

我が国のサービス産業のエネルギー効率

本 間 聡

1. はじめに
2. 先行研究
3. 分析方法とデータ
4. DEAの分析結果
5. 製造業のエネルギー効率との比較
6. おわりに

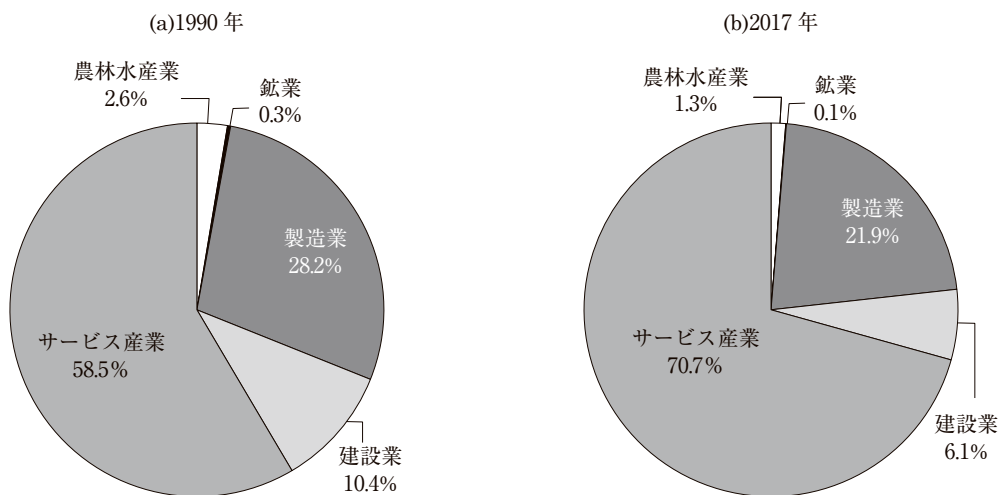
1. はじめに

一般に、一国の経済が発展するに従って、就業人口や国民所得でみた経済の中心が第1次産業から第2次産業を経て第3次産業へシフトすることはベティ=クラークの法則として広く知られている。日本経済ももちろん例外ではなく、経済の軸足は製造業からサービス産業へとシフトしていることは周知の事実である¹⁾。図1(a)と(b)は1990年と2017年における我が国の産業構造を示したものである。この18年間で、政府サービスを除くGDPに占める製造業のシェアは28.2%から21.9%に低下したのに対して、サービス産業のシェアは58.5%から70.7%へと拡大している。一方、図2(a)と(b)は企業・事業所他部門における1990年度と2017年度のエネルギー消費のシェアを示したものである。企業・事業所他部門とは、産業部門（製造業、農林水産業、鉱業、建設業）と業務他部門（サービス産業）の合計である。図からわかるように、サービス産業のエネルギーが企業・事業所他部門に占めるエネルギー消費のシェアは1990年度の19.4%から2017年度の25.4%まで拡大している。エネルギー消費と二酸化炭素（CO₂）排出量はほぼ連動しているが、CO₂排出量でも、電気・熱配分後ベースで産業部門と業務他部門の合計排出量の中で製造業が1990年度の73.1%から2017年度の62.1%へとシェアを低下させているのに対して、サービス産業は20.5%から33.4%へとシェアを増加している（図3(a)(b)）。

今後も製造業が我が国のエネルギー消費の中心であることは間違いないが、日本経済の軸足がす

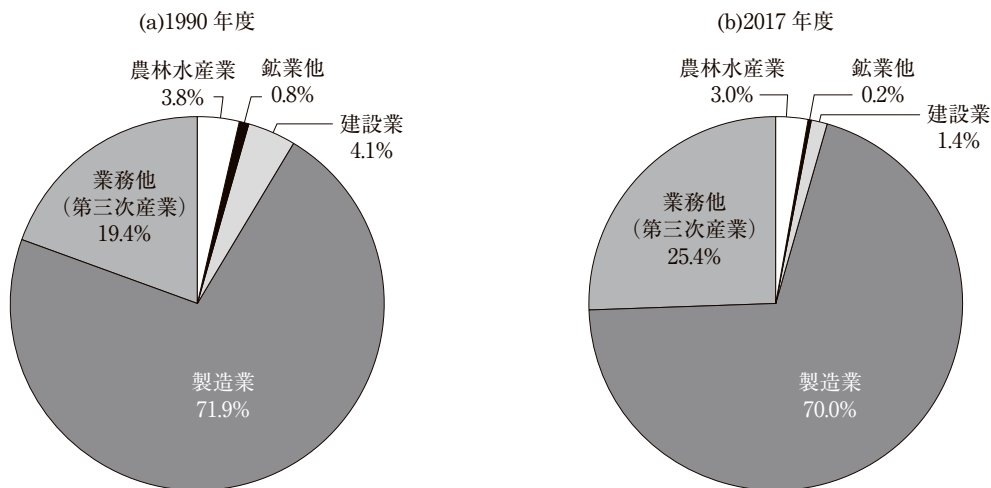
1) 本稿では森川（2014）にならって、サービス産業を第3次産業と同じ意味で用いる。分析の対象としている具体的な部門については3.2節のデータ構築の説明を参照。

図1 我が国の産業構造



注) 産業部門の中での構成比を示し、政府サービスは含まない。
出所) 内閣府「国民経済計算」から筆者作成。

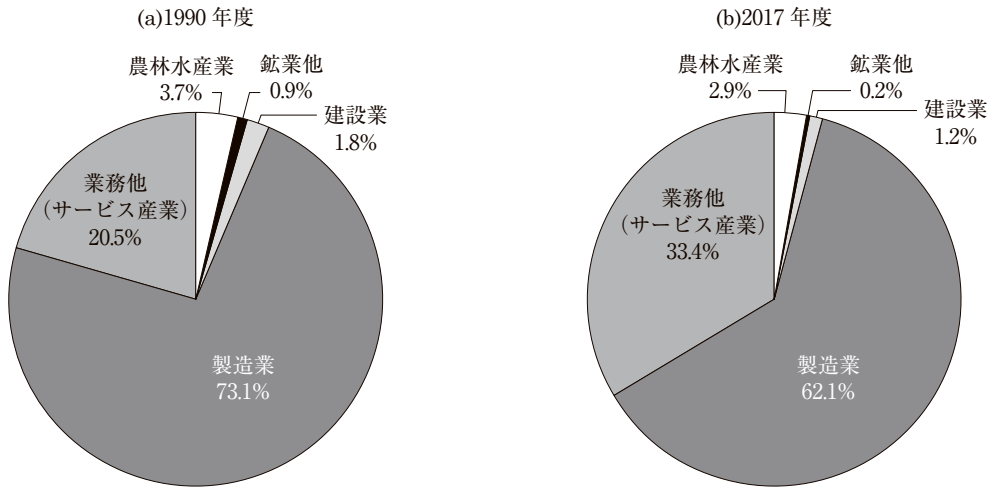
図2 企業・事業所他部門におけるエネルギー消費シェア



出所) 経済産業省「エネルギー白書2019」から筆者作成。

でに製造業からサービス産業にシフトしていることや2020年から世界的な地球温暖化対策であるパリ協定がスタートすることを考慮すれば、製造業だけでなくサービス産業においてもエネルギー効率を向上させることが今後、政策課題として重要性を増すと考えられる。

図3 産業・業務他部門における二酸化炭素排出シェア



出所) 国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス」から筆者作成。

本稿の目的は、包絡分析法 (data envelopment analysis, DEA) を用いて、エネルギー以外の生産要素 (労働や資本) を考慮して、サービス産業の全要素エネルギー生産性 (total-factor energy efficiency, TFEE) を評価することである。また、サービス産業内で経済とエネルギーのデータの対応が可能な卸売・小売業についても TFEE を評価する。

我が国のエネルギー効率を都道府県別に分析した研究では、全部門のエネルギー効率を比較した Honma and Hu (2008, 2009, 2014a, 2018), 橋本・福山 (2017), 製造業に焦点を当てた本間 (2015, 2018), 大塚 (2016), などがあるが、筆者の知る限り、エネルギー・環境を考慮に入れて サービス産業の効率性を都道府県別に評価した研究は Goto et al. (2014) を除いてほとんどないようである。前述のように、成熟した先進国経済は一般に製造業からサービス産業に産業構造の軸足が移ることを考慮すれば、我が国のサービス産業のエネルギー効率を明らかにしておくことは重要な意義があると考えられる。なお、本稿でエネルギー消費量に焦点を当てる理由は、都道府県別の CO₂ 排出量も本稿でデータ源として用いた経済産業省の「都道府県別エネルギー消費統計」から得られるが、この数値は事業者の CO₂削減努力だけでなく、電力会社の CO₂排出原単位の変化にも影響を受けてしまう。そのため、「都道府県別エネルギー消費統計」の CO₂排出量を地域間で比較することは避けた方がよいと考えられるからである²⁾。

