

電力システム改革と再生可能エネルギー普及は両立するか¹

ダイナミックプライシングと電力卸取引市場
の活用に着目して

立命館大学 島田研究室

2017年11月

新熊紗良奈

¹ 本報告書は、2017年12月9、10日に行われるWEST論文研究発表会2017年度本番発表会に提出する論文内容を報告するものである。本報告書にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要旨

現在、日本では、電力システム改革が進行している。これは、2011年の東日本大震災を受け、集中型電力供給システムの脆弱性が明らかとなり、安定供給や災害対応の観点から分散型電力供給システムへ移行することによるものである。また、震災時に周波数や連携線容量の問題から電力融通が利かなかつたことや、消費者に電力選択権が与えられていないことも問題になった。その結果、2013年4月に「電力システムに関する改革方針」が閣議決定され、2016年4月1日から、電気の小売業への参入が全面自由化され、現在は、家庭や小規模事業者を含む全ての消費者が、電力会社や料金メニューを自由に選択できるようになっている。つまり、ライフスタイルや価値観に合わせ、電気の売り手やサービスを自由に選べるようになったのである。平成29年8月21日時点での、登録小売電気事業者は計414事業者²と、日本の電力市場には、実に400を超える事業者が新規参入したことになる。これらの新規参入により、電力市場は発電から小売形態まで多様化が進んでいる。

一方、近年、世界規模で気候変動への対策が進められており、発電部門においても、CO₂排出量の少ない再生可能エネルギー³（以下、再エネとする）の導入割合を増やすことが喫緊の課題となっている。2015年にフランス・パリで開催されたCOP21（国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）では、2020年以降の温暖化対策の国際枠組み『パリ協定』が正式に採択され、日本は2030年までに2013年比で-26%のCO₂削減をすることを宣言した。これは欧米と比べても野心的な目標となっており、エネルギーミックスによる世界最高水準の排出量原単位への挑戦が必要となっている⁴。しかしながら、日本では、依然として、再生可能エネルギーによる発電割合は低いのが現状である。これには、再生可能エネルギーによる発電が、従来の発電と比べて発電コストがかかる、安定供給が難しいなど、再生可能エネルギー発電が持つ様々な性質が関係していると考えられるが、欧州では、電力供給の5割前後を再生可能エネルギー

² 経済産業省資源エネルギー庁「電気事業制度の概要 登録小売電気事業者一覧」

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/retailers/

³ 太陽光や太陽熱、水力、風力、バイオマス、地熱などの、一度利用しても比較的短期間に再生が可能であり、資源が枯渇しないエネルギーを指す。

⁴ 経済産業省資源エネルギー庁「平成27年度エネルギー白書」

でまかなう地域も現れている。また、近年は新たな問題として、再生可能エネルギー発電による電力が地域や時間帯によっては過剰供給になる、つまり、電力が余ってしまうという状況が起きており、一部の地域では系統への受け入れ制限をせざるをえない事態も生じている。今後、電力システム改革と再生可能エネルギー普及が両立するよう、適切な対策をとることが求められているといえる。

このような背景をふまえ、本稿では、再エネシェアの高い電力を環境意識が高い消費者や電力起因の CO₂ 排出量を減らしたい企業に販売する新電力（PPS）に着目し、彼らの経営リスクを低減させ、日本の再エネ発電量の増加につながるような政策を提言することとする。一つは、再エネの供給変動を念頭に置いたダイナミックプライシングにより、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させること、二つ目は、需給をマッチさせる際の JEPX からの電力調達時に、できるだけ精度の高いスポット価格予測を行うことである。

目次

第1章 現状分析・問題意識.....	5
第1節 日本の電力市場の現状.....	5
第2節 問題意識.....	8
第2章 先行研究のレビューおよび本稿の位置づけ.....	9
第3章 理論・分析.....	13
第1節 ダイナミックプライシングによる需要のコントロール.....	13
第1項 沼島での経済実験の概要.....	13
第2項 研究の方法.....	15
第3項 分析手法.....	17
第4項 推定結果と考察.....	19
第5項 ダイナミックプライシングの課題.....	25
第2節 電力取引市場（JEPX）のスポット価格決定要因の分析.....	30
第1項 電力市場取引について.....	30
第2項 研究の方法.....	32
第3項 分析手法・理論的背景.....	33
第4項 推定結果と考察.....	35
第4章 政策提言.....	38
第1節 ダイナミックプライシングの活用.....	38
第2節 電力卸取引市場の活用.....	40
第3節 おわりに.....	41
先行研究・参考文献.....	42
付録.....	46

第 1 章 現状分析・問題意識

1. 日本の電力市場の現状

日本では、2016年4月の電力の小売部門の自由化以降、異業種からの活発な新規参入が進んでいる。地域別には、低圧分野では、東京・中部・関西・九州など、都市圏において多くの小売電気事業者が新規参入しており、北陸(富山県・石川県)・四国(高知県・徳島県・香川県・愛媛県)においては、供給を行っている小売電気事業者の数は相対的に少ない傾向にある。では、自由化に伴って電力事業者が増加したことで、電力市場における競争がどのように変化しているのだろうか。

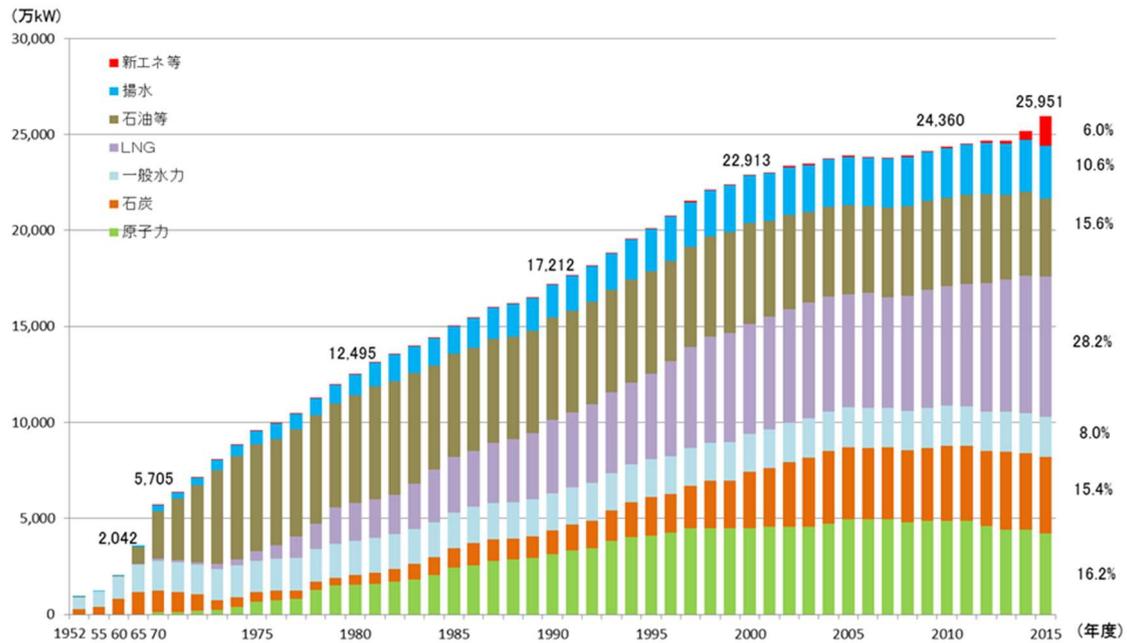
2017年1月の電力取引報によると、電力の小売全面自由化で新たに自由化された市場において、新電力への契約の切替えを選択した需要家が全国で約3.9%となっている。また、地域の既存電力会社が設定した自由料金メニューへの切替えを選択した需要家も約3.8%となっており、両者を合わせると、約7.7%の消費者が自由料金メニューへの切替えを行っている。また、全面自由化後、特別高圧・高圧部門における新電力のシェアも増加しており、結果として、電力市場全体としては、新電力のシェアが約8.6%となっている⁵。

また、新電力の提供する料金メニューを見ると、全体的な傾向としては、基本料金と従量料金の二部料金制としたうえで燃料費の変動を調整するなど、既存の料金メニューに準じた料金設定が多く見られるが、一部では、完全従量料金、定額料金制、指定された時間帯における節電状況に応じた割引など、新しい料金メニューも提供されるようになってきている。加えて、再エネ等の電源構成や、地産地消型の電気であることを訴求ポイントとして顧客の獲得を試みる小売電気事業者の参入も見られ、なかには需要家が発電所を選んで得票数の多かった発電所に報奨金を与えることができるなど、特色のある小売電気事業者も現れている。さらに、電力消費の見える化(電気の使用状況の可視化)や、電気の使用状況等の情報を利用した家庭の見守りサービスなども提供され

⁵ 電力・ガス取引監視等委員会「電力取引報」平成29年度1月
<http://www.emsc.meti.go.jp/info/business/report/results.html>

始めている。応援するスポーツチームとの繋がりや里山の景観保存など、需要家の好みや価値観に訴求するサービスも始まっている。

以上のことから、電力市場自由化に伴い新規事業者が増加したことで、多様な料金メニューの提供等を通じた競争の活性化が起こるなど、改革に伴う一定の効果が表れ始めているといえる。



【図1 日本の発電設備容量の推移(一般電気事業用)】(出典:資源エネルギー庁)

また、近年は世界規模での気候変動への取り組みが強化されてきており、日本もパリ協定で2030年までに2013年比で-26%のCO₂削減することを宣言した。温室効果ガス排出の約9割がエネルギー起源である日本において、この高い目標を達成するためには、-26%を前提としたエネルギーミックスの実現が必要であり、近年は、電力市場を取り巻く環境も大きく変化しているといえる。図1は、日本の発電設備容量の推移(一般電気事業用)を示したものであるが、このグラフからわかるように、近年は、再生可能エネルギーによる発電が増加している。では、省エネルギー社会、及び、適切なエネルギーミックスの実現に向けて、具体的に、どのような取り組みが行われているのだろうか。

エネルギー白書（2017）によると、現在日本では 2014 年 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」及び 2015 年 7 月に策定された「長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)」の実現に向けて、徹底した省エネルギーの推進、再エネの最大限の導入と国民負担抑制の両立、火力発電の高効率化、安全性の確認された原発の再稼働などを進めていくことを目標とし、様々な政策が行われている。

省エネについては、年 1.7%の経済成長を前提に、2012 年度から 2030 年度までの約 20 年間に、エネルギー消費効率(=最終エネルギー消費量/実質 GDP)を 35%程度改善することを見込んでいる。そのため、省エネポテンシャルを最大限深掘りするために、徹底した省エネと経済成長の両立に向けた取組が行われている。具体的には、①事業者単位で自発的な省エネへの取組を促進するため、事業者に対する省エネインセンティブの強化、②新たな生産・流通プロセスの導入の進展等により変化するエネルギー管理の実態等のもとで、企業の経営方針に沿って省エネに取り組むことができる制度の構築、そして、③省エネノウハウが不足する中小企業や家庭等の省エネポテンシャルを掘り起こす環境整備をするためのネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)ビルダーやエネルギーマネジメント事業者等の省エネノウハウを有する民間企業の活用の促進の 3 点について、制度と支援の両面から必要な施策を順次検討し、実施していくとしている。

また、再エネは、資源の乏しい我が国のエネルギー自給率の向上や化石燃料輸入の削減に寄与し、温室効果ガスを排出しないエネルギー源であり、その役割は非常に重要であると述べられており、再エネの導入量を増加させるために、固定価格買取制度の見直しをはじめ、系統整備や系統運用ルールの整備、発電設備の高効率化・低コスト化や系統運用の高度化等に向けた技術開発など、エネルギーミックスにおいて示された 2030 年度における再エネの導入水準(22 ~24%)の実現に向けた取組が行われている。具体的には、2015 年 7 月に策定されたエネルギーミックスでは、2030 年度の再エネの導入水準を電源構成の 22 から 24%、その場合の固定価格買取制度における買取費用総額を 3.7 から 4 兆円程度と見込んでいる。固定価格買取制度開始後の 4 年間で再エネの導入量は 2.5 倍となるなど、同制度は再エネ推進の原動力となっているが、固定価格買取制度では、再エネ由来の電気の買取に要した費用の一部を、賦課金として電気料金に上乗せする形で国民が負担することになっており、2016 年度には買取費用の総額が

2.3 兆円に達するなど、国民負担増大への懸念等の課題が生じている。このため、再エネの最大限導入と国民負担の抑制の両立を目指し、2016年5月に電気事業者による再エネ電気の調達に関する特別措置法の改正により、制度の見直しが行われた⁶。

