

日米電気事業の経営効率比較分析 —パラメトリックアプローチの応用—

A Comparative Analysis of Inefficiency Between U.S. and Japanese Electric Utilities: An Application of Parametric Approach

キーワード: 技術効率性, 配分効率性, 費用関数

服部 徹 筒井 美樹

本稿は、パラメトリックに推定した費用関数をもとに、日米電気事業の経営効率性を推計し、比較分析したものである。経営効率性は技術効率性と配分効率性とに分けて推計し、それらが総費用や要素需要にもたらす影響について分析を行った。データには、DEAを用いて日米電気事業者の経営効率性の計測・比較を行った北村・筒井(1997)と同じものを利用し、異なる手法によって同じ様な結論が得られるか否かについても確認した。その結果、日米の電気事業者の技術条件が同じであることを前提とすれば、日本の電気事業者は米国の電気事業者に比べて高い技術効率性を達成しており、その差は統計的に有意であることが明らかになった。また、配分効率性に関しては、日本では資本と労働の過剰使用の傾向が認められ、米国では労働の過剰使用および資本の過小使用の傾向が認められた。技術非効率と配分非効率によって生じる追加的費用の割合は、米国が日本に比べて高くなっているが、配分非効率だけをみると日本が米国に比べて高くなっている。本稿のこのような分析結果は DEA による分析結果ともほぼ整合的であった。

- はじめに
- 効率性分析の枠組みと手法
 - 効率性分析における二大アプローチ
 - 本稿で採用する手法
- モデルと推定方法およびデータ
 - 費用関数モデル
 - 日米比較のための準備
 - 使用データの概要
- 推計結果
 - 配分非効率指標
 - 技術非効率指標
 - 経営非効率が費用に及ぼす影響
 - 技術条件の相違と効率性比較
- まとめと今後の課題

1. はじめに

わが国の電気事業は、諸外国と比べて割高と指摘される電気料金引き下げのため一層の効率化を求められている。国際的に遜色のない料金水準達成のために、具体的には現状の2割程度の引き下げを要請した元通産大臣の発言もあった¹。こうした議論の背景には、わが国の電気事業経営が、諸外国と比べて非効率であるとの漠然とした認識があるものと思われる。

このような現状において必要とされるのは、理

論とデータに裏付けられた効率性分析と、それに基づいた国際比較である。そして、そのような分析・比較を通じて、わが国の電気事業が他国と比較して本当に非効率な経営を行っているのかどうか、またその改善によってどれだけの費用削減が見込めるのか、どのようにすれば非効率性は改善できるのか等について、詳細な検討を行う必要がある。

これまでに、そのような分析を行った研究は少なかったが、ごく最近の試みとして、日米の電気事業者の経営効率性を Data Envelopment Analysis (DEA) と呼ばれる分析手法を用いて計

¹ 日本経済新聞 1997年1月23日。

測・比較した北村・筒井(1996, 1997)の研究がある²。これらの研究では、日本の電気事業者は米国の電気事業者と比べ、より高い技術効率を達成していること、また配分の非効率性に改善の余地があることなどが示された。こうした分析結果は、日本の電気料金が諸外国と比べて高いとしても、日本の電気事業者が効率面で相対的に劣っているからではないことを示唆している。

本稿では、この結論を改めて検討するため、北村・筒井(1997)が利用したデータを用い、DEAとは異なる手法によって同様の分析を行った。また同時に、異なる2つの手法による計測結果の整合性の確認(methodology cross-checking)も試みた。まず2節で、簡単に効率性分析の枠組みと手法について紹介し、3節では、本稿で採用する費用関数モデルとその推定方法、およびデータについて説明する。4節で推計結果の検討を行い、非効率性が総費用や要素投入に及ぼす影響を分析しながら、北村・筒井(1997)のDEAによる計測結果との比較を行う。さらに、日米電気事業者の技術条件が同じという前提を置かない場合の推計結果についても考察する。最後の5節で本稿の結果をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 効率性分析の枠組みと手法

企業の経営非効率の計測に関する分析の枠組みは、Farrell(1957)によって提供された。この枠組みにおいては、企業の投入産出関係に生産(または費用)フロンティアが存在すると考える。生産フロンティアは、所与の要素投入量において実現可能な最大の産出量として定義され、一方、費用フロンティアは所与の産出量と要素価格において実現可能な最小費用として定義される³。効率的な企業はこうしたフロンティア上で経営を行っているものと考えれば、非効率性はフロンティアから

どの程度乖離しているかによって捉えられる。DEAも本稿で採用するアプローチも、こうした枠組みを共有している。

2.1 効率性分析における二大アプローチ

Farrellの枠組みに従えば、非効率性を計測するには、まず生産(費用)フロンティアを推計することが必要である。この推計するフロンティアの形状に関して制約を置くか否かで、効率性分析における様々な手法は、パラメトリック法とノンパラメトリック法に大別される。

