論文・事例研究

# 最大電力供給の統計的解析と節電について
## —東日本大震災がもたらした構造変化—

荒川　俊也，土谷　隆

### 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災と福島第一原子力発電所事故以降，電力需給をめぐる情勢は大きく変化し，2016 年 4 月からは電力小売り自由化が実現するに至った．この自由化に伴い，電力需給を適切に解析して予測につなげることが重要となってきている．また，エネルギー政策の行方とも相まって電力需給に対する関心は未だに高いものがある．

しかしながら，電力需給の解析はそれが気温をはじめとする種々の気象条件や社会的状況に依存することなどもあり容易ではない．

2011 年に行われた節電を契機として，電力需給構造は大きく変化したと考えられる．この節電はいわば壮大な社会実験というべきもので，その影響を定量的に見定めることは今後の電力需給のあり方に関する議論を深めるうえで有用である．

本論では web 上で公開されている震災前の 2009 年，2010 年，そして震災後の 2011 年から 2014 年の電力供給や気温，天候データのみ [1–4] を用い，簡単な統計モデルにより，東京電力および関西電力による夏季の平日晴天日の最大電力供給を解析する．そして，震災を境として，電力需給構造が大きく変化し，震災前は最大電力供給が約 6000 万 kW である東京電力が供給する，夏季平日晴天時の最大電力が約 700 万 kW 程度，震災前は最大電力需給が約 3000 万 kW であった関西電力では約 170 万 kW 程度減少していることを明らかにする．「東京電力や関西電力が供給する電力が，概ね東京電力管内や関西電力管内における社会的な電力需要に見合ったものである」という立場に立てば，これを，社会的電力需要の減少と捉えることができる．さらに，震災直後の 2011 年から一昨年 2014 年に到るまではこの構造があまり変化していないことを示す．

上で述べた「東京電力や関西電力が供給する電力が，概ね東京電力管内や関西電力管内における社会的な電力需要に見合ったものである」という立場については，しばしば報道などで言及されるような，新電力の契約への変更や各家庭での太陽光の設置，工場などでの自家発電の増加など，東京電力や関西電力が供給する電力の枠外での電力供給まで考慮しないと社会的な電力需要とはいえないのではないか，という論点があろう．しかし，これらの要因は解析時点の 2011 年から 2014 年では軽微であることを 7 節において吟味する．

最大電力供給の推定の代表的な結果としては，総合資源エネルギー調査会基本政策分科会電力需給検証委員会 [5, 6] などによるものがあるが，モデルが明示されておらず，また，データもすべて公開されているわけではない．これに対し，本論で検討する統計モデルは，高校レベルの知識で十分理解ができる簡単なモデルであり，各年度ごとに「公開されているデータのみ」を用いて解析可能である．

特に，節電について論じるには「気温や経済的状況の影響を排した電力需給」を考え，比較する必要がある．しかし，このような「電力需給」自身が仮想的な部分もあり，モデリングが難しい．特に経済状況などあいまいな量まで含めてモデルを複雑にすると，迷宮に迷い込む可能性もある．本論は「あいまいさのない量である気温と最低需給量のみを用いた簡単な統計モデル」によってかなり気候状況が異なる 2009 年と 2010 年が一貫性を持って推定できることから，モデルが電力需給を適切に捉えていると考え，そのうえでほかの年の電力需給構造をこのモデルに基づいて解析して，一貫性のある結果が得られる，というところでモデルとしての有効性と面白さを主張したい．

あらかわ　としや
愛知工科大学工学部機械システム工学科
〒 443–0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50–2
つちや　たかし
政策研究大学院大学政策研究科
〒 106–0032 東京都港区六本木 7–22–1
受付 14.5.22　採択 16.8.18

 Copyright ⓒ by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

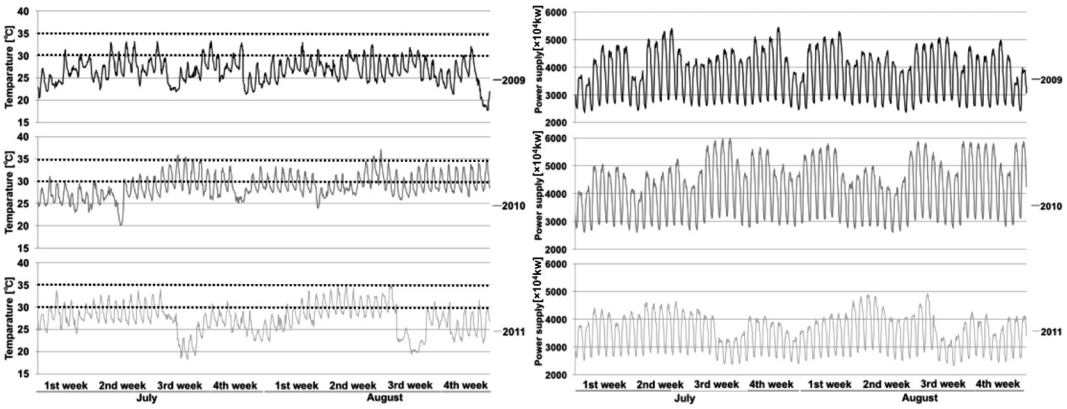


**図 1**　2009～2011 年の 7 月と 8 月の東京の気温と東京電力の電力供給．目安として，点線は 30℃と 35℃を示している．

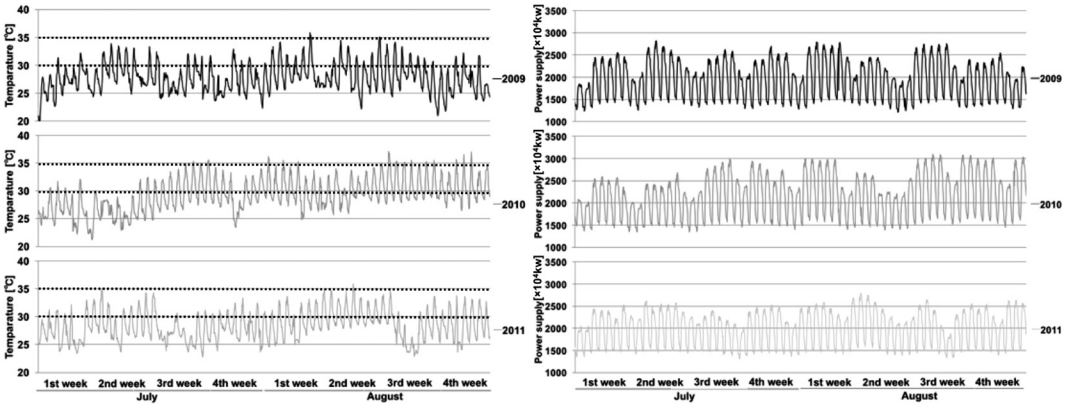


**図 2**　2009～2011 年の 7 月と 8 月の大阪の気温と関西電力の電力供給．目安として，点線は 30℃と 35℃を示している．

過去の論文としては，本論で検討する統計モデルに似たモデルを用いて電力供給の予測を試みたり，東日本大震災の影響を検討したものが見られるが [7–9]，電力需給構造にまで踏み込んだ議論を行っている論文はない．その点で，本論は震災後の電力需給構造の変化を経時的に検討したものとして，従来にない試みである．また，2016 年 4 月より電力の小売自由化が行われている．このことにより各新電力（小売電気事業者）にとって電力の需給構造を把握することは非常に重要になってくる．本論文はそのための情報として有用な資料になるものと考えている．