2. 問題意識

前節で述べたように、現在、電力部門では環境面への配慮から、再生可能エネルギーの普及に向けた取り組みが積極的に行われているが、再生可能エネルギーの普及に伴って、電力の安定供給が困難になる、電力が過剰供給になるなど、新たな課題も顕在化してきている。これらの問題は、インバランスリスクや JEPX からの調達量を増加させるなど、新規事業者、とりわけ再生可能エネルギーのシェアの高い電力を売りにする新電力にとって、厳しい競争環境をもたらすと考えられる。

本稿では、そのような新電力の経営リスクを低減させ、再生可能エネルギーの普及を促していくために、大きく 2 つの政策を提言することとする。一つは、再エネの供給変動を念頭に置いたダイナミックプライシングにより、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させること、2 つ目は、需給をマッチさせるため JEPX からの調達時に、できるだけ精度の高いスポット価格予測を行うことである。

⁶ 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/1-2-2.html>

第 2 章 先行研究及び本稿の位置づけ

日本では、電力需要のピークカット、ピークシフトのためのデマンドレスポンスの実証研究が、経済産業省の主導により、神奈川県横浜市、愛知県豊田市、京都府けいはんな学研都市および福岡県北九州市で実施された。それらの成果は、依田ら（2017）に取りまとめられており、以下のような結果が示されている。

北九州市では、2012 年から 2013 年にかけて 4 レベルに価格が変動するダイナミックプライシングの節電効果が検証された。検証の結果、ピーク時の価格を 50 円/KWh から 150 円/KWh まで変動させたとき、ピークカット効果は、価格レベルに応じて 95% から 15%まで大きくなることがわかった。しかし、価格に対する反応は 2 年目には観察されなくなり、世帯はデマンドレスポンスのイベントには反応するが、価格差には反応しなくなることも分かった。

けいはんな学研都市では、2012 年夏と冬に実施された内的動機に訴えかける節電要請と 3 レベルに価格が変動するダイナミックプライシングのピーク時の節電効果が検証された。節電要請のピークカット効果は平均して 3%程度であり、最初の数回は効果があるものの、やがて効果がなくなる馴化が見られた。ダイナミックプライシング効果は平均して 15~20%程度であり、シーズンを通じて効果が持続し、馴化は見られなかった。

横浜市では、2014 年夏に実施されたダイナミックプライシングのオプトイン型加入と加入した者の条件付きピークカットの効果が検証された。単なるオプトイン方式では、加入率は低い、条件付きピークカット効果は高い。また、ダイナミックプライシングにオプトインした場合の利得・損失を情報提供した場合、加入率は倍増したが、条件付きピークカット効果は半減したため、結果として、トータルのピークカット効果は同じであった。最後に、オプトインした場合にキャッシュ・インセンティブを与えた場合、加入率は 3 倍増し、条件付きピークカット効果もさほど遜減しなかったことから、トータルのピークカット効果は一番高かった。

また、Thoa、島田ら（2016）では、省エネルギーの習慣づけが可能か否か明らかにすることを目的に、ダイナミックプライシング方式を用いた経済実験を2015年の夏、冬に兵庫県南あわじ市沼島で行っており、結果は以下の通りである。①プライシングによって、夏に9.5%、冬には8.0%の電力消費量が減少した。②実験後期間にも省エネルギー習慣が確認された。つまり、形成された省エネルギー習慣は持続可能である。③プライシング（控除額を天候によって20pt、30pt、40ptと設定）の弾力性検証の結果、控除額が20ptの時には電力消費量が17.9%減少し、30ptでは10.6%減少、40ptでは3.2%減少し、理論とは反対の結果になった。

以上のように、日本ではデマンドレスポンスの実証実験が様々な設定で行われ、一定のピークカット効果があることが明らかになっている。しかしながら、日本で行われているデマンドレスポンスの実証実験のほとんどはピークカットを目的にしているものである。それに対して、本稿では、ピークカットではなく、太陽光発電による電力供給が過多（過少）になっている際に、消費者にプライシングを通じて消費を促す（抑える）ことを目的として研究を行うこととする。具体的には、科研費研究⁷で実施した2016年夏の沼島での経済実験のデータを用い、プライシング効果の分析および控除額の弾力性の再検証を行う。

なお、ダイナミックプライシングの政策提言に関しては、以下の文献を参考にしたい。

国際的な民間のスマートグリッド推進団体、Global Smart Grid Federationが2016年12月に発行した白書では、各国で推進されるデマンドレスポンスの現状とその課題についての示唆がまとめられている。本白書では、デマンドレスポンスが、世界中の国や地域でエネルギーシステムの抜本的な改革の優先課題として位置付けられ、規制市場に加え、発送電分離された自由化市場でも実施されるなど、多様な市場構造を持つ世界各地で推進されていることを示し、また、調査対象の国や地域では、変動料金制の導入は実証段階にあり、適切な測定や検証メカニズムが確立していないことから、小口需要家の市場参加が最大の課題となっていると述べられている。さらに、アジアの一部の国では、自由化市場に向けた改革途上にあり、様々な電源をとりまとめて提供する独立したアグリゲーターへ門戸が開かれていること、ヨーロッパでは、電力の自由化市場と

⁷ 科研費基盤(c)（代表者：立命館大学島田）（2015～2018年度）

発送電分離構造が確立されているものの、一部のフレキシビリティ市場製品の取引は制限されているなどの様々な市場規制が、デマンドレスポンス普及の障壁となっていることを示唆している。

また、一般財団法人日本エネルギー経済研究所が平成 25 年 3 月に発表した、「平成 24 年度国際エネルギー使用合理化等対策事業（スマートコミュニティ推進に向けたデマンドレスポンスに関する海外動向調査）」では、デマンドレスポンスの国内市場活性化への提言が行われている。本調査によると、2012 年における米国のデマンドレスポンスのポテンシャルは 6,640 万 KW でピーク需要 7.8 億 KW の 8% に相当し、このうちインセンティブ型⁸が 7% を占めている。また、2019 年にはピーク需要は 9.5 億 KW まで増大すると見込まれ、デマンドレスポンスのポテンシャルも拡大しピーク需要の 20% の 1 億 8800 万 KW に達するものと見込まれている。

また上記の調査によると、日本においては、インセンティブ型デマンドレスポンスは、2012 年において随時調整契約が 511 万 KW、計画調整契約が 529 万 KW で合計 1,040 万 KW である。デマンドレスポンスの実効率として「需給検証委員会報告書、エネルギー・環境会議／電力需給に関する検討会合、平成 24 年 5 月」から約 70% を考慮すると 750 万 KW となり、ピーク需要の 4% に相当している。この試算には、日本で導入が進んでいる時間帯別電気料金などの電気料金型デマンドレスポンス⁹のポテンシャルは含まれていないが、2019 年のデマンドレスポンスがピーク電力に占める割合を 20% と見込んでいる米国と比較すると、今後の拡大余地はかなり大きいものと結論付けたうえで、「需要側と供給側の対等な評価」、「市場構造の透明性・アグリゲーターの活用」、「電力会社へのインセンティブ」といった課題を明らかにしている。

以上の文献から、日本におけるデマンドレスポンスの拡大の余地は大きいものの、普及においては、起こり得る様々な課題に適切に対応していくことが求められると考えられる。

次に、二つ目に提案する卸電力取引市場のスポット価格予測についての先行研究について示す。

⁸ プログラム設置者（電気事業者、系統運用者）が需要家と契約を締結し、卸電力価格が高騰又は電力需給が逼迫した際に、負荷抑制・遮断を要請又は実施する枠組み。

⁹ 電気事業者が時間帯（又は時間）別に料金を設定することで、需要家に自らの判断で、割高な料金が設定された高負荷時に需要抑制、割安な料金が設定された低負荷時に需要シフトを促す枠組み。

Alexander Zipp(2017)では、太陽光発電や風力発電といった出力が変動する再エネが EPEX (European Power Exchange) 市場のスポット価格に与える影響を OLS 回帰分析によって明らかにされており、以下のような結果が示されている。①電力消費が 1GWh 増加すると、スポット価格が 0.895€/MWh 増加する。②風力発電による発電量が 1GWh 増加すればスポット価格が 1.315€/MWh 低下し、太陽光発電による発電量が 1GWh 増加すれば、スポット価格が 1.398€/MWh 低下する。

また、Liliana Gelabert, Xavier Labandeira, PedroLinares(2011)は、再生可能エネルギーとコージェネレーションがスペインの電力価格に及ぼす影響の分析を行っており、以下がその結果である。①再エネによる発電量が、1GWh 増加すると、電力価格が 1.9€低下する。②これは 2005 年から 2010 年の一日の平均電力価格の 4%に相当する。

以上のように、ヨーロッパの卸電力取引市場においては、再エネによる発電量の増加が電力価格へ与える影響が明らかにされている。

一方で、日本では、民間気象会社である日本気象協会が 2017 年 8 月 28 日から、人工知能 (AI) を用いて、日本卸電力取引所 (JEPX) のスポット市場を対象とした電力取引価格予測のサービス提供¹⁰を開始しているものの、JEPX のスポット価格と再生可能エネルギーの関係は明らかになっていない。また、電力市場全面自由化以降、日本の卸電力市場のスポット市場についての先行研究は公表されていない。このことから、再エネ増加の観点からスポット価格を分析する本稿の研究は、新規性の高いものであるといえる。

¹⁰ 日本気象協会
<https://www.jwa.or.jp/news/2017/08/post-000899.html>

第3章 理論・分析

1. ダイナミックプライシング¹¹による需要のコントロール

近年はエネルギーを取り巻く環境が変化してきており、供給力の向上はもちろん、環境問題への配慮から、需要量をコントロールすることが求められている。そこで注目されているのが、デマンドレスポンスなどのエネルギー使用合理化等対策事業である。デマンドレスポンス（DR：Demand Response）とは、「卸市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること」を指す¹²。

本研究では、立命館大学等により兵庫県南あわじ市沼島で行われたダイナミックプライシング方式を用いた経済実験のデータをもとに、計量経済学的手法を用いたデータ分析を行い、再エネの供給変動に追随するデマンドレスポンスの効果や導入可能性について考察することとする。

1.1 沼島での経済実験の概要

兵庫県南あわじ市沼島で行われた、ダイナミックプライシング方式を用いた経済実験では、太陽光発電の供給に沿った電力消費を促す取り組みであり、従来のピークカット、ピークシフトを目的とした実験とは異なり、太陽光発電による電力供給が過多（過少）になっている際に、消費者にプライシングを通じて消費を促す（抑える）ことを目的としている。供給量の不安定な太陽光発電（再エネ）の普及の観点から、極めて重要な実験であるといえる。

この経済実験は、2016年7月6日から、同年8月16日にかけて行われた。7月6日から7月20日までを実験前期間、7月20日から8月2日までを実験期間、8月2日から8月16日までを実験後期間と設定している。また、実験参加世帯数は50（世帯）

¹¹ 需給状況に応じて価格を変動させることによって需要の調整を図る手法。（朝日新聞コトバンク）

¹² 経済産業省資料「デマンドレスポンス（Demand Response）について」

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku_system_kaikaku/002_s01_01_05.pdf

であり、これらを実験群 28 世帯、対照群 22 世帯にランダムに分けた（表 1、2 を参照）。表 1、表 2 より実験群と対照群の属性に大きな差はないものと考えられる。

また、実験参加世帯に対し、実験開始前に 7,000 ポイントを付与し、実験終了後に残ポイントに相当する現金を支払うこととした（1 ポイント=1 円）。ポイントの控除率は、気象庁による徳島の週間天気予報（7 月 19 日と 7 月 26 日発表）に基づいて決定された。具体的には、前日、当日両方の予想に晴れが含まれている場合に 20pt/[KWh/人]、前日、当日のどちらかに晴れが含まれている場合 40pt/[KWh/人]、前日、当日両方に晴れが含まれていない場 80pt/[KWh/人]控除することとし、発電・蓄電が少ないと想定される日ほど控除ポイントが高く設定されている。

14 日間の実験期間のうち、控除率 20pt/[KWh/人]の日が 4 日間、40pt/[KWh/人]が 4 日間、80pt/[KWh/人]が 6 日間であった。各世帯の電力消費量はスマートメーター¹³によりリアルタイムに計測され、これを 1 時間ごとの消費量に集計して計量分析に用いた。また、各世帯にタブレットを配布し、自世帯の電力使用量、タブレットを配布している全世帯の一人当たり平均電力使用量、前日のデータを対象にした電力使用量ランキングの情報を得られるようにするなど、リアルタイムな可視化あわせて行った。

【表 1 実験前期間の基本統計量（実験群）】

変数	サンプル数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
電力消費量（1 時間値）	9,047	608.40	442.33	100	3,300
世帯人員数	8,721	2.92	1.14	1	5
冷房度 ¹⁴	9,028	1.93	1.86	0	7.5
日平均風速	9,028	1.82	1.36	0	6.7
エアコン台数	9,055	2.33	0.61	1	3
冷蔵庫台数	8,7191	1.31	0.54	1	3
業務用冷蔵庫台数	9,055	0.26	0.52	0	2
アクセス回数	9,055	0.01	0.09	0	3

