

産業・業務部門での東日本大震災以降の 電力需要の変化要因

人見 和美 星野 優子

1. はじめに

本特集号の間瀬・林田（2016）でも触れたように、東日本大震災以降、産業の生産が回復したにも関わらず産業用電力需要の低迷が継続しており、その要因の解明は今後の電気事業の事業戦略にとって重要な鍵となる。

間瀬・林田（2016）では、この大口電力需要と、生産規模や電力と自家発用燃料の相対価格の間の関係に何らかの変化が生じているのではないかと、という仮説を検証しあわせてその時期の特定を行った。その結果、2000年以降で変化が生じた時期は、大口産業用全体および機械産業では東日本大震災であったのに対し、素材産業ではリーマンショックであったこと、いずれにおいても、変化したのは電力需要と生産規模の間の関係であったことを明らかにしている。ただし、間瀬・林田（2016）では主に変化の時期やその強度に着目しており、変化の要因については触れていない。

そこで本稿では、産業・業務部門における震災以降の電力需要の変化がどのような要因によるものであるのか、理論モデルを基にした分析を含め、当所でのこれまでの研究を中心に整理したい。

2. 電力需要原単位の低下要因

2.1 理論モデル

産業部門のエネルギー需要については、生産活動に伴う派生需要として定式化した

Nordhaus (1979) がある。人見（2015a,b）では、電力需要を企業の有する資本設備の稼働に必要な投入として捉えている。稼働中の資本設備ストック量に対する電力投入量を「電力・資本係数」と定義し、以下のモデルを提示している。

$$v = l^{1-\beta_k}(\gamma\bar{k})^{\beta_k} \quad (1)$$

ここで、 v は実質付加価値、 l は労働投入である。稼働率 γ は短期的に変更可能であるが、生産資本設備 \bar{k} は、短期的には変更できない。電力需要 e は、資本投入に伴って派生的に生じると考え、 $e = \epsilon\gamma\bar{k}$ と表す。ここで ϵ が、電力・資本係数であり、資本設備の電力消費効率を意味する。この値が小さいほど、効率は高くなる。

労働要素価格を p_l 、資本要素価格を p_k 、電力価格を p_e とすると、当該生産者の総コスト C は以下のように表すことができる。

$$C = p_l l + (p_k + p_e \epsilon) \gamma \bar{k} \quad (2)$$

(1)、(2)式をもとに生産者の費用最小化より資本に関する要素需要関数を導くことができる。付加価値当たり資本投入係数 $\kappa = \gamma\bar{k}/v$ は以下のように表わすことができる。

$$\kappa = (\beta_k / (1 - \beta_k))^{1-\beta_k} (p_l / p_s)^{1-\beta_k} \quad (3)$$

ただし簡単のため $p_s = p_k + p_e \epsilon$ とおく。上

記の関係から、付加価値当たり電力投入係数は、以下のように表すことができる。

$$e/v = \kappa\epsilon = (\beta_k/(1 - \beta_k))^{1-\beta_k}(p_l/p_s)^{1-\beta_k}\epsilon \quad (4)$$

2.2 モデル・パラメータの推定

以上のモデルの各パラメータ $\beta_k, p_l, p_k, p_e, \epsilon, \gamma$ のうち、労働要素価格 p_l については、産業連関表の雇用者報酬を、電力価格 p_e については、企業物価指数を参照可能だが、その他のパラメータについてはデータから推定する必要がある。人見(2015a,b)では、以下の方法を用いて推定を行っている。

資本パラメータの推定値 $\widehat{\beta}_k$ については、資本の限界生産性が資本の実質要素価格に等しくなるという限界生産性命題を用いて、以下から求められる¹。

$$\widehat{\beta}_k = ((p_k + p_e\epsilon)\gamma\bar{k})/(pv) \quad (5)$$

ここで、右辺の分子は「資本要素所得+電力投入金額」から、分母は「名目生産額」から計算可能であるが、データの性質上、各年の変動が大きくなり安定的なパラメータを得ることが難しい。ここではブートストラップ法を用いて、 $\widehat{\beta}_k$ の母集団平均を推定した。 $\widehat{\beta}_k$ を求めたのち、パラメータ間の関係から残るパラメータ p_k, ϵ, γ を、順次求める。パラメータの推定には、内閣府の「91 部門産業連関表」、粗資本ストック統計、「国民経済計算」および日銀の「企業物価指数」の年次データを用いた。