以下では，2009 年から 2013 年の東京電力および関西電力の電力供給を中心に解析し，最後に，2014 年の解析結果について触れる．

## 2.　統計モデル

2009 年は冷夏で 2010 年は酷暑の夏であり，2011 年は中間位の暑さであった．電力供給は気温に大きく依存すると考えられ，2010 年の電力供給は 2009 年に比較して顕著に増大している．図 1 および図 2 に，2009～2011 年の 7 月と 8 月の東京と大阪の気温，東京電力と関西電力の電力供給を示す．図 1 は東京電力の，図 2 は関西電力のデータである．なお，データは 1 時間ごとのデータであり，2009～2011 年それぞれの年で曜日を合わせている．図 1 および図 2 より，2009 年が冷夏であり，2010 年が酷暑の夏であったことが見てとれる．また，すべての年について，気温が高い日は電力供給がそれにあわせて増加しており，気温が低い日は電力供給もそれにあわせて低下している傾向がある．したがって，電力供給が気温に大きく依存することが見てとれる．2011 年には，節電が全国的に行われた．そのため，電力需給の構造は震災前の「2009 年，2010 年」と「2011 年」とでは大きく変化したと考えられるが，気温の影響があるために，それを定量的に捉えることは困難である．

本論文では，夏季の平日晴天時の最大電力供給を，(a) 最低気温，(b) 最高気温と最低気温の差，(c) 最低電力供給（朝方の電力供給）の 3 変数の線形回帰モデ


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

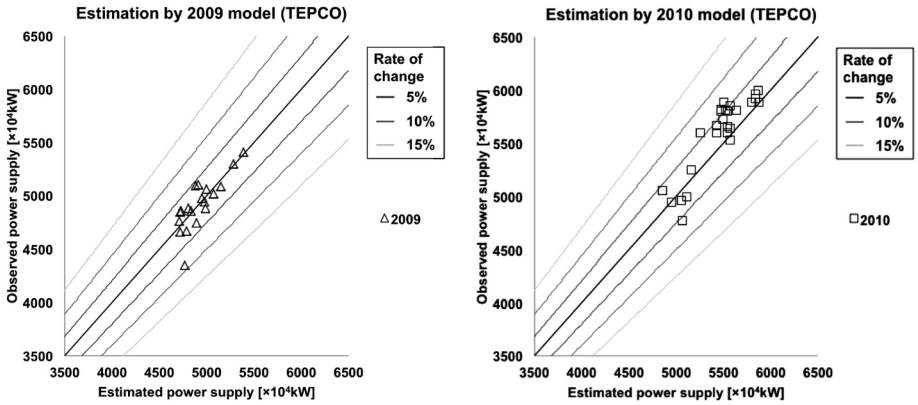


**図 3**　東京電力の，2009 年モデルを用いた同年の最大電力供給の推定（左）と，2010 年モデルを用いた同年の最大電力供給の推定（右）．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

ルで説明することを試みる．すなわち，最大電力供給を以下の式

$$\begin{aligned}(\text{最大電力供給}) = a_0 &+ a_1 \times (\text{最低気温}) \\ &+ a_2 \times (\text{最高気温} - \text{最低気温}) \\ &+ a_3 \times (\text{最低電力供給})\end{aligned}$$

によって説明することを目的とし，係数 $a_1$ から $a_3$ と定数 $a_0$ を最小二乗法で求める．ここで，変数に関して，気温の要素は，「最低気温」「最高気温」「最高気温 − 最低気温」が考えられ，その中から 2 変数を選んだ場合，それぞれ説明力は同等である．本論では「最低気温」「最高気温 − 最低気温」の 2 変数を用いているが，これは，一日の最低電力供給を基準値として，一日の気温差が一定であれば大凡最低電力供給の差がそのまま反映される，というイメージでモデルを作成したことによる．また，気温差以外の不確定要素は最低電力供給に反映されていると考える．

モデルの作成にあたっては，各年につき，7 月 10 日〜8 月 31 日の平日晴天時のデータを用いて，回帰係数を最小二乗法で推定した．なお，盆休を 8 月 13〜15 日として，この期間は休日とみなして除いた．各電力会社の電力供給については，需給検証委員会にて公開されている 1 時間ごとのデータ [1] を，気温については，気象庁にて公開されている 1 時間ごとのデータ [2] を，天気については，「Yahoo!® JAPAN 天気・災害」にて公開されている日ごとのデータ [3] を用いた．なお，気温および天気に関しては，東京電力については，東京電力所在地である東京都のデータを，関西電力については，関西電力所在地である大阪府大阪市のデータを用いた．次節以降，結果をグラフにより見やすくして議論するが，解析の対象となった日数を付録 1，推定された回帰係数を付録 2，誤差評価を付録 3，モデルの適切さの AIC による議論を付録 4 に掲載した．

## 3.　震災直後の電力供給の変化（2009 年から 2011 年）

このようにして，各年ごとに得られた電力供給のモデルを，「2009 年モデル」，「2010 年モデル」，「2011 年モデル」と呼ぶ．

2009 年モデルによる推定値と実測値を一目で比較するために，東京電力について，2009 年平日晴天日の最大電力供給のモデルによる推定値と実測値を図 3（左）に△で示した．図 3（左）において，△は概ね推定値＝実測値を示す直線近辺に分布しており，2009 年モデルは 2009 年の最大電力供給をよく説明していることがわかる．図 3（右）は，2010 年モデルについて同様のことをしたものである．2010 年平日晴天日の最大電力供給の 2010 年モデルによる推定値と実測値を図 3（右）に□で示した．2009 年同様，2010 年モデルは 2010 年の最大電力供給をよく説明していることがわかる．関西電力管内についても同様の解析を行うことにより，2009 年（2010 年）モデルによって，2009 年（2010 年）の最大電力供給の動向がうまく説明できることがわかる（図 5）．したがって，2009 年および 2010 年モデルはそれぞれの年の電力需給の構造を適切に捉えていると考えられる．2011 年についても同様である（図 8）．

では，2009 年モデルを用いて 2010 年の平日晴天日の最大電力供給を推定するとどうなるであろうか．2009 年と 2010 年では気候条件が大きく異なり，そのために，最大電力供給も大きく異なる．したがって，「冷夏の 2009 年モデル」で「酷暑の 2010 年の最大電力供給を推定」することは難しいと思われる．しかしなが