本稿の構成は以下の通りである。第2節では、サービス産業のエネルギー効率に関連する先行研究について述べる。第3節では、本稿で用いられるエネルギー効率評価の手法とデータの構築が説

2) 戒能 (2006), 13ページ。

明される。第4節では、サービス産業部門におけるエネルギー効率の分析結果について述べる。第5節では、製造業のエネルギー効率を分析した本間（2018）の結果も援用して、製造業とサービス産業とエネルギー効率の関係を考察する。第6節はまとめである。

2. 先行研究

製造業は一国の経済においてエネルギー消費の中心であることから、エネルギー効率の実証分析において、Miketa and Mulder (2005), Mukherjee (2008), Oggioni et al. (2011), Xiaoli et al. (2014), 本間 (2015, 2018), などこれまで多くの研究がなされてきた。また、サービス産業と製造業など他の産業部門とのエネルギー効率を比較した研究として、日本国内の17産業部門を対象とした Honma and Hu (2013), 中国国内の第1次産業, 第2次産業, 第3次産業を対象とした Bian et al. (2016) がある。前者は日本国内の17産業部門, 後者は中国国内の第1次産業, 第2次産業, 第3次産業のエネルギー効率をそれぞれ評価し, 当然ながらサービス産業・第3次産業は製造業・第2次産業よりもエネルギー効率的であるという結果を示している。

サービス産業に対して、エネルギー効率の分析やエネルギー政策策定に関する議論は、これまで製造業ほどには盛んではなかったと思われる。Martínez and Silveira (2012) はその理由として、製造業と比較してサービス産業内の各部門の異質性が大きいことや、詳細なデータや情報が不足していることをあげている。とはいえ、サービス産業のエネルギー効率に関しては、以下のような実証分析が行われてきた。

Schleich (2009) はドイツ商業・サービス部門2,848社のアンケート調査を用いて、エネルギー効率化の障害として、エネルギー消費に関する情報の不足、スタッフの時間不足、組織内の優先度設定、インセンティブの不一致 (split incentive)³⁾ といった要因が統計的に有意であることを示している。また、Mairet and Decellas (2009) はフランスにおけるサービス部門のエネルギー需要決定要因を Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) アプローチを用いて分解し、サンプル期間である1995年から2006年までのエネルギー消費の拡大はサービス部門の経済成長が主要因である一方、産業構造の変化と生産性の改善が一定の歯止めをかけていることを示している。そして、暖房、電力、空調、温水、調理のサブ部門に関して詳細な分析を行っている。Martínez and Silveira (2012) はスウェーデンのサービス産業19部門を対象にエネルギー集約度と DEA によるエネルギー

3) インセンティブの不一致の一例として、オーナー・テナント問題 (landlord/tenant dilemma) がある。これは、空調などで省エネ機器導入の恩恵を受けるのは電気料金を支払うテナントであるのに対して、投資費用を負担するオーナーはメリットが少ないので省エネ機器の導入に消極的になる現象である。こうした現象は、いうまでもなく、プリンシパル-エージェント問題 (principal-agent problem) の一種である。くわしくは IEA (2007) を参照。

効率を分析して、1993-2008年にエネルギー効率が上昇していることを明らかにしている。Martínez (2013) も同じ期間のスウェーデンのサービス産業19部門を対象に Malmquist 生産性指数とパネル分析を適用して、エネルギー税、投資、労働生産性がエネルギー効率に正の影響を与えることを示している。Lin and Wang (2015) は共和分分析を用いて、中国の商業部門のエネルギー消費に対して GDP と都市化が正の影響を与える一方、労働生産性とエネルギー価格が負の影響を与えることを示している。

本稿と同じようにエネルギー効率を評価した研究として、以下のものがあげられる。Fang et al. (2013) は台湾における4つのサービス部門のエネルギー効率を評価して、5-18%の投入を削減する余地があること、当該部門の対 GDP 比と資本—労働比率がエネルギー効率と正の関係があることを示している。また、Wang and Lin (2018) は non-radial directional distance function を用いて中国の商業部門に対してエネルギー・CO₂排出効率を評価し、中国の商業部門は低効率でエネルギー削減の余地が大きいが、年率3.8%でそのパフォーマンスを改善していることを明らかにしている。

我が国のサービス産業のエネルギー効率に関する重要な先行研究として、Morikawa (2012) と Goto et al. (2014) があげられる⁴⁾。Morikawa (2012) は人口密度のような都市構造とサービス産業のエネルギー効率との関係を個票データの分析によって明らかにしている。分析結果は、産業の違いをコントロールした上で市町村人口密度が2倍になるとエネルギー原単位（売上高あたりエネルギー消費量）が12%低くなることを示している。Goto et al. (2014) は、投資による技術革新を考慮に入れて、生産効率と環境効率からなる統合的効率指標を提案し、製造業と非製造業の効率性を都道府県別に評価している。分析の主な目的は環境規制による技術革新が企業の競争力を向上させるというポーター仮説 (Porter and Linde, 1995) が我が国の製造業で成立することを示すことであり、この目的のために製造業との比較のために非製造業の効率性も計測されている。分析の結果は、ポーター仮説は製造業では成立し、非製造業では成立していないと主張している。ただし、データ源の都合から分析期間が2002年、2005年、2008年の3期に限られている。

以上のように、国内外でサービス産業を対象にエネルギー効率を扱った実証分析はある程度の蓄積はなされているが、製造業に関する研究と比較して豊富であるとはいえない⁵⁾。特に、我が国のサービス産業のエネルギー効率をある程度長い期間にわたって地域別に評価した研究は、筆者が知る限りないようである。第1節で述べたように、製造業に代わってサービス産業が日本経済の中心を占めていることと2020年からのパリ協定のスタートを考慮すれば、国内サービス業のエネルギー

4) Morikawa (2012) が加筆修正された日本語バージョンとして森川 (2014, 第4章) がある。

5) なお、エネルギーや環境は考慮せずに、我が国のサービス産業における通常の生産性を分析した研究としては加藤 (2007) や Fukao (2010)、森川 (2014, ただし第4章は除く) を参照。

効率を都道府県別に評価しておくことは重要な意義があると考えられる。

3. 分析方法とデータ

3.1 分析方法

エネルギー効率の分析では、労働や資本のようなエネルギー以外の生産要素を考慮するために、ノンパラメトリックな効率性評価の手法である包絡分析法 (data envelopment analysis, DEA) が広く用いられてきた (Mardani et al., 2017; Sueyoshi et al., 2017)⁶⁾。DEA は Charnes et al. (1978) によって考案された線形計画法に基づく効率性評価手法である。本稿では、サービス産業および卸売・小売業のエネルギー効率を評価する指標として、Hu and Wang (2006) で提唱され、Honma and Hu (2008, 2009, 2013, 2014ab), 本間 (2015, 2016ab) 等で応用された全要素エネルギー生産性 (total-factor energy efficiency, TFEE) が用いられる⁷⁾。

本稿の分析でエネルギー効率の評価で用いられる TFEE の概要を説明しよう。各地域 i ($i = 1, \dots, I$) が n 種類の生産要素を投入して、 m 種類の生産物を生産しているとしよう。地域 i の投入と産出をそれぞれベクトル $\mathbf{x}_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni})^T$, $\mathbf{y}_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{mi})^T$ で表すことにする。このとき、各地域の投入ベクトルと産出ベクトルをそれぞれ縦に並べれば、すべての地域の生産活動は、 $n \times I$ の投入データ行列

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1I} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nI} \end{pmatrix}$$

および $m \times I$ の産出データ行列

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1I} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mI} \end{pmatrix}$$

で与えられる。規模に関して収穫可変を仮定し、生産可能集合を $P = \{\mathbf{x}, \mathbf{y} | \mathbf{x} \geq \lambda \mathbf{X}, \mathbf{y} \leq \lambda \mathbf{Y}, \lambda \geq 0, \mathbf{e}\lambda = \mathbf{1}\}$ と定義しよう。ただし、 \mathbf{e} はすべての要素が 1 である $I \times 1$ のベクトルである。凸制約 $\mathbf{e}\lambda = \mathbf{1}$ は規模に関して収穫可変を仮定するために加えられる。