（注）小数点第 3 位で四捨五入

（筆者作成）

¹³ 環境省地球温暖化対策技術実証事業（2012-2014）により設置したもの

¹⁴ 冷房度は、冷房期間中の毎日の平均気温と基準温度 24℃との差である。

【表 2 実験前期間の基本統計量（対照群）】

変数	サンプル数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
電力消費量（1時間値）	6,989	627.20	404.84	100	3,400
世帯人員数	7,037	2.52	1.05	1	5
冷房度	7,016	1.93	1.86	0	7.5
日平均風速	7,016	1.82	1.36	0	6.7
エアコン台数	6,701	2.60	0.66	1	3
冷蔵庫台数	6,365	1.26	0.44	1	2
業務用冷蔵庫台数	6,701	0.40	0.66	0	2
アクセス回数	7,037	0.00	0.05	0	3

(筆者作成)

(注) 1. 対照群には、島唯一の商店が含まれており、そのデータは外れ値であったため、除いている。

2. 小数点第3位で四捨五入

1.2 研究の方法

本研究では、ダイナミックプライシングによって電力需要をコントロールすることが可能か否かを検証するために、電力消費量（1時間値）を目的変数において分析を行った。また、電力消費量に影響を与えると考えられる説明変数として、世帯人員数、冷房度、日平均風速、エアコン台数、冷蔵庫台数、業務用冷蔵庫台数、オール電化ダミー変数、木造家屋ダミー変数、電力消費情報への日別アクセス回数、実験期間中ダミー変数、実験群ダミー変数、実験期間中ダミー変数と実験群ダミーの交差項を用いた。また、控除額ごとの需要弾力性を調べるために、20pt、40pt、80ptそれぞれの控除額ダミー変数を加えている。使用したデータは、表3のとおりである。また、表4で実験群および対照群の実験前・実験期間を通じたデータの基本統計量を示す。

【表 3 パネルデータ分析使用データ】

変数	単位	出典	備考
自然対数をとった電力消費量 (1時間値)	Wh/世帯・時	スマートメーター計測値	
世帯人員数	人	アンケート調査	
冷房度	度/時	気象庁ウェブサイト	気象庁のデータを基に算出
日平均風速	m/s	気象庁ウェブサイト	
エアコン台数	台	アンケート調査	
冷蔵庫台数	台	アンケート調査	
業務用冷蔵庫台数	台	アンケート調査	
オール電化ダミー変数	-	関西電力	オール電化の世帯：1 それ以外の世帯：0
木造家屋ダミー変数	-	アンケート調査	木造家屋の世帯：1 それ以外の世帯：0
電力消費情報への日別アクセス回数	回/時	サーバへのアクセスログイン	
時間帯ダミー変数	-	-	3時間ごと
実験期間中ダミー変数①	-	-	実験中：1 それ以外の期間：0
実験群ダミー変数②	-	-	実験群：1 対照群：0
差分の差分法の交差項変数	-	-	①*②*時間帯別
控除額 20pt のダミー変数	-	-	控除額 20pt の期間：1 実験前期間：0
控除額 40pt のダミー変数	-	-	控除額 40pt の期間：1 実験前期間：0
控除額 80pt のダミー変数	-	-	控除額 80pt の期間：1 実験前期間：0

(筆者作成)

【表 4 実験群および対照群の実験前・実験期間を通じたデータの基本統計量】

変数	サンプル数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
自然対数を取った電力消費量（1時間値）	32,678	6.22	0.70	4.61	8.20
世帯人員数	32,177	2.75	1.11	1	5
冷房度	32,793	2.32	2.01	0	8.5
日平均風速	32,793	2.09	1.33	0	6.7
エアコン台数	32,170	2.46	0.64	1	3
冷蔵庫台数	30,827	1.30	0.51	1	3
業務用冷蔵庫台数	32,170	0.33	0.59	0	2
アクセス回数	32,842	0.01	0.13	0	4

(注)小数点第3位で四捨五入

(筆者作成)

1.3 分析手法

本研究では、表 3 で示した実験前期間と実験中期間、計 28 日間(2016/7/6-2016/8/2) ×50 世帯のデータを用いてパネルデータを作成し、電力消費に与える影響の要因分析を行う。推定式は、以下のようになる。

推定式の考え方：

電力消費量 = 定数項

+ 回帰係数 × 外部環境に関する変数（気温、風速など）

+ 回帰係数 × 内部環境に関する変数（世帯人員数、家電台数、屋根の構造など）

+ 回帰係数 × 可視化に関する変数（アクセス回数）

+ 回帰係数 × プライシングに関する変数（実験群または実験期間のダミー変数）

+ 回帰係数 × 差分の差分法に関する変数（上記ダミー変数の交差項）

ダイナミックプライシング効果の推定式：

$$\text{Log}(Y_{it}) = C + \alpha_i + \beta_1 U_{it} + \beta_2 T_{it} + \beta_3 U_{it} \cdot T_{it} + \beta_4 C_{it} + \varepsilon_{it} \cdot \cdot \cdot (1)$$

Y_{it} ：世帯の電気消費量（一時間値）（Wh）

U_{it} ：実験群のダミー変数[0,1]

T_{it} ：実験期間のダミー変数[0,1]

$U_{it} \cdot T_{it}$ ：交差項（平均処置効果）

C_{it} ：他の制御変数

C ：定数項

α_i ：固有効果

ε_{it} ：誤差項

i ：世帯

t ：時間

上記の推定式ではプライシング効果は推定できるが、控除額の差異は考えていないため、控除額の差異が電力消費量に与える影響を、以下の推定式を用いて分析する。

控除額の価格弾力性の推定式：

$$\text{Log}(Y_{it}) = C + \alpha_i + \beta_1 U_{it} \cdot X_{it} + \beta_2 C_{it} + \varepsilon_{it} \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$\text{Log}(Y_{it}) = C + \alpha_i + \beta_{it} U_{it} \cdot Z_{it} + \beta_2 C_{it} + \varepsilon_{it} \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$\text{Log}(Y_{it}) = C + \alpha_i + \beta_1 U_{it} \cdot W_{it} + \beta_2 C_{it} + \varepsilon_{it} \cdot \cdot \cdot (4)$$

Y_{it} ：世帯の電気消費量（一時間値）（Wh）

X_{it} ：控除額 20pt のダミー変数[0,1]

Z_{it} ：控除額 40pt のダミー変数[0,1]

W_{it} ：控除額 80pt のダミー変数[0,1]

U_{it} ：実験群のダミー変数[0,1]

C_{it} : 他の制御変数

C : 定数項

α_i : 固有効果

ε_{it} : 誤差項

1.4 推定結果と考察

表 5 に沼島でのフィールド実験から得られたパネルデータを分析した結果を示す。

【表 5 電力消費量に与える影響の要因分析の結果】

モデル	Random Effect		
サンプル数	28,617		
グループ数	43		
自由度調整済み決定係数	within: 0.1226 between: 0.5641 overall: 0.2874		
項目	回帰係数	z 値	p 値
実験期間中ダミー変数	0.0516***	5.29	0.000
実験群ダミー変数	-0.1451	-1.39	0.164
プライシング効果	-0.0573***	-4.70	0.000
世帯人員数	0.1416***	2.87	0.004
冷房度	0.0326***	14.06	0.000
日平均風速	-0.0126***	-4.89	0.000
エアコン台数	0.0038	0.05	0.962
冷蔵庫台数	0.2451**	2.31	0.021
業務用冷凍庫台数	0.2648***	2.60	0.009
オール電化ダミー変数	0.2604**	2.52	0.012

木造家屋ダミー変数	0.0361	0.24	0.807
南区ダミー変数	0.0633	0.33	0.739
中区ダミー変数	0.0919	0.56	0.575
北区ダミー変数	0.1326	0.74	0.461
東区ダミー変数	-0.0555	-0.31	0.755
アクセス回数	0.0791***	3.46	0.001
時間帯ダミー1 (0-3時)	-0.1969*	-1.65	0.098
時間帯ダミー2 (3-6時)	0.0262**	2.19	0.028
時間帯ダミー3 (6-9時)	-0.0891***	-7.27	0.000
時間帯ダミー4 (9-12時)	-0.0067	-0.48	0.634
時間帯ダミー5 (12-15時)	0.0437***	2.97	0.003
時間帯ダミー6 (15-18時)	0.3819***	28.13	0.000
時間帯ダミー7 (18-21時)	0.3684***	30.77	0.000

(筆者作成)

(注) 1. ***, **, *はそれぞれ統計学的に 1%、5%、10%水準で有意であることを示す。

2. 小数点第 5 位で四捨五入

まず、ダイナミックプライシング実験が電力消費量に影響を与える要因を明らかにするために行ったパネルデータ分析の結果について考察する。

このパネルデータ分析では、ハウスマン検定により変量効果モデルが採択された。推定の結果(表 5)を見ると、決定係数が 0.5641 となっており、前節で示した推定式のあてはまりがある程度良いといえる。

分析結果を順にみると、プライシングに関する変数として用いた、実験期間ダミー変数と実験群ダミー変数については、実験群ダミー変数は有意な結果が得られなかったものの、実験期間ダミー変数は5%水準で有意な結果となっており、実験期間中はそれ以外の期間と比べて電力使用量が5.2%増加することが分かった。実験期間中のほうが電力消費量が5.2%増加したのは、実験前期間に比べて気温が大幅に上昇したことにより消費量増加効果を冷房度変数が十分に制御できなかったためと考えられる。

また、差分の差分法に関する変数（実験群ダミー変数と実験期間ダミー変数の交差項）によって推定したプライシング効果の結果であるが、1%水準で有意な結果となり、プライシングによって電力消費量が5.7%減少することが明らかになった。このことから、プライシングによって電力消費をコントロールすることができるといえる。

次に、外部環境に関する変数として推定式に用いた、冷房度、日平均風速であるが、どちらも1%水準で有意な結果となっており、基準気温から1（度/時）乖離すると、電力消費量が3.3%増え、日平均風速が1（m/s）増加すると、電力消費量が1.3%減少することがわかる。これは、外気温が高くなるほど、エアコンなどの冷房設備をより使用するようになり、また、日平均風速が早く風通しの良い日は、体感気温が低くなるため冷房設備の使用が抑えられるためであると考えられる。加えて、外部環境に関する変数である地区ダミー変数については、いずれも有意な結果を得ることができなかった。これより、世帯の立地地区差異は、電力消費量に何ら関係がないといえる。

続いて、内部環境に関する変数として用いた説明変数であるが、世帯人員数、業務用冷蔵庫台数がそれぞれ1%水準で有意な結果となった。世帯人員が1（人）増えると14.2%、業務用冷蔵庫台数が1（台）増えると26.5%電力使用量が増えることがわかる。また、冷蔵庫台数、オール電化ダミー変数はそれぞれ5%水準で有意となり、冷蔵庫が1（台）増えると電力消費量が24.5%増加し、オール電化の世帯はオール電化でない世帯に比べて、27.4%電力消費量が増加することがわかる。内部環境に関する変数として用いた説明変数のうち、エアコン台数と木造家屋ダミー変数については有意な結果が得られず、これらの要因と電力消費量の関係を明らかにすることはできなかった。

また、可視化に関する変数として用いたアクセス回数は、1%水準で有意となっており、タブレットでの可視化情報にアクセスする回数が1（回）増えると、電力消費量が7.9%増加するという結果になった。これは、前日の電力消費量ランキングなどの可視

化情報にアクセスすることで、他世帯と自世帯の状況を比較するため電力消費をより抑えようとするという、当初の予想とは反するものとなった。このような結果になったと考えられる理由は、各世帯のアンケートをもとに次節で考察することとする。

なお、制御変数としてモデルに組み込んだ時間帯ダミーを見ると、実験群および対照群の実験期間と実験中期間を通した電力消費量は、15時–18時が最も多く、次いで18–21時の電力消費量が多い。このことから、電力需要のピークが夕方にシフトしていることがわかる。これは、近年の傾向では需給逼迫のピークの山が、夕方以降（午後5–8時）にも迎えるようになってきているという日経新聞（2017年10月5日朝刊）の情報とも一致している。このように、消費者の節電意識の高まりによって、電力消費量が夕方にピークシフトしていることは夏の日中の需要圧迫を抑制しているが、今後、太陽光電源による発電を増加させていくうえで、太陽光発電の稼働が急減する夕方以降に需要が増えることは、課題になると考える。