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

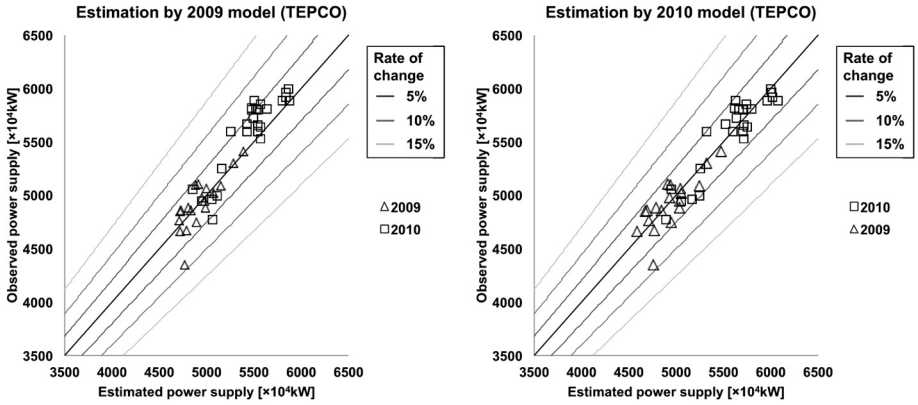


**図 4**　東京電力の，2009 年モデルを用いた 2010 年の最大電力供給の推定（左）と，2010 年モデルを用いた 2009 年の最大電力供給の推定（右）．それぞれ，△は 2009 年の実測値と推定値，□は 2010 年の実測値と推定値を示している．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

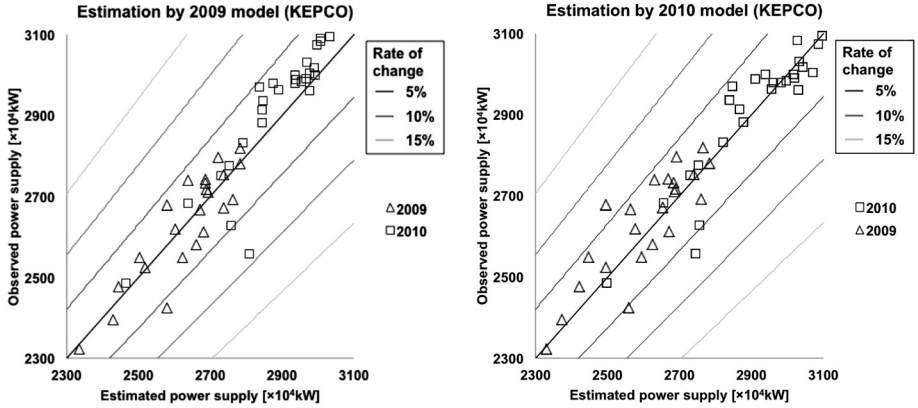


**図 5**　関西電力の，2009 年モデルを用いた 2010 年の最大電力供給の推定（左）と，2010 年モデルを用いた 2009 年の最大電力供給の推定（右）．グラフの見方およびグラフから見てとれる傾向は図 4 と同じである．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

ら興味深いことに，2009 年モデルによって 2010 年の最大電力供給も説明でき，また，2010 年モデルによって 2009 年の最大電力供給も説明できることがわかる．以下，具体的に検証する．

東京電力について 2010 年平日晴天日の最大電力供給の 2009 年モデルによる推定値と実測値を図 4（左）に□で示した．図 4（右）は，2009 年平日晴天日の最大電力供給の 2010 年モデルによる推定値と実測値である．関西電力について同様の散布図を図 5 に示す．図 4，図 5 両図とも，推定値と実測値が十分によく一致している傾向が見られ，両電力管内で，2009 年モデルで 2010 年の電力供給が，2010 年モデルで 2009 年の電力需給が概ねよく説明されていることが見てとれる．したがって，2009 年と 2010 年については気温の影響によらない共通の電力需給構造があり，2009 年モデルや 2010 年モデルは，その構造を適切に捉えたものであると考えられる．つまり，2009 年モデルや 2010 年モデルはいわば震災前の電力需給構造を表したものであると言えよう．2009 年と 2010 年が共通の電力需給構造を有すると考えることの妥当性は，付録にも示すとおり，AIC の値の比較によっても裏づけられる．

そこで，2011 年のデータを 2009 年モデルや 2010 年モデルに代入することによって，震災後の 2011 年に，2009 年，2010 年と同様の電力消費が行われた場合の電力供給を見積もることができる．その結果を，東京電力，関西電力について示したものが図 6，図 7 である．

図 6，図 7 に対応して，2009 年モデル（2010 年モデル）を用いた 2011 年の最大電力供給の推定結果と，2011 年の最大電力供給の実測値の差の平均と標準偏差を求めた．東京電力では，推定値に比べると実測値のほうが，2009 年（2010 年）モデルを用いた推定において 679 万 kW（714 万 kW）最大電力供給が少なく，標準偏差は 129 万 kW（148 万 kW）であった．これは 15～16％の電力供給に相当する．関西電力では，推


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

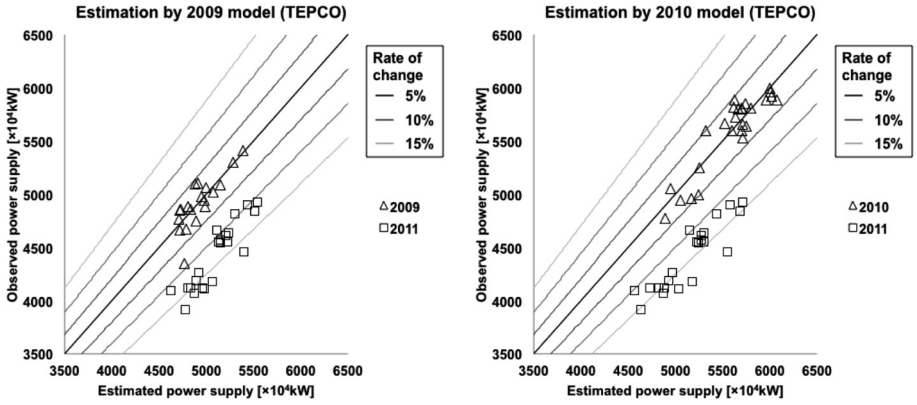


**図 6**　東京電力の，2009 年モデルを用いた 2011 年の最大電力供給の推定（左）と，2010 年モデルを用いた 2011 年の最大電力供給の推定（右）．それぞれ，△は 2009 年（2010 年）の実測値と推定値，□は 2011 年の実測値と推定値を示している．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

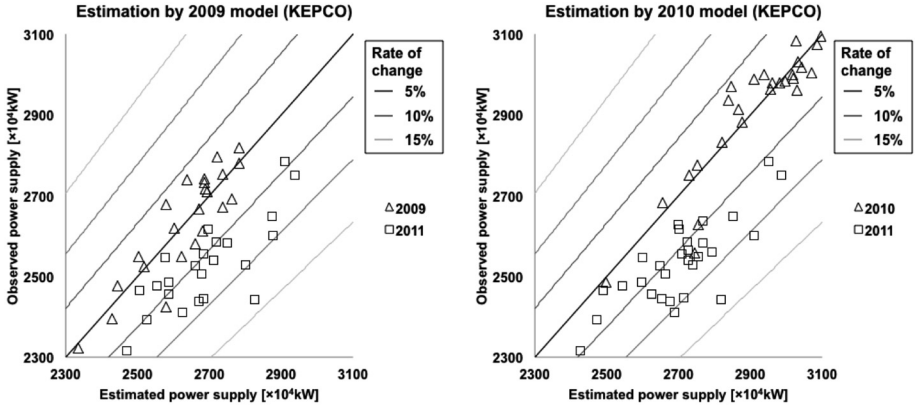


**図 7**　関西電力の，2009 年モデルを用いた 2011 年の最大電力供給の推定（左）と，2010 年モデルを用いた 2011 年の最大電力供給の推定（右）．グラフの見方は図 6 と同じである．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

