0の世帯は当該CPPが発動された場合にも、全く節電行動をしない世帯となる。

推計結果は、表2のとおりである。

表2：ピーク時間帯（料金上昇時間帯）が4時間の場合の推計結果

	ALL		ALL	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value
Leave H4	0.044	(0.003)	-	-
Femal1	0.375	(0.000)	0.401	(0.000)
Male1	0.252	(0.002)	0.278	(0.001)
F_M2	0.213	(0.064)	0.225	(0.051)
OLD	0.087	(0.249)	0.067	(0.379)
UNIV	0.187	(0.095)	0.189	(0.094)
HIGH	-0.109	(0.367)	-0.112	(0.355)
ELKN	-0.188	(0.034)	-0.178	(0.046)
BFRC	-0.180	(0.094)	-0.162	(0.133)
EEX8	0.014	(0.177)	0.012	(0.238)
HINCOME	0.175	(0.041)	0.170	(0.049)
FloorSpace	0.955	(0.002)	0.944	(0.002)
CONSTANT	0.817	(0.000)	0.929	(0.000)
Pseudo-R2	0.0164		0.0143	
No. of Obs.	827		827	

表2を見ると、小学生や幼稚園保育園児、未就園児が在宅の場合、節電しづらい状況が観察される。料金上昇時間帯に外出すると回答した世帯がより多くの家電を節電していることから、節電しようとする世帯は外出も可能であればいい、在宅の場合も節電行動をとることがわかる。自宅が広いほど一か所で集まることにより他の部屋の電化製品を切るといった形の節電行動がしやすいと想定されるが、床面積が広い世帯ほど節電行動がとりやすいこともデータから示されていると言える。また、世帯所得が大きいほど節電行動しやすいことも示されている。

3-2 ピーク設定が2時間（前半後半）のCPP導入に伴う電力需要抑制行動

本研究では、12時から16時までの時間帯で、前半2時間、後半2時間で節電行動に差異があるかを確かめることを主眼としている。仮に、4時間のピーク時間帯を前半2時間ずつ分割して実施した場合、世帯属性により、節電のしやすさに違いがあれば、これまで節電行動をとりにくかった世帯も節電行動をとる可能性が高まると考えられる。実際、今回の調査結果からは、いずれかの家電製品を当該時間帯に利用していると回答した回答者のうち10%強の回答者が4時間と2時間で別の行動をとることが示されていた。ただし、料金上昇時間帯が2時間になることにより、2時間であれば節電するのを止めようという行動も観察されたことは報告しておきたい。

本節は、料金上昇時間帯が2時間ずつに分割されることによる効果を確認するために、被説明変数として料金上昇時間帯が4時間の時には節電対象とならなかった家電製品のうち、時間帯が2時間になった場合のみ節電対象となる家電製品の個数を説明変数とした推計を行った。2時間の料金上昇時間帯は前半（12時から14時）と後半（14時から16時）の二パターンを想定している。なお、外出の有無の変数に関しては、説明変数に入れた推計と外した推計の両者を推計したが、傾向に差異はほとんどなかったため、紙面の都合上、同変数を外した推計結果について報告する。

本推計においてもカウントデータであるためネガティブバイノミアルモデルによる推計を実施している。なお、推計結果は、前半については表3に、後半については表4に、それぞれ示した。表3・4では10%の有意水準を境界として網掛けを施してある。