次に、控除額の差異が与える影響を明らかにするために行ったパネルデータ分析による推定の結果（表6）について考察する。ハウスマン検定の結果、モデル1からモデル3のすべてのパネルデータ分析において、変量効果モデルが採択された。

【表6 被説明変数を電力消費量とした控除額効果のパネルデータ分析の結果】

モデル	Random Effect		
サンプル数	18,398	18,398	20,455
グループ数	43	43	43
項目	モデル(1)回帰係数	モデル(2)回帰係数	モデル(3)回帰係数
自由度調整済み決定係数	0.1210	0.1163	0.1139
within	0.5276	0.5333	0.5338
between	0.2748	0.2761	0.2703
overall			
控除額ダミー変数	0.0244** (0.0117)	-0.0082 (0.0116)	-0.0197* (0.0102)
世帯人員数	0.1277** (0.0510)	0.1279** (0.0502)	0.1232** (0.0490)
冷房度	0.0286*** (0.0028)	0.0253*** (0.0029)	0.0334*** (0.0026)
日平均風速	-0.0115*** (0.0029)	-0.0096*** (0.0031)	-0.0154*** (0.0030)

エアコン台数	0.0310 (0.1125)	0.0291 (0.0830)	0.0290 (0.0810)
冷蔵庫台数	0.2247** (0.1125)	0.2336** (0.1108)	0.2338*** (0.1081)
業務用冷蔵庫台数	0.2619** (0.1081)	0.2615** (0.1064)	0.2722*** (0.1038)
オール電化ダミー変数	0.2514** (0.1091)	0.2573** (0.1074)	0.2384** (0.1048)
木造家屋ダミー変数	0.0870 (0.1534)	0.0882 (0.1512)	0.0782 (0.1474)
アクセス回数	0.0883** (0.0351)	0.0640 (0.0393)	0.0821*** (0.0318)
時間帯ダミー1 (0-3時)	-0.0261* (0.0147)	-0.0268* (0.0147)	-0.0270* (0.0138)
時間帯ダミー2 (3-6時)	0.0483*** (0.0148)	0.0360* (0.0148)	0.0263* (0.0142)
時間帯ダミー3 (6-9時)	-0.0732*** (0.0150)	-0.0677*** (0.0151)	-0.0811*** (0.0146)
時間帯ダミー4 (9-12時)	-0.0020 (0.0168)	0.0006 (0.0171)	-0.0200 (0.0163)
時間帯ダミー5 (12-15時)	0.0425** (0.0174)	0.0594*** (0.0177)	0.0234 (0.0163)
時間帯ダミー6 (15-18時)	0.3864*** (0.0165)	0.3905*** (0.0166)	0.3581*** (0.0159)
時間帯ダミー7 (18-21時)	0.3795*** (0.0165)	0.3719*** (0.0148)	0.3557** (0.0142)
南区ダミー変数	0.0566 (0.2005)	0.0618 (0.1974)	0.0189 (0.1926)
中区ダミー変数	0.0902 (0.1730)	0.1003 (0.1704)	0.0536 (0.1662)
北区ダミー変数	0.1089 (0.1895)	0.1183 (0.1866)	0.0864 (0.1821)
東区ダミー変数	-0.0816 (0.1861)	-0.0833 (0.1833)	-0.1091 (0.1788)

(筆者作成)

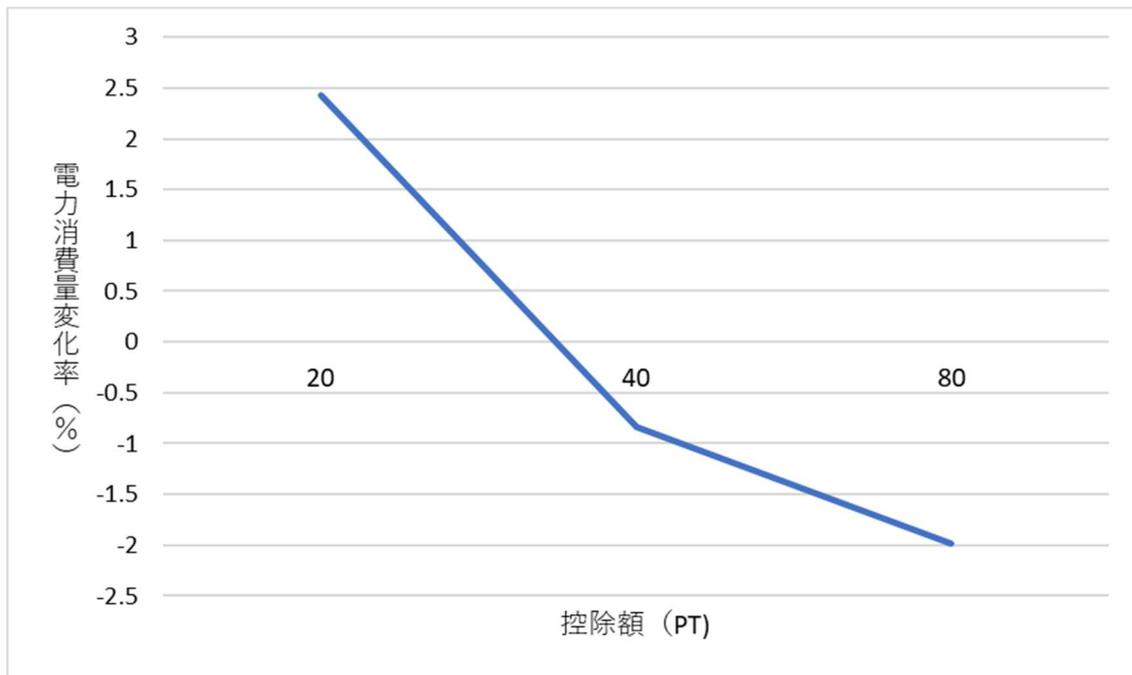
注) 1. **、*はそれぞれ統計学的に 1%、5%、10%水準で有意であることを示す。

2. 小数点第 5 位で四捨五入

3. () 内は標準誤差

パネルデータの分析結果を見ると、自由度修正済み決定係数にほとんど差異はなかった。また、控除額ダミー変数については、モデル 2 (控除額 20pt) では、5%の有意水準で 0.0244 の正の値をとり、モデル 4 (控除額 80pt) では 10%の有意水準で -0.0197 の負の値をとった。モデル 3 (控除額 40pt) については、p 値が 0.478 とな

り、有意な結果は得られなかった。このことから、控除額 20pt の日は、実験前期間と比べて電力消費量が 2.44%増加し、控除額 80pt の日は、実験前期間と比べて電力消費量が 1.97%減少することがわかる。



【図 2 控除額に対する電力消費量の変化率】(筆者作成)

図 2 は、パネルデータで得られた 20pt、40pt、80pt それぞれの控除額に対する電力消費量の変化量 (%) を図示したものである。この図より、控除額が少ないほど消費者は電力消費を増やす傾向にあり、また、控除額が多くなるほど電力消費を抑えようとすることがわかる。これは、理論とは反対であった Thoa ら (2016) の結果とは異なり、理論通りの結果である。

また、控除率が、300%変化 ($=100 \cdot (80-20)/20$)したときに、エネルギー消費は 220%変化 ($=100 \cdot (2.4 - (-2))/2$)しているので、価格弾性値は $0.73 (=220/300)$ ということになる。一般的に、電力需要は価格に対して非弾力的といわれているが、弾性値は 1 以上ではないものの価格によって相当の変化はもたらしうると結論づけられる。

しかしながら、本分析では各控除額に該当する日と実験前期間および当該控除日以外の日を比べているという点に、留意する必要があるだろう。これは、前提条件とし

て控除額 20pt の日は、前日当日ともに天気予報が晴れであるため、気温が高くなり、実験群がおのずと冷房を多く使用するという行動をとったため電力消費量が増加したとも考えられるためである。気温による影響を制御するため、本分析では説明変数に冷房度を加えているものの、気温による影響をすべて制御できていない可能性もある。

1.5 ダイナミックプライシングの課題

本節では、2016 年度の夏季実証実験後に行われた、アンケートの結果（実験群 28 世帯、対照群 22 世帯）をもとに、ダイナミックプライシングの課題について考察することとする。

図 3 は、「実験期間中に、タブレット端末を意識してみましたか。」という問いに対しての集計結果であるが、この結果より、実験群、対照群ともに自世帯の電力消費量が、他世帯と比べて多いのか興味を持つ傾向にあるといえる。また、実験群のほうが、対照群と比べて、省エネへの意識からアクセス回数が増えることが分かる。しかしながら、前節で行った電力消費量に与える影響の要因分析では、アクセス回数が増えると電力消費量が増えるという結果になった。この理由として考えられるのは、図 4 からわかるように、タブレットを見たことによる行動の変化があまりなかったということである。実験群では、タブレットによる可視化によって、省エネの成果がわかり励みになったと回答する割合が 32.1%であるが、対照群では、可視化が励みになったと回答する割合が 23.8%である一方で、可視化によって、逆に意識をなくしてしまった割合も 23.8%である。このことから、可視化が省エネに良い効果をもたらすこともあれば、望まない効果を生み出す可能性があると言えるだろう。また、見ることによる変化がなかったと回答する割合が全体で 32.7%ある。これらのことから、結果として、アクセス回数が増加すると電力消費量も増加するという結果につながってしまったのではないかと推測する。

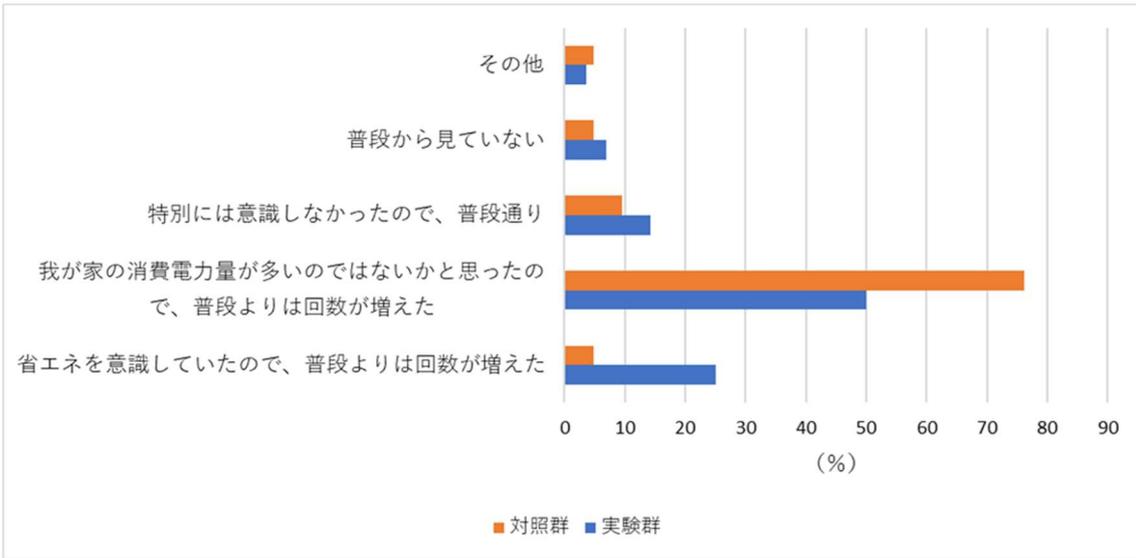
また、「夏季実験後も省エネ行動を習慣として維持しているか。」という問いに対する集計結果（図 5）を見ると、全体で約 7 割の世帯が省エネ行動を維持していることがわかる。これより、この経済実験によって、消費者に対して省エネの意識づけがで

きたといえるだろう。また、図 6 はポイント控除率の設定方法についてのアンケートの集計結果であるが、実験群では 50% の世帯が控除額を時間帯別に設定したほうが、より省エネ行動を取りやすいと回答している。これは、省エネに対して積極的な世帯は、短い期間でもこまめに省エネ行動をとろうとするためであると考えられる。