6) エネルギー効率の実証分析では DEA と代替的な手法として、パラメトリックな評価手法である確率フロンティア分析も用いられてきた。我が国を分析対象に含む研究としては例えば、Honma and Hu (2014a), Hu and Honma (2019) を参照。

7) くわしくは本間 (2016a) を参照。

各地域 i に関して、線形計画問題

$$\begin{aligned}
 & \min \theta_i \\
 & \text{s.t. } \theta_i \mathbf{x}_i - \mathbf{X}\lambda \geq 0 \\
 & \mathbf{y}_i - \mathbf{Y}\lambda \leq 0 \\
 & \mathbf{e}\lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

を解くことによって、地域 i の軸的効率性 (radial efficiency) θ_i が得られる。ここで、 θ_i は産出 \mathbf{y}_i を維持しながら n 種類の投入を一律に縮小していったときの最小の縮小率を意味する。このときの削減分 $(1-\theta_i)\mathbf{x}_i$ は軸的調整 (radial adjustment) とよばれる。さらに、産出を維持したままで一部の投入要素（例えば、エネルギー）に関してのみ削減の余地がある場合は、この削減分はスラック調整 (slack adjustment) とよばれる。エネルギーが e 番目の投入であるとすれば、各地域 i におけるエネルギーの軸的調整は $(1-\theta_i)x_{ei}$ で与えられる。エネルギーのスラック調整を x_{ei}^s とすれば、産出を減少させることなしに実現可能なエネルギーの削減量は $(1-\theta_i)x_{ei} + x_{ei}^s$ となり、目標エネルギー投入は $x_{ei}^* = x_{ei} - [(1-\theta_i)x_{ei} + x_{ei}^s]$ で与えられる。以上により、地域 i のエネルギー効率は

$$TFEE_i = 1 - \frac{(1-\theta_i)x_{ei} + x_{ei}^s}{x_{ei}} \tag{2}$$

と定義される。

定義から明らかなように、 $TFEE_i$ は 0 と 1 の間をとり、1 に近いほど望ましいといえる。 $(1-\theta_i)x_{ei} = x_{ei}^s = 0$ であるとき、そのときに限り、 $TFEE_i$ は 1 をとる。 $TFEE_i = 1$ であるとき、その地域はエネルギー効率的であると評価される。 $TFEE_i < 1$ であるとき、エネルギー非効率的であると評価される。このとき、(2) から明らかなように実際のエネルギー消費に $1-TFEE$ を乗じた分だけ産出の減少を伴わずにエネルギーを削減可能であることを意味する。

3.2 データ

本稿では、サービス産業とその中の卸売・小売業を分析の対象とする。用いられたデータの出所は以下の通りである。実質付加価値、労働、資本ストックのデータは独立行政法人経済産業研究所の「都道府県別産業生産性 (R-JIP) データベース2017」(以下、「R-JIP データベース」)を用いた⁸⁾。ただし、労働と資本は質を考慮するために、労働はマンアワー (就業者数×就業者1人あたり

8) 「R-JIP データベース」については、徳井ほか (2013ab)、徳井編 (2018) を参照。

表1 基本統計量

部門	変数名	平均	標準偏差	最小	最大	標本数
第3次産業	付加価値	5,417,883	292,033	820,714	68,510,465	940
	労働	1,493,731	61,798	283,270	12,869,949	940
	資本	19,972,123	797,602	813,761	142,607,188	940
	エネルギー	47,255	1,787	7,215	387,047	940
卸売・小売業	付加価値	1,339,305	79,524	135,313	17,692,908	940
	労働	384,577	15,034	62,713	3,178,949	940
	資本	1,255,394	59,945	208,048	14,023,269	940
	エネルギー	7,914	260	1,438	62,510	940

注) 付加価値の単位は100万円、労働の単位は(就業者数×就業者1人あたり年間総労働時間×労働質指数÷1000)、資本の単位は100万円×資本の質指数、エネルギーの単位はTJである。

出所) 独立行政法人経済産業研究所「都道府県別産業生産性(R-JIP)データベース2017」、経済産業省「都道府県別エネルギー消費統計」から筆者作成。

年間総労働時間÷1000)と労働の質指数(都道府県別産業別, 2000年=1.000)の積、資本に関しては実質純資本ストック(2000年価格, 100万円)と資本の質指数(全国共通, 2000年=1.000)の積をそれぞれ使用した。経済データはすべて2000年価格である。

エネルギー・データは、経済産業省の「都道府県別エネルギー消費統計」のデータを使用した。ただし、「R-JIP データベース」は暦年ベースであるのに対して「都道府県別エネルギー消費統計」は年度ベースであるため、 $E_{it}^{CY} = (1/4)E_{it-1}^{CY} + (3/4)E_{it}^{CY}$ と加工して年ベースとした。ここで、 E_{it}^{CY} と E_{it}^{CY} はそれぞれ地域*i*の*t*年と*t*年度のエネルギー消費である。本稿では公務を除く第3次産業を分析対象とした。具体的には、付加価値、労働、資本は「R-JIP データベース」の「電気・ガス・水道業、卸売・小売業、金融・保険業、不動産業、運輸・通信業、サービス業(民間、非営利)」の合計を、エネルギーは「都道府県別エネルギー消費統計」で業務他(第3次産業)のエネルギー消費から公務のエネルギー消費を控除した値をそれぞれ用いた。また、サービス産業の中で、「R-JIP データベース」と「都道府県別エネルギー消費統計」と対照が可能で、部門としても重要な卸売・小売業をサービス産業全体とともに分析対象とした。なお、「都道府県別エネルギー消費統計」ではエネルギー転換部門の事業者(電気事業者、都市ガス事業者および熱供給事業者)が燃料(例えば、石炭や石油)を投入し、転換したエネルギー(例えば、電力)は最終消費部門(企業・事業所他や家庭)に計上される⁹⁾。

2011年3月に発生した東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所事故の影響を避けるために、分析期間は1991年から2010年までとした。基本統計量は表1の通りである。なお、この期間において卸売・小売業がサービス産業に占めるシェアは、付加価値では24.7%、エネルギーでは16.7%であった。

9) くわしくは資源エネルギー庁「都道府県別エネルギー消費統計の推計方法とその変更について」(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/review.html)を参照。

4. DEA の分析結果

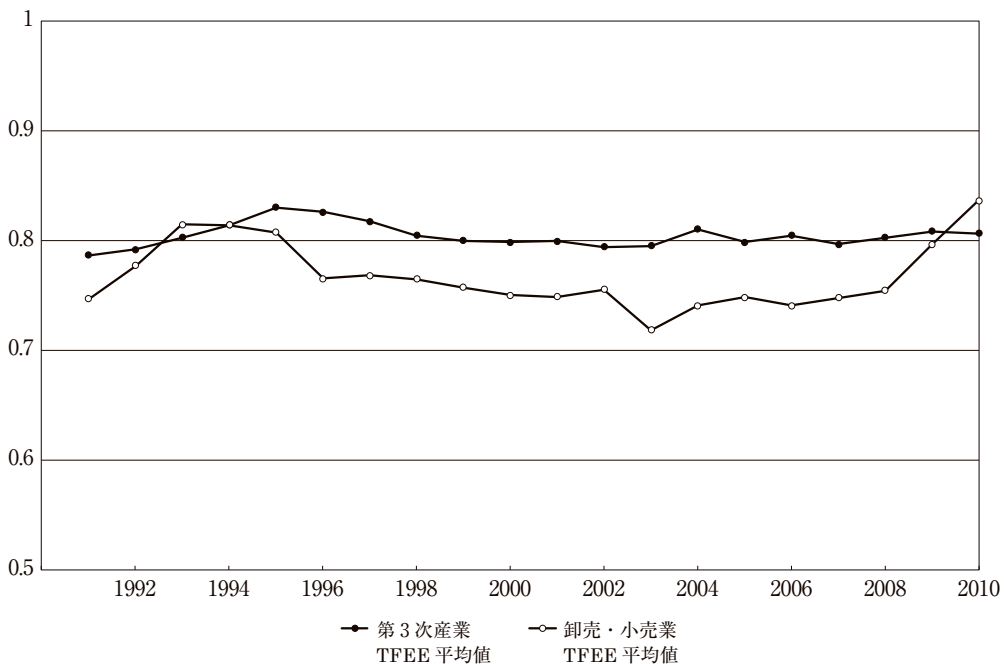
4.1 エネルギー効率の結果

図4と図5は、分析期間である1991年から2010年までの第3次産業と卸売・小売業のエネルギー効率の全体の傾向をみるために、サービス産業TFEEと卸売・小売業TFEEの平均値と標準偏差をそれぞれ示したものである。サービス産業TFEEは1991年の0.787から2010年の0.807とわずかに改善している。一方、卸売・小売業TFEEは1991年の0.747から1993年の0.815まで改善した後でいったん悪化しているが、2010年には0.836と比較的大きく改善している。