表3：前半（被説明変数：4時間ではやらないが前半2時間のみなら節電する家電数）

	ALL		Cooking		House works except Cooking		Others	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value
Femal1	-0.028	(0.903)	0.260	(0.591)	-0.278	(0.651)	0.035	(0.873)
Male1	0.639	(0.003)	1.036	(0.020)	0.781	(0.141)	0.352	(0.102)
F M2	1.012	(0.000)	1.275	(0.017)	1.117	(0.096)	0.878	(0.001)
OLD	0.122	(0.532)	0.297	(0.414)	-0.536	(0.287)	0.104	(0.602)
UNIV	0.299	(0.268)	0.577	(0.214)	0.308	(0.662)	0.161	(0.580)
HIGH	0.051	(0.872)	0.344	(0.546)	-15.458	(0.992)	0.118	(0.712)
ELKN	-0.197	(0.400)	-0.284	(0.519)	-1.183	(0.109)	-0.030	(0.897)
BFRC	0.454	(0.084)	0.805	(0.075)	1.046	(0.101)	0.347	(0.197)
EEX8	0.041	(0.066)	0.052	(0.115)	0.041	(0.487)	0.027	(0.229)
HINCOME	0.288	(0.221)	0.546	(0.187)	0.722	(0.268)	0.168	(0.472)
FloorSpace	0.608	(0.390)	-2.109	(0.336)	-0.823	(0.732)	1.196	(0.096)
CONSTANT	-2.023	(0.000)	-3.624	(0.000)	-3.252	(0.000)	-2.369	(0.000)
Pseudo-R2	0.0344		0.0547		0.0594		0.021	
No. of Obs.	827		634		499		1175	

表4：後半（被説明変数：4時間ではやらないが後半2時間のみなら節電する家電数）

	ALL		Cooking		Houseworks except Cooking		Others	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value
Femal1	0.023	(0.921)	0.091	(0.825)	-0.864	(0.178)	0.052	(0.817)
Male1	0.550	(0.011)	0.571	(0.144)	0.460	(0.372)	0.340	(0.120)
F M2	0.791	(0.005)	0.761	(0.116)	0.315	(0.655)	0.688	(0.018)
OLD	0.263	(0.183)	0.360	(0.278)	-0.461	(0.381)	0.188	(0.350)
UNIV	0.232	(0.403)	0.190	(0.683)	0.595	(0.379)	0.116	(0.700)
HIGH	0.276	(0.364)	0.869	(0.071)	0.043	(0.964)	0.025	(0.941)
ELKN	-0.363	(0.138)	-0.578	(0.185)	-0.800	(0.246)	-0.103	(0.672)
BFRC	0.551	(0.036)	0.883	(0.035)	1.176	(0.070)	0.377	(0.170)
EEX8	0.052	(0.022)	0.051	(0.141)	0.064	(0.308)	0.033	(0.134)
HINCOME	0.283	(0.218)	0.382	(0.338)	0.712	(0.276)	0.176	(0.441)
FloorSpace	0.556	(0.438)	-0.194	(0.888)	-1.028	(0.684)	1.011	(0.154)
CONSTANT	-2.050	(0.000)	-3.260	(0.000)	-3.160	(0.000)	-2.423	(0.000)
Pseudo-R2	0.0296		0.035		0.0422		0.0175	
No. of Obs.	827		634		499		1175	

本推計では、まず、19種類すべての家電製品に関して上記をカウントした推計を行った。推計結果を見ると、前半後半ともに、8月の平日の昼間に、夫婦のうち（あるいは単身世帯で）男性のみが在宅している世

帯、夫婦そろって在宅している世帯が4時間では節電行動がとりにくくても2時間なら節電行動をとりやすくなることがわかる。つまり、本推計結果は、成人男性が在宅している世帯は2時間程度が節電行動をとりやすいことを示している。また、未就園児が在宅している世帯についても、同様に4時間の節電は困難であるが2時間程度なら節電行動をとりやすいことも示している。加えて、世帯所得に占める電力支出額が高い世帯では2時間の方が節電しやすいことも示している。前半後半について同様の傾向を示していることから、これらの世帯属性については、4時間は困難であるが2時間なら節電行動をしやすいという点を示していると言えよう。