¹ (5)式の p は、電力を含む。

2.3 電力需要原単位変化の要因分解

人見(2015b)では、(4)式で示した産業ごとの付加価値当たり電力投入（以下では電力需要原単位と呼ぶ）を全微分して整理することで、電力需要原単位変化の要因分解を、以下の5つの要因に分解している。

- (1) 産業別付加価値シェアの変化
- (2) 労働要素価格の変化を通じた資本投入の変化
- (3) 資本要素価格の変化
- (4) 電力価格の変化
- (5) 電力・資本係数の変化

集計レベルでの原単位変化を $\Sigma e/\Sigma v = \Sigma \omega \times (e/v)$ と表すと、集計レベルでの原単位変化率は(6)式のように表せる。

$$\begin{aligned} & \frac{d\left(\frac{\Sigma e}{\Sigma v}\right)}{\left(\frac{\Sigma e}{\Sigma v}\right)} \\ &= \sum \frac{\left(\frac{e}{v}\right)}{\left(\frac{\Sigma e}{\Sigma v}\right)} \omega \left[\frac{d\omega}{\omega} \right. \\ & \quad + \omega(1 - \beta_k) \left\{ \frac{dp_l}{p_l} - \sigma_k \frac{dp_k}{p_k} - \sigma_e \frac{dp_e}{p_e} \right\} \\ & \quad \left. + \omega \{ 1 - (1 - \beta_k)\sigma_e \} \frac{d\epsilon}{\epsilon} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

ここで ω は産業別付加価値シェアを表す記号である。したがって(6)式の第1項は要因(1)に、第2項の1番目は要因(2)に、続く第2項2番目は要因(3)に、第2項3番目は要因(4)に、第3項は要因(5)に相当する。

電力需要原単位の対前年変化率の要因分解の結果を図1に示す。折れ線グラフで示すように、2011年から2012年にかけて電力需要原単位は大きく低下している。その要因を

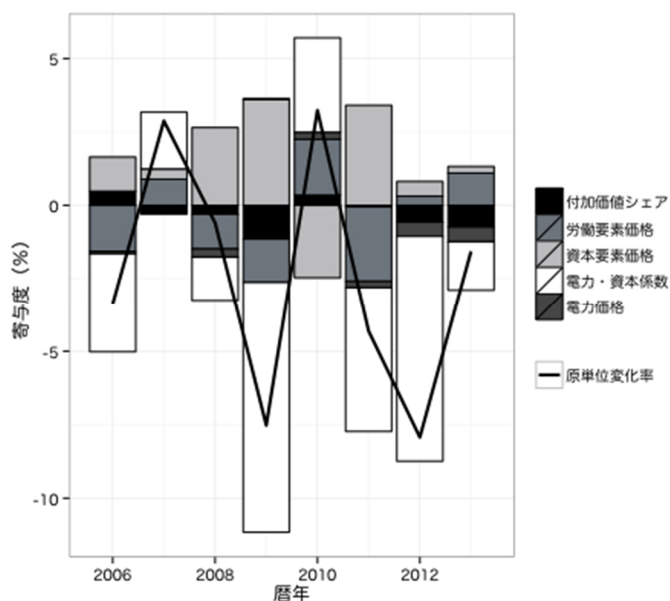
みると「電力・資本係数」の低下が主因であったことを確認できる。原単位は、2013年には低下幅が縮小に転じているものの、電力・資本係数は依然としてマイナスに寄与しており、震災以後、一貫して電力需要原単位の最大の低下要因になっている。つまり、資本設備稼働当たりの電力消費効率の向上が震災以後の原単位低下の最大要因である。

もちろん電力・資本係数の低下は震災以後にのみ観察されているわけではなく、単年で見れば、日本経済がリーマンショックを経験した2009年のマイナス寄与の方が震災以降の寄与よりも大きい。また反対に、電力・資本係数がプラスの寄与、すなわち電力需要原単位の増加要因になる場合も観察される。ただし、分析期間中でプラス寄与となるのは2007年と2010年の2時点のみであり、またその寄与度も相対的には小さいとすることができる。