サービス産業よりも卸売・小売業の方が概してTFEEの平均値が低く、標準偏差が大きい。これは、卸売・小売業だけでみた場合と比較して、サービス業全体では個別部門の効率性のばらつきが相殺されてなだらかになっているためであると考えられる。

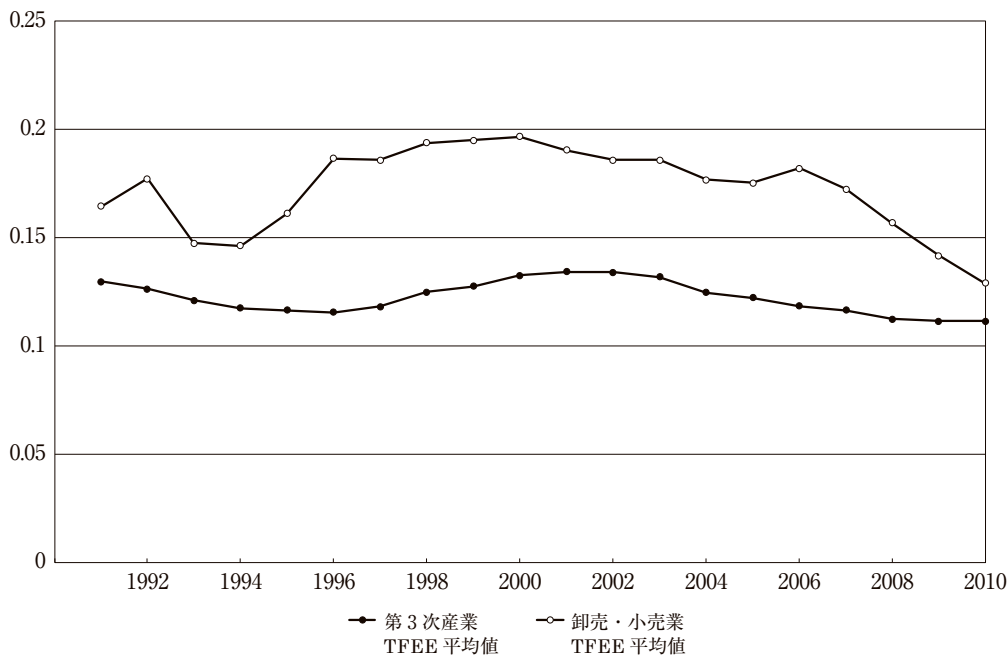
表2と表3はそれぞれサービス産業と卸売・小売業の平均TFEEを5年ごとと全期間で示したものである。全期間を通じての平均TFEEは、サービス産業全体が0.805、卸売・小売業が0.768である。このことは、直感的には平均的な地域ではサービス産業では19.5%（ $= 1 - 0.805$ ）、卸売・

図4 第3次産業と卸売・小売業のTFEE平均値の推移



出所) 筆者作成。

図5 第3次産業と卸売・小売業のTFEE標準偏差の推移



出所) 筆者作成.

小売業では23.2% (= 1 - 0.768) 程度エネルギーを削減する余地があることを意味している。

サービス産業では、山形県、東京都、新潟県、福井県、鳥取県、徳島県の6地域が全期間にわたってエネルギー効率的 (TFEEが1) である¹⁰⁾。全期間の平均で最も非効率的な地域は茨城県 (全期間の平均TFEEは0.583, 以下同様)、埼玉県 (0.618)、兵庫県 (0.622) である。卸売・小売業では、東京都、鳥取県、福岡県の3地域が全期間にわたってエネルギー効率的である。全期間の平均で最も非効率的な地域は千葉県 (0.494) で、それに埼玉県 (0.498) 北海道 (0.506) が続く。

10) Goto et al. (2014) でも東京都 (ただし、2008年の経営効率を除く) と鳥取県の非製造業は2002年、2005年、2008年の各年で効率的である。

表2 サービス産業の平均TFEE

都道府県	1991年-1995年 平均	1996年-2000年 平均	2001年-2005年 平均	2006年-2010年 平均	1991年-2010年 平均
北海道	0.581 (47)	0.572 (46)	0.545 (47)	0.585 (47)	0.571 (47)
青森	0.704 (38)	0.733 (35)	0.735 (32)	0.741 (32)	0.728 (35)
岩手	0.803 (21)	0.833 (19)	0.808 (21)	0.777 (25)	0.805 (21)
宮城	0.746 (32)	0.738 (34)	0.729 (33)	0.752 (30)	0.741 (33)
秋田	0.855 (16)	0.865 (17)	0.848 (18)	0.828 (19)	0.849 (18)
山形	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
福島	0.663 (42)	0.674 (42)	0.669 (42)	0.701 (41)	0.676 (41)
茨城	0.610 (46)	0.565 (47)	0.565 (45)	0.590 (46)	0.583 (46)
栃木	0.839 (19)	0.873 (15)	0.860 (16)	0.859 (15)	0.858 (16)
群馬	0.729 (34)	0.739 (33)	0.710 (35)	0.742 (31)	0.730 (34)
埼玉	0.653 (43)	0.631 (43)	0.555 (46)	0.631 (45)	0.618 (45)
千葉	0.614 (45)	0.626 (44)	0.654 (43)	0.692 (42)	0.646 (43)
東京	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
神奈川	0.680 (40)	0.688 (40)	0.692 (39)	0.706 (40)	0.692 (40)
新潟	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
富山	0.864 (14)	0.869 (16)	0.870 (15)	0.876 (11)	0.870 (15)
石川	0.987 (8)	0.981 (7)	0.924 (10)	0.858 (16)	0.938 (9)
福井	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
山梨	0.902 (12)	0.919 (11)	0.907 (12)	0.870 (13)	0.900 (11)
長野	0.765 (28)	0.741 (32)	0.737 (31)	0.726 (37)	0.742 (32)
岐阜	0.849 (18)	0.838 (18)	0.789 (23)	0.756 (29)	0.808 (20)
静岡	0.674 (41)	0.685 (41)	0.673 (41)	0.669 (43)	0.675 (42)
愛知	0.704 (39)	0.725 (36)	0.707 (36)	0.734 (35)	0.717 (37)
三重	0.787 (22)	0.805 (22)	0.803 (22)	0.769 (27)	0.791 (23)
滋賀	0.765 (26)	0.799 (24)	0.815 (20)	0.759 (28)	0.785 (24)
京都	0.787 (23)	0.762 (29)	0.725 (34)	0.707 (39)	0.745 (31)
大阪	0.765 (27)	0.778 (27)	0.745 (29)	0.772 (26)	0.765 (28)
兵庫	0.640 (44)	0.606 (45)	0.604 (44)	0.637 (44)	0.622 (44)
奈良	0.917 (10)	0.909 (12)	0.872 (13)	0.840 (18)	0.885 (14)
和歌山	0.958 (9)	0.966 (8)	0.981 (8)	0.915 (8)	0.955 (8)
鳥取	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
島根	0.851 (17)	0.831 (20)	0.853 (17)	0.871 (12)	0.851 (17)
岡山	0.757 (30)	0.761 (30)	0.742 (30)	0.780 (24)	0.760 (29)
広島	0.726 (35)	0.721 (37)	0.701 (38)	0.733 (36)	0.720 (36)
山口	0.740 (33)	0.776 (28)	0.779 (25)	0.795 (22)	0.772 (27)
徳島	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
香川	0.908 (11)	0.923 (10)	0.872 (14)	0.867 (14)	0.893 (12)
愛媛	0.770 (25)	0.800 (23)	0.788 (24)	0.817 (20)	0.794 (22)
高知	1.000 (1)	0.905 (13)	0.983 (7)	1.000 (1)	0.972 (7)
福岡	0.706 (37)	0.712 (38)	0.677 (40)	0.724 (38)	0.705 (39)
佐賀	0.858 (15)	0.899 (14)	0.916 (11)	0.893 (10)	0.891 (13)
長崎	0.773 (24)	0.783 (25)	0.758 (28)	0.794 (23)	0.777 (26)
熊本	0.714 (36)	0.698 (39)	0.701 (37)	0.739 (33)	0.713 (38)
大分	0.750 (31)	0.821 (21)	0.834 (19)	0.849 (17)	0.814 (19)
宮崎	0.892 (13)	0.950 (9)	0.935 (9)	0.902 (9)	0.920 (10)
鹿児島	0.806 (20)	0.761 (31)	0.763 (27)	0.799 (21)	0.782 (25)
沖縄	0.758 (29)	0.782 (26)	0.764 (26)	0.735 (34)	0.760 (30)
平均	0.805	0.809	0.800	0.804	0.805

