

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—

東日本大震災により、東京電力および東北電力管内の電力供給能力が著しく低下し、電力需要の高い2011年夏期には、政府による節電要請が下され、産業界や市民生活にも大きな影響を与えた。節電運動の一環として、時刻別の電力需要が公表されていることから、本分析では、節電実態について定量分析を行い、その効果を明らかにすることを試みる。具体的には、気温と電力需要の相関が極めて高いことから、時刻別の電力需要を推計する重回帰モデルを推定し、震災影響がなかった場合の電力需要を推計する。その推計値と、実績値を比較することにより、需要量減少の特性を考察した。結果から、ピーク時期(7・8月)では、当初の予定以上の15%を越える節電効果が認められた。またピーク分散効果についても、時刻別推計値の変動係数を算出することにより、その実績を確認することができた。

キーワード | 東日本大震災, 東京電力, 節電, 電力需要

兵藤哲朗

HYODO, Tetsuro

工博 東京海洋大学海洋工学部流通情報工学科教授

1—はじめに

東日本大震災の影響で、東京電力および東北電力管内の電力供給能力が低下し、同管内では、2011年の夏は15%の節電を余儀なくされた。幸い、火力発電や、ガスタービン発電の利用もあり、2011年9月25日現在では、懸念された電力不足や、停電などのトラブルも起きていない。このまま気温も低下するため、夏の節電対策は、ひとまず功を奏したといえよう。

首都圏では、震災直後に計画停電や、鉄道運行(図1)の制限など、未曾有の対応がなされ、大きな混乱を招いた。これまで、電力需要の規模や特性を踏まえた議論は運輸部門では限られており、その知識不足が、極めて短時間の正確な決断の妨げとなったことは否めない。運輸を初めとする産業や生活を支える電力動向について基礎的な分析を積み重ねることの意義は高いと考えられる。

さて、今回の節電運動の一助として、東京電力は2008年から最新時点までの電力需要を時刻別に公表している。電力は常に需要と供給が一致し、かつ時刻別に把握されるのは総量だけで、地域別の需要を全域で詳細に把握

することは現時点の設備では困難とされている。2011年の震災以降の電力需要を、例えば部門別(産業、業務、家庭など)、地域別、時刻別に集計することができれば、各々の節電効果の計測を行うことができるが、現段階では管内全域の分析に止まることになる。

以上の制約から、本稿では東京電力管内の電力需要データを分析し、管内全域の震災以降の電力需要減や、節電効果について定量的に明らかにすることを目的とする。

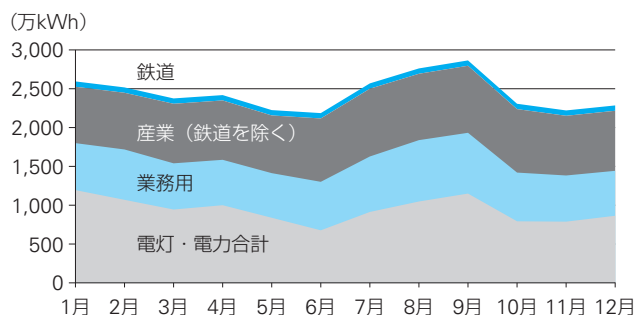
2—電力需要の実態

東京電力管内の2008年から、本稿執筆時点で手元にデータが揃っている、2011年9月22日(木)までの実績値を用いて、電力需要の実態を見てみる。

常識的に知られているとおり、電力需要は、以下の特性を持つ。

- ①年間最大ピークは夏期の14~15時前後
- ②冬期にもピークがあり、時刻は18時前後
- ③需要家セグメント別には、生産量やガスとの相対価格で電力需要が説明されるが、管内総量は、基本的に電力需要は気温の関数

これまででも、電力需要を推計するモデルは多く提案されている^{2), 3)}が、ここでは簡単のため、気温データとしては、気象庁の『気象統計情報』サイトで公開されている、『東京』(北緯35度41.4分、東経139度45.6分の千代田区気象庁本庁)を代表気象地点とする。気象データには、時刻別の気温、湿度、降雨量、日照時間、風速、風向などが含まれるが、本分析では気温データのみを用いる。