フロンティアの形状を決定するのは、分析対象となる企業群が有する技術条件である。経済学では、技術条件が経済理論と整合的な関数形を持つものと仮定する。そのような関数のパラメータを推定することで、具体的なフロンティアに関する情報を得るアプローチがパラメトリック法である。一方、フロンティアにそのような特定の関数を仮定しないアプローチがノンパラメトリック法である。本研究で採用する手法は前者のアプローチであり、DEAは後者のアプローチの代表的な手法である。

パラメトリック法では、フロンティアの形状を経済理論に沿ってある程度制約することにより、経済学的な解釈が可能になる一方で、その関数形が真の技術条件を表現していなければ、推計上のバイアスにつながるという問題がある。また、費用最小化や利潤最大化といった企業行動をあらかじめ仮定しなければならないという制約がある。

パラメトリック法とノンパラメトリック法では、一般に分析ツールも異なる。パラメトリック法は主に計量経済学的手法を用いるのに対し、ノンパラメトリック法は線形計画法などを用いる。パラメトリック法は統計的な仮説検定が比較的容易に行えるという利点を持つ一方で、実際的な問題として、多重共線性や分散不均一などといった、統計的な問題に直面することが多い。さらに、小サンプルでは分析が不可能な場合もあり、比較的多くのサンプル数が必要となる。一方、ノンパラメトリック法においては、統計的な諸問題に煩わされることは

² さらに最新のDEAによる研究としてはGoto and Tsutsumi(1998)がある。

³ これらのフロンティアは双対関係にあり、技術条件に関して同じ情報を持つことが知られている。

ないものの、統計的誤差(ノイズ)を考慮しないため、企業の管理の及ばない要因で費用が上昇したとしても、それが非効率性として計測されるという問題が生じる。DEA の場合には、特異なサンプルによってフロンティアが大きく影響を受けることなどに注意しなければならない⁴。

このように、パラメトリック法とノンパラメトリック法は、それぞれに利点と問題点をもつものであり、どちらが優位ということではなく、基本的には相互補完的なものと考えられる。したがって、あるサンプルを対象として効率性分析を行い、より説得力のある政策的インプリケーションを導くには、異なる手法による計測結果の整合性の確認(cross-checking)が重要になるといえよう⁵。

2.2 本稿で採用する手法

パラメトリックなアプローチには、非効率性を特定の分布形を仮定した誤差項に帰着させる Stochastic Frontier Analysis (SFA) のような手法もあるが⁶、本稿で採用するのは、フロンティアからの乖離である非効率性を、あらかじめいくつかのパラメータに帰着させ、これらの追加的なパラメータを含んだ費用関数⁷の推定値に基づいて分析を行う手法である。これは、Lau and Yotopoulos (1971) に始まり、Atkinson and Halvorsen (1984, 1986, 1990) や Atkinson and Cornwell (1993, 1994a, 1994b, 1998) によって確立されてきた手法である。特に、Atkinson and Cornwell (1994a) が提案したパネルデータによる分析では、誤差項の分布に特別の仮定を置くことなく、比較的少ない計算コストで技術効率指標と配分効率指標の一致推定量を得ることが出来る。また、関数形については、パラメトリックなアプローチに欠けていると

いわれるフレキシビリティをある程度高めるため、代替の弾力性などに関して先験的な制約の緩いトランスログ型の関数を採用した。

本稿で採用する手法を用いて、わが国の電気事業における配分の非効率性を推計した先行研究に小林(1996)がある。この研究では、1978年から1985年における火力発電所と原子力発電所を対象にしている。本稿での分析は日米電気事業の経営全体を対象としており、利用するデータは1983年から1993年という比較的最近のものである。そこで本稿では、わが国の電気事業の配分の非効率性に関して小林(1996)の結果との比較も行う。

3. モデルと推定方法およびデータ

本節では、本稿で採用する費用関数(一般化費用関数)モデルについて説明する⁸。費用関数モデルを採用するのは、電気事業が規制産業であり、生産量を所与として取り扱うのが適切と考えるからである。

3.1 費用関数モデル

経営非効率性は、フロンティアからの乖離の仕方によって技術非効率性と配分非効率性に分解できる⁹。北村・筒井(1997)と同様に、本研究における費用関数モデルでもこの2つのタイプの非効率性を推定する。

規制企業である電気事業者が、生産量 y と投入要素価格 $p_j, j = 1, \dots, n$ を所与として、総費用を最小化する要素投入量を選択していると仮定するならば、投入要素間の限界技術代替率はその価格比に等しいという費用最小化の一階の条件が成立していなければならない。この条件が成立している時に、企業は配分効率的であるという¹⁰。しかしながら、外生的に与えられた要素価格に対して、何らかの要因で非最適な要素配分を選択し