注) エネルギー効率的 (TFEE = 1) である地域の平均TFEEは太字の斜体で示してある。平均TFEEの右のカッコ内の数字は当該期間における47都道府県内の順位を示す。
出所) 筆者作成。

表3 卸売・小売業の平均TFEE

都道府県	1991年-1995年 平均	1996年-2000年 平均	2001年-2005年 平均	2006年-2010年 平均	1991年-2010年 平均
北海道	0.635 (36)	0.430 (45)	0.421 (46)	0.538 (45)	0.506 (44)
青森	0.704 (33)	0.695 (28)	0.698 (28)	0.794 (24)	0.723 (27)
岩手	0.905 (17)	0.872 (19)	0.820 (18)	0.762 (25)	0.840 (21)
宮城	0.810 (23)	0.713 (27)	0.655 (31)	0.614 (39)	0.698 (28)
秋田	0.774 (25)	0.799 (22)	0.812 (21)	0.863 (17)	0.812 (24)
山形	0.588 (43)	0.642 (31)	0.625 (33)	0.742 (28)	0.649 (35)
福島	0.565 (46)	0.498 (43)	0.539 (41)	0.622 (38)	0.556 (42)
茨城	0.522 (47)	0.414 (47)	0.421 (46)	0.478 (47)	0.459 (47)
栃木	0.712 (32)	0.637 (33)	0.641 (32)	0.694 (33)	0.671 (32)
群馬	0.615 (38)	0.557 (39)	0.576 (37)	0.650 (35)	0.600 (39)
埼玉	0.597 (41)	0.451 (44)	0.438 (45)	0.508 (46)	0.498 (45)
千葉	0.571 (45)	0.419 (46)	0.441 (44)	0.546 (44)	0.494 (46)
東京都	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
神奈川県	0.829 (21)	0.590 (38)	0.572 (38)	0.632 (37)	0.656 (34)
新潟	0.611 (40)	0.532 (41)	0.544 (40)	0.603 (41)	0.572 (40)
富山	0.720 (30)	0.796 (23)	0.815 (20)	0.849 (20)	0.795 (25)
石川	0.923 (14)	0.950 (11)	0.936 (9)	0.865 (16)	0.919 (10)
福井	0.592 (42)	0.672 (29)	0.722 (26)	0.732 (29)	0.680 (29)
山梨	0.735 (28)	0.929 (13)	0.950 (8)	0.868 (15)	0.871 (16)
長野	0.640 (35)	0.519 (42)	0.486 (43)	0.564 (42)	0.552 (43)
岐阜	0.724 (29)	0.658 (30)	0.597 (34)	0.703 (31)	0.670 (33)
静岡	0.691 (34)	0.615 (35)	0.568 (39)	0.639 (36)	0.628 (38)
愛知	0.949 (12)	0.904 (16)	0.819 (19)	0.849 (20)	0.880 (15)
三重	0.612 (39)	0.614 (36)	0.595 (35)	0.702 (32)	0.631 (37)
滋賀	0.633 (37)	0.641 (32)	0.657 (30)	0.657 (34)	0.647 (36)
京都	0.827 (22)	0.766 (26)	0.809 (22)	0.901 (10)	0.826 (22)
大阪	1.000 (1)	0.929 (13)	0.842 (17)	0.896 (11)	0.917 (11)
兵庫	0.955 (10)	0.620 (34)	0.579 (36)	0.560 (43)	0.679 (30)
奈良	0.936 (13)	1.000 (1)	0.868 (15)	0.850 (19)	0.914 (12)
和歌山	0.787 (24)	0.938 (12)	0.964 (7)	1.000 (1)	0.922 (9)
鳥取	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
島根	0.736 (27)	0.819 (21)	0.886 (13)	0.935 (8)	0.844 (20)
岡山	0.715 (31)	0.604 (37)	0.664 (29)	0.708 (30)	0.673 (31)
広島	1.000 (1)	0.786 (24)	0.759 (24)	0.848 (22)	0.848 (19)
山口	0.573 (44)	0.539 (40)	0.532 (42)	0.611 (40)	0.564 (41)
徳島	0.980 (8)	1.000 (1)	0.978 (5)	0.957 (7)	0.979 (5)
香川	0.994 (7)	0.911 (15)	0.737 (25)	0.754 (26)	0.849 (18)
愛媛	0.856 (18)	0.886 (18)	0.925 (11)	0.912 (9)	0.895 (14)
高知	1.000 (1)	0.995 (7)	0.911 (12)	0.857 (18)	0.941 (8)
福岡	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)	1.000 (1)
佐賀	0.969 (9)	0.979 (8)	0.976 (6)	0.876 (14)	0.950 (6)
長崎	0.950 (11)	0.997 (6)	1.000 (1)	1.000 (1)	0.987 (4)
熊本	0.772 (26)	0.773 (25)	0.704 (27)	0.753 (27)	0.750 (26)
大分	0.910 (16)	0.961 (10)	0.875 (14)	0.896 (11)	0.910 (13)
宮崎	0.917 (15)	0.971 (9)	0.927 (10)	0.970 (6)	0.946 (7)
鹿児島	0.847 (20)	0.853 (20)	0.765 (23)	0.806 (23)	0.818 (23)
沖縄	0.853 (19)	0.899 (17)	0.848 (16)	0.879 (13)	0.870 (17)
平均	0.792	0.761	0.742	0.775	0.768

注) エネルギー効率的 (TFEE = 1) である地域の平均TFEEは太字の斜体に示してある。平均TFEEの右のカッコ内の数字は当該期間における47都道府県内の順位を示す。
出所) 筆者作成。

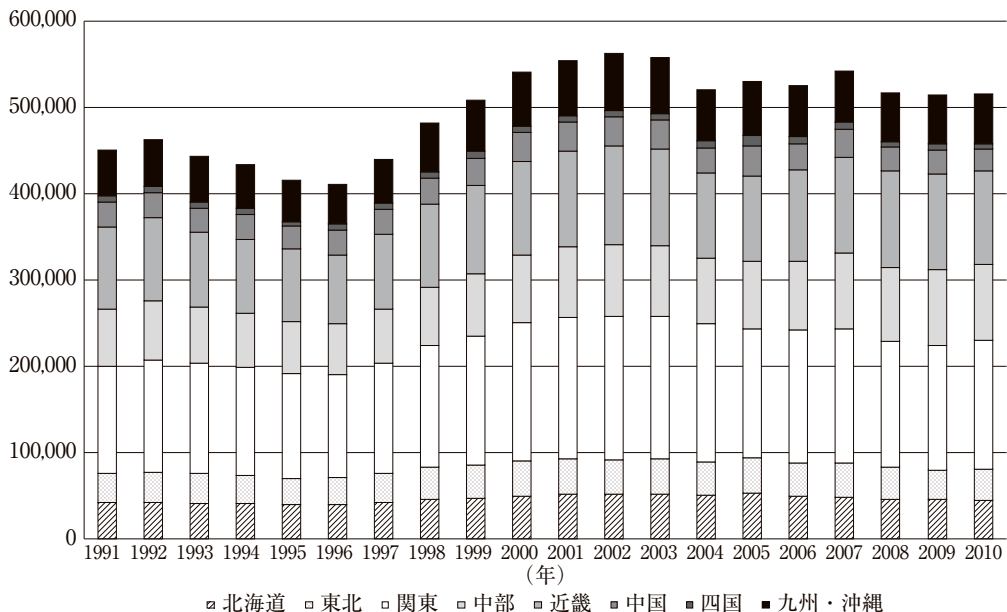
4.2 削減可能なエネルギー消費量

図6と図7は、非効率率がすべて解消されたと仮定した場合に、第3次産業と卸売・小売業において削減可能なエネルギー消費量の推移を地域別に示したものである。図6から、第3次産業では削減余地は関東、近畿、中部の各地方の順で大きく、おおむね経済規模に比例していることがわかる。削減可能なエネルギーは平均すると年間50万TJ程度である。これは広島県の全部門の最終エネルギー消費（2016年度で477,457TJ）と同程度である。一方、図7からは卸売・小売業では2007年までおおむね削減余地は増加傾向を示しているが、その後減少している。