原単位変化を、生産活動に現れた短期的なショックに対する企業の反応として捉えると、リーマンショックや震災など、企業の利潤獲得機会が縮小したと考えられる時期に電力・

資本係数は大きく低下しており、そうしたショックが企業の生産活動において節電や省エネを誘発していると考えられる。逆に、ショックが過ぎると、節電や省エネへのインセンティブが緩む傾向があるのも観察されることである。こうした外的なショックに対する短期的反応として要因分解の結果を捉えると、以上のような解釈が可能になる。

人見(2015b)では業種別にも分析を行っている。図2では、電力需要原単位の低下に与えた電力・資本係数の寄与度を、2011～2013年の各年について比較している。その結果、震災直後の2011年の原単位低下に対する電力・資本係数の寄与は卸・小売部門が大きく、翌年の2012年ではサービス業の寄与が大きかったことが明らかになった。すなわち、震災後の産業・業務部門における電力需要原単位の低下は、これら業務部門における資本設備当たりの電力消費効率の向上(電力・資本係数の低下)が大きく寄与していたことが確認できる。以下では、電力・資本係数の低下要因について考えてみたい。



出所：人見(2015b)

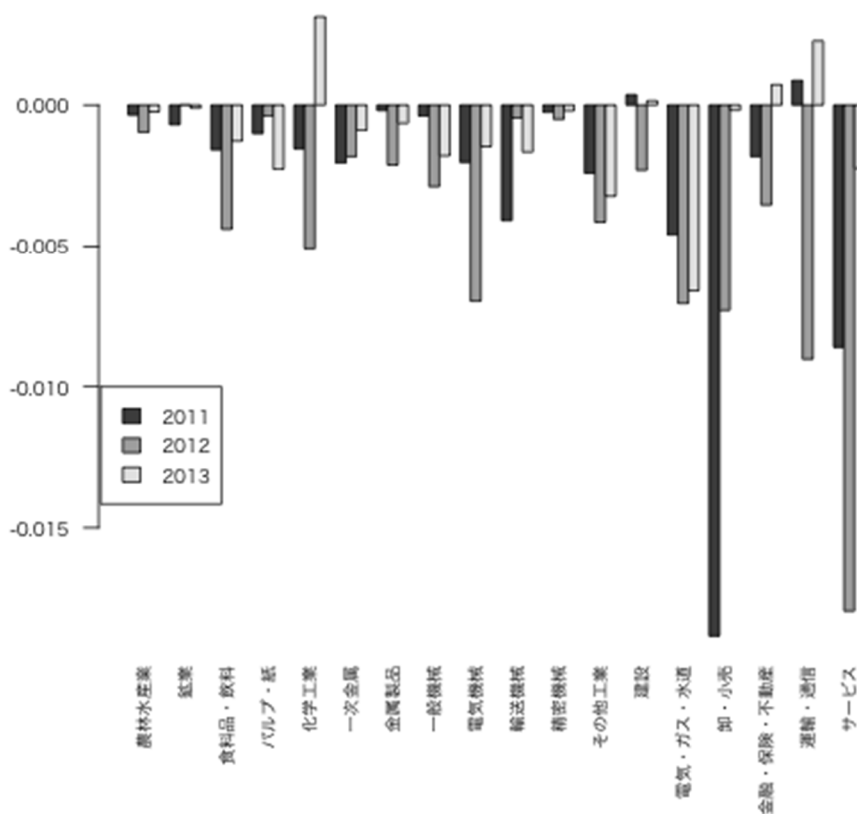
図1 電力需要原単位の対前年変化の要因分解

3. 電力・資本係数の低下要因

図1の電力需要原単位の対前年変化率の要因分解における、電力・資本係数の寄与をみると、対象とした分析期間(2006年～2013年)全体ではマイナス寄与の方がプラス寄与よりも大きいことを確認できる。分析期間においては電力・資本係数が趨勢的に低下しており、それが原単位を低下させている可能性がある。ここで対象とした期間だけの分析ではその解釈の是非を議論することはできないが、電力