⁴ もちろん、特異なサンプルの存在はパラメトリックに推定する費用関数にも多少の影響を及ぼすが、ノイズとして考慮される分、その影響は小さくなる。

⁵ このような cross-checking を行っている例として Pollitt (1995) がある。

⁶ SFA による配分非効率性の分析には推計上の課題も多く、実証研究の例も少ない。興味ある読者は Bauer(1990) を参照のこと。

⁷ これは、一般化費用関数とも呼ばれている。

⁸ 利潤関数モデルについては Lovell and Sickles (1983)、Atkinson and Cornwell (1998) を参照のこと。

⁹ この分解は、Farrell 分解と呼ばれている。

¹⁰ 「価格効率的」とも言う。

た場合、(フロンティア上の要素配分を行っていたとしても)同一生産量を実現できる最小費用に比べると、余計なコストがかかってしまう。これは配分非効率と呼ばれ、最適拡張経路からの乖離に相当する。

配分非効率が存在する可能性を考えるために、本稿のモデルでは、各国の電気事業者は生産量 y およびシャドー要素価格ベクトル $\mathbf{p}^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*)$ を所与として、総シャドー費用 C^* を最小化するものと仮定する。ここで要素投入量を $x_j, j = 1, \dots, n$ とすれば、総シャドー費用は $C^* = \sum_j p_j^* x_j$ と書ける。すなわち、本来は要素の市場価格比に限界代替率を一致させて費用を最小化するところを、何らかの要因で市場価格とは異なるシャドー要素価格の比に限界代替率を一致させて、費用を最小化していると考えるのである。

他方、生産量および投入要素の配分を所与とした時、最も効率的な水準を超える(すなわち最小ではない)要素投入を行っていた企業には、技術非効率が存在する。これは一律に余分な要素投入を行っているということであり、理論上はフロンティアからの乖離として表される。実際の投入量に対する最小投入量の割合 $b (0 < b \leq 1)$ を技術非効率の指標とすれば、実際の要素投入量と生産量の関係は、(新古典派)生産関数 f と要素投入ベクトル $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ を用いて、 $y = f(b\mathbf{x})$ と表すことができる。

シャドー費用関数は、シャドー総費用を最小化するものとして次のように定義できる。

$$C^* \left(y, \frac{\mathbf{p}^*}{b} \right) = \min_{b\mathbf{x}} \left[\left(\frac{\mathbf{p}^*}{b} \right) (b\mathbf{x}) \mid f(b\mathbf{x}) = y \right] \quad (1)$$

$$= \left(\frac{1}{b} \right) C^*(y, \mathbf{p}^*)$$

最後の等号はシャドー価格に関する一次同次性による。つまり、このモデルでは技術非効率性を生産水準や投入要素の配分とは独立に総費用を

増加させる要因として、費用関数をシフトさせるパラメータで表すことができる。

シャドー価格は、一般的には現実の(市場の)価格に依存するシャドー価格関数 $s_j(p_j)$ として考えるが、ここでは、Lau and Yotopolous (1971) に倣い、 $p_j^* = k_j p_j$ として近似する。この時、費用最小化の一階の条件式は、

$$\frac{MP_j}{MP_l} = \frac{k_j p_j}{k_l p_l} \quad j \neq l; j, l = 1, \dots, n \quad (2)$$

となる。ここで MP_j は要素 j の限界生産物で、左辺は要素 j と l の限界技術代替率である。もし k_j と k_l が等しければ、上の式は通常のコスト最小化条件と一致する。 $k_j < k_l$ ($k_j > k_l$) であれば、要素 j は要素 l に対して過剰(過小)使用といえる。したがって k_j は、要素間の相対的な配分の効率性を表していると考えられる。

ただし、実際に観察可能であるのは、現実の総費用 $C = \sum_j p_j x_j, j = 1, \dots, n$ と要素コストシェア $s_j = p_j x_j / C, j = 1, \dots, n$ である。シャドー要素コストシェアは $s_j^* = k_j p_j x_j / C^*$ であることから、実際の要素投入量は $x_j = s_j^* C^* / k_j p_j$ と書ける¹¹。したがって現実の費用関数体系は、シャドー費用関数を用いて次のように書き換えられる。

$$C = C^* \sum_j s_j^* k_j^{-1} \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$s_j = \frac{s_j^* k_j^{-1}}{\sum_j s_j^* k_j^{-1}} \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

このような費用関数体系を推定するにあたって、シャドー費用関数 C^* の関数形に、投入要素間の代替の弾力性に関して先験的な制約の緩いトランスログ型を用いる。すなわち(3)式は、対数変

¹¹ 投入要素 j の需要関数 x_j は、シャドー費用関数にシェパードのレンマを適用して得ることができる。

換した後、技術非効率指標 $\ln(1/b)$ が定数項に含まれること(定数項と技術非効率指標が識別不能になること)に注意すれば、推定式となる現実費用関数は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \ln C &= \gamma_0 + \gamma_y \ln y + \frac{1}{2} \gamma_{yy} (\ln y)^2 \\ &+ \sum_j \gamma_{jy} \ln y \ln(k_j p_j) + \sum_j \gamma_j \ln(k_j p_j) \quad (5) \\ &+ \frac{1}{2} \sum_j \sum_l \gamma_{jl} \ln(k_j p_j) \ln(k_l p_l) \\ &+ \ln \left\{ \sum_j k_j^{-1} \left[\gamma_j + \sum_l \gamma_{jl} \ln(k_l p_l) + \gamma_{jy} \ln y \right] \right\} \\ &\quad j, l = 1, \dots, n \end{aligned}$$