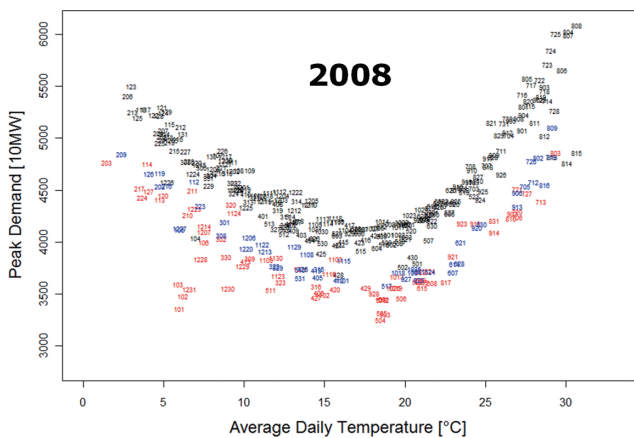


■図—1 東京電力管内の月別電力需要(2010年)¹⁾

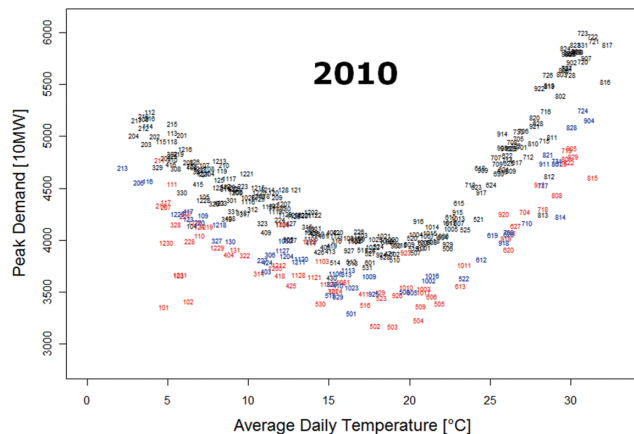
図一2～5に、2008年から2011年9月22日までの日平均気温と、日ピーク電力との関係を図示する。図中、黒字は平日、青字は祝日を除く土曜日、赤字は休日(日曜および祝日。年末年始の6日間は休日とした)を表す。また、文字の数字は、月日である(『923』は9月23日を表す)。図より、20℃前後を境として、気温上昇、もしくは気温低下に伴って電力需要が比較的に線形に増加することが確認できる。また、当然ながら、土曜や休日の需要量は少ない。特に、年末年始や、ゴールデンウィーク、お盆期間などは需要低下の特異期であることもわかる。年次間の比較からは、2010年の需要量が大きく、逆に2009年は年間を通じ、総じて需要が少なかったことも確認できる。2011年は、震災前の気温の低い時期(1月1日～3月10日)までは、図一5の左上にプロットされている通り、平年並みの需要であったのが、震災直後、大きく下方にシフトし、外れ値も多く、かつ、高気温側の気温に対する需要量増加率(傾き)も、例年より小さいように見受けられる。平日と土曜、休日との差が小さいことも特徴的である。震災の電力需要への影響を再確認することができよう。

電力需要に影響を与える主要因が気温であることは図一2～5より明らかとなった。そこで、過去の気象特性を、気温

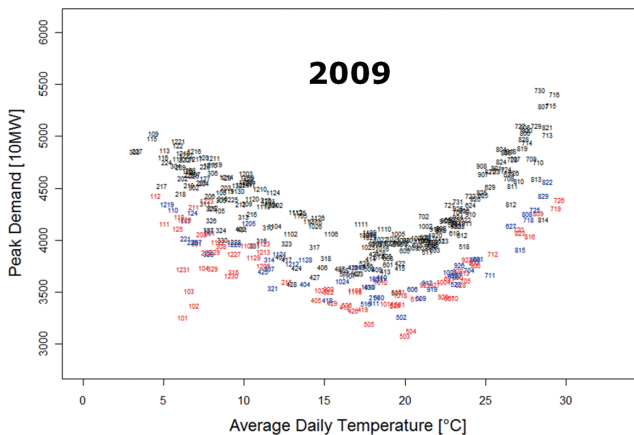
分布から考察してみる。2011年を含む、年次間の比較を行うため、1月1日から9月22日までの日平均気温の頻度分布を算出し、図一6にまとめた。これを見ると、図一4でも確認したとおり、2010年は高温日も、低温日も例年以上に多く、年間を通じて必要電力が高いレベルにあったことが分かる。2011年は、2010年ほどではないが、2008年や2009年に比べれば、高温日の出現頻度は高かったといえる。節電運動がなければ、2010年に記録した、約6,000[万kW]程度のピーク電力需要が出現した可能性も拭えなかったのである。