需要原単位低下の背後には、より長期的な企業の省エネ行動が働いていると考えることもできる。短期のショックに対する反応としてではなく、長期的な原単位の動向を経済的に議論するためには、資本設備を固定的に考えず資本蓄積とエネルギー・電力需要の関係を分析する必要がある²。

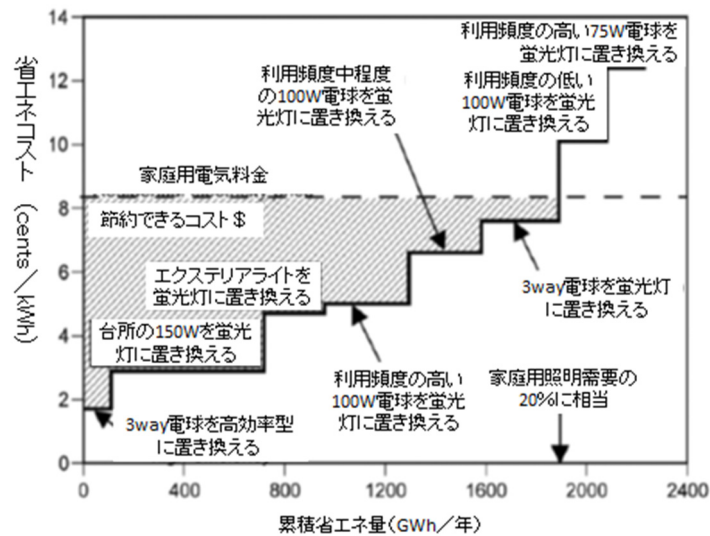
電力・資本係数の趨勢的な低下には、上に述べたような企業の継続的な省エネ努力が寄与していると考えられるが、同係数を低下させるもう一つの要因として以下では電力コスト



出所：人見(2015b)

図2 業種別電力需要原単位の対前年変化における電力・資本係数の寄与度 (2011, 2012, 2013年)

² 人見(2015a)では、長期の動学的分析も試みられているが、紙幅が限られているため、ここでは静学分析のみの紹介に留める。



出所：Rosenfeld (2009) Figure.6 を元に改変

図3 家庭の照明用電力の省エネ費用曲線の例

トの影響について考えてみたい。

家庭部門と産業・業務部門では、電力需要の捉え方が異なることから単純な比較はできないが、以下では家庭部門の例を取り上げる。図3は、Rosenfeld (2009) によるカリフォルニアの家庭部門での照明用電力の省エネ費用曲線の例を示したものである。横軸に省エネ量、縦軸に省エネ対策コストをとって、コストの低い順に左から省エネ対策を並べている。仮に図3にあるように、家庭用電気料金がkWhあたり8セントを超える場合には、3way電球から蛍光灯へ置き換えることも経済的な省エネ対策になる³。

この例を産業部門に置き換えて見ると、電力コストの上昇によって省エネ設備への投資の収益性が高まり、より多くの省エネ対策が経済性を持つことになる。その結果、省エネ対策が進み生産設備あたりの電力消費量すなわち電力・資本係数が低下する。

4. 省エネ・節電効果は定着するか

過去2度の石油危機時には、石油などのエネルギー財の需要は、価格高騰を受けて大きく減少した。ところが、その後の価格急落期においても、需要が元の水準に戻るまでには長い時間を要した。このように、エネルギー価格の需要に与える影響が、価格の上昇時により大きくなることは、1990年前後に多くの実証研究で明らかにされている。震災以降の電力需要の減少要因の一つとして電力コスト上昇による影響が考えられるのであれば、仮に国際資源価格の下落が続いた場合でも、その影響が持続する（節電が定着する）のか否かは重要な論点になる。

石油危機以降の研究から、この点について整理したい⁴。Wirl (1988), Grubb (1995) は、エネルギー価格の上昇に伴う需要への影響として、以下をあげている。

³ この図で示された省エネ量は、ポテンシャルであって、実際には様々な省エネギャップが存在するために、このすべてが実現するわけではないことに注意が必要である（若林・木村 (2008)）。