ただし、ここではパラメータの対称性 ($\gamma_{jl} = \gamma_{lj}$) を仮定している。また、各要素の現実シェア方程式は、(5)式を各シャドー要素価格で対数微分すれば、

$$s_j = \frac{\left[\gamma_j + \sum_l \gamma_{jl} \ln(k_l p_l) + \gamma_{jy} \ln y \right] k_j^{-1}}{\sum_j \left[\gamma_j + \sum_l \gamma_{jl} \ln(k_l p_l) + \gamma_{jy} \ln y \right] k_j^{-1}} \quad (6)$$

$$j, l = 1, \dots, n$$

となる。

上の(5)式と(6)式からなる費用関数体系を推定するにあたり、対称性に加え、シャドー費用関数のシャドー価格に関する一次同次性を仮定する。すなわち、 $\sum_j \gamma_j = 1$, $\sum_j \gamma_{jy} = 0$, $\sum_j \gamma_{jl} = \sum_l \gamma_{jl} = \sum_j \sum_l \gamma_{jl} = 0$ という制約をおいて推定する。

最後に、各式には電気事業者の管理の及ばない変動による影響を取り除くため、通常の誤差項が加えられる。このようにして導出される費用関数とコストシェア方程式からなる方程式体系を推定することによって、効率性分析を行った。

3.2 日米比較のための準備

費用関数の推定に基づいて日米電気事業者の効率性比較をするために、非効率を表すパラメータ(非効率指標)にダミー変数を導入し、日米それぞれの非効率性を推定した¹²。ただし、同じ国の電気事業者は、同じ程度の効率性を達成しているものと仮定した上で比較する。これは、企業数が m の時、各企業別に非効率性を推定しようとするれば、 $(m-1)$ だけパラメータを追加しなければならないが、推定効率が損なわれる恐れがあるからである¹³。

まず、技術非効率指標については、先に見たように定数項と識別不能になってしまうが、日米のどちらかを 1 に基準化すれば、もう一方の相対的な技術非効率性は、定数ダミーを含めることで推定することができる¹⁴。すなわち、

$$\gamma_0^i = a_0 + hD^i \quad (7)$$

である。ただし、ここで i は国を示し、米国の場合、 $i = U$ とし、日本の場合、 $i = J$ とする。また、 D^i は $D^U = 0, D^J = 1$ のダミー変数である。

次に配分非効率指標については、

$$k_j^i = k_j + g_j D^i \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

となる。これは、日米の電気事業者がそれぞれ異なるシャドー価格に基づいて費用最小化を行っているということである。

実際に配分の非効率性を推定するには、一つの要素の指標を 1 に基準化する¹⁵。これは、現実

¹² プールデータを 2 つのグループに分けて、効率性の比較を行っている例としては、公営と私営の電気事業者の効率性比較といった研究がある (Atkinson and Halvorsen (1986))。

¹³ DEA では、個々の企業の効率性を計測することが可能であり、北村・筒井 (1997) では、日本と米国のそれぞれの平均値を計算した上で日米比較を行っている。

¹⁴ これは、パネルデータ分析における固定効果に技術非効率性を帰着させているといえる。

¹⁵ どの投入要素を基準とするかは、対数尤度に影響を与えない (Atkinson and Cornwell (1994b))。

表1 要素投入量と生産量に関する基礎統計量

	日 本				米 国			
	平均	標準偏差	最小値	最大値	平均	標準偏差	最小値	最大値
資 本 (MW)	15,511	12,686	3,605	49,492	13,982	4,581	5,457	24,750
燃 料 (10 ⁹ kcal)	130,355	130,691	9,325	534,117	118,421	48,842	29,454	250,076
労 働 (人)	15,460	10,147	5,062	40,136	13,417	4,406	2,596	20,738
販売電力量 (GWh)	55,406	50,376	9,536	204,666	43,154	16,851	13,715	85,673
資本費用 [†] (自国通貨) ^{**}	639,604	579,543	173,621	1,975,281	1,222,150	460,887	364,277	2,165,382
燃料費用 [†] (自国通貨) ^{**}	188,623	181,725	27,341	610,497	711,452	342,870	244,697	1,420,090
労働費用 [†] (自国通貨) ^{**}	166,376	120,666	53,917	433,435	478,803	210,213	67,866	851,033

[†] 費用については、1993年の統計量

^{**} 日本は百万円、米国は1000ドル

の費用関数およびコストシェア方程式が k_j に関して 0 次同次であることによる。さらに、技術非効率指標と配分非効率指標は推計期間中一定と仮定している。したがって、本稿ではシステムティックな要因によって引き起こされる非効率性を推計していると考えられる。