定値に比べると実測値のほうが，2009 年（2010 年）モデルを用いた推定では 174 万 kW（177 万 kW）最大電力供給が少なく，標準偏差は 92 万 kW（87 万 kW）であった．これは 7%の電力供給に相当する．震災直後で，新電力や太陽光発電，自家発電の増強などがほとんど行われていないことを考慮すると（より詳しくは 7 節を参照），これらの減少は，節電などによる両電力管内における社会的電力需要の減少であると考えるのが妥当であろう．東京電力についての節電比率が関西電力のそれよりも大きいのは，東京電力管内では法的強制力を持つ 15%節電が行われたのに対し，関西電力管内では法的強制力を伴わないソフトな 10%の節電要請に留まったためと考えられる．

これまでの結果を踏まえ，2011 年モデルによって，酷暑であった 2010 年の最大電力供給を推定した．図 8 に東京電力と関西電力の結果を示す．2010 年は，東京電力管内で 6000 万 kW，関西電力管内で 3100 万 kW の最大電力供給が観測されたが，2011 年と同様の電力消費を行うと，2010 年においても東京電力管内で 5300 万 kW，関西電力管内で 2850 万 kW 程度の最大電力供給で済むことがわかる．

2011 年モデルを用いた 2010 年の最大電力供給の推定結果と，2010 年の最大電力供給の実測値の差の平均と標準偏差も求めた．東京電力については，推定値に比べると実測値のほうが 708 万 kW 最大電力供給が多く，標準偏差は 149 万 kW であった．関西電力については，推定値に比べると実測値のほうが 232 万 kW 最大電力供給が多く，標準偏差は 84 万 kW であった．

先に求めた，2010 年モデルを用いた 2011 年の最大電力供給の推定結果と，2011 年の最大電力供給の実測値の差の平均と標準偏差は，東京電力で 714 万 kW と 148 万 kW，関西電力で 177 万 kW と 87 万 kW で

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

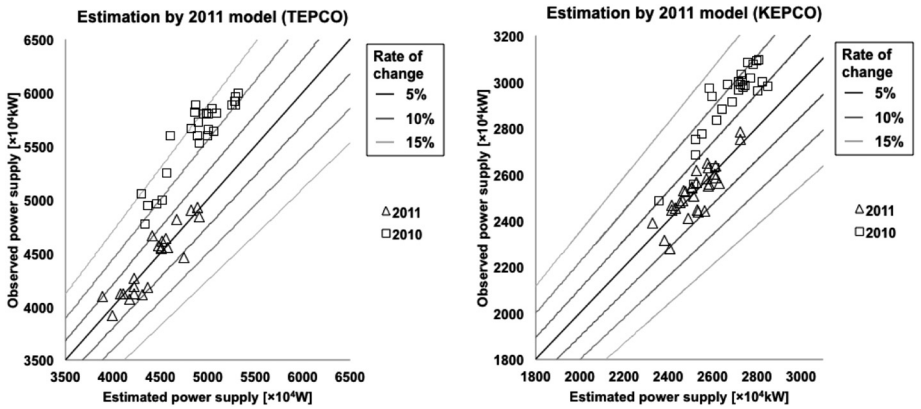


**図 8**　東京電力と関西電力の，2011 年モデルを用いた 2010 年の最大電力供給の推定（左：東京電力，右：関西電力）．それぞれ，△は 2011 年の実測値と推定値，□は 2010 年の実測値と推定値を示している．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

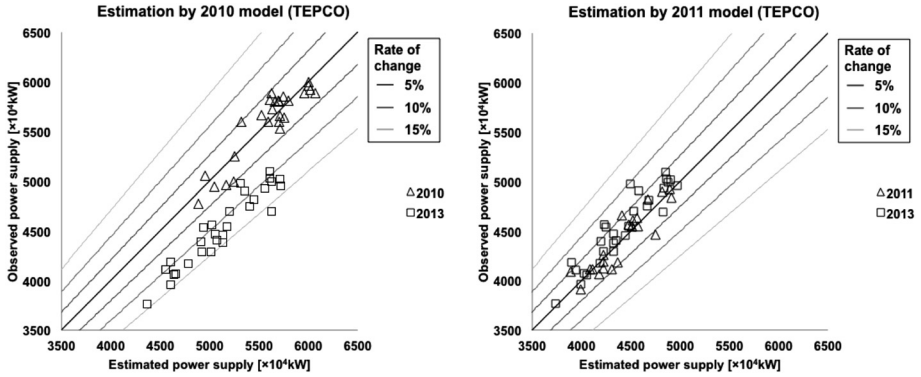


**図 9**　東京電力の，2010 年モデルを用いた 2013 年の最大電力供給の推定（左）と，2011 年モデルを用いた 2013 年の最大電力供給の推定（右）．それぞれ，△は 2011 年（2010 年）の実測値と推定値，□は 2013 年の実測値と推定値を示している．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

ある．

2010 年モデルで 2011 年の最大電力供給を推定した場合の推定値と実測値の差は，2011 年の電力需給構造で 2010 年夏と同等の状況が起こったときの電力の減少分を表している．2011 年モデルで 2010 年の最大電力供給を推定した場合の推定値と実測値の差は，2010 年の電力需給構造で 2011 年夏と同等の状況が起こったときにどの程度より電力を多く使うかを表している．このような意味づけを考えると，2010 年に対する 2011 年の電力供給の減少は，2011 年に対する 2010 年の電力供給の増加と概ね一致していることが，モデルの妥当性の検証となる．両者は東京電力の場合はよく一致しており，関西電力の場合も概ね一致している．また，標準偏差は両者ともほとんど差がないことがわかる．すなわち，2010 年および 2011 年は双方向で比較した場合に両モデルは一貫性のある妥当な結果を与えていると考える．

## 4.　震災後の節電動向の解析（2013 年を中心に）

さて，2013 年は 2010 年同様の酷暑であった．そこで，2010 年モデルおよび 2011 年モデルによって，2013 年の最大電力供給を推定した結果を示す．2013 年に関して必要なデータは東京電力，関西電力が公開しているものを用いた [4, 10]．

まず，東京電力について議論する．2010 年モデルを用いて，仮に震災前 2010 年と同様の電力需給構造であったら 2013 年にどの位の電力が必要であったかを検討できる（図 9（左））．先と同様に，2010 年モデルを用いた 2013 年の最大電力供給の推定結果と，2013 年の最大電力供給の実測値の差の平均と標準偏差を求めた．すると，推定値に比べると実測値のほうが 593 万 kW 最大電力供給が少なく，標準偏差は 123 万 kW であった．これは 13％の電力供給に相当する．つまり，2010 年と同様の電力需給構造であったら，593 万 kW(13％)