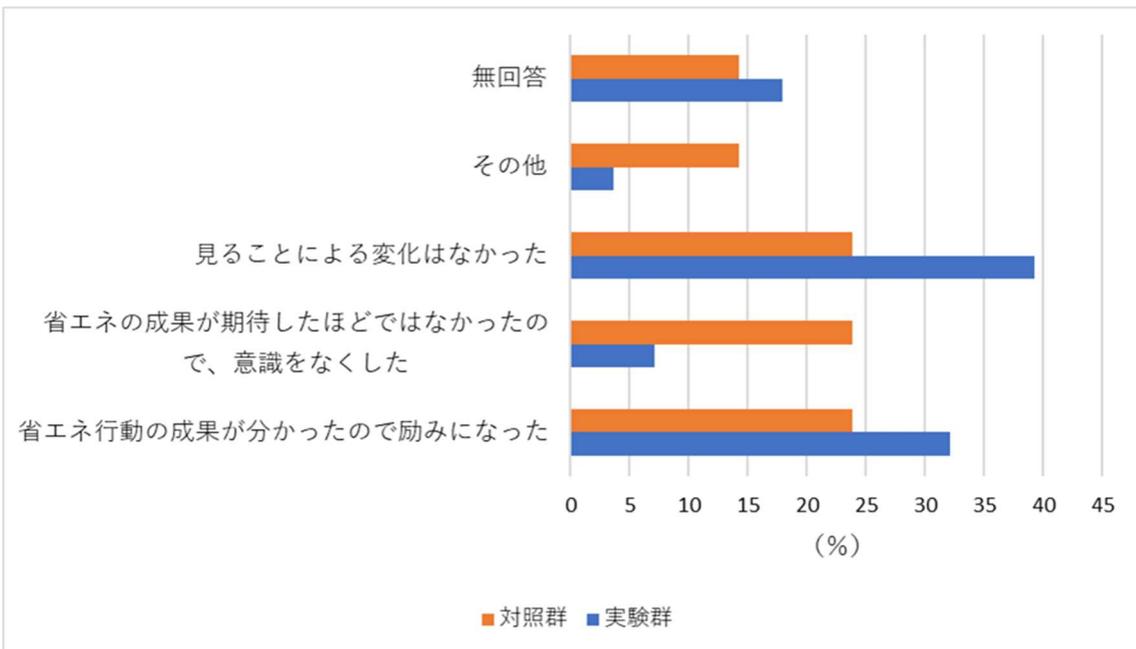
図 7～9 については、実験群に対してのみ行われたアンケートである。図 7 から、実験世帯の半数以上の世帯が、本経済実験に意識的に取り組んでいたことが分かる。また、図 8 では、設定ポイントによって行動が変化した割合はそれほど多くはないという結果になった。しかしながら、ポイントに関係なく省エネ行動をとった世帯を合わせると、図 7 と同じく、約半数以上が意識的に省エネに取り組んでいたことになった。また、省エネに対して行った取り組み（図 9）として、一番多かったのは、「ポイントの高い日は、極力電力使用を抑えた」であった。しかしながら、ここでは、「ポイント管理表に合わせて、電気使用量の高い作業や行為はポイントの低い日にシフトするように計画した」と回答した割合が、26.7% であることに着目したい。この消費者の行動は、前節で明らかになった「控除額が 20pt の時に電力消費量が増加する」という結果に、ある程度の影響を与えているのではないかと推測できる。

以上のことから、ダイナミックプライシングの課題は、可視化をいかに効果的に行い、消費者の省エネ行動につなげていくかであると考えられる。可視化によって消費者の省エネ行動を誘発することが出来れば、発電電力量が少ない時に需要を抑えることができるだけでなく、発電電力量が過剰供給（控除額の少ない日）に需要をシフトさせ、過剰供給時に需要を増加させることも可能になるのではないだろうか。

このように再エネの供給変動を念頭に置いたダイナミックプライシングを新電力が料金メニューに加え、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減することが出来れば、保有電源に占める再エネシェアの高い新電力にとっても大きなメリットとなるだろう。

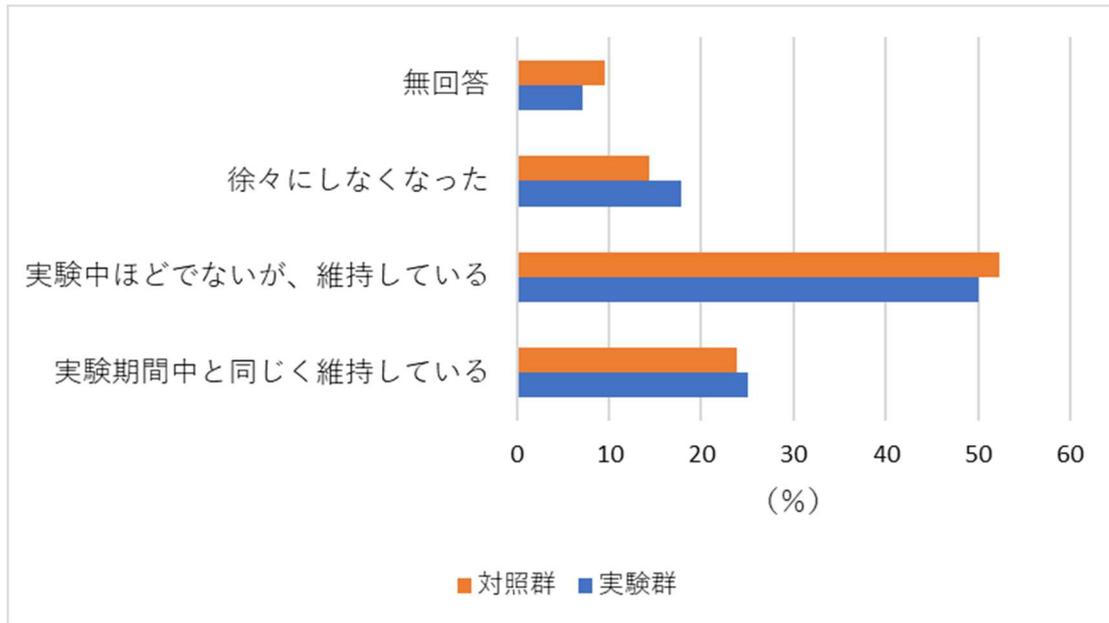


【図 3 実験群・対照群別にみた、タブレット端末への意識】（筆者作成）

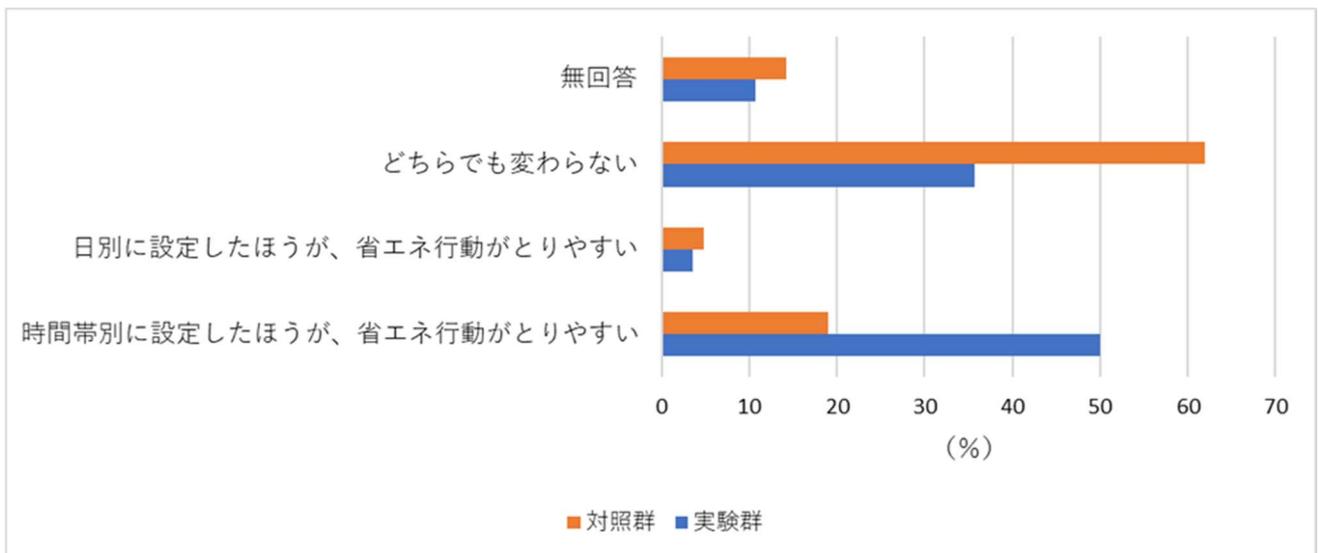


【図 4 実験群・対照群別にみた、タブレットを見たことによる行動の変化】

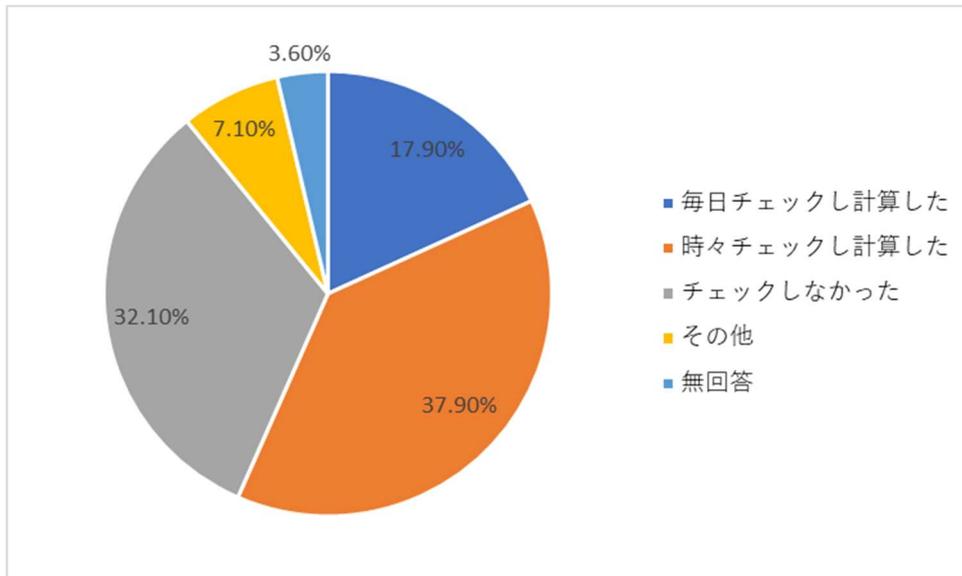
(筆者作成)



【図 5 実験群・対照群別にみた、実験期間後の省エネの維持】(筆者作成)

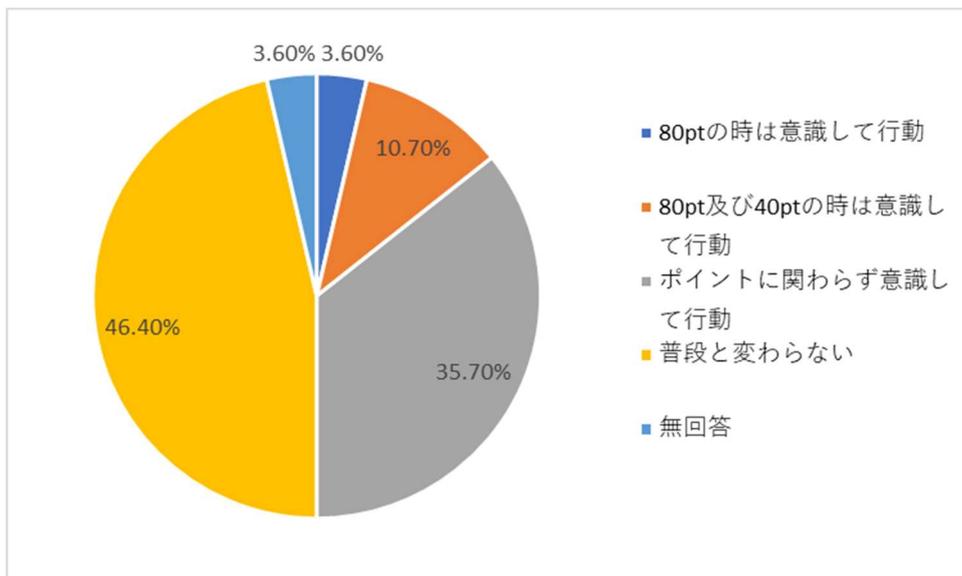


【図 6 実験群・対照群別にみた、控除率の設定方法への考え方】(筆者作成)