3.3 使用データの概要

データは、北村・筒井(1997)が用いた 1983 年から 1993 年にかけての、日本の電力会社 9 社と米国の電力会社 14 社の計 23 社を対象とするもので、すべて垂直統合型の私営電気事業者である¹⁶。生産量(Y)は電灯と電力の合計販売電力量から購入電力量を差し引いたものであり¹⁷、投入要素は、資本(K)、労働(L)、燃料(F)の 3 つである。北村・筒井(1997)では、購入電力量を投入要素としているが、本稿では、合計販売電力量から購入電力量を差し引き、投入要素としては扱わない。これは、各社が自ら発電した電力を販売した場合の効率性に焦点をあてるためである。それぞれの価格データは、各投入要素の総費用をその投入量で除したものである。投入量のデータは、資本は合計最大発電容量(MW)、燃料は熱量換算した使用燃料(10⁹kcal)、労働は従業員数(人)である。価格データは、北村・筒井(1997)と同じく

購買力平価を用いて日米間の円・ドルレートの調整を行っている。データを工夫する余地は大いに残されているが、本稿では先行的に行われた DEA による日米比較の結果との整合性を確認することを重視して、そのまま利用することに¹⁸。要素投入量および産出量のデータに関する基礎統計量は表 1 の通りである。

4. 推計結果

費用関数体系は最尤法によって推定した。費用関数体系の推定にあたっては、コストシェア方程式のうち一つを除かなければならないが、本稿では燃料のシェア方程式を除くこととした。最尤法ではどのコストシェア方程式を除くかということに結果は依存しない。

本稿で利用する要素価格のデータは各要素費用を投入量で除した単価を用いているが、これは需要と同時に決定される内生変数である。そのため、これらをそのまま用いて推定すると、同時決定バイアスの問題が避けられない。そこで、ラグをとったデータなどを操作変数として用いて要素価格を別途推定し、その推定値を用いて費用関数体系を推定した。

配分非効率指標については燃料の指標を基

¹⁶ 詳細については、北村・筒井(1997)を参照のこと。

¹⁷ 電灯と電力という 2 財に分けて推定することも可能であるが、推定パラメータの数を減らすため、また、購入電力を差し引くため、ここではそうしなかった。

¹⁸ つまり、計測結果が異なる時に、それがデータの違いから生じている可能性を排除するためである。また、日米で共通のデータの入手に制約があるのも理由の一つである。

**表 2 日米電気事業の費用関数の推定結果
(配分非効率性の制約あり)**

() 内は標準誤差

パラメータ	推定値	パラメータ	推定値
α_0	0.046376 (0.01044)	γ_{KK}	0.143692* (0.00625)
γ_y	0.897362* (0.01422)	γ_{KL}	-0.006764 (0.00609)
γ_K	0.494448* (0.00457)	γ_{KF}	-0.150455* (0.00295)
γ_L	0.133237* (0.00425)	γ_{LL}	0.029920* (0.00599)
γ_F	0.372315* (0.00385)	γ_{LF}	-0.036684* (0.00374)
γ_{yy}	-0.00746 (0.03402)	γ_{FF}	0.187139* (0.00455)
γ_{Ky}	-0.025627* (0.00458)	h	-0.056688* (0.02068)
γ_{Ly}	-0.022045* (0.00278)	k_K	1.59400 * (0.10263)
γ_{Fy}	0.047672* (0.00644)	g_K	-1.38128* (0.09542)
		k_L	1.00000
		g_L	-0.787282* (0.03722)

*有意水準 5%で棄却

準にしている($k_F = 1, g_F = 0$)。なお、全ての変数は平均値に基準化した。

4.1 配分非効率指標

まず、配分非効率性を表すパラメータ推定値に基づき、いくつかの仮説検定を行った。日米の電気事業者が、全ての投入要素について配分効率であるか否かは、 $k_L = k_K = 1$ かつ $g_L = g_K = 0$ という帰無仮説を検定すればよい。ワルド検定を行った結果、検定統計量は $\chi^2(4) = 3805.08$ となり、日米両国ともに配分効率であるという帰無仮説は棄却された。すなわち、日米両国において配分の効率性が達成されているとはいえない。また、日米それぞれについて、配分効率性が達成されているという帰無仮説(すなわち米国の場合は、 $k_L = k_K = 1$ 、日本の場合は、 $k_L + g_L = k_K + g_K = 1$)に対するワルド検定統計量は、米国で $\chi^2(2) = 14.74$ 、日本で $\chi^2(2) = 568.34$ であり、いずれも有意水準 1%で棄却された。

表 3 技術効率・配分効率性指標

		制約あり		制約なし(参考)	
		日本	米国	日本	米国
技術非効率 ¹⁾		1.000	0.945	1.000	0.961
配分非効率 ²⁾	資本	0.213	1.594	0.233	1.718
	労働	0.213	1.000	0.094	0.436

¹⁾ k_F (燃料)を1とした場合の k_K (資本)および k_L (労働)の値。すなわち、1より大きければ燃料に対して過小、1より小さければ燃料に対して過剰である。