ところで、節電行動の方法としては、料金が上昇する時間帯をずらして家電製品を利用するという方法が考えられる。その場合、どのような目的の家電製品かにより、利用時間をずらしやすい(しにくい)もの、前半後半で節電しやすい(しにくい)もの、という差異があることが想定される。本研究では、この点を分析するために、調査対象とした19種類の家電製品を料理に用いる家電(IHクッキングヒーター、食洗機、炊飯器、電子レンジ)、料理以外の家事に用いる家電(掃除機、アイロン、洗濯機、乾燥機)、生活全般で利用する家電(テレビ(リビング、その他の部屋)、パソコン、電気ポット、電熱便座、エアコン(リビング、その他の部屋))、の3種類に分類して推計を行う事とした。推計結果は、先の表3・4中に報告されている。

家電のカテゴリー別にみると、料金上昇時間帯が4時間では節電しなかったが2時間になれば節電できそうな世帯の属性は、前半と後半でいくつかの点で異なっていることがわかる。具体的には、料理家電は、男性が在宅している世帯では前半であれば節電行動をとりやすいことがわかる。ただし、料理家電については後半においても有意水準は低いながら同様の傾向は観察される。男性が在宅している世帯においては、料理以外の家事家電に関する2時間のケースの節電行動については、前半後半で明確な差異があり、前半の時間帯では節電行動をしやすいが後半であれば男性の在宅の有無での節電しやすさの違いはない。料理家電については、中高生が在宅している世帯では後半であれば節電行動がとりやすいことがわかる。表3・4では10%の有意水準を境界として網掛けを施してある。

このように前後半で、一定の違いが観察されるが、さらにこの点を確認するために「前半で節電行動をとる家電数」と「後半で節電行動をとる家電数」の差異(前者-後者)を被説明変数とした推計も行った。なお、本推計は通常最小二乗法推定により推計しており、同様に家電カテゴリー別の推計も行っている。推計結果は表5のとおりである。

表5：前半の方が後半より節電行動しやすい世帯の推計結果

	ALL		Cooking		Houseworks except Cooking		Others	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value
Femal1	-0.012	(0.729)	0.000	(0.998)	0.031	(0.094)	-0.002	(0.922)
Male1	0.034	(0.347)	0.020	(0.494)	0.021	(0.265)	0.007	(0.758)
F M2	0.121	(0.017)	0.038	(0.334)	0.062	(0.018)	0.072	(0.034)
OLD	-0.039	(0.242)	-0.021	(0.417)	-0.008	(0.659)	-0.012	(0.578)
UNIV	0.036	(0.487)	0.046	(0.253)	-0.024	(0.370)	0.008	(0.802)
HIGH	-0.074	(0.159)	-0.078	(0.068)	-0.076	(0.016)	0.018	(0.588)
ELKN	0.050	(0.198)	0.032	(0.289)	-0.015	(0.459)	0.010	(0.674)
BFRC	-0.035	(0.459)	-0.025	(0.479)	-0.017	(0.500)	0.004	(0.888)
EEX8	-0.003	(0.439)	0.002	(0.511)	-0.001	(0.628)	-0.002	(0.461)
HINCOME	-0.013	(0.744)	0.015	(0.642)	0.003	(0.872)	-0.010	(0.697)
FloorSpace	0.029	(0.823)	-0.071	(0.440)	0.014	(0.807)	0.060	(0.506)
CONSTANT	0.011	(0.765)	-0.027	(0.384)	-0.006	(0.761)	0.011	(0.653)
Adj-R2	0.0035		-0.004		0.0082		-0.0029	
No. of Obs.	827		634		499		1175	

表5の係数推計値は、プラスであれば前半の方が後半より節電行動がしやすいことを示しており、マイナスであれば逆に後半の方が節電行動がとりにくいことを示している。全体として、夫婦そろって8月平日の昼間に在宅している世帯では前半の方が節電行動がとりにくく、料理家電については中高生が在宅している世帯で後半の方が節電行動がとりにくいことがわかる。