⁴ 以下の整理は、星野 (2015) による。

(1) 石油危機を契機に省燃料自動車や省電力家電といった技術変化が起こった。こうした技術でもたらされる省エネ効果は、価格低下時にも持続する。

(2) エネルギー価格上昇時には、設備更新時期に達する前でも高効率の設備への更新が経済的な場合がある。一方、価格の低下時に効率の悪い設備に置き換えることは考えにくい。

(3) 将来のエネルギー価格に対する消費者の認識は、価格上昇に対して、より敏感で防衛的になることから、価格低下時であっても将来の期待価格は低下しにくい。

これらに加え Grubb は、以下のような制度や行動面への影響を指摘している。

(4) 価格上昇を契機に省エネ規制が導入・強化されやすい。規制は価格低下時においても引き続き効力を有するため、価格低下時の需要増加を抑制する方向に働く。

(5) 価格上昇時に獲得した省エネ習慣は、価格低下時においても一定程度保持される。

これらの要因のうち、(1)、(2)は省エネ関連の設備投資の増加によって、原単位低下に寄与する。従って、これら要因による需要の減少効果は電力価格の低下によっても失われず定着するものと考えられる。また、(4)については、一旦導入された省エネ規制は撤廃や緩和されるとは考えにくいことから、これによる需要減少の効果も定着するものと考えられる。(5)については、アンケート調査による実態の把握が試みられている。東日本大震災後の事業所や家庭における節電行動に関する、木村・大藤 (2015)、西尾 (2015) の分析では、行動変化による節電の効果は、震災以降、年を追うごとに少しずつ小さくなっているものの、一定の節電の定着は見られるという結果

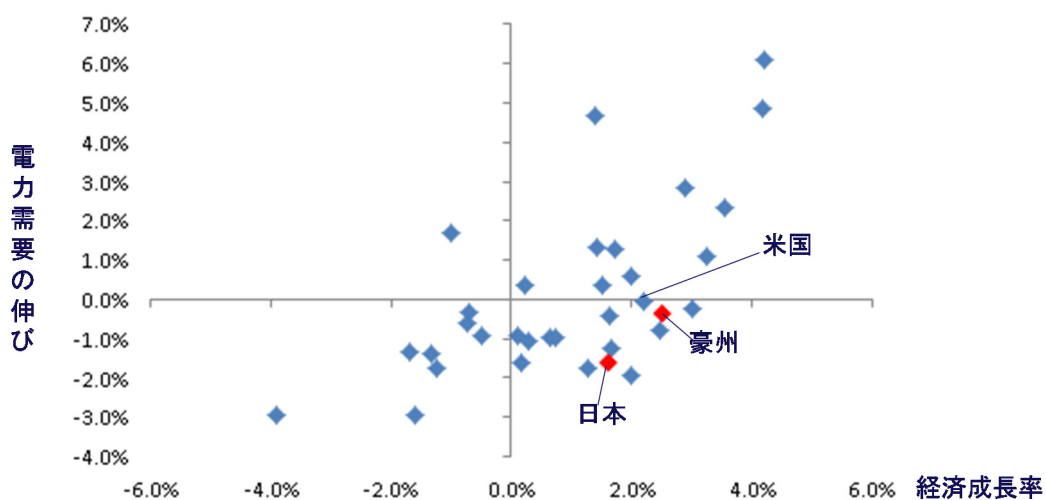
を得ている。

以上の(1)~(5)でみた要因によるエネルギー価格上昇時の需要減少を、広義の価格要因による省エネ効果と捉えた分析に 星野 (2015) がある。そこでは、日本の業務部門のエネルギー需要を対象に、震災前後のエネルギーコスト上昇による需要減少のうち、定着すると考えられる省エネの寄与分を推計している。その結果、価格低下によって減殺される(省エネのリバウンド分)可能性のある省エネ分は、2000年代後半が22%、震災以降の期間が32%であった。これを逆に見ると、震災以降の価格要因に起因する省エネのうち68%が定着するという結果になる。ただし、これらは省エネ(原単位)の水準の定着であって、原単位低下傾向の定着(継続)は意味しないことに注意が必要である。