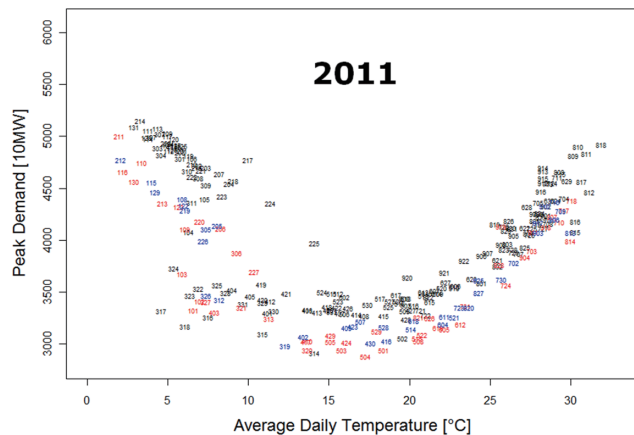
■図一2 日平均気温と日ピーク電力(万kW)の関係：2008年



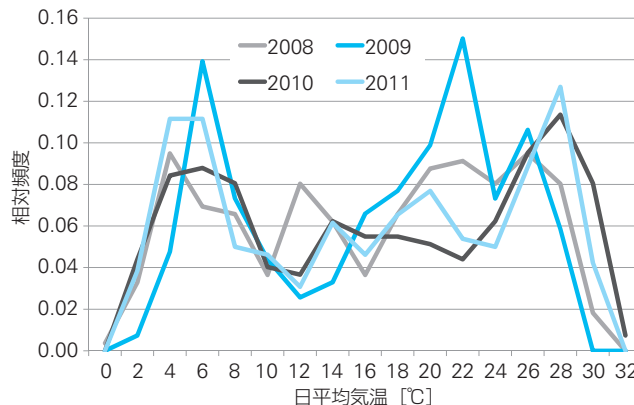
■図一4 日平均気温と日ピーク電力(万kW)の関係：2010年



■図一3 日平均気温と日ピーク電力(万kW)の関係：2009年



■図一5 日平均気温と日ピーク電力(万kW)の関係：2011年(9月22日まで)



■図一6 2008～2011年の日平均気温の分布(1月1日～9月22日まで)

3—重回帰モデルによる節電効果の分析

3.1 重回帰モデルを用いる意義について

震災後の電力実績が時刻別に判明しているため、それを過去の実績と比較することにより、消費量の差分から節電の効果を定量的に補足することができる。しかし、前年同日と比較しても、気象条件が異なるため、単純な比較には意味がない。もし、『震災影響がなければ現出していたであろう電力需要』を別途推計することができれば、その推計値と実績値との比較から、より正確な節電効果を計測できるであろう。本稿では、前章で確認した通り、電力需要が気温の線形な関数と見なせることから、過去の研究事例も踏まえて²⁾、気温を説明変数とした回帰モデルを推定し、それを用いて、震災影響を除いた推計値を得ることを試みる。

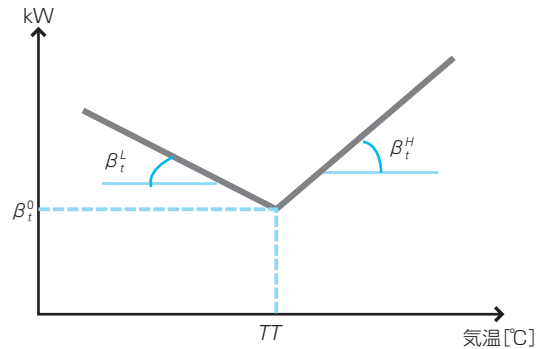
3.2 重回帰モデルで用いる変数とパラメータ推定

節電運動で対象となったのは、日ピーク電力であったため、ピーク電力を推計する式があれば本稿の目的に十分叶うことになるが、ピーク一時間値の変化のみならず、一日24時間を通じた需要分散効果なども把握することを念頭に、重回帰モデルの被説明変数には、時刻別の東京電力管内の電力需要を用いる。

また、土曜日や休日は平日と需要特性が大きく異なり、サンプル数も少ない(震災後の土曜日データは28日にとどまる)ため、分析対象は平日とする。

図一7は、2010年の14時台の気温と電力需要の散布図である。日ピーク電力と同様の傾向が見て取れるため、この『気温—電力需要』関係を、図一8のような三つのパラメータで表現する。

ここで、添え字 t は時刻を表し、 TT は気温閾値[°C]で、 β_t^H は気温閾値を越えた場合の温度あたりの電力需要増加率、 β_t^L は反対に、気温閾値を下回った場合の温度あたり電力需要低下率、 β_0 は定数項である。