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

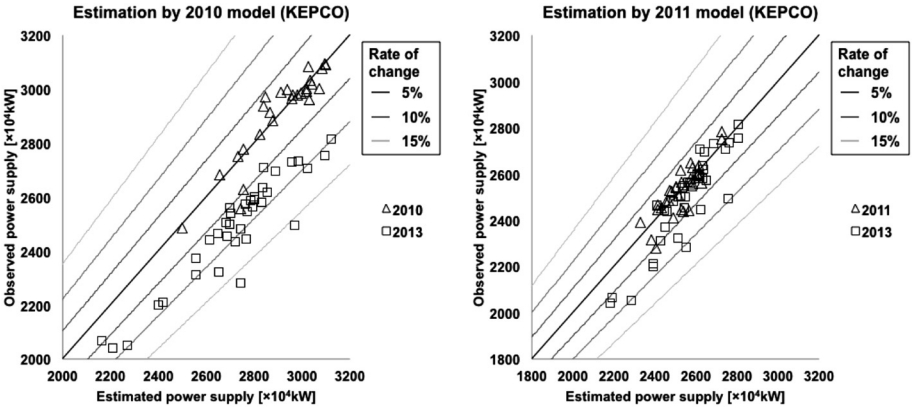


**図 10**　関西電力の，2010 年モデルを用いた 2013 年の最大電力供給の推定（左）と，2011 年モデルを用いた 2013 年の最大電力供給の推定（右）．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

最大電力供給が増大しうることがわかる．

次に，2011 年モデルを用いて，2011 年の電力需給構造と 2013 年の電力需給構造を比較する．図 9（右）より，まず，2011 年モデルで 2013 年の最大電力供給を概ね説明できており，2013 年も 2011 年と同程度の社会的需要の減少傾向が続いていることが見てとれる．もう少し細かく検討すると，実績値が推定値に比べて若干 45 度線より上にある傾向が見られる．これは，2013 年に 2011 年に比べて電力供給量がごくわずかだが増加していることを示していることを示唆しているように思われるが，2011 年が震災で法的強制力を持つ節電が行われた特異な夏であり，2011 年の電力供給が一番厳しいのは自然であろう，ということを考えると，理解できることである．定量的に検討を行うために，2011 年モデルによる 2013 年の推定値と実測値を比べると，実測値の方が推定値よりも平均して 120 万 kW 大きく，標準偏差は 132 万 kW であった．標準偏差の大きさを考えるとこの推定値と実測値の差は統計的に強く主張できるほどのものではないが，一応，上に述べたような社会的状況との整合性はある結果となっている．紙数の関係でここには記していないが 2012 年についても同様である．

上記の議論は最大電力供給が約 3000 万 kW である関西電力管内においても当てはまる．関西電力に関しても公開されているデータ [10] を用いて同じモデルを当てはめ，その結果を示したものが図 10 である．図 10（左）より，2010 年モデルによる 2013 年の最大電力供給の推定値と実測値の差の平均と標準偏差を求めると，推定値に比べると実測値のほうが 234 万 kW 最大電力供給が少なく，標準偏差は 79 万 kW であった．

また，図 10（右）では，2013 年のほうが少し下にずれている傾向がある．これは，2011 年と比較して，2013 年のほうが最大電力供給が少なくなっていることを示している．このことは，関西圏で，2012 年以降節電が特に意識されてきたことと符合しており興味深い．これは，2013 年で上振れしている東京電力とは対照的であるが，定性的には納得できる話である．2011 年モデルによる 2013 年の推定値に比べると実測値のほうが平均して 61 万 kW 最大電力供給が少なく，標準偏差は 90 万 kW であった．標準偏差の大きさを考えるとこの推定値と実測値の差は統計的に強く主張できるものではないが，一応，上に述べたような社会的状況との整合性はある結果となっている．紙数の関係でここには記していないが 2012 年についても同様である．

## 5.　2014 年の電力供給について

一昨年 2014 年の電力供給はどうであっただろうか．前年の 2013 年と比較するため，2013 年モデルによって，2014 年の最大電力供給を推定し，実測値と比較した結果を図 11 に示す．

東京電力について，最大電力供給の推定値と実測値の差の平均と標準偏差を求めると，推定値に比べると実測値のほうが 85 万 kW 最大電力供給が少なく，標準偏差は 104 万 kW であった．85 万 kW は 2%の電力供給に相当する．また，関西電力について，最大電力供給の推定値と実測値の差の平均と標準偏差を求めると，推定値に比べると実測値のほうが 32 万 kW 最大電力供給が少なく，標準偏差は 68 万 kW であった．32 万 kW は 1%の電力供給に相当する．

このことより，電力需給構造に大きな変化がないことがわかる．

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

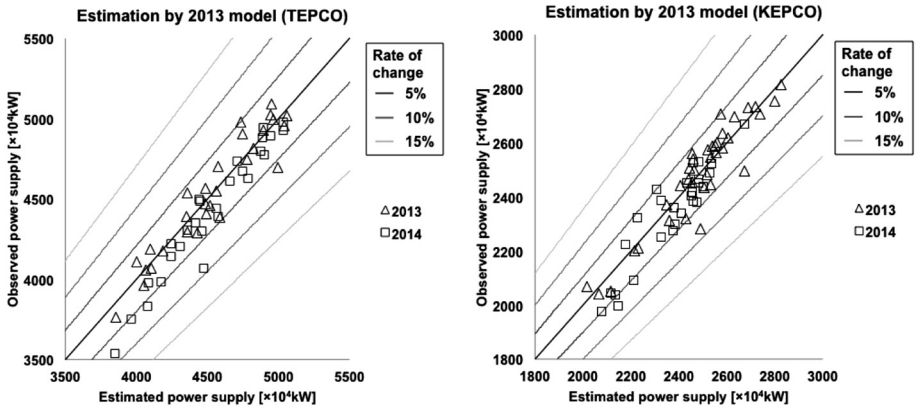


**図 11**　東京電力と関西電力の，2013 年モデルを用いた 2014 年の最大電力供給の推定（左：東京電力，右：関西電力）．それぞれ，△は 2013 年の実測値と推定値，□は 2014 年の実測値と推定値を示している．（横軸が推定値，縦軸が実測値）

**表 1**　本手法による東京電力管内および関西電力管内での 2011〜2013 年の電力供給の 2010 年に対する減少率推定と政府による推定節電率の比較

| | TEPCO | | KEPCO | |
|---|---|---|---|---|
| | 本手法による推定減少率 | 政府による推定節電率 | 本手法による推定減少率 | 政府による推定節電率 |
| 2011 年 | 14.2% | 18.0% | 6.6% | 7.6% |
| 2012 年 | 10.5% | 8.9% | 7.9% | 4.3% |
| 2013 年 | 11.6% | 8.8% | 8.5% | 5.0% |

## 6.　本手法と政府による推定節電効果の比較

本手法の妥当性について別の観点から評価する．電力需給検証小委員会および経済産業省が公開している資料 [5, 6] をもとにして，本手法により推定された，2010 年と比較しての電力供給の減少を，政府による節電推定と比較する．東京電力および関西電力の，2011〜2013 年の本手法により推定された，2010 年と比較しての電力供給減少率（以下，推定電力供給減少率という）と，資料 [5, 6] に記載されている推定節電率を表 1 に示す．なお，推定電力供給減少率は，

$$\text{推定電力供給減少率} = 100 \times \left(1 - \frac{\sum W_{Act}}{\sum W_{Est}}\right) \quad (1)$$