5. 東日本大震災以降に産業・業務部門での電力需要を減少させたものは何か

本稿では、産業・業務部門における震災以降の電力需要の変化がどのような要因によるものであるのかについて、人見 (2015a) の理論モデルから得られた分析結果を中心に整理した。その結果、震災以降の産業・業務部門の電力需要の減少には資本設備あたりの電力消費量(電力・資本係数)の低下が大きな影響を与えたこと、特に卸小売サービス業など業務部門でその傾向が強かったことを明らかにした。また、長期的にはエネルギーコストの上昇が資本設備の更新に影響を与えることで、今後仮にコストが安定化しても、そこで得られた省エネ効果は一定程度定着する可能性があることを示した。

先に見た間瀬・林田(2016)の結果は、(4)式の ϵ に相当する資本設備あたりの電力投入量(電力・資本係数)が短期的に減少したことで、(4)式の左辺である付加価値当たり電力投入量 e/v が



出所：IEA, Energy Prices and taxesより作成

図4 先進国の経済成長率と電力需要2011-2013年

低下したことを、電力需要と生産規模の関係として捉え、パラメータを推定したものとして解釈できる。図1で見ると、電力・資本係数はリーマンショックおよび震災後の時期に大きく低下していることから、間瀬・林田(2016)の分析結果と整合していることが確認できる。

ところで本特集号では、「東日本大震災以降」の期間に着目して分析・考察しているが、実は同じ時期の世界の先進国を見ると、日本同様に多くの国で電力需要の減少が観察されている。

図4は、横軸に経済成長率を縦軸に電力需要の伸び率をとったものであるが、第4象限の「経済が成長し電力需要が減少する」に該当した国は、日本を含め、英国、フランス、ドイツ、スウェーデン、ノルウェーなど12か国にのぼる。これは電力需要の減少が、単に東日本大震災後の日本に特徴的にみられる現象ではないことを示唆している。

紙幅の関係で紹介できなかったが、人見(2015a)による長期の動学モデルからは、人々の将来の経済成長期待がプラスである限り、長

期的には電力需要が減少を続けることは考えられないことが示唆されている。従って、図4の第4象限にある状況が、長期的に持続可能であるか否かは、慎重に検討すべきであろう。

以上から、現在観察されている電力需要の減少については、今後も、より観察対象を拡げた、長期間にわたる分析が必要であるといえる。

参考文献

- 木村宰・大藤健太 (2015)「事業所における 2011～14 年夏の節電の実態－東日本大震災以降の定点調査－」, 電力中央研究所報告 Y14013.
- 西尾健一郎 (2015), 「家庭における 2011～14 年夏の節電の実態－東日本大震災以降の定点調査－」, 電力中央研究所報告 Y14014.
- 人見和美 (2015a)「電力需要分析に関する技術ノート」, mimeo.
- 人見和美 (2015b)「電力消費原単位はなぜ低下したのか」, mimeo.
- 星野優子 (2015)「エネルギー需要の価格変化に対する反応の非対称性について」, 第 34 回エネルギー・資源学会講演論文集.

間瀬貴之・林田元就 (2016)「東日本大震災前後における産業用電力需要の構造変化—時系列分析によるアプローチ—」, 電力経済研究第 63 号.

若林雅代・木村宰 (2008)「省エネルギー政策理論のレビュー—省エネルギーの「ギャップ」と「バリア」—」, 電力中央研究所報告 Y08046.

Grubb, Michael (1995) "Asymmetrical Price Elasticities of Energy Demand, in Barker, T., Ekins, P, Johnstone, N, (Eds), Global Warming and Energy Demand", Routledge, London.

Nordhaus, Willian D. (1979) "The Efficiency Use of Energy Resources", Yale University Press.

Rosenfeld, H. and Deborah Poskanzer (2009) "A Graph is worth a thousand gigawatt-hours – How California Came to Lead the United States in Energy Efficiency –", *Innovations*, fall.

Wirl, Franz (1988) "The asymmetrical energy demand pattern: some theoretical explanations", *OPEC Review*, Winter.

人見 和美 (ひとみ かずみ)

電力中央研究所 社会経済研究所

星野 優子 (ほしの ゆうこ)

電力中央研究所 社会経済研究所