■図一8 気温に関する変数の設定イメージ図

これ以外の変数としては、月曜・火曜・水曜・木曜の曜日ダミー、そして全時刻共通の定数項を用いる。パラメータ数は、 β_t^0 のうち一つは0に固定するため、

$$24 \times 2 + 23 + 4 + 1 = 76$$

となる。モデルを式表現すれば、以下の通りである。

$$W_t = \beta_t^H (T_t - TT) \delta_t^H + \beta_t^L (T_t - TT) \delta_t^L + \beta_0^t +$$

$$\beta_{MON} \delta_{MON} + \beta_{TUE} \delta_{TUE} + \beta_{WED} \delta_{WED} + \beta_{THU} \delta_{THU} + \beta_0$$

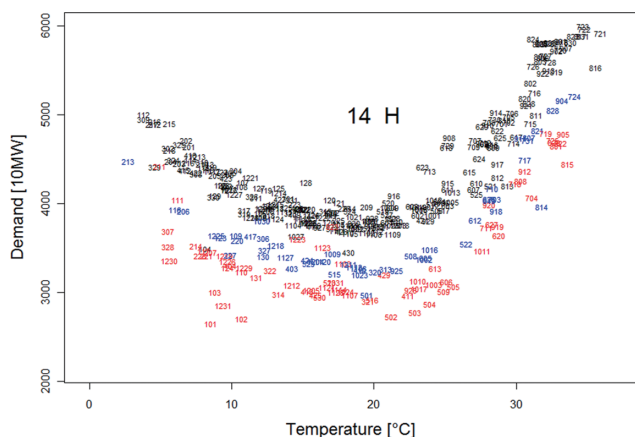
W_t : 時刻 t の電力需要、 T_t : 時刻 t の気温、 δ_t^H : 時刻 t の気温が TT 以上で1、未満で0のダミー変数、 δ_t^L : 時刻 t の気温が TT 未満で1、以上で0のダミー変数、 β_0 : 全時刻共通の定数項、

$\beta_{MON} \delta_{MON}$, $\beta_{TUE} \delta_{TUE}$, $\beta_{WED} \delta_{WED}$, $\beta_{THU} \delta_{THU}$: 曜日パラメータと対応するダミー変数

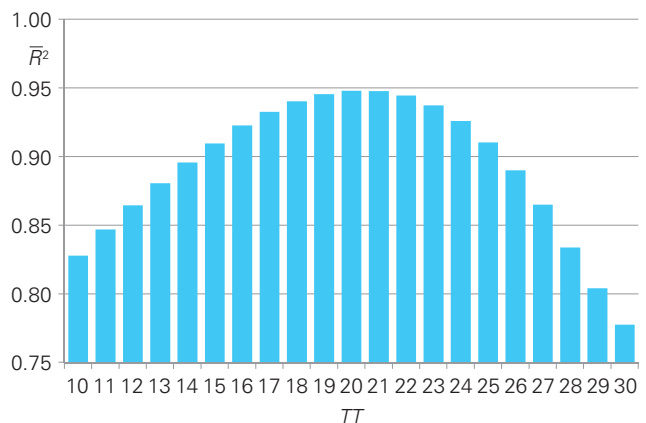
2010年の平日、合計243日、時間単位では5,832時間のデータを用いてパラメータ推定を行う。まず、適切な気温閾値(TT)を決定するため、 TT を10[°C]から30[°C]まで変化させ、各々で重回帰モデルを推定し、得られた自由度調整済み決定係数の結果を図一9にまとめる。

結果から、20[°C]で自由度調整済み決定係数が最も大きく(0.948)、以降の分析では、 TT として20を用いる。その場合の推定パラメータ値のうち、 β_t^H と β_t^L を図一10に、 β_t^0 と曜日パラメータ、全時刻共通の定数項値を図一11に示す。