図8は、サービス産業において、付加価値の減少を伴わずに削減可能なエネルギー消費を都道府県別に示したものである。ただし、削減可能なエネルギー消費は実際のエネルギー消費量×TFEEとして算出した値の年平均値である。削減余地が最も大きな地域は北海道（46,594TJ、以下、カッコ内の数値は削減可能なエネルギー消費を表す）で、大阪府（40,725TJ）、神奈川県（39,603TJ）、埼玉県（35,542TJ）、愛知県（34,634TJ）と大都市圏の地域が続く。表2でエネルギー効率的であった山形県、東京都、新潟県、福井県、鳥取県、徳島県の6都県は、削減可能なエネルギー消費はゼロである。

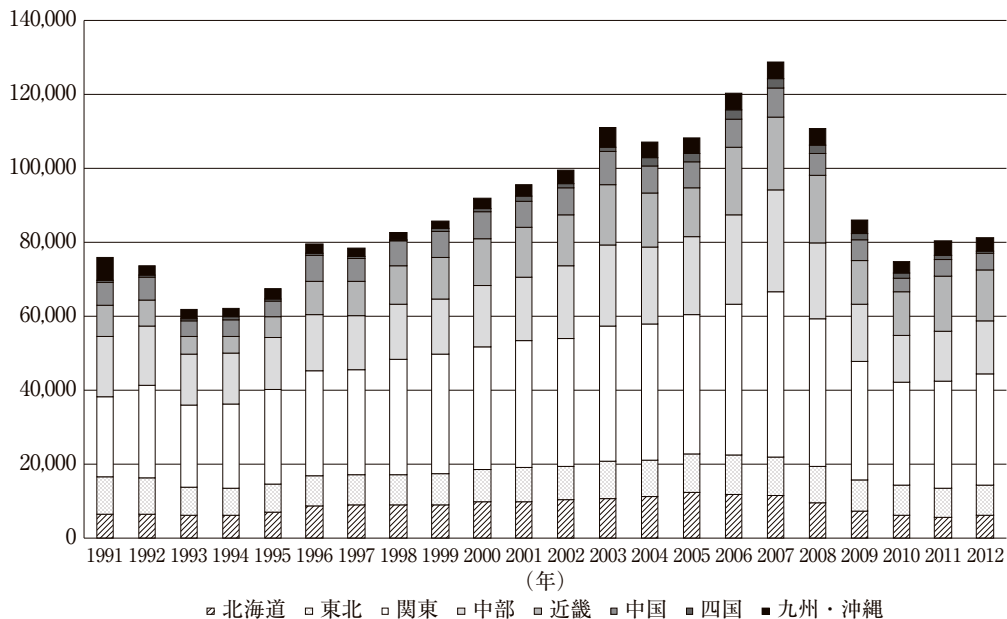
図9は、同様に卸売・小売業について削減可能なエネルギー消費を都道府県別に示したものである。削減余地が最も大きな地域はここでも北海道（9,028TJ）で、それに埼玉県（8,570TJ）、千葉県（7,475TJ）、神奈川県（6,297TJ）、茨城県（4,846TJ）が続く。サービス産業の場合と同様に、エネ

図6 第3次産業において削減可能なエネルギー消費量の推移（単位 TJ）



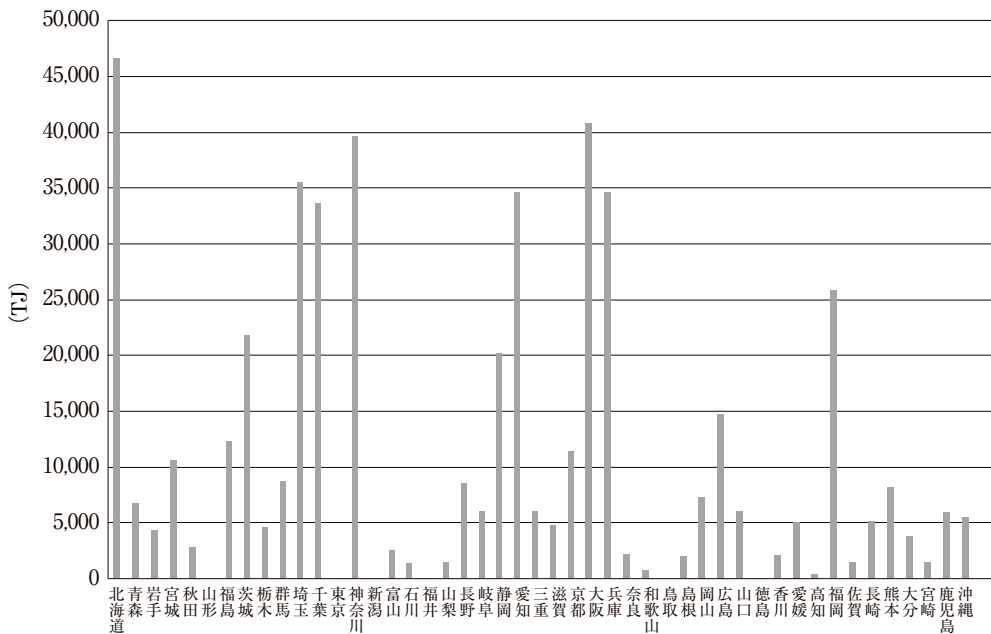
出所) 筆者作成。

図7 卸売・小売業において削減可能なエネルギー消費量の推移 (単位 TJ)



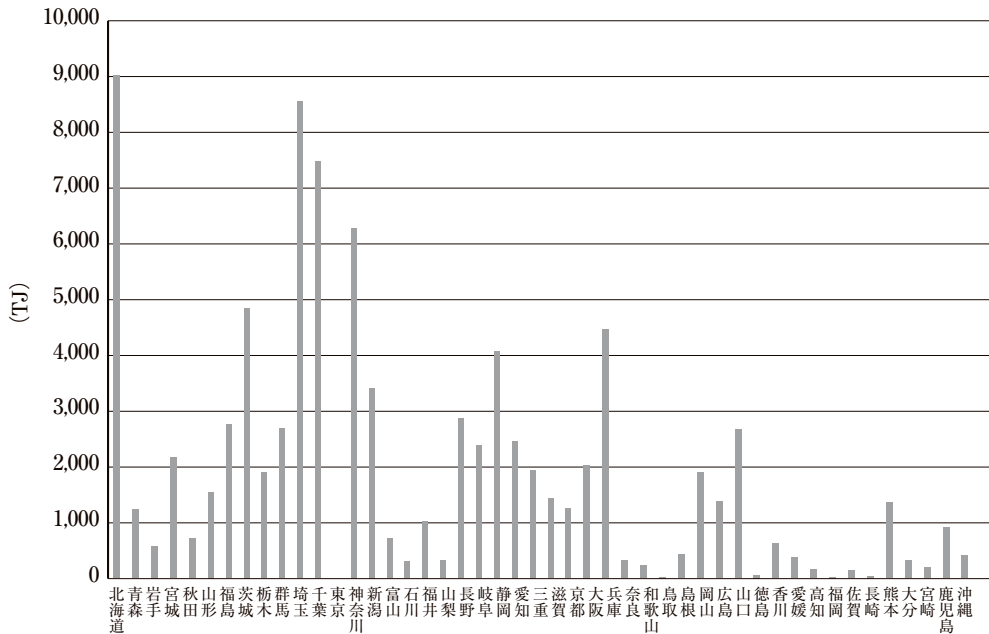
出所) 筆者作成.

図8 第3次産業における削減可能なエネルギー消費 (1991年-2010年平均値)



出所) 筆者作成.

図9 卸売・小売業における削減可能なエネルギー消費（1991年-2010年平均値）



出所) 筆者作成。

ルギー効率的であった東京都，鳥取県，福岡県の3地域はエネルギー消費の削減余地はゼロとなる。以上から，エネルギー消費の削減可能性が大きい地域は，もともと実エネルギー消費量が多い都市部の地域に集中していることから，これらの地域で重点的な省エネルギー政策を行うことが望ましいといえる。

5. 製造業のエネルギー効率との比較

次に，製造業とサービス産業のエネルギー効率の関係を考察しよう。ここでは，製造業のエネルギー効率として，本稿と同じ手法を製造業に用いた本間（2018）で得られた都道府県別の製造業TFEEを援用する。表4は製造業TFEEとサービス産業TFEEとの相関係数を5年ごとに示したものである。両者の間にはほとんど相関がみられないといってよいが，2006年-2010年の5年間は相関係数が0.265となっており，やや低い正の相関があるといえるかもしれない。

図10は，47都道府県の製造業とサービス産業のエネルギー効率がどのように分布しているのかを示すために，両者をプロットしたものである。ただし，視覚的に容易に理解できるように，以下のように定義した相対TFEEを図示している。各地域*i*の1991年から2010年までの製造業TFEEとサービス産業TFEEの平均値をそれぞれ \overline{TFEE}_i^m と \overline{TFEE}_i^{3rd} とすると，製造業TFEEとサービ

表4 製造業TFEEとサービス産業TFEEの相関(1991年-2010年)

期間	相関係数
1991年-1995年	0.005
1995年-2000年	-0.077
2001年-2005年	0.167
2006年-2010年	0.265
1991年-2010年(全期間)	0.114

出所) 筆者作成.