3-3 CPP 発動のタイミング

これまでの分析では、どのような世帯員が在宅しているか等により節電のしやすさが異なることが明らかとなった。どのような世帯員が在宅しているかは、CPPが発動されるタイミングにより異なるため、前半後半、あるいはそれを合わせた時間帯を各世帯が選択した方があきらめずに節電行動をとることができる。そ

のためには双方向通信が必要であるが、CPP が発動されるタイミングも、実際に節電行動がとれるかどうかには大きな影響を与えると想定される。そこで本節では、何日前に CPP 発動のお知らせをしてほしいかについて分析を行った。CPP 発動が当日知らされても可能という事になれば、当該世帯はメールなどにより知らされても節電行動が可能という事になる。

推計は、何日前に CPP 発動日をアナウンスしてほしいか (DAYS) を被説明変数とした最小二乗推定、当日でも構わない場合に 1 (当日では困る場合に 0) を被説明変数とした Logit モデルによる推定の二種類を行った。なお、説明変数には、先のモデルで被説明変数として用いた料金上昇時間帯 4 時間の CPP が発動された場合に節電する家電数、現在実際に節電しているか否かのダミー変数も説明変数に加えたモデルも推計した。結果は、表 6 のとおりである。

表 6 : CPP 発動のアナウンス日に関する推計結果

	Days REG		Today LOGIT		Days REG		Today LOGIT		Days REG		Today LOGIT	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value
ALL T4	0.533	(0.000)	-0.038	(0.286)	0.501	(0.000)	-0.036	(0.281)	-	-	-	-
NOW LOW	-0.910	(0.337)	0.043	(0.897)	-	-	-	-	-	-	-	-
Femal1	1.343	(0.126)	0.650	(0.035)	1.375	(0.117)	0.648	(0.035)	2.142	(0.015)	0.595	(0.050)
Male1	0.014	(0.988)	0.606	(0.057)	0.044	(0.962)	0.605	(0.058)	0.545	(0.553)	0.565	(0.074)
F M2	0.997	(0.438)	0.890	(0.030)	1.024	(0.425)	0.889	(0.030)	1.420	(0.276)	0.851	(0.037)
OLD	-0.174	(0.839)	0.239	(0.410)	-0.116	(0.892)	0.235	(0.415)	0.011	(0.990)	0.226	(0.432)
UNIV	0.051	(0.969)	-0.545	(0.274)	0.011	(0.993)	-0.542	(0.276)	0.329	(0.803)	-0.547	(0.270)
HIGH	1.231	(0.355)	0.584	(0.154)	1.193	(0.370)	0.585	(0.153)	0.983	(0.467)	0.595	(0.146)
ELKN	-0.296	(0.764)	-0.723	(0.066)	-0.323	(0.743)	-0.721	(0.067)	-0.681	(0.495)	-0.694	(0.077)
BFRC	1.914	(0.107)	-1.158	(0.060)	1.938	(0.103)	-1.160	(0.059)	1.630	(0.176)	-1.143	(0.063)
EEX8	-0.022	(0.840)	0.007	(0.840)	-0.021	(0.848)	0.007	(0.843)	0.004	(0.973)	0.005	(0.880)
HINCOME	0.908	(0.375)	0.341	(0.290)	0.903	(0.377)	0.340	(0.291)	1.259	(0.225)	0.304	(0.338)
FloorSpace	-8.966	(0.007)	-1.362	(0.421)	-9.174	(0.006)	-1.347	(0.424)	-6.869	(0.039)	-1.490	(0.375)
CONSTANT	24.252	(0.000)	-2.439	(0.000)	24.227	(0.000)	-2.437	(0.000)	25.341	(0.000)	-2.508	(0.000)
R2	0.00377(Adj-R2)		0.0345(Pseudo-R2)		0.00378(Adj-R2)		0.0345(Pseudo-R2)		0.0058(Adj-R2)		0.0323(Pseudo-R2)	
No. of Obs.	827		827		827		827		827		827	