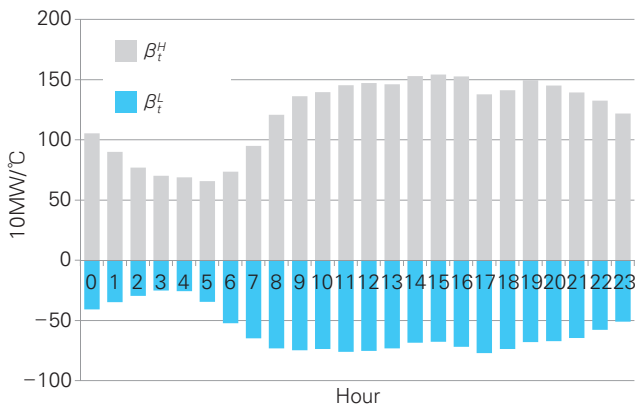
傾きパラメータを見ると、増加分については夏期の条件



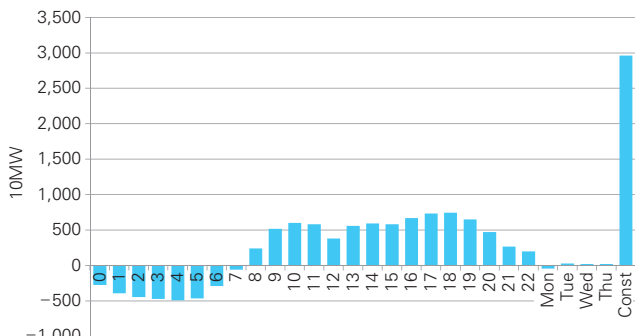
■図一7 時刻別の電力需要(2010年の14時の例)



■図一9 気温の閾値と自由度調整済み決定係数の関係



■図—10 推定パラメータ値(傾きパラメータ)



■図—11 推定パラメータ値(ダミー変数と定数項)

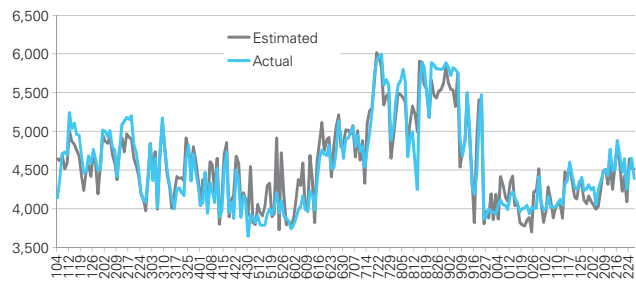
を反映して、14～15時が最も大きく、減少分については、冬期のピーク時間帯といわれる17時の値が大きい。また、時刻別定数項は18時が高い値を示しており、年間を通じて、気温に関わらず夕刻時の需要レベルが高いことが分かる。なお、76個の推定パラメータの t 値の絶対値は全て2以上であり、統計的な有意性を持っていることを付記しておく。

図—12はパラメータ推定に用いたデータに対する再現性の確認図である。その比率をとった図—13から、概ね良好な再現性を有していることが分かるが、電力需要が比較的大きい夏期と冬期では若干過大推計で、春期や秋期で過小推計の傾向があり、分析の考察にはこの特性に配慮することが必要である。

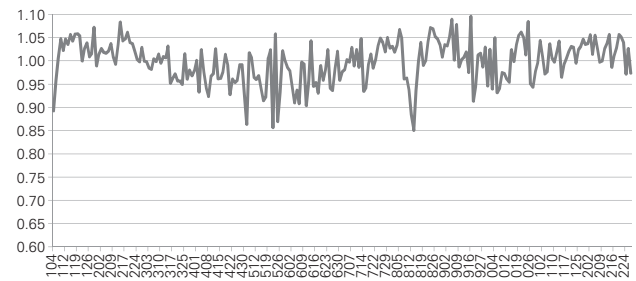
3.3 重回帰モデルを用いた節電効果の計測

推定されたモデルと、2011年の気温データから、時刻別の電力需要を推計する。図—14がその結果であるが、青線の実績値は地震発生日から急激に低下し、6月半ばまでは2,500[万kW]前後で推移するが、気温上昇と共に、6月下旬から4,000[万kW]を越える日を何度も体験することとなる。しかし、2011年は幸い、年間ピークを記録しがちな7月後半は涼しく、大きな問題は生じなかったのである。なお、時間ピークの実績値上位三位は、

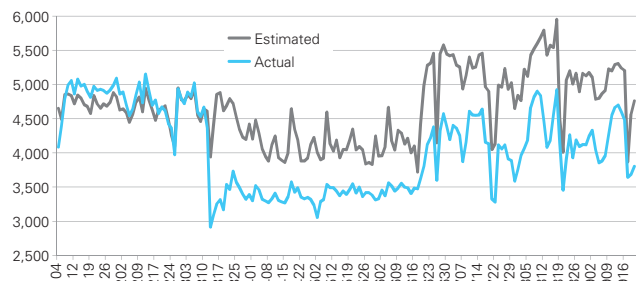
- 1位 8月18日(木)14時 4,922[万kW]
- 2位 8月10日(水)14時 4,900[万kW]