ス産業TFEEの相対TFEEをそれぞれ

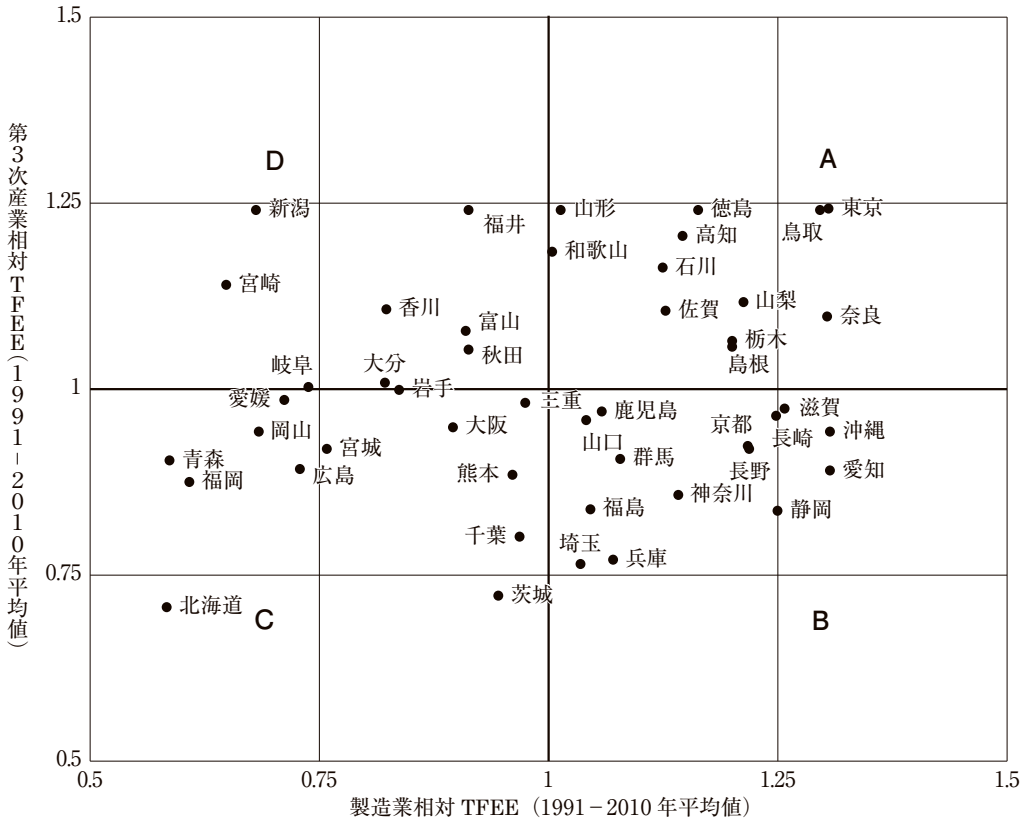
$$\overline{RTFEE}_i^m = \overline{TFEE}_i^m / (\sum_{j=1}^{47} \overline{TFEE}_j^m / 47) \quad (3)$$

$$\overline{RTFEE}_i^{3rd} = \overline{TFEE}_i^{3rd} / (\sum_{j=1}^{47} \overline{TFEE}_j^{3rd} / 47) \quad (4)$$

とする。(3)と(4)は製造業とサービス産業に関して平均を1として各TFEEの値を正規化したことを意味する。図10で、領域Aにプロットされた12都県は製造業もサービス産業も相対的にエネルギー効率的であることを示している。東京都以外は地方部の県である。これらの地域は、領域B~Dの地域の模範となるといえる。領域Bにプロットされた14府県は製造業のエネルギー効率は平均を上回っているが、サービス産業のエネルギー効率は平均を下回っている地域である。愛知県や神奈川県のように都市部の地域と沖縄県や長崎県のように地方部の地域が混在している。これらの地域では、製造業よりもサービス産業にエネルギー効率改善の重点がおかれるべきであるといえる。領域Cにプロットされた12道府県は製造業もサービス産業も相対的にエネルギー非効率的であることを示している。ただし、領域Cの中でも福岡県や岡山県のように非効率の程度が相対的に製造業の方がサービス産業よりも大きい地域と、千葉県や茨城県のようにその逆の地域が含まれている。それぞれエネルギー効率改善の重点が異なるといえる。領域Dにプロットされた9県は、領域Bとは逆に製造業のエネルギー効率は平均を上回っているが、サービス産業のエネルギー効率は平均を下回っている地域である¹¹⁾。ここに属する9地域は地方部の県である。これらの地域では、領域Bの場合とは逆に、サービス産業よりも製造業にエネルギー効率改善の重点がおかれるべきであるといえる。

11) 図9では判別しづらいが岐阜県と岩手県は領域Dに含まれる。

図10 製造業相対TFEEと第3次産業の相対TFEEの比較（1991-2010年平均値）



出所) 筆者作成.

6. おわりに

本稿では、1991年から2010年までの47都道府県におけるサービス産業およびその中の卸売・小売業のエネルギー効率を分析した。ノンパラメトリックな効率性評価手法である包絡分析法（DEA）を用いて、エネルギー以外の生産要素（労働，資本）を考慮した全要素生産性エネルギー効率（TFEE）を評価した。分析の結果、わかったことは以下の通りである。

- (1) 1991年から2010年の20年間で、サービス産業TFEEは0.787から0.807へとわずかに改善し、卸売・小売業TFEEも0.747から0.836と改善した。
- (2) 全期間を通じての平均TFEEは、サービス産業全体が0.805、卸売・小売業が0.768であった。このことは、直感的には平均的な地域ではサービス産業では19.5%（ $=1-0.805$ ）、卸売・小売業では23.2%（ $1=0.768$ ）程度エネルギーを削減する余地があることを意味している。

- (3) サービス産業において、全期間を通じてエネルギー効率的であったのは（TFEEが1であったのは）、山形県、東京都、新潟県、福井県、鳥取県、徳島県の6地域であった。一方、卸売・小売業では、全期間を通じてエネルギー効率的なのは東京都、鳥取県、福岡県の3地域であった。
- (4) 47都道府県の中で、付加価値の減少を伴わずに削減可能なエネルギー消費が最も大きな地域は、サービス産業では北海道（46,594TJ。以下、カッコ内の数値は削減可能なエネルギー消費を表す）で、それに、大阪府（40,725TJ）、神奈川県（39,603TJ）、埼玉県（35,542TJ）、愛知県（34,634TJ）が続いた。卸売・小売業でも削減余地が最大の地域は北海道（9,028TJ）で、それに埼玉県（8,570TJ）、千葉県（7,475TJ）、神奈川県（6,297TJ）、茨城県（4,846TJ）が続いた。
- (5) サービス産業で削減可能なエネルギーは全国で年間50万TJ程度であった。これは広島県の全部門最終エネルギー消費（2016年度で477,457TJ）に匹敵する。
- (6) サービス産業と製造業のエネルギー効率の比較では、両部門とも効率的であった地域は東京都以外すべて地方部の県であった。逆に両部門とも非効率的な地域はすべて地方部の県である。

上述のように、エネルギー消費の削減余地が大きい地域のほとんどは都市部であった。サービス産業自体が都市部で発展していることを考慮すれば、都市部でのエネルギー効率化が重要であるといえる。この点では、2010年4月にスタートした東京都のキャップ・アンド・トレード型排出権取引制度は地方自治体主体の政策として評価できる。ただし、翌年4月にスタートした埼玉県の同制度以降、追随する地方自治体は現れない。井口（2017）で指摘されるように、その背景として、東京都のように温室効果ガス直接排出量が少なく、予算や人員に余裕がある自治体がほかにないからだとはいえるかもしれない。けれども、都市部においてはサービス産業からの温室効果ガス排出量が多いことから、大規模な商業施設やオフィスの省エネルギー政策に対して、自治体主導の取り組みと国のバックアップが望まれるといえる。