推計結果を見ると、CPP 発動時に節電しようと考えている世帯ほどできる限り早く発動日を知らせてほしいと考えていることがわかる。また、当日のアナウンスに関しては、夫婦世代が在宅している場合は当日でも対応しやすく、小学生以下の子供がいる場合、当日のアナウンスでは節電対応がしにくいことが明らかとなっている。

4 スマート家電購入のインセンティブ

これまでの分析では、どのような世帯員が在宅しているか等により節電のしやすさが異なることが明らかとなった。これまでの分析は、現在利用している家電製品を前提とした分析であるため、手動での節電方法である。今後普及が期待されるスマート家電を用いれば、ICT を活用し、電力料金が上昇する時間帯に合わせて自動で節電を行う事も可能となる。本研究では、ICT を活用したスマート家電による節電の可能性に関して分析を行っている。

具体的に、想定したスマート家電は次の 9 つである。

- ・人がいない時には自動で切れる「テレビ」
- ・料金が安い時間に自動で洗い始める「食洗機」
- ・料金が安い時間に自動で炊き始める「炊飯器」
- ・料金が安い時間に自動で沸騰させる「電気ポット」
- ・料金が安い時間に自動で洗濯を始める「洗濯機」
- ・料金が安い時間に自動で乾燥を始める「衣類乾燥機・浴室乾燥機」
- ・料金が安い時間は自動で切れる「温水便座」
- ・料金も考慮して自動で節電する「エアコン」
- ・料金も考慮して自動で節電する「照明」

調査では、1. この家電があれば節電できそうだと思うスマート家電、2. 実際に自分の仮定に導入したいスマート家電、3. 猛暑日 5 日間程度の CPP が発動されるケースで利用したいと思うスマート家電、4.

猛暑日 5 日等の限定がなく電力が足りなくなる際に急遽料金が上昇する時間帯が発生するようなケースがあるとすれば利用したいと思うスマート下限、という 4 つの設問を設定し、これら 9 つの複数選択に加えて、どれも必要ない、という回答データを収集した。

これまでと同様、それぞれの設問における回答された家電数を被説明変数としてネガティブバイノミアルモデルにより推計を行った。推計結果は表 7 のとおりである。

表 7：スマート家電の導入意向

	節電できそう		導入したい		5 日の CPP		わからない	
	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value	Coef.	P-value
ALL T4	0.070	0.000	0.066	0.000	0.066	0.000	0.075	0.000
NOW LOW	-0.092	0.261	0.080	0.340	0.040	0.629	0.012	0.884
Femal1	-0.136	0.082	-0.112	0.169	-0.120	0.134	-0.137	0.081
Male1	-0.131	0.105	-0.095	0.262	-0.139	0.095	-0.158	0.053
F M2	-0.140	0.224	-0.136	0.260	-0.037	0.753	-0.137	0.239
OLD	-0.052	0.487	0.079	0.307	0.057	0.460	0.049	0.519
UNIV	0.162	0.136	0.039	0.737	0.138	0.215	0.117	0.291
HIGH	0.127	0.263	0.184	0.118	0.255	0.026	0.207	0.069
ELKN	0.002	0.980	0.062	0.492	-0.044	0.628	-0.007	0.938
BFRG	0.239	0.019	0.217	0.042	0.178	0.096	0.254	0.015
EEX8	0.013	0.167	0.009	0.337	-0.007	0.466	-0.009	0.361
HINCOME	0.070	0.432	0.037	0.699	0.027	0.768	-0.058	0.547
FloorSpace	-0.127	0.676	-0.055	0.858	-0.066	0.820	0.021	0.941
CONSTANT	0.607	0.000	0.377	0.000	0.525	0.000	0.634	0.000
Pseudo-R2	0.0236		0.0256		0.0247		0.0288	
No. of Obs.	827		827		827		827	