■図—12 2010年の実績値と推計値の関係(横軸: 月日, 縦軸: 万kW)



■図—13 2010年の推計値/実績値(横軸: 月日)



■図—14 2011年の実績値と推計値の関係(横軸: 月日, 縦軸: 万kW)

3位 8月11日(木)13時 4,837[万kW]であった。

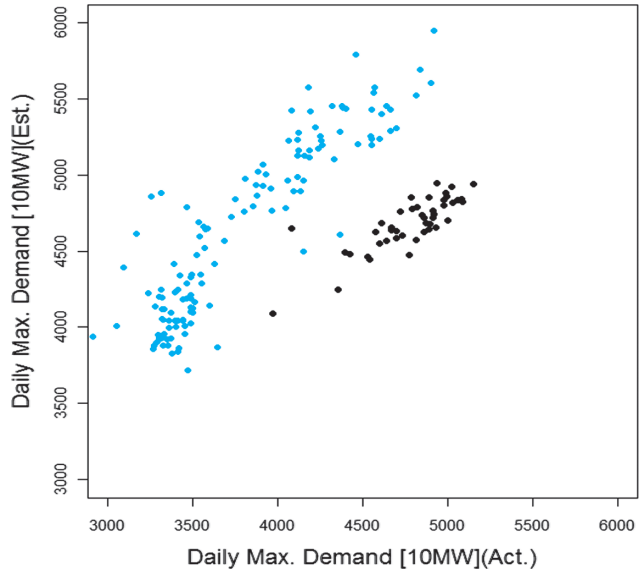
図—15は実績値を推計値で除した値であり、これが本稿で目的とする節電率に相当する。日ごとのバラツキが大きいため、参考のため、連続する平日5日間の移動平均を算出し、図—16に掲げた。図—15から、震災直後、需要は67%まで劇的に低下し、4月下旬にかけて徐々に増えている。これは震災により稼働停止した工場など、産業部門の復旧過程を表していると思われる。また、節電率が0.9を越える日が3日確認できる。これは、6月17日(金)、8月19日(金)、9月20日(火)であり、いずれも降雨が観測されている。つまり、本モデルでは気温のみで需要を推計するため、気温が低下するにも関わらず電力需要の多い雨天時は過小推計を招く傾向にあることが分かった。今後、推計モデルの改善が必要な事項である。

図—16の移動平均値からは、5月の連休明けから、ほぼ一貫して、需要は例年比の80%前半で推移していることが分かる。85%を越える日は限られており、当初の目標である15%節電は十分達成されたと言えるだろう。

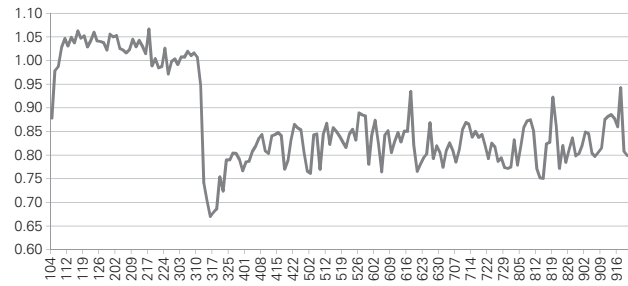
さらに、推計時点の2010年、および2011年の日ピーク電力の実績値と推計値の散布図を図—17, 18に掲げる。

モデルによる推計値は45°線上に位置しており、大きな偏りがないことが再確認される(図-17)。図-18からは、震災後の需要減少の様子が分かる。特に、4,000[万kW]以下の実績値を示す日で、推計値が大きめに算出されているが、これは震災直後から4月後半までの復旧過程期が相当している。

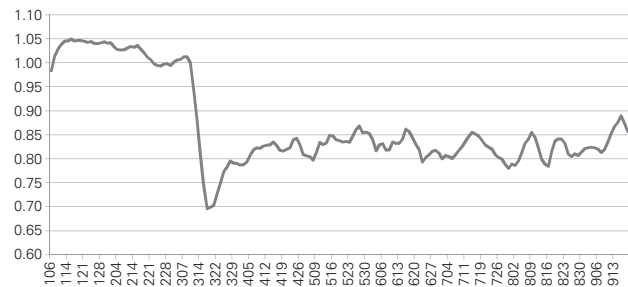
本モデルは時刻ごとに推計値を得ることができるため、一日24時間のデータを用いて、各日の変動係数(各変動係数のデータ数は24となる)を算出し、2010年、2011年の各々の実績値と推計値の変動係数をプロットした(図-19, 20)。日ピーク電力と比べれば、両者の相関は高くはないが、2011年の震災後では、推計値が左側にシフトして