各要素間の配分の非効率性は、それぞれの指標の推定値の比が有意に 1 と異なるか否かを検定することにより分析できる。各要素間の配分非効率性に関する仮説検定の結果をもとに、米国においては労働と燃料の間で配分効率が達成されており($k_L = 1 [= k_F]$)、日本においては、資本と労働の間で配分効率が達成されている($k_K + g_K = k_L + g_L$)という制約についてワルド検定で検定したところ、有意水準 10%で棄却できなかった($\chi^2(2) = 4.29$)。そこで、これらの制約を置いた上で費用関数体系を再推定した。各パラメータ推定値は表 2 に示したように、2 つのパラメータを除いて統計的に有意な値をとっており、推定結果はおおむね良好であった¹⁹⁾。費用関数の単調性および凹性については、ほとんどのサンプルで満たされている²⁰⁾。以下の分析は、主にこの配分効率に関する制約を置いた費用関数の推定値に基づいて行う。

配分の非効率指標の推定値は表 3 に示すとおりである。各要素の配分非効率性を比較すると、同じ垂直統合された電気事業者であるにもかかわらず、日米間の配分非効率のパターンはやや異なっていることがわかる。米国では、資本がその他の要素に対して過小使用(もしくは資本を除く全ての要素が資本に対して過剰使用)という傾

¹⁹⁾ 誤差項の不均一分散や自己相関の問題については、今後の課題としたい。

²⁰⁾ 費用関数の単調性はシャドーシェアの符号が正になっていれば満たされている。今回の推計では、全サンプルで単調性は満たされているが、一部のサンプルで燃料のシェアが極端に 0 に近い値となっており、以後の分析では、このサンプルを除いている。凹性を満たしたサンプルは全体の約 74%であった。

表4 過剰および過小投入の割合[†]

(%,平均値)

	費用関数モデル		DEA (参考)	
	日本	米国	日本	米国
資本	12.0	-9.2	10.9	1.2
労働	19.5	24.0	6.4	-14.2
燃料	-17.9	0.6	-4.3	-4.6

[†]正の値は過剰投入を示し、負の値は過小投入を示す。

向にあるが、日本では労働と資本の過剰使用(もしくは燃料の過小使用)の傾向が認められる。

このような結果は、発電部門のみを対象とした Atkinson and Halvorsen(1984)や小林(1996)の結果とはやや異なっている。例えば、これらの研究では、資本と燃料の間の相対的配分の効率性は棄却されていない。しかし、本稿の経営全体を対象にした推計では日米ともに棄却されており、米国では資本が有意に過小なのに対し、日本では資本が有意に過剰となっている。また小林(1996)の推計では、日本の発電部門における労働に対する燃料と資本の過剰使用が示唆されているが、本稿の推計は、日本における労働と資本に対する燃料の過剰使用を示唆している。

パラメータの推定値からは、配分の非効率に関して、投入要素間の相対的な結果しか得られないが、各投入要素が、その最適な投入量に比べて過剰か過小かを調べることもできる²¹。具体的には、推計した費用関数およびコストシェア方程式の理論値と、要素コストシェアの定義 $s_j = p_j x_j / C$ を用いて、各投入要素の配分効率的である投入量からの乖離度を求める。表4に示すように、米国においては、労働の過剰使用と資本の過小使用が目立つ²²。また、日本においては、過剰および過小の程度が1割から2割となっていることが示されている。

²¹ 配分効率的な状態での費用関数とコストシェアの理論値は、推定したそれぞれの式のパラメータのうち、 k_L と k_K を1、 g_L と g_K を0として再推計して求められる。詳しくは、Atkinson and Halvorsen(1984)を参照のこと。

²² 米国の燃料の乖離度が労働と比べて小さく感じられるのは、米国の燃料の投入が実際には全体的な傾向となっておらず、燃料投入が過小な企業が存在が過剰投入量の平均値を下げているためである。

一方、北村・筒井(1997)でも、配分の非効率性が要素投入量に及ぼす影響を分析している。参考として、DEAの計測結果に基づく非最適投入量の期間中の平均値を表4に示す。なお、DEAと今回の推計では、購入電力量の扱いに違いがあるため、厳密な比較はできない。また、本稿の推計結果は、計測期間中の配分非効率を一定と仮定した上での値であるのに対し、表4に示したDEAの結果は各計測期間ごとの結果の平均値である。DEAの結果には期間によってかなりの変動を示している投入要素もあるため、この点でも結果の比較には十分注意を要する。しかしながら、少なくとも符号が一致しているかどうか、すなわち投入量が過小傾向か過剰傾向かについて、両者の整合性を確認することはできる。こうした点をふまえた上で、各投入要素の過剰および過小傾向をみると、米国については、全ての投入要素で符号が一致しておらず、整合性に欠けている。逆に日本における傾向は全ての投入要素で一致しており、今回の推計結果と整合的であるといえる。