と定義した．この式は参考文献 [5] で節電電力量の算出方法に基づいた式である．なお，ここで，

$W_{Est}$：「対象年」の 2010 年モデルによる推定電力供給

$W_{Act}$：「対象年」の電力供給実績

とした．

表 1 より，本手法による推定減少率と政府による節電率のズレは 1.0〜3.8%となる．

## 7.　前提の妥当性

これまで，東京電力や関西電力の供給電力が震災後に大きく減少していることを検証してきたが，社会全体での電力使用という立場で見ると，この減少は，実際には，新電力の台頭や各家庭で普及が進んでいる太陽光発電，工場などでの自家発電の増強などによって，電力の供給源が両電力からシフトしたことによる，見かけ上のものである可能性がある．本節では，これらの要因が社会全体の電力使用に与える影響はまだ小さく，両電力会社の供給電力の減少は，社会全体の電力使用が実際に減少しているためであると見ることが妥当であることを示す．

東京電力管内および関西電力管内の供給電力について，次の式が成り立つと考えられる．

（東京（関西）電力管内の供給電力 (E)）＝
　＋（東京（関西）電力の供給する電力 (A)）
　＋（新電力が管内で供給する電力 (B)）
　＋（管内の家庭における太陽光発電が供給し自ら消費する電力 (C)）
　＋（（管内の工場などが）自家発電で供給し自ら消費する電力（自家発自家消費）(D)）．

本論の前提は，2010 年から 2014 年にかけて，概ね (E) の減少が (A) の減少で表される，ということである．以下，(B)，(C)，(D) について，これらの影響について議論する．


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

**表 2**　電力調査統計の主要データ（単位：$\times 10^3$ kWh）

| | 2009 年 8 月 | 2010 年 8 月 | 2011 年 8 月 | 2013 年 8 月 | 2014 年 8 月 |
|---|---|---|---|---|---|
| 一般電気事業者（10 電力会社）計 | 77,794,115 | 84,927,969 | 75,326,948 | 78,532,599※ | 74,770,075 |
| 新電力（特定規模電気事業者） | 1,433,687 | 1,988,628 | 1,830,172 | 2,183,151 | 2,596,091 |
| 自家発自家消費（速報値） | 9,337,206 | 10,372,163 | 9,972,146 | 9,636,859 | 9,644,462 |
| 総需要電力量 | 90,480,390 | 97,702,602 | 87,554,397 | 90,762,658 | 87,356,097 |

※本論でデータとして用いる 2013 年の内訳は，東京電力 24,988,048，関西電力 13,612,728，その他 39,931,823.

### 7.1　新電力が管内で供給する電力 (B) の影響について

電力調査統計 [11] の「総需要速報概要」および「業種別電灯電力需要実績」より，2009 年 8 月～2011 年 8 月（震災発生年），2013 年 8 月と 2014 年 8 月の「一般電気事業者（10 電力会社）」，「新電力」，「自家発自家消費」，「総需要電力量」の数値を表 2 に示す.

これらの数値は 8 月の電力使用量なので，744 時間（$= 31 \times 24$ 時間，1 カ月の時間数）で割ると平均的な供給電力を出すことができる．平均的な供給電力は，2013 年 8 月では，一般電気事業者（10 電力会社）は 10555 万 kW，東京電力は 3358 万 kW，関西電力は 1830 万 kW，その他の電力会社は 3805 万 kW となる.

一方，新電力による供給電力は，同様にして，744 時間で割ると，2013 年 8 月では全国で 293 万 kW 程度となる．震災直前の 2010 年 8 月で見ると 267 万 kW，震災直後の 2011 年 8 月で見ると 246 万 kW である．そのため，新電力による供給増加は高々 50 万 kW 程度であることがわかる．このうち，60%が東京電力，30%が関西電力に供給されるとすると，新電力による供給分は一日でならしたときにはそれぞれ 30 万 kW，15 万 kW となる．ただし，実際には，新電力の供給量の 90%が東電，関電内に流れているという仮定は，かなり多めであることに留意する必要がある.

新電力による夏季日中ピーク時の供給電力は，大まかにではあるが，次のように推定できる．まず，2013 年 8 月の東京電力のピーク時の供給電力の平均を求めると約 4443 万 kW となる．一日の平均供給電力は約 3359 万 kW であるから，ピーク時の供給電力と平均供給電力の比率が新電力の場合にも成り立つとすると，約 40 万 kW（$\fallingdotseq (4443/3359) \times 30$ 万 kW）が新電力から新たに供給されている電力量とみなすことができる．関西電力のピーク時の供給電力の平均を求めると約 2410 万 kW であり，供給電力は約 1830 万 kW であるので，約 20 万 kW（$\fallingdotseq (2410/1830) \times 15$ 万 kW）が新電力から新たに供給されている電力量とみなすことができる．これらより，東京電力管内における，震災後の新電力による電力供給の増加としては，多めに見積もって，ピーク時で約 40 万 kW，関西電力管内においては約 20 万 kW 程度と推定できる．これは東京電力の供給電力約 4443 万 kW，関西電力の供給電力約 2410 万 kW に比べると 1%に満たず軽微である.

### 7.2　管内の家庭における太陽光が供給する電力 (C) について

夏季ピーク時における各家庭の太陽光発電の増加の影響について見積もる．ここで，企業体による太陽光発電による供給は，新電力や東京電力，関西電力それ自身の供給電力に含まれているゆえに，議論する必要がないことに注意する．住宅用太陽光発電の累積導入量は，2011 年度以前は 440 万 kW，2012 年度中の導入量は 126.9 万 kW，2013 年度の導入量は 130.7 万 kW，2014 年度の導入量は 82.1 万 kW である [12–14]．毎年，概ね 130 万 kW 程度の増加となる．しかし，この設備としての累積導入量がそのまま供給電力に反映するわけではない．天候や日照時間を考慮して，夏季晴天ピーク時における太陽光発電の設備増加による電力供給量の増加を見積もる.

まず，データ [15] より，1 kW のモジュールの発電量は年間 1,000 kWh である．また，この発電量は月に大きく依存しない．そこで，130 万 kW の増加量による発電量を求めると，1 カ月間で 130 万 $/12 \times 1000 =$ 10.8 万 $\times$ 1,000 kWh となる．今，解析の対象となっている，7 月，8 月について，一日 10 時間の稼働と考えて，これを 1 カ月間稼働した場合の 310 時間で割ると，約 35 万 kW となる．（稼働時間は短めに見積もっている．このことにより，ピーク時の供給電力を上から抑えた推定が得られる.）この値は天候までは考慮していない平均値である．晴天時の発電力を 1 とすると，曇天時，雨天時の発電力は概ね 0.5, 0.1 程度である．われわれは晴天時のみを扱っているということでここで天候を考慮した若干の補正を行う．2012 年から 2014 年の 7 月 10 日から 8 月 31 日までで東京と大阪での晴天，曇天，雨天は，236 日，75 日，6 日であった（1 日は天候不明）．したがって，晴天率は 0.74，曇天率は 0.24，雨天率は 0.02 となる．これを，先の天候と発電力の関係と塩梅すると，晴天時を 1 としたときの，平均発電

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

力は，$0.74 \times 1 + 0.24 \times 0.5 + 0.02 \times 0.1 = 0.862$ となる．したがって，晴天時の発電力は，35 万 kW/0.862 = 41 万 kW と見積もることができる．