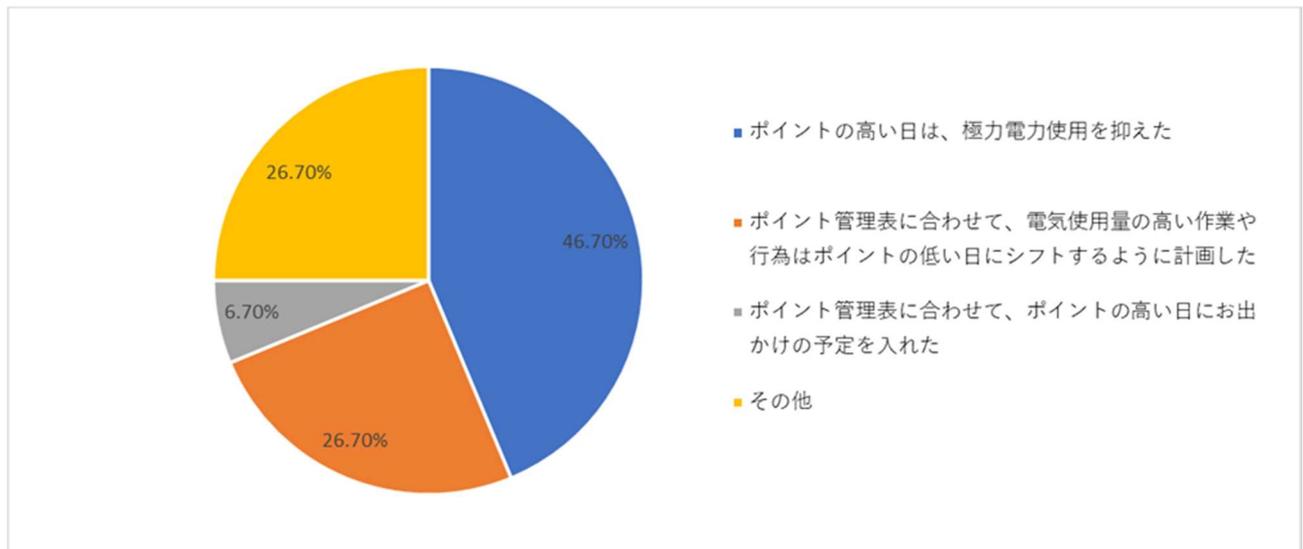


【図 7 実験期間中、どれくらい電力使用量及びポイントの残量を計算したか】

(筆者作成)



【図 8 実験期間中、設定ポイントを意識して省エネ行動をとったか】(筆者作成)



【図9 どのような取り組みを行ったか（複数回答可）】（筆者作成）

2. 電力取引市場（JEPX）のスポット価格決定要因の分析

本章では、再生可能エネルギーによる発電量の増加や、電力需要の増加といった外部要因が JEPX のスポット市場にどのような影響を与えるのかについて考察することとする。再エネシェアの高い電力を売りにする新電力が需給をマッチさせるために JEPX から電力を調達する際、できるだけ精度の高いスポット価格予測を行うことが出来れば、安定経営に資すると考えられる。

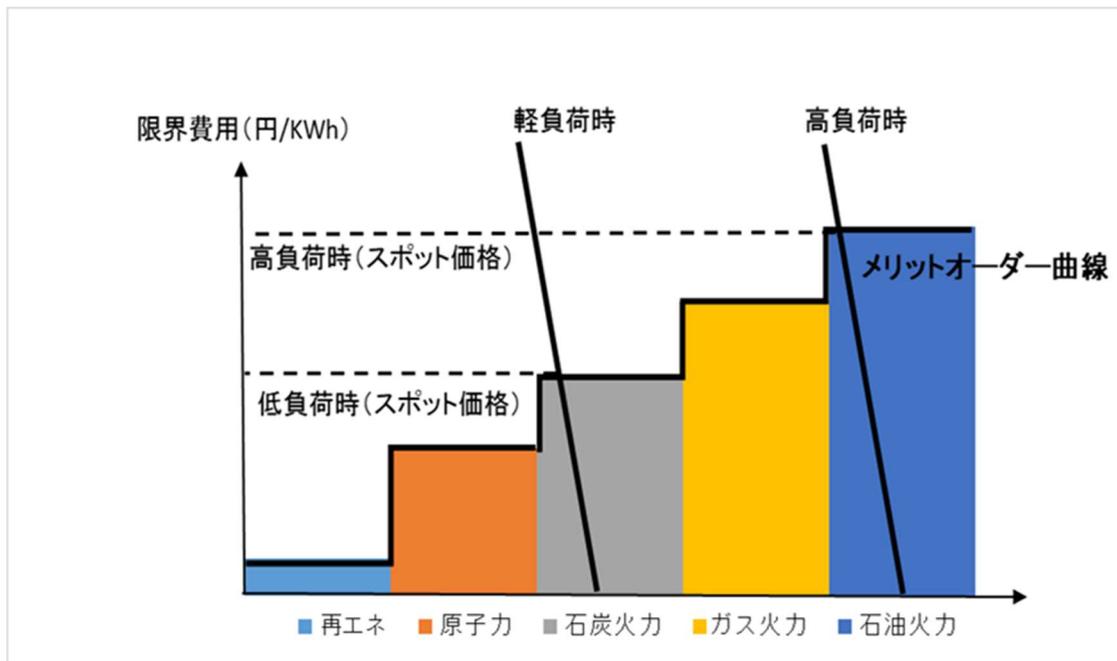
2.1 電力市場取引について

日本の電力システム改革においては、欧米諸国で運用が定着している「メリットオーダー」に基づく電源ミックスの決定が広まりつつある。メリットオーダー（merit order）とは、限界費用の安い電源から優先的に活用すること¹⁵であり、ここでの限界費用とは、短期限界費用を指し、ランニングコスト、すなわち発電所の場合は燃料費と人件費を含むメンテナンス費（O&M コスト）を指す。そのためメリットオーダー曲線上では、追加費用（燃料費）がゼロの再生可能エネルギー（水力発電、風力発

¹⁵ IEEI 国際環境経済研究所
<http://ieei.or.jp/2014/03/special201204040/>

電、太陽光発電など）は原子力や石炭火力より上位に位置づけられる。したがって、電力市場ではこれらの電源が必然的に優先的に落札されていく。

次に、電力市場におけるスポット価格決定について述べる。貯蔵することができないという電気の性質により、電力事業者は需要に合わせて供給を行うことが求められる。そのため、需要曲線はほぼ垂直を描き、前述したメリットオーダー曲線との交点がスポット価格となる（図 10 参照）。また、限界費用の低い再生可能エネルギー電源が増加すれば、供給曲線（メリットオーダー曲線）が右にシフトするためスポット価格が低下すると理論上考えられる。実際には各発電事業者が入札する価格は異なるため、正確なメリットオーダー曲線はより複雑になるが、入札情報から作成されたメリットオーダー曲線に基づいて市場取引が行われる。



【図 10 メリットオーダー曲線及び

メリットオーダーによるスポット価格決定のイメージ図】（筆者作成）

現在は、事業者単位のみならず地域間で電源をシェアすることで全体の経済性を高めようという「広域メリットオーダー」という考え方があり、卸電力市場を通じた電力取引など、広域メリットオーダーを追求する動きが活発化してきている。このよう

なメリットオーダーを事業者やエリアの枠を超えて実現することが出来れば、理論上、日本全体の電力供給コストを最小化することができるため、JEPXのような卸電力取引所は今後ますます増えていくと考えられる。

2.2 研究の方法

被説明変数を JEPX のエリアごとのスポット価格とし、説明変数をエリアごとの電力需要、風力発電量、太陽光発電量、水力発電量とした。JEPX では、電力取引量に占める電源の内訳が公表されていないため、本研究では、風力、太陽光、水力について、それぞれ風速、日照時間、降水量といった代理変数を用いて分析を行うこととする。気象データは、気象庁が公表している地点気象データで「気象台等」と地点表示される観測点のものを使用した。分析に使用するデータは、2016年4月1日から2017年6月30日までのもので、表7のとおりである。

まず、太陽光発電量の代理変数として日照時間を用いた。また、降水量については、ダムに流れ込むまでの時間差を考慮して24時間遅らせたラグ変数を用いる。また、風力発電の出力は、風速の3乗に比例するため、風速を3乗した変数を用いた。

なお、表8は使用したデータの基本統計量である。

【表7 パネルデータ分析使用データ】

変数	単位	出典	備考
スポット価格	円/KWh	JEPX	一時間ごとの平均値
エリア電力需要量	MWh/h	沖縄電力を除く 9エリアの一般電気 事業者	1時間ごと
降水量	mm/h	気象庁	エリアごとの平均値
日照時間	時間	気象庁	エリアごとの平均値
風速	m/s	気象庁	エリアごとの平均値
時間帯ダミー	-	-	1時間ごと
曜日ダミー	-	-	曜日ごと
休日ダミー	-	-	祝日：1 それ以外：0
月ダミー	-	-	1ヵ月ごと

(筆者作成)

【表 8 基本統計量】

変数	サンプル数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
スポット価格（円）	98,484	8.78	3.54	2.06	49
電力需要量(MWh/h)	94,116	11093.17	9221.22	1950	53320
降水量(mm/h)	98,268	0.20	0.70	0	21.28
日照時間(時間)	98,484	0.23	0.34	0	1
(風速) ³ (m/s)	98,484	45.17	74.79	0.28	2497.01

(注)小数点第 3 位で四捨五入

(筆者作成)

2.3 分析手法・理論的背景

本研究では、2016 年 4 月 1 日から 2017 年 6 月 30 日までの表 7 で示したデータを用いて、パネルデータを作成し、需要量や降水量、日照時間、風速といった外部要因が JEPX のスポット価格に与える影響を分析することとする。推定式は、以下のとおりである。

推定式の考え方：

自然対数をとったスポット価格 = 定数項

+回帰係数×自然対数をとった需要量

+回帰係数×24 時間前の降水量

+回帰係数×日照時間

+回帰係数×風速の 3 乗

+回帰係数×ダミー変数（時間・曜日・休日・月）

+回帰係数×自己回帰スポット価格（1 時間前・1 日前・1 週間前）

推定式：

$$\ln P_{it} = C + \alpha_i + \beta_1 \cdot \ln Q_{it} + \beta_2 \cdot R_{i(t-24)} + \beta_3 \cdot S_{it} + \beta_4 \cdot W_{it}^3 \\ + \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot D_{jit} + \sum_{k=1}^m \beta_k \cdot P_{ki(t-l)} + \varepsilon_{it} \cdot \cdot \cdot (5)$$

i ：エリア

t ：時間

P_{it} ：スポット価格

Q_{it} ：電力需要量

$R_{i(t-24)}$ ：24時間前の降水量

S_{it} ：日照時間

W_{it} ：風速

D_{jit} ：時間スケールのダミー変数

$P_{ki(t-l)}$ ：スポット価格の自己回帰項 ($l=1,24,168$)

C ：定数項

α_i ：固有効果

ε_{it} ：誤差項

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_j, \beta_k$ ：各説明変数の回帰係数

前述したように、理論上、電力需要が増加すると需要曲線が右にシフトするため、スポット価格が高くなり、再生可能エネルギー電源による電力供給量（降水量・日照時間・風速）が増加すれば、供給曲線が右にシフトするため、スポット価格が低下すると考えられる。

また、本研究では、説明変数を順に追加し、複数のモデルによる分析を行い、モデル間の比較も行うこととする。

2.4 推定結果と考察

分析の結果は以下（表 9）の通りである。

【表 9 パネルデータ分析の結果】

	Model(1)	Model(2)	Model(3)	Model(4)	Model(5)	Model(6)
自然対数を取った電力消費量 (MWh)	1.34119*** (0.00430)	1.35794*** (0.00435)	1.10523*** (0.00459)	0.99984*** (0.00498)	0.89503*** (0.00636)	0.19153*** (0.00380)
降水量 (24 時間前)		-0.00345*** (0.00046)	-0.00356*** (0.00042)	-0.00461*** (0.00041)	-0.00140*** (0.00040)	-0.00120*** (0.00022)
日照時間		-0.03067*** (0.00098)	-0.07092*** (0.00120)	-0.07056*** (0.00118)	-0.07252*** (0.00115)	-0.02751*** (0.00064)
風速 (3 乗)		-0.0000231*** (4.44e-06)	-0.00000165*** (4.11e-06)	-0.0000107*** (4.07e-06)	-0.0000425*** (3.96e-06)	-0.0000165*** (2.17e-06)
時間帯ダミー 1~23	巻末資料に記載					
曜日ダミー 1~6	巻末資料に記載					
休日ダミー				-0.03408*** (0.00142)	-0.03855*** (0.00139)	-0.01436*** (0.00077)
月ダミー 1~11	巻末資料に記載					
対数を取った 1 時間前スポット価格						0.70298*** (0.00201)
対数を取った 1 日前スポット価格						0.10515*** (0.00182)
対数を取った 1 週間前スポット価格						0.10998*** (0.00177)
モデル	Fixed Effect					
サンプル数	94,089	93,873	93,837	93,873	93,873	92,577