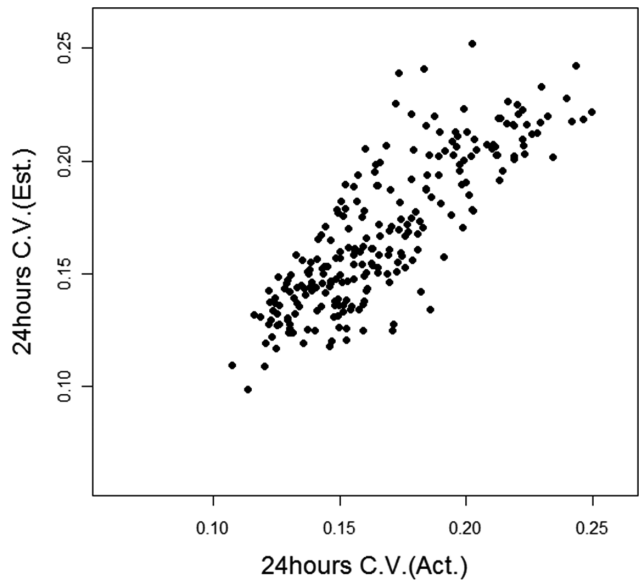
■図-18 2011年実績値と推計値の関係(青は震災後)



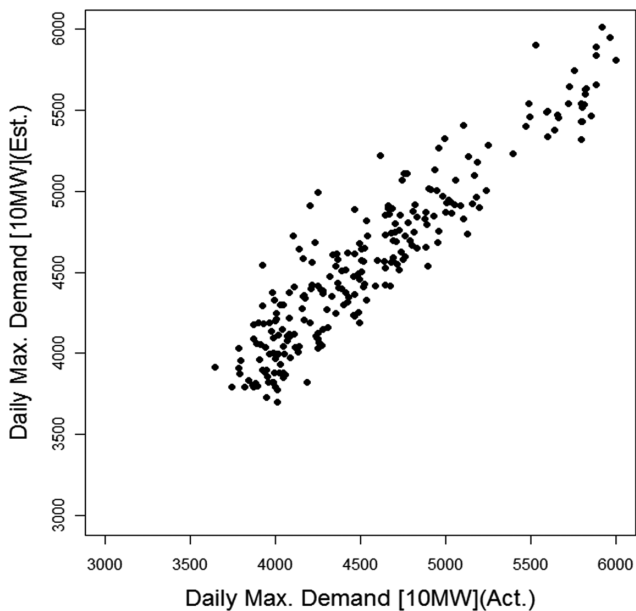
■図-15 2011年の推計値/実績値(横軸:月日)



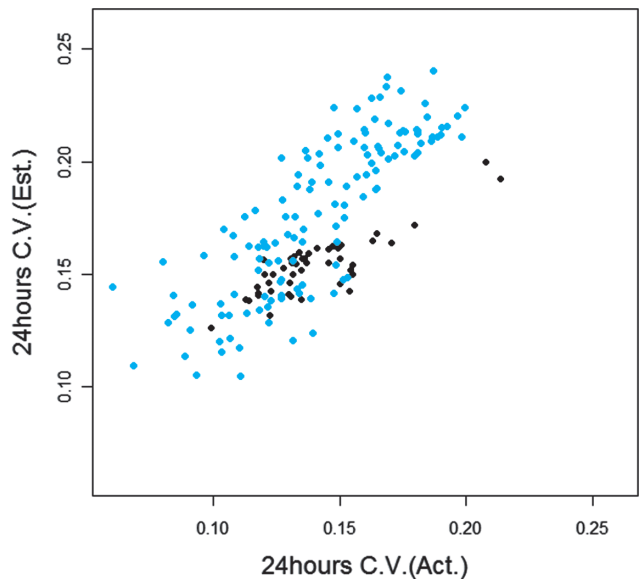
■図-16 2011年の推計値/実績値の連続5日間移動平均値(横軸:月日)