さらに，これを簡単に，発電カーブを発電最大の時点を頂点とする三角形で近似すれば，一日の中での発電ピーク時は全国で約 82 万 kW となる．これを，東京電力管内や関西電力管内へ人口比例で按分すると，それぞれ約 25 万 kW，約 16 万 kWh となる．したがって，導入量が 130 万 kW 増加した場合の東京電力管内における，住宅用太陽光発電による供給力の増加は，多めに見積もって約 25 万 kW，関西電力管内においては約 16 万 kW 程度と推定することができる．これは東京電力の供給電力約 4443 万 kW，関西電力の供給電力約 2410 万 kW に比べると 1%に満たず軽微である．

### 7.3 自家発自家消費 (D) について

自家発自家消費は主として工場などにおいて自ら消費する自家発電分である．自家発自家消費は，震災前後で概ね減少しており，企業などにおける節電傾向を明確に裏づけている．特に 2013 年は，10 大電力会社の供給電力が増加しているにもかかわらず減少している．自家発自家消費が減少しているということは，東京電力や関西電力から購入する電力も減少していると見られる．

## 8. 結語

本論では，簡単な統計的解析により，震災を機とした電力需給構造を定量的に捉え，節電体制は現在まで定着していることを明らかにした．これらの知見は，今後の電力供給のコントロールを適切に行うための手がかりとなりうる．本モデルの特徴としては，最低電力供給を説明変数として用いていることが挙げられる．（最大）電力供給は気温のみならず景気変動などの社会・経済的要因にも影響されるはずであるが，本モデルではその影響は最低電力供給が取り込んでいると考えられる．

異なる条件下での「最大電力供給の推定」が行えることがわれわれのモデルの長所であり，実際，このモデルによって「節電が実際に行われていることが『ある程度』捉えられている」ことを強調しておきたい．

実際，みずほ情報総研の調査 [16] によれば，4 人に 3 人が「世間の節電ムードの希薄化」を実感しており，節電行動が全体的に減少傾向であるという報告がある．このような感覚的なものと，基本的には節電が続いているというわれわれの解析には少しギャップがあるようにも見える．一方では，節電がシステム的なものであると考えると，システムとしての節電が定着している，と考えることもできる．このあたりの差をより定量的に解析することは，今後の興味ある問題である．

ここで取り上げた統計モデルは簡単なものである．簡単であるがゆえの限界もあろうが，議論の出発点としては有用であると考える．この種のモデルにおいて「公開されている情報のみを用いており簡単でそこそこ説明できる」ということは，かなりの程度望ましく必要なことであろう．

**謝辞**　原稿を注意深くお読みいただき適切な助言をいただいたことに対して，査読者と編集委員の皆様に感謝する．本研究は政策研究大学院大学 政策研究センター・リサーチ・プロジェクト「政策科学における OR 的手法の展開」（平成 25 年度–平成 26 年度）および「政策科学における数理モデルの役割」（平成 27 年度–平成 28 年度）の支援を受けて遂行された．

### 参考文献

[1] 国家戦略室，第 1 回需給検証委員会配布資料，http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/archive08.html（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[2] 気象庁，気象統計情報，http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[3] Yahoo!® JAPAN, Yahoo!®JAPAN 天気・災害，http://weather.yahoo.co.jp/weather/（2014 年 5 月 21 日閲覧）
[4] 東京電力，でんき予報　過去の電力使用実績データのダウンロード，http://www.tepco.co.jp/forecast/html/download-j.html（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[5] 総合資源エネルギー調査会，基本政策分科会電力需給検証小委員会第 1 回会合資料 「2013 年度夏季需給検証のまとめについて」，http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/denryoku_jukyu/pdf/001_06_00.pdf（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[6] 経済産業省，今夏の電力需給見通しと当面の対応について，http://www.jfca-net.or.jp/data_files/view/920（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[7] 灰田武文，武藤昭一，“重回帰手法に基づいた最大需要予測支援システムの開発，”オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**41**(9), pp. 476–480, 1996.
[8] 田中英一，長谷川淳，伊藤正義，“重回帰分析と階層型ニューラルネットによる翌日電力需要予測，” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**41**(9), pp. 499–503, 1996.
[9] 兵藤哲朗，“東日本大震災後の東京電力管内電力需要の定量分析—2011 年夏期の節電効果の速報—，”運輸政策研究，**15**(1), pp. 20–25, 2012.
[10] 関西電力，過去の電力使用実績データのダウンロード，http://www.kepco.co.jp/corporate/energy/supply/denkiyoho/download.html（2014 年 5 月 21 日閲覧）
[11] 経済産業省資源エネルギー庁，電力調査統計，http://www.enecho.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html（2016 年 3 月 14 日閲覧）
[12] 経済産業省資源エネルギー庁，2013 年 8 月 20 日ニュースリリース「再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表します（平成 25 年 5 月末時点）」，http://www.meti.


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

go.jp/press/2013/08/20130820005/20130820005.html（2016 年 4 月 12 日閲覧）
[13] 経済産業省資源エネルギー庁，2014 年 6 月 17 日ニュースリリース「再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表します（平成 26 年 3 月末時点）」，http://www.meti.go.jp/press/2014/06/20140617003/20140617003.html（2016 年 4 月 12 日閲覧）
[14] 固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト，内 A 表：都道府県別認定・導入量（2015 年 3 月末時点），http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html（2016 年 4 月 12 日閲覧）
[15] 経済産業省資源エネルギー庁，太陽光発電フィールドテスト事業に関するガイドライン基礎編（2013 年度版），http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/common/pdf/guideline-2013.pdf（2015 年 6 月 1 日閲覧）
[16] みずほ情報総研株式会社環境エネルギー第 1 部，節電に対する生活者の行動・意識に関する調査—2014 年調査—，http://www.mizuho-ir.co.jp/publication/report/2015/pdf/setsuden0309v2.pfg（2015 年 6 月 1 日閲覧）

## 付録 1. 解析の対象となった日数について

各年について解析の対象となった日数は表 3 のとおりである．

## 付録 2. 推定された回帰係数について

各年のモデルについて推定された回帰係数は表 4 のとおりである．

## 付録 3. モデルの MAPE と RMSE について

各年のモデルについて MAPE（絶対平均比率誤差）と RMSE（平均二乗誤差の平方根）は表 5 のとおりである．

## 付録 4. AIC による電力需給構造の変化の捕捉

本文中では，震災を境に電力需給構造が変化したことを，直観的にグラフで推論したが，AIC を用いて議論することもできる．表 6 はいろいろなモデルの AIC の値を計算したものである．表記は以下のとおりである．たとえば，AIC(9) は 2009 年モデルの AIC である．また，AIC(9+10) は，2009 年と 2010 年のデータを合わせて推定したモデルの AIC である．AIC（・）は，（ ）内の期間で電力需給構造が同一であるとしてモデルの推定を行った場合の

**表 3** 解析の対象となった日数

| | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TEPCO | 19 日 | 26 日 | 24 日 | 33 日 | 29 日 | 27 日 |
| KEPCO | 23 日 | 27 日 | 30 日 | 31 日 | 36 日 | 27 日 |