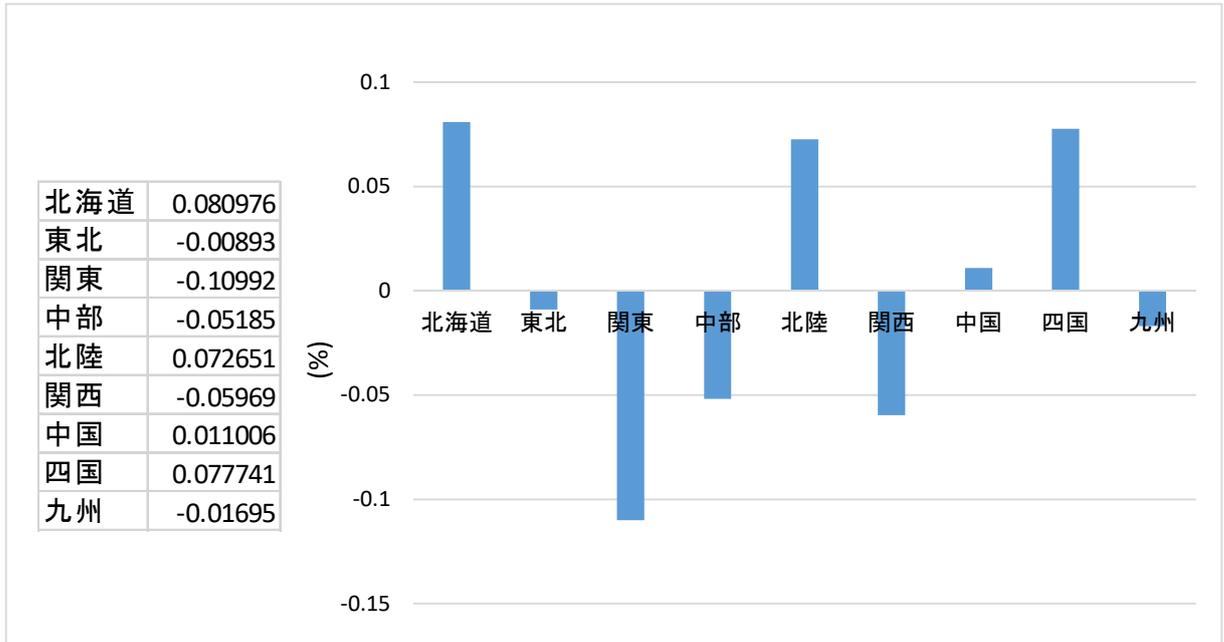
決定係数						
within	0.5085	0.5139	0.5989	0.6120	0.6450	0.8951
between	0.0226	0.0221	0.0222	0.0220	0.0224	0.2395
overall	0.0098	0.0099	0.0255	0.0341	0.0491	0.7417

(筆者作成)

- (注) 1. ***, **, *はそれぞれ統計学的に 1%、5%、10%水準で有意であることを示す。
 2. 小数点第 6 位で四捨五入。風速のみ値が小さいため小数点第 7 位で四捨五入。
 3. () 内は標準誤差。

ハウスマン検定の結果、すべてのモデルで固定効果モデルが採択された。推定結果を見ると、説明変数を増やすことで、決定係数が徐々に増加し、モデルの精度が高くなっていることが分かる。また、全てのモデルにおいて電力需要量は 1%水準で有意であり、電力需要が増加すればスポット価格が高くなるという理論通りの結果が得られた。また、降水量、日照時間、風速のいずれについても、1%水準で有意な結果が得られ、降水量、日照時間、風速が増加すればスポット価格が低下することが明らかになった。これより、代理変数ではあるものの、再生可能エネルギー電源による供給量が増加すれば、JEPX のスポット価格が低下するという理論が実証された。

しかしながら、代理変数で表現した再エネ発電が、直接 JPEX で取引されてスポット価格に影響するのか（一般電気事業者が系統への受入れを制限した場合など）、固定価格買取制度（FIT）によっていったん一般電気事業者が買取り、一般電気事業者の供給構造が変化することで間接的にスポット価格に影響しているのかは、本研究では明らかになっていない。これを今後の課題としたい。



【図 11 スポット価格のエリア別固有効果】（筆者作成）

また、図 11 はスポット価格のエリア別の固有効果¹⁶を表している。これを見ると、関東、関西、中部といった大規模需要エリアでは、スポット価格を低下させる固有効果が存在している。一方で、北海道、北陸、四国エリアではスポット価格を増加させる固有効果があることが分かる。これは、JEPX の取引量と関係しているのではないかと考える。つまり、東京電力、関西電力、中部電力は JEPX への電力供出量が多く、北海道電力、北陸電力、四国電力は JEPX への電力供出量が少ないのではないだろうか。本研究では、JEPX のスポット価格と取引量の関係性を明らかにすることができていないが、今後の研究で明らかにしたい。

以上の結果を踏まえて、電源に占める再エネシェアの高い新規事業者の経営リスクをより軽減する、すなわち、より精度の高いスポット価格予測を行うためには卸電力取引市場の電源内訳を公表していくことが求められると考える。また、メリットオーダーをより広域的に実践していくためには、①入札量・取引量の増加、②周波数変換設備や地域連携線などの送電インフラの増強およびエリアを超えた全国大での系統運用を図ることも重要となるだろう。

¹⁶ 固有効果とは式(5)の α_i を指し、観察できない（説明変数に入っていない）主体固有の特性を表すものである。

第 4 章 政策提言

本章では、第 2 章で挙げた先行研究及び、第 3 章で得られた結果を踏まえ、具体的な政策提言を行うこととする。

1. ダイナミックプライシングの活用

本節では、再エネの供給変動を念頭に置いたダイナミックプライシングにより、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させる政策を提言する。

第 3 章第 1 節では、プライシングによって消費者の省エネ行動及び、需要のピークシフトを促進できることが明らかになった。しかしながら、可視化をいかに効果的に行い、消費者の節電行動につなげるか、また、どのようにして安定してある程度の需要変動（ネガワット）を確保するか、アグリゲーターにどのようなインセンティブを与え活用するかが今後の課題として考えられる。

これらの課題を踏まえ、本稿で提案するのは「蓄熱システム¹⁷を利用したダイナミックプライシング」である。ここでの蓄熱システムとは、家庭用のエコキュート¹⁸のことであり、エコキュートは、省エネと CO₂ 削減、電力の負荷平準化に貢献するシステムとして、これまで普及が進んできた（一般社団法人日本冷凍空調工業会によると、2016 年 3 月末現在で、累計出荷台数は約 500 万台）。しかしながら、近年は、需給に応じて柔軟に運営できる機能が注目されはじめており、この機能をデマンドレスポンス（ダイナミックプライシング）に活用すれば、電力需要のピークを抑制するための「ネガワット」の創出はもちろんのこと、余剰電力を吸収する需要を創出する「ポジワット」にも寄与できると考える。

このように、蓄熱システムはダイナミックプライシングと同じように電力需要のコントロールを可能にするため、互いに代替可能なものであるが、これらを両立することこそ、安定した需要変動（ネガワット）を確保することにつながると考える。また、今

¹⁷ 蓄熱システムは、「ヒートポンプ（エネルギーを高効率に利用する技術）」と「蓄熱（エネルギーの需給バランスを調整するもの）」を兼ね備えたもの。

¹⁸ 「エコキュート」の名称は、電力会社・給湯機メーカーが自然冷媒 CO₂ ヒートポンプ式給湯機の愛称として使用しているもの

後、こうした取り組みを増やしていくことで、現在は、あまり活性化されていないネガワット取引市場の拡大にも寄与できるため、再エネシェアの高い新電力はよりインバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させることができるだろう。

具体的な政策内容は以下のとおりである。

①再エネ事業者は、気象情報に基づいて再エネ電源による発電電力量を予測し、それに応じてプライシングが決定されるような料金メニュー（発電電力量が多いほど安く、発電電力量が少ない場合に高く）を設定する。

現在、多くの一般電気事業者は、負荷平準化の理由から、昼に比べて夜間の電力料金が安い料金プランを多く採用しているが、本稿で着目している再エネ事業者にとっては、再エネ電源による発電量が多い時間に、需要を獲得することが望ましい。そのため、再エネ事業者は、気象情報に基づいて再エネ電源による発電電力量を予測し、それに応じてプライシングが決定されるような料金メニューを設定することで、顧客の電力消費をシフトさせることができるのではないかと考える。

②可視化によって、予測される一番安い電気料金となる時間帯に、エコキュートを稼働させるように消費者に促す。

予測される一番安い電気料金となる時間帯に、消費者がエコキュートを稼働させるような可視化を行い、それが実践されれば、消費者はより高い節電効果を実感できると考える。また、再エネ事業者は、需要のシフトにより、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させることができるだろう。

③アグリゲーターとして大手電機メーカーを活用する。

電力自由化以降、アグリゲーター事業の市場は急成長しており、大手電機メーカーなどが多角化の一つとして手がけているため、エコキュートを販売している大手電機メーカーなどをアグリゲーターとして活用し、新規の電力契約時にエコキュートを家庭に設置してもらうようなキャンペーン（通常の値段よりも安く販売）を行うことで、「要請された節電量に応じた報酬」といった通常のインセンティブ以上のものをアグリゲーターに与えることができるのではないかと考える。

2. 電力卸取引市場の活用

本節では、再エネシェアの高い新電力が安定経営を行っていくために、需給をマッチさせる際の JEPX からの電力調達時に、できるだけ精度の高いスポット価格予測を行う政策を提言する。

第 3 章第 1 節では、JEPX のスポット価格に与える要因分析を行い、代理変数ではあるものの再エネ電源とスポット価格の関係性が明らかになった。また、JEPX のスポット価格にはエリア別の固有効果が存在し、それはエリアごとの取引量が関係しているのではないかと推測された。さらに、メリットオーダーをより広域的に実践していくためには、入札量・取引量の増加、周波数変換設備や地域連携線などの送電インフラの増強およびエリアを超えた全国大での系統運用を図る、といった課題が挙げられた。これらを踏まえて、提言する具体的な政策は以下の 3 点である。

①卸電力市場の電源の内訳を公表する。

第 3 章第 2 節では、再エネ電源による発電量を気象情報という代理変数を用いて表現し、再エネによる発電量が増加すれば、JEPX のスポット価格が低下するという推定結果を得た。しかしながら、代理変数で表現した再エネ発電が、直接 JEPX で取引されてスポット価格に影響するのか（一般電気事業者が系統への受入れを制限した場合など）、固定価格買取制度（FIT）によっていったん一般電気事業者が買取り、一般電気事業者の供給構造が変化することで間接的にスポット価格に影響しているのかは、本研究では明らかになっていない。そのため、JEPX のスポット価格の電源内訳が公表されれば、より精度の高いスポット価格予測ができ、再エネ事業者はより安定経営に資することができると思う。

②電源開発の有する電源の一部の切り出しを義務化する。

現在は、旧一般電気事業者各社の自主的取組の進展にともない、取引所の活性化は一定程度進展している。しかしながら、現状では十分ではなく、さらなる取組が必要である。そこで提案するのが、電源開発と旧一般電気事業者の間で締結されてきた長期の卸電力契約の一部を切り出し、電源開発の供給力を市場で取引可能とする取組を義務化

することである。この電発電源は国内電源の約 6%¹⁹を占めており、この電源が卸電力市場に投入されれば、市場の活性化が進むと考えられる。

③ 現行の先着優先ルールを廃止し、全国大で円滑に需給調整できるような地域連携線ルールを制定する。

周波数変換設備や地域連携線などの送電インフラの増強の費用負担を誰に課すのかといった議論はもちろんのこと、地域間での電力融通が拒否されるようなことのないように連携線のルールを定めることが重要であると考えられる。

3. おわりに

本稿では、再エネシェアの高い電力を環境意識が高い消費者や電力起因の CO₂ 排出量を減らしたい企業に販売する新電力 (PPS) に着目し、彼らの経営リスクを低減させ、日本の再エネ発電量の増加につながるような政策を提言することを目的に、沼島でのダイナミックプライシングを用いた経済実験の定量データ分析及び、JEPX のスポット価格の決定要因分析を行った。その結果、ダイナミックプライシングにより再エネ供給変動に合わせて電力需要量を変動させることが可能であり、また、JEPX のスポット価格の決定メカニズムの予測を行うことができることが明らかになった。

しかしながら、再エネシェアの高い新電力にとって、ダイナミックプライシングにより、インバランスリスクや JEPX からの調達量を軽減させること、また、需給をマッチさせるため、JEPX からの調達時にできるだけ精度の高いスポット価格予測を行うことは、安定した経営を続けていくために有効な手段であるものの、これらの政策を行っていくためには、様々な課題が残されている。