4.2 技術非効率指標

次に日米の技術非効率性を表すパラメータの推定値について比較分析する。日米間で技術効率の差がないという帰無仮説、すなわち $h = 0$ という制約をワルド検定で検定した結果、検定統計量は $\chi^2(1) = 7.51$ となり、有意水準1%で棄却された。 h の推定値から、日本の方が米国よりも高い技術効率性を達成している可能性を示しており、日本の技術効率性を1とした場合の米国の相対的な技術効率性は、0.945である(表3)。なお、今回の技術非効率に関する推計結果は、米国と比べた場合の相対的な結論であり、日本の電気事業においてまったく技術非効率性が存在しないというわけではないことに注意しなければならない。

一方、北村・筒井(1997)によるDEAの結果では、日本の電気事業者にもある程度技術非効率が生じていることを示しているが、米国に比べると

表 5 非効率性が費用に及ぼす影響

(%,平均値)

	費用関数モデル		DEA (参考)	
	日本	米国	日本	米国
技術非効率率 ¹	—	5.5	2.8	8.8
配分非効率率	5.7	1.0	5.1	6.3
全ての非効率率	5.7	6.5	7.9	15.1

¹費用関数モデルの日本の技術非効率率は基準化されているため考慮しない。

その割合は小さく、やはり日本が米国よりも高い技術効率を達成していることを示している。つまり、相対的な技術非効率率の差に関しては、今回の推計結果と DEA の結果は整合的であるといえる。

4.3 経営非効率性が費用に及ぼす影響

これまでの分析で、日米の電気事業における非効率率の存在は明らかになった。こうした経営の非効率率が、費用に対してどの程度影響を及ぼしているかが分かれば、非効率率の改善によってどれだけの費用削減が可能かを評価することができる。

技術非効率率や配分非効率率によってどれだけの追加的な費用が生じているかは、非効率率を含めて推定した費用関数の理論値と、技術非効率も配分非効率も存在しないという制約を置いて計算した理論値との比率から求めることができる。その結果を示したのが表 5 である。まず、非効率性が全く存在しない場合に比べて、どれだけ追加的な費用が生じているかを総費用に対する割合で見ると、日本の電気事業者が、わずかに(0.8%)米国の電気事業者を下回っている。

これらの結果を北村・筒井(1997)の計測に基づく全ての非効率率の大きさと比べると、日米間の差はやや小さいものの、基本的に日本の電気事業者が米国の電気事業者よりも高い効率性を達成している点で、今回の推計結果と DEA による結果は整合的であるといえる²³。

ただし、費用に及ぼす影響を技術非効率率と配

分非効率率に分けて詳しく見てみると、それぞれの費用に及ぼす影響の割合は、DEA の割合とやや異なる。すなわち、技術非効率率の大きさは、どちらも日本が米国を下回っているものの、配分非効率率が費用に及ぼす影響については、今回の推計では日本が米国を上回っており、DEA では日本が米国を下回っている。このことから、今回の推計において日本が米国を総合的に上回っているのは、技術非効率率に関する日米の差が、配分非効率率に関する日米の差を上回っているためであることが分かる。

また、いずれにしても、日本では配分非効率の方が技術非効率率に比べて大きく、配分非効率率の是正が日本の電気事業の効率化にとって重要な課題であるという点では、今回の推計結果と DEA の結果とは一致している。日本の電気事業に関しては、4.1 でみた推計結果に忠実に考えれば、労働と資本のシェアを減らし、燃料のシェアを増加させることが費用削減につながるといえる。ただし、単純に燃料の消費を増加させることについては、環境問題への対応から慎重にならざるを得ないであろう。資本はもちろん、日本では労働の調整にも時間がかかると考えられるが、今後、投入要素の相対価格に大きな変化がない限り、これらのシェアの伸びをできるだけ抑える必要があるといえよう。

さらに、興味深いのは、推計上の最適な費用水準を達成することが仮に可能だとしても、それは全体で約 5~6%程度の費用削減にしかならないという点である。つまり、最近の電気料金引き下げをめぐる議論を呼んだ2割程度の費用削減は、(今回の推計結果からすると)配分非効率率の改善だけではかなり難しいといえる²⁴。

²³ 北村・筒井(1997)においては規模の非効率率についても言及しているが、表5ではこれを除外し、技術非効率率指標と配分非効率率指標の期間中の平均値を足しあわせたものを、全ての非効率率としている。

²⁴ もちろん、わが国の電気事業にとってそれ以上の費用削減は困難であるということを断言するものではない。こうしたインプリケーションは要素価格を与件としていることなど、様々な仮定を置いて分析した上での限定的なものである。

4.4 技術条件の相違と効率性比較

これまでの分析で、日米の電気事業者の効率性比較については、北村・筒井(1997)の DEA の結果とある程度整合性のある結果が得られたかのように見える。すなわち、日本の電気事業者は配分の非効率を是正する余地はあるものの、総合的には米国よりも高い効率性を達成していることが確認された。しかし今回の分析では、日米両方のデータを用いて一つの費用関数を推定しており、日米電気事業者の技術条件が同じであることを仮定している。したがってこれまでの分析から導かれる結論は、日米の電気事業者が同じ技術条件の下で経営を行っていることを前提としている点に注意しなければならない。なお、DEA でも、日米電気事業者間の技術条件の相違は考慮されていない²⁵。