**表 4** 推定されたモデルの係数．なお，たとえば「2009 年モデル」は 2009 年データのみを用いたモデルを示し，ほかの列も同様である．※を付したもの以外は 5%有意である．

| | TEPCO | | | | KEPCO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 定数 | 最低気温 | 気温差 | 最低需給 | 定数 | 最低気温 | 気温差 | 最低需給 |
| 2009 年モデル | −506.54 | 95.79 | 116.26 | 0.87 | −691.94 | 76.11 | 52.69 | 0.70※ |
| 2010 年モデル | −1585.77 | 130.83 | 106.92 | 0.98 | −1250.28 | 59.87 | 51.06 | 1.38 |
| 2011 年モデル | −1889.51 | 93.59 | 98.27 | 1.20 | −291.89 | 35.08 | 70.40 | 0.94 |
| 2012 年モデル | −1602.72 | 107.14 | 92.23 | 1.05 | −1833.54 | 61.67 | 68.66 | 1.50 |
| 2013 年モデル | −1223.02 | 128.07 | 92.28 | 0.69 | −824.65 | 46.05 | 35.26 | 1.26 |

※この係数の $p$ 値は $p > 0.05$ であるため，「最低需給」の係数を考慮しなくてもよいことになる．しかし，「最低需給」の係数を考慮しないモデルのの AIC は 265.32 となる．これは「最低需給」を考慮したモデルの AIC，260.97 より大きいため，モデルとしては「最低需給」を考慮したモデルのほうが適切である．

**表 5** 推定されたモデルの MAPE と RMSE．なお，たとえば「2009 年モデル」は 2009 年データのみを用いたモデルであり，ほかの列も同様である．

| | TEPCO | | KEPCO | |
|---|---|---|---|---|
| | MAPE | RMSE | MAPE | RMSE |
| 2009 年モデル | 2.13 | 138.31 | 1.89 | 61.80 |
| 2010 年モデル | 2.15 | 141.78 | 1.50 | 62.37 |
| 2011 年モデル | 2.13 | 121.07 | 2.03 | 59.60 |
| 2012 年モデル | 2.13 | 115.29 | 1.78 | 56.49 |
| 2013 年モデル | 1.96 | 114.42 | 2.14 | 69.65 |

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 

**表 6**　いろいろなモデルの AIC

| | モデル | TEPCO | KEPCO |
|---|---|---|---|
| M1 | AIC(9)+AIC(10) | 584.65 | 566.78 |
| M2 | AIC(9+10) | 581.00 | 563.81 |
| M3 | AIC(11+12+13) | 1101.85 | 1112.43 |
| M4 | AIC(11)+AIC(12)+AIC(13) | 1080.53 | 1094.17 |
| M5 | AIC(11)+AIC(12+13) | 1080.11 | 1097.74 |
| M6 | AIC(11+12)+AIC(13) | 1102.03 | 1110.87 |
| M7 | AIC(9)+AIC(10)+AIC(11)+AIC(12)+AIC(13) | 1665.18 | 1660.95 |
| M8 | AIC(9)+AIC(10)+AIC(11)+AIC(12+13) | 1664.76 | 1664.52 |
| M9 | AIC(9+10)+AIC(11)+AIC(12)+AIC(13) | 1661.53 | 1657.98 |
| M10 | AIC(9+10)+AIC(11+12)+AIC(13) | 1683.04 | 1674.67 |
| M11 | AIC(9+10)+AIC(11)+AIC(12+13) | 1661.12 | 1661.55 |
| M12 | AIC(9+10)+AIC(11+12+13) | 1682.85 | 1676.23 |
| M13 | AIC(9)+AIC(10+11)+AIC(12)+AIC(13) | 1724.13 | 1717.45 |
| M14 | AIC(9)+AIC(10+11+12+13) | 1719.69 | 1780.79 |
| M15 | AIC(9+10+11+12+13) | 1851.27 | 1847.04 |

AIC となる．たとえば，AIC(9+10+11+12+13) と AIC(9+10)+AIC(11+12+13) を比較すると，震災前後で共通の電力需給構造を持つとするモデルと震災前と震災後で電力需給構造が異なるモデルとどちらが妥当性が高いか比較することができる．以下，

(1) 震災前後の電力需給構造の変化

(2) 2009 年と 2010 年の電力需給構造

(3) 2011 年から 2013 年の電力需給構造

について議論する．表 5 にいろいろなモデルの AIC を示す．

(1) 震災前後の電力需給構造の変化

2009 年から 2013 年までですべての可能な年ごとの期間の分割を考えて，全期間の AIC を，各分割ごとの AIC の和として算出した．主なモデルの AIC を表 5 に掲げる．（M7 と M15 は，すべての年を別々にしたモデルが M7，すべてを一つのモデルで推定したものが M15 である．これらは以下の議論では用いないが，参考のために掲載した．）

(a) 震災の前後でモデルが異なるもの

(b) 震災の前後でモデルが同じもの（2010 年と 2011 年が同じ分割に含まれるもの）

とする．M7 から M12 は (a)グループの代表的なもの，M13 から M15 は (b)グループの代表的なものである．東京電力については (a)グループ内の（任意の分割の中で）一番よいモデルの AIC は 1661.12 (M11) であり，一方，(b)グループ内の（任意の分割の中で）一番よいモデルの AIC は 1719.69 (M14) と，前者に比較して後者は著しく大きい．関西電力についても (a)グループ内の（任意の分割の）一番よいモデルの AIC は 1657.98 (M9) であり，一方，(b)グループ内の（任意の分割の）一番よいモデルの AIC は 1717.45 (M13) と，前者に比較して後者は著しく大きい．したがって，震災前と震災後は分けたモデルのほうが AIC が圧倒的に小さく，電力需給構造は震災前後で大きく変化している，と考えることが妥当である．

(2) 2009 年と 2010 年の電力需給構造

2009 年と 2010 年の電力需要構造が同じか異なるかについては，AIC(9)+AIC(10)(M1) と AIC(9+10)(M2) を比較して，AIC(9+10) のほうが小さければ，2009 年と 2010 年を同じモデルで説明できると判断できる．東京電力管内では AIC(9)+AIC(10)=584.65，AIC(9+10)=581.00，関西電力管内では，AIC(9)+AIC(10)=566.78，AIC(9+10)=563.81 となり，両電力管内では，気温や経済的状況の違いにかかわらず，2009 年と 2010 年とが同じ電力需給構造をしていたということを示唆している．

(3) 2011 年から 2013 年の電力需給構造

M3 から M6 の比較となる．東京電力管内については，AIC は，1080.11 から 1102.03 となり，大きくは違わないが，2012 年と 2013 年を同じモデルで推定し，2011 年は別のモデルとしたときが 1080.11 と一番小さくなる．そのため，AIC の観点からは，2011 年は電力需給構造としてほかの年とは異なる性質を持っていることが示唆される．

関西電力管内では，AIC は，1094.17 から 1112.43 に分布している．すべて別々に推定した場合が値が一番小さく 1094.17 である．次に小さいのが，2012 年と 2013 年はまとめて推定し，2011 年は別に推定した場合


Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

の AIC (M5) であるが，その値は 1097.74 と一番小さい場合と大きくは変わらない．一方，2011 年と 2012 年をまとめて推定し，2013 年を別に推定した場合の AIC (M6) や 2011 年から 2013 年をまとめて推定した場合の AIC (M3) は AIC が 1110.87 から 1112.43 と大きい値をとる．これは，2011 年と 2012 年は別のモデルとして推定したほうがよいことを示している．この事実は，実際に，関西圏では，2011 年は原発がまだ稼働していたが，2012 年には停止しており，節電がより顕著に意識されたことと符合する．AIC の値からこのような知見が得られることは興味深い．

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited. 