■図-19 2010年の実績値と推計値の24時間変動係数



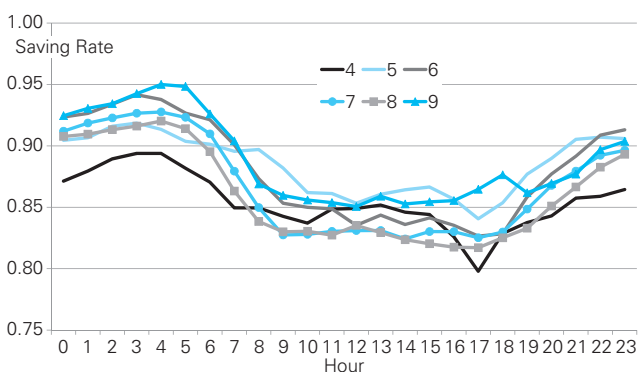
■図-17 2010年実績値と推計値の関係



■図-20 2011年の実績値と推計値の24時間変動係数(青は震災後)

いることが見て取れる。これは、震災により変動係数が減少していることを意味する。つまり、この結果からは、需要は全時間帯で等しく減じたのではなく、ピーク電力の減少や、ピーク分散の効果が認められたと判断できるだろう。推計値変動係数0.2に相当する実績値変動係数は約0.15程度に減少しており、分散効果が大きかったことが想像できよう。

さらに、震災発生3月を除き、4月から9月までの時刻別の実績値と推計値の比の平均値を図-21にまとめた。復旧過程の4月は昼間の減少率はそれほど高くないが、政府による節電要請の対象となった7月と8月では、ピーク時間帯の減少率が高く、節電運動の効果が如実に表れていることが分かる。しかし、9月に入り、減少率は低下しているが、これはピーク期間の電力危機を乗り切った後であるためであろうか。しかし隣国の韓国では需要の見誤りから、9月15日(木)に大規模停電が発生している。これを他山の石として、ピーク期間でなくても電力需要管理には細心の注意を払う必要がある。



■図-21 2011年の実績値/推計値[時刻別, 月別(4月~9月)]

4—おわりに

本稿では、時刻別の電力需要データと、気象データを用いた、2011年震災後の電力需要量の分析を試みた。気象データとしては、代表地点一箇所の気温を利用するに止めているが、十分な説明力を有する回帰モデルを得ることが可能であることを確認した。しかし、今後は、管内の各地の気象データ(気温, 降雨量, 湿度など)を追加し、モデルの精度を高める必要もあるだろう。既存研究で多く試みられているとおり、ニューラルネットワークなどの高い現況再現性を持つモデルの適用も検討に値する。

肝心の節電効果であるが、ピーク期間では目標の15%以上の削減が達成され、十分な効果があったことが再確認できた。特に、7・8月では、8時から19時までの間の需要減少幅が大きく、期待通りに、日中の節電運動の効果があったと言えよう。

今後、18時台にピークを迎える冬期の節電対策や、来年夏期の需給量の見通しなど、モデル精度を高めると共に、分析対象範囲を広げる努力を継続したいと考えている。

末筆ではあるが、データ整理に協力頂いた、江川未来氏(東京海洋大学流通情報工学科4年生),そして当初の分析に関わられた東日本大震災調査団の交通グループ鉄道班の方々に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会[2011], “4.2 節電に伴う首都圏の鉄道輸送への影響”, 「東日本大震災特別委員会総合調査団 調査速報会報告資料」, (オンライン), <http://committees.jsce.or.jp/report/node/39>, 2011/4/8.
- 2) 小林正行[2006], “環境変化に対応した電力需要予測システムの開発”, 「中部電力株式会社技術開発ニュース」, No. 123, pp. 25-26.
- 3) 飯田亮一・秦康範・日黒公郎[2006], “被災度に応じた地震後の地域別電力需要予測モデルの構築”, 「生産研究」, Vol. 58, No. 3, pp. 305-308.

(原稿受付 2011年10月7日)

Demand Analysis on Electricity during Energy Crisis Period after the Earthquake 2011

By Tetsuro HYODO

After the Great East Japan Earthquake 2011, Tokyo Metropolitan Area has faced on serious energy crisis. The government urged industries and citizen to decrease 15% energy consumption during July to September. This report developed a multiple regression model which can calibrate the energy demand without the earthquake effect. We clarified that the demand is explained by temperature data very well. Then we compared the estimated demand and the actual demand until September 22nd. The actual situation of “Electricity Saving” and the dispersion effect were confirmed.

Key Words : *the Great East Japan Earthquake 2011, Tokyo electric power, electricity saving, electric demand*