2008年の省エネルギー法改正によって、対象範囲が原油換算で年間エネルギー使用量1,500klの工場・事業場単位から事業者単位となった。この改正によって、コンビニエンスストアなどのフランチャイズチェーンも省エネ法の対象となった。この点では、フランチャイズ等で全国展開をしている企業では、地域を超えた本部ないしホールディングカンパニーの役割も重要であるといえる。

最後に、本稿の分析の限界を述べておきたい。第1に、サービス産業における効率性評価の困難さである。サービス産業が製造業と異なる点として、その産出であるサービスには、情報の非対称性・質の評価の困難性、生産と消費の同時性、家庭内サービス生産と代替可能性の高さという特徴があることがあげられる（森川、2016）。本稿との関連では特に「生産と消費の同時性」が重要である。多くのサービス産業が製造業のように在庫を保有したり生産物を遠方に販売したりすることができない以上、森川（2014、58ページ）で指摘されているように、「立派な店舗を構えて優秀な従業員を配置していても、客が来店しなければ付加価値はゼロであり、したがって生産性が需要の動向によって大きく影響される」ことになる¹²⁾。需要密度の地理的な違いは、都市部と地方部では著

しく異なると考えられる。この点で、本稿におけるエネルギー効率の評価は限界を有していることは否めない。ただし、需要密度やそのほかの与件が類似した地域間の比較では一定の意義を有すると考えられる。

第2に、効率性の決定要因については、明らかにできなかった点である。TFEEを被説明変数、人口密度、気温などを説明変数としてパネルトビット分析を試みたが、有意な結果は得られなかった。以上の点については今後の課題としたい。

付記：本稿は科研費基盤研究C（19K01659）の助成を受けた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 井口正彦（2017）「気候変動ガバナンスにおける政策波及：東京都排出量取引制度の事例から」（『京都産業大学論集。社会科学系列』、34巻）55-73ページ。
- 大塚章弘（2016）「日本の製造業における地域エネルギー効率の実証分析—産業集積の影響を中心に—」（『岡山大学経済学会雑誌』第47巻第3号）185-207ページ。
- 戒能一成（2006）「都道府県別エネルギー消費統計の試算結果の分析I（2006年度版）」（<http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/energy/pdf/X0515cha1.pdf>）。
- 加藤篤行（2007）「サービスセクター生産性に関するサーベイ」*RIETI Policy Discussion Paper Series*, 07-P-005.
- 徳井丞次・牧野達治・深尾京司・宮川努・荒井信幸・新井園枝・乾文彦・川崎一泰・児玉直美・野口尚洋（2013a）「都道府県別産業生産性（R-JIP）データベースの構築と地域間生産性格差の分析」（『経済研究』第64巻第3号）218-239ページ。
- 徳井丞次・牧野達治・児玉直美・深尾京司（2013b）「地域間の人的資本格差と生産性」（RIETI ディスカッションペーパー13-J-058）1-43ページ。
- 徳井丞次編（2018）『日本の地域別生産性と格差 R-JIP データベースによる産業別分析』東京大学出版会。
- 橋本敦夫・福山博文（2017）「温室効果ガス排出量の抑制を考慮した都道府県の生産性評価」（『日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌』、第60巻、1-19ページ。
- 本間聡（2015）「我が国の製造業における電力消費のエネルギー効率」（『中央大学経済研究所年報』、第46号）297-317ページ。
- 本間聡（2016a）『環境効率の実証分析』東海大学出版部。
- 本間聡（2016b）「エネルギー効率と経済成長」中央大学経済研究所経済政策研究会編『経済成長と経済政策』中央大学出版部、第8章。
- 本間聡（2018）「国内製造業におけるエネルギーの利用と効率性に関する地域間の違い」飯島大邦編『格差と経済政策』中央大学出版部、第8章。
- 森川正之（2014）『サービス産業の生産性分析』日本評論社。
- 森川正之（2016）『サービス立国論』日本経済新聞出版社。
- Bian, Y., M. Hu, Y. Wang, and H. Xu (2016), "Energy efficiency analysis of the economic system in China during 1986-2012: A parallel slacks-based measure approach". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 990-998.

- Charnes, A. C., W. W. Cooper, and E. Rhodes (1978), "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, 2, pp. 429-444.
- Fang, C. Y., J. L. Hu, and T. K. Lou (2013). "Environment-adjusted total-factor energy efficiency of Taiwan's service sectors". *Energy Policy*, 63, pp. 1160-1168.
- Fukao, K. (2010). "Service sector productivity in Japan: The key to future economic growth. Research Institute of Economy, Trade and Industry". *RIETI Discussion Paper*, 10-P-007.
- Goto, M., A. Otsuka, and T. Sueyoshi (2014), "DEA (Data Envelopment Analysis) assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries". *Energy*, 66, pp. 535-549.
- Honma, S. and J. L. Hu (2008), "Total-factor energy efficiency of regions in Japan". *Energy Policy*, 36, pp. 821-833.
- Honma, S. and J. L. Hu (2009), "Total-factor energy productivity growth of regions in Japan", *Energy Policy*, 37, pp. 3941-3950.
- Honma, S. and J. L. Hu (2013), "Total-factor energy efficiency for sectors in Japan", *Energy Sources Part B*, 8, pp. 130-136.
- Honma, S., and J. L. Hu (2014a). "A panel data parametric frontier technique for measuring total-factor energy efficiency: An application to Japanese regions". *Energy*, 78, pp. 732-739.
- Honma, S. and J. L. Hu (2014b), "Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis". *Applied Energy*, 119, pp. 67-78.
- Honma, S., and J. L. Hu (2018), "A meta-stochastic frontier analysis for energy efficiency of regions in Japan". *Journal of Economic Structures*, 7 (1), 21.
- Hu, J. L. and S. C. Wang (2006), "Total-factor energy efficiency of regions in China". *Energy Policy*, 34 (17), pp. 3206-3217.
- Hu, J. L. and S. Honma (2019), "A Meta Stochastic Frontier Analysis of Industry-level Energy Efficiency in OECD Countries". *Journal of Economics and Management*, 15 (2), pp. 171-220.
- International Energy Agency (2007), *Mind the Gap — Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency*. OECD/IEA, Paris.
- Lin, B., and A. Wang (2015), "Estimating energy conservation potential in China's commercial sector". *Energy*, 82, pp. 147-156.
- Mairet, N., and F. Decellas (2009), "Determinants of energy demand in the French service sector: A decomposition analysis". *Energy Policy*, 37 (7), pp. 2734-2744.
- Mardani, A., E. K. Zavadskas, D. Streimikiene, A. Jusoh, and M. Khoshnoudi (2017), "A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, pp. 1298-1322.
- Martínez, C. I. P., and S. Silveira (2012), "Analysis of energy use and CO₂ emission in service industries: Evidence from Sweden". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (7), pp. 5285-5294.
- Martínez, C. I. P. (2013), "An analysis of eco-efficiency in energy use and CO₂ emissions in the Swedish service industries". *Socio-Economic Planning Sciences*, 47 (2), pp. 120-130.
- Miketa, A., and P. Mulder (2005), "Energy productivity across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors: Patterns of growth and convergence". *Energy Economics*, 27, pp. 429-453.
- Morikawa, M. (2012), "Population density and efficiency in energy consumption: An empirical analysis of service establishments". *Energy Economics*, 34 (5), pp. 1617-1622.
- Mukherjee, K. (2008), "Energy use efficiency in U.S. manufacturing: A nonparametric analysis". *Energy Economics*, 30, pp. 76-96.

- Oggioni, G., R. Riccardi, and R. Toninelli (2011), "Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis". *Energy Policy*, 39 (5), pp. 2842-2854.
- Porter, M. E., and C. van der Linde (1995), "Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship". *Journal of economic perspectives*, 9 (4), pp. 97-118.
- Schleich, J. (2009), "Barriers to energy efficiency: A comparison across the German commercial and services sector". *Ecological Economics*, 68 (7), pp. 2150-2159.
- Sueyoshi, T., Y. Yuan, and M. Goto (2017), "A literature study for DEA applied to energy and environment". *Energy Economics*, 62, pp. 104-124.
- Wang, A. and B. Lin (2018), "Dynamic change in energy and CO2 performance of China's commercial sector: A regional comparative study". *Energy policy*, 119, 113-122.
- Xiaoli, Z., Y. Rui, and M. Qian (2014), "China's total factor energy efficiency of provincial industrial sectors". *Energy*, 65, pp. 52-61.

（東海大学政治経済学部教授 博士（経済学））