推計結果を見ると、CPP 発動時に節電しようと考えている世帯ほどスマート家電の購入意向が高いことが観察できる。また、夫婦世代が在宅している場合はスマート家電の購入意向は低い。これは、先の推計で同タイプの世帯が CPP 発動タイミングが当日でも可能であると回答した点と一致している。前節の推計では、これら世帯は CPP 発動時節電行動をしやすいという傾向が観察された。この二点を合わせると、このタイプの世帯では節電意向が高く、手動であっても節電行動が可能だと考えていると推察される。一方、未就園児がいる世帯では、全般にわたりスマート家電購入意向が高い。前節の分析でも、当日でも対応しやすく、小学生以下の子供がいる場合、当日のアナウンスでは節電対応がしにくいことが明らかとなっている。この点から、未就園児の居る世帯では、節電したくても自身ではなかなか対応しづらく、自動化された節電手段であるスマート家電購入の意向が高いと考えられる。なお、中高生が在宅している場合にも同様の傾向が観察されている。

5 まとめにかえて

本研究では、ICT 利活用の一つのアプリケーションとして電力料金へのダイナミック料金導入という状況を想定し、当日の料金のアナウンス手段や、ダイナミック料金導入の節電効果、スマート家電の購入意向についてアンケート調査を基に分析してきた。

世帯属性により、ダイナミックプライシングへの反応の仕方が異なることなども観察され、よりフレキシブルな料金体系、より具体的にはピーク時間の柔軟化などが節電行動を促すのに効果的出ることなどが明らかとなった。料金体系が日ごとに変化するようなダイナミックプライシングでは、そのアナウンスや契約変更に ICT は不可欠となる。また、節電の自動化によるスマート家電の将来需要についても、今後注意深く観察していかなければならない点であろう。

【参考文献】

- Faruqui, A. and S. Sergici (2010) "Household Response to Dynamic Pricing of Electricity – A Survey of 15 Experiments" *Journal of Regulatory Economics* 38(2), 193-225.
- Feitelson, E., R. Hurd, and R. Mudge (1996) "The impact of airport noise on willingness to pay for residences" *Transportation Research D: Transport and Environment*, 1, 1-14.

- Kondo, M., A. Nakamura, and H. Mitomo (2009) “Quantifying the benefits of the internet and its applications.” *Keio Communication Review* No.31, pp.37-50.
- Gyldmark, M. and G. C. Morrison (2001) “Demand for health care in Denmark: results of a national sample survey using contingent valuation” *Social Science & Medicine*, 53(8), 1023-1036.
- Japan Smart City Portal (2013), viewed June 18 2013, <http://jscp.nepc.or.jp/article/jscp/20121224/334922/>
- Kim, S. S, K. K. F Wong, and M. Cho (2007) “Assessing the economic value of a world heritage site and willingness-to-pay determinants: A case of Changdeok Palace” *Tourism Management*, 28(1), 317-322.
- Solomon, B. D. and N. H. Johnson (2009) “Valuing climate protection through willingness to pay for biomass ethanol” *Ecological Economics*, 68(7), 2137-2144.
- Ruijgrok, E. C. M. (2006) “The three economic values of cultural heritage: a case study in the Netherlands” *Journal of Cultural Heritage*, 7(3), 206-213.
- Wolak, F. A. (2011) “Do Residential Customers Respond to Hourly Prices? Evidence from a Dynamic Pricing Experiment” *American Economic Review*, 101(3): 83-87.
- 熊谷礼子(2012)、我が国におけるスマートメーター導入に関する論点整理帝塚山経済・経営論集 22, 25-35
- 服部徹・戸田直樹 (2011)「米国における家庭用デマンドレスポンス・プログラムの現状と展望—パイロット・プログラムの評価と本格導入における課題—」 電力中央研究所報告 Y1000

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Does a shorter peak period of critical peak pricing affect consumers' electricity-saving behaviors?	Discussion Paper Series, F-168, Faculty of Economics, Tezukayama University	2013年6月

(2013年6月末現在海外査読紙に投稿中)