電力システム改革と再生可能エネルギー普及を両立させるためにも、政府や旧一般電気事業者、新規参入事業者、そして消費者の積極的な取り組みを期待したい。

¹⁹ 経済産業省資源エネルギー庁「電力調査統計」

先行研究・参考文献

【主要参考文献】

- ・ Alexander Zipp(2017), "The marketability of variable renewable energy in liberalized electricity markets – An empirical analysis", *Renewable Energy* 113(2017), page 1111-1121
- ・ FERC, *Assessment of Demand Response & Advanced Metering* (2011)
- ・ Thoa Thi Kim Nguyen 1, Koji Shimada 2,*, Yuki Ochi 3, Takuya Matsumoto 4, Hiroshi Matsugi 5 and Takao Awata (2016) , "An Experimental Study of the Impact of Dynamic Electricity Pricing on Consumer Behavior: An Analysis for a Remote Island in Japan", *Energies* 2016, 9, 1093
- ・ Liliana Gelabert, Xavier Labandeira, PedroLinares(2011), "An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity price", *Energy Economics*33(2011), page 559-565
- ・ 伊藤公一朗・田中誠・依田高典 (2017) 『スマートグリッド・エコノミクス』有斐閣
- ・ 岡田健司,古澤健 (2017) 「再生可能エネルギー電源大量導入下の欧州における国際連携線を活用した需給調整メカニズムの動向と課題」『電力経済研究』64号, pp.59-77
- ・ 諸富徹編著 (2015) 『電力システム改革と再生可能エネルギー』日本評論社
- ・ 電気現場 (2017.5) 「国内外における DR の変遷・現状と電中研での取り組み」電気情報社 pp.42-45
- ・ 電気現場 (2017.7) 「蓄熱システムは DR の旗手となるか」電気情報社 pp.4-11
- ・ 「電力需給のピーク、夕方シフトも、今夏逼迫日ゼロ、太陽光普及、発電量急減で。」日本経済新聞 朝刊 5 ページ 2017/10/05

・月刊ビジネスアイエネコ 地球環境とエネルギー (2017.8) 「デマンドレスポンスの基礎と今後の展望」 日本工業新聞社 pp.14-17

・OHM (2014.10) 「スマートメーターとデマンドレスポンス」 オーム社 p.4-17

【引用文献】

・経済産業省資料「デマンドレスポンス (Demand Response) について」

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku_system_kaikaku/002_s01_01_05.pdf

・コトバンク「ダイナミック - プライシング (dynamic pricing)」 朝日新聞社

【データ出典】

・気象庁 HP 「過去の気象データ」 最終閲覧日 2017/8/25

<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>

・JEPX HP 「取引情報」 最終閲覧日 2017/9/20 <http://www.jepx.org/>

・沼島の経済実験のデータ 「科研費・基盤 (c) 15K00645 : 代表 (島田幸司)」

・一般電気事業者電 9 社 (沖縄電力を除く) HP

・電力広域的運営推進機関 「各電力会社の電力需給状況」 最終閲覧日 2017/10/17

<https://www.occto.or.jp/keitoujouhou/index.html>

【参考 URL】

・GSGF(2016)「DEMAND RESPONSE STATAS AND INITIATIVES AROUND THE WORLD」 最終閲覧日 2017/07/19

<http://www.globalsmartgridfederation.org/wp-content/uploads/2016/12/flexibilitylow.pdf>

・IEEI 国際環境経済研究所「容量メカニズムに関する制度設計 WG での議論で整理が必要なこと」 最終閲覧日 2017/11/08

<http://ieei.or.jp/2014/03/special201204040/>

・石田雅也, スマートジャパン (2016) 「電力会社が抱える電源を市場に、2017 年度から販売量の 10%めど」 最終閲覧日 2017/11/08

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1612/02/news030.html>

・一般財団法人日本エネルギー経済研究所「平成 24 年度国際エネルギー使用合理化等対策事業 (スマートコミュニティ推進に向けたデマンドレスポンスに関する海外動向調査)」 最終閲覧日 2017/8/15

http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E003438.pdf

・一般社団法人日本冷凍空調工業会 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター「家庭用自然冷媒ヒートポンプ給湯機“エコキュート”の累計出荷台数 500 万台突破について」 最終閲覧日 2017/11/04

https://www.jraia.or.jp/product/heatpump/i_broke.html

・環境ビジネスオンライン「ベースロード電源は 21 世紀にふさわしいか？」 最終閲覧日 2017/11/08

<https://www.kankyo-business.jp/column/010237.php>

・経済産業省資源エネルギー庁 (2016) 「卸電力取引の活性化について」 最終閲覧日 2017/11/08

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/kihonseisaku/pdf/006_05_01.pdf

・経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書 2017」 最終閲覧日 2017/8/10

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/1-2-2.html>

・経済産業省資源エネルギー庁 (2017) 「エネルギーに関する年次報告」 pp.48-50 最終閲覧日 2017/11/09

file:///C:/Users/shinkuma/AppData/Local/Temp/Temp1_whitepaper2017pdf_all.zip/whitepaper2017pdf_all.pdf

・経済産業省資源エネルギー庁「電気事業制度の概要 登録小売電気事業者一覧」 最終閲覧日 2017/8/31

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/retailers_list/

・電力・ガス取引監視等委員会（2016）「制度設計専門会合における卸電力市場の競争的な市場構造実現に係るこれまでの議論」最終閲覧日 2017/11/08

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/denryoku_system_kai_kaku/shijo_seibi/pdf/05_04_00.pdf

・電力・ガス取引監視等委員会「電力取引報 平成29年度1月」最終閲覧日 2017/8/10

<http://www.emsc.meti.go.jp/info/business/report/results.html>

・電力広域的運用推進機関（2016）「広域メリットオーダーシミュレーションの概要」最終閲覧日 2017/10/22

https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2016/files/chousei_jukyu_11_04_sankou_u1.pdf

・日本気象協会 「電力取引価格の予測（プライス予測）サービスを開始 ～日本卸電力取引所のスポット取引価格をAI技術で予測」最終閲覧日 2017/10/17

<https://www.jwa.or.jp/news/2017/08/post-000899.html>

・日本政策投資銀行 「電力自由化後の火力発電投資～メリットオーダー分析にみるリスクと課題～」最終閲覧日 2017/11/08

http://www.dbj.jp/pdf/investigate/mo_report/0000019912_file4.pdf

・服部徹（2016）「電力市場の競争促進及び活性化に向けた制度的措置の課題」最終閲覧日 2017/10/19

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/leaflet/Y15010.pdf>

【付録】 JEPX スポット価格のパネルデータ分析結果 (全体)

	Model(1)	Model(2)	Model(3)	Model(4)	Model(5)	Model(6)
自然対数を取った電力消費量 (MWh)	1.34119*** (0.00430)	1.35794*** (0.00435)	1.10523*** (0.00459)	0.99984*** (0.00498)	0.89503*** (0.00636)	0.19153*** (0.00380)
降水量		-0.00345*** (0.00046)	-0.00356*** (0.00042)	-0.00461*** (0.00041)	-0.00140*** (0.00040)	-0.00120*** (0.00022)
日照時間		-0.03067*** (0.00098)	-0.07092*** (0.00120)	-0.07056*** (0.00118)	-0.07252*** (0.00115)	-0.02751*** (0.00064)
風速		-0.0000231 *** (4.44e-06)	-0.00000165 *** (4.11e-06)	-0.0000107 *** (4.07e-06)	-0.0000425 *** (3.96e-06)	0.0000165 *** (2.17e-06)
時間帯ダミー 1			0.00006 (0.00203)	-0.00240 (0.00199)	-0.00488** (0.00191)	0.00849*** (0.00105)
時間帯ダミー 2			-0.01260*** (0.00203)	-0.01553*** (0.00200)	-0.01852*** (0.00191)	0.01364*** (0.00105)
時間帯ダミー 3			-0.02045*** (0.00203)	-0.02204*** (0.00199)	-0.02374*** (0.00191)	0.02841*** (0.00105)
時間帯ダミー 4			-0.02696*** (0.00203)	-0.02714*** (0.00199)	-0.02743*** (0.00191)	0.02807*** (0.00105)
時間帯ダミー 5			-0.02903*** (0.00203)	-0.02896*** (0.00199)	-0.02901*** (0.00191)	0.02208*** (0.00105)
時間帯ダミー 6			-0.01921*** (0.00203)	-0.01983*** (0.00199)	-0.02041*** (0.00191)	0.02301*** (0.00105)
時間帯ダミー 7			0.00456** (0.002059)	0.00434** (0.00201)	0.00453** (0.00192)	0.04210*** (0.00106)
時間帯ダミー 8			0.02236*** (0.00208)	0.02362*** (0.00205)	0.02584*** (0.00196)	0.05025*** (0.00108)
時間帯ダミー 9			0.04512*** (0.00213)	0.05010*** (0.00205)	0.05649*** (0.00202)	0.07368*** (0.00112)
時間帯ダミー 10			0.06756*** (0.00216)	0.07496*** (0.00213)	0.08432*** (0.00206)	0.06650*** (0.00114)
時間帯ダミー 11			0.05532*** (0.00217)	0.06304*** (0.00214)	0.07318*** (0.00208)	0.02685*** (0.00115)

時間帯ダミー 12	0.05134*** (0.00217)	0.05918*** (0.00214)	0.06986*** (0.00208)	0.03113*** (0.00115)
時間帯ダミー 13	0.00364* (0.00216)	0.00946*** (0.00212)	0.01836*** (0.00205)	-0.01711*** (0.00113)
時間帯ダミー 14	0.05909*** (0.00216)	0.06644*** (0.00213)	0.07694*** (0.00207)	0.08456*** (0.00115)
時間帯ダミー 15	0.08051*** (0.00216)	0.09242*** (0.00212)	0.10284*** (0.00206)	0.05491*** (0.00115)
時間帯ダミー 16	0.10712*** (0.00214)	0.11439*** (0.00211)	0.12433*** (0.00205)	0.05293*** (0.00115)
時間帯ダミー 17	0.14542*** (0.00212)	0.15351*** (0.00209)	0.16361*** (0.00203)	0.07390*** (0.00116)
時間帯ダミー 18	0.12611*** (0.00201)	0.13473*** (0.00206)	0.14459*** (0.00200)	0.02790*** (0.00114)
時間帯ダミー 19	0.09351*** (0.00207)	0.10256*** (0.00204)	0.11214*** (0.00199)	0.01224*** (0.00112)
時間帯ダミー 20	0.05986*** (0.00206)	0.06807*** (0.00203)	0.07649*** (0.00197)	-0.00568*** (0.00110)
時間帯ダミー 21	0.03181*** (0.00204)	0.03811*** (0.00201)	0.04454*** (0.00194)	-0.01320*** (0.00108)
時間帯ダミー 22	0.00986*** (0.00203)	0.01397*** (0.00200)	0.01820*** (0.00192)	-0.01072*** (0.00106)
時間帯ダミー 23	0.01425*** (0.00203)	0.01613*** (0.00199)	0.01804*** (0.00191)	0.00958*** (0.00105)
曜日ダミー-1		-0.00668*** (0.00109)	-0.01060*** (0.00105)	0.00518*** (0.00058)
曜日ダミー-2		0.04006*** (0.00109)	0.04168*** (0.00105)	0.01956*** (0.00063)
曜日ダミー-3		0.02786*** (0.00109)	0.03045*** (0.00105)	0.00566*** (0.00059)

曜日ダミー4	0.03356*** (0.00109)	0.03538*** (0.00106)	0.00609*** (0.00059)
曜日ダミー5	0.03114*** (0.00110)	0.03368*** (0.00106)	0.00531*** (0.00059)
曜日ダミー6	0.03032*** (0.00109)	0.03315*** (0.00105)	0.00637*** (0.00059)
休日ダミー	-0.03408*** (0.00142)	-0.03855*** (0.00139)	-0.01436*** (0.00077)
月ダミー1		0.01983*** (0.00147)	0.00282*** (0.00081)
月ダミー2		0.04399*** (0.00151)	0.00071 (0.00083)
月ダミー3		0.06699*** (0.001469)	0.00814*** (0.00081)
月ダミー4		-0.00664*** (0.00137)	0.00808*** (0.00077)
月ダミー5		0.00065*** (0.00141)	0.01574*** (0.00077)
月ダミー6		0.00356*** (0.00137)	0.00859*** (0.00075)
月ダミー7		-0.03297*** (0.00147)	0.00182** (0.00080)
月ダミー8		-0.02112*** (0.00147)	0.00206*** (0.00080)
月ダミー9		-0.04070*** (0.00149)	-0.00023 (0.00082)
月ダミー10		-0.01038*** (0.00151)	0.00733*** (0.00083)
月ダミー11		-0.00026*** (0.00149)	0.00688*** (0.00081)
自然対数を取った1時間前 スポット価格			0.70298*** (0.00201)

自然対数を取った1日前スポット価格						0.10515*** (0.00182)
自然対数を取った1週間前スポット価格						0.10998*** (0.00177)
モデル				Fixed	Effect	
サンプル数	94,089	93,873	93,837	93,873	93,873	92,577
決定係数	0.5085	0.5139	0.5989	0.6120	0.6450	0.8951
within	0.0226	0.0221	0.0222	0.0220	0.0224	0.2395
between	0.0098	0.0099	0.0255	0.0341	0.0491	0.7417
overall						