技術条件の相違を考慮するには、別々のサンプルで推定することも考えられるが、今回のように複雑な推定式を用いる場合には、推定効率の面からなるべく大きなサンプルで推定するのが望ましい。そこで、日米間の技術条件の相違を考慮する一つの方法として、一部のパラメータに日米を区別するダミー変数を導入する。具体的には生産量と投入要素の一次の項を対象とし、(5)式の一次の項のパラメータを次のように書き換える。

$$\begin{aligned} \gamma_j^i &= \alpha_j + d_j D^i, \\ \gamma_y^i &= \alpha_y + d_y D^i, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、 $\sum_j d_j = 0$

最後の条件式は、日本の電気事業者の価格に関する一次同次性を満たすためのものである。もちろん、この方法によって完全に技術条件の相違を考慮できるわけではないが、実際、先行研究の多くでこうした方法が採られている²⁶。

ただし、効率性分析において技術条件の相違を考慮する必要性については疑問視する意見もある²⁷。技術条件の相違を考慮することによって本来正当化されるべき要素配分が非効率とみなされたり、その逆のことが生じる恐れがあるからである。こうした議論の余地はあるものの、別の見方をすれば、技術条件の相違を考慮するか否かで、効率性に関する結果が異なるかどうかという点は、検討に値するといえよう。

実際に(9)式の制約を置いて費用関数を再推定した結果、日米間の技術条件の違いを表すダミー変数のパラメータは、生産量と労働の項以外については統計的に有意な差はなかった。しかし、日米間で技術条件の違いがない、すなわち、 $d_k = d_f = d_L = 0$ という帰無仮説は、ワルド検定で検定したところ棄却された ($\chi^2(4) = 82.90$)²⁸。したがって、日米で技術条件が異なるという可能性は否定できない²⁹。

次に、この再推定したパラメータに基づいて、配分非効率に関する仮説検定を行ったところ、日本では配分効率が達成されているという帰無仮説が再び棄却された ($\chi^2(2) = 561.21$)。これに対して、米国では有意水準 5%で棄却できなかった ($\chi^2(2) = 4.76$)。つまり、日米の技術条件の相違を(9)式のような制約によって考慮すると、米国における投入要素の配分は、非効率とはいえなくなってしまうのである。

次に、技術非効率を表すパラメータの符号を調べたところ、日本が米国よりも効率的であり、その差は有意水準 5%で統計的に有意であった ($\chi^2(1) = 4.64$)。これは同じ技術条件の下で推定した場合と整合的な結果である。

²⁷ こうした意見については Pollitt (1995)、p.109 を参照のこと。

²⁸ ただし、 $d_k = d_f = d_L = 0$ という帰無仮説については有意水準 5%で棄却できなかった ($\chi^2(3) = 7.48$)。労働の項のみにダミー変数を含めることは、日本の電気事業者の一次同次性の制約と矛盾するので考慮しない。

²⁹ 非効率性を含まない費用関数について日米のプラーピリティに関する Chow テストも行ったが、F 統計量は有意となって棄却された。

²⁵ DEA では、全ての企業が同じ技術条件を採用することが可能であるということを前提としている。

²⁶ 例えば、Atkinson and Halvorsen (1986) を参照のこと。

以上より、米国の配分非効率に関する今回の推計結果は、日米電気事業者間の技術条件が同じか否かという前提に依存している。一方で、日本における配分非効率や、技術非効率に関する日米比較については、技術条件の仮定の違いにかかわらず安定的な結果が示された。

5. まとめと今後の課題

本稿では、費用関数の推定による日米電気事業者の技術効率と配分効率の推計と比較分析を行った。今回の推計結果によれば、技術条件が同じであるという前提では、日本の電気事業者は、米国の電気事業者と比べた場合、相対的に高い技術効率性を達成していること、逆に、配分非効率によって生じるコストについては日本が米国よりも大きいこと、日本においては資本と労働が過剰使用の傾向にあり、燃料が過小使用の傾向にあること、等が示された。また、これらの推計結果は、先行的に行われた DEA の計測結果をほぼ踏襲するものであった。ただし、日米の電気事業者間で技術条件が同じであるという前提に基づかない場合には、結果が微妙に異なる可能性があることも示された。

今回の推計については、購入電力の扱いや資本価格のデータについて工夫する余地が残されており³⁰、その意味で、今回の推計結果に基づいた様々なインプリケーションは、条件付きのものである。今後モデルやデータを工夫した場合に、今回と同様の結果が得られるか否かを確認する必要もあるだろう。

さらに、本稿における推計も DEA による計測も、総費用、生産量、投入要素価格といった経済学における標準的な変数のみをもとにしており、電気事業が直面するコスト削減以外の様々な問題

の影響を無視している³¹。例えば、環境問題への取り組みや、需要家への安定供給の維持といった視点は考慮されていない。同時に、技術非効率や配分非効率などのような要因によって発生するのも分析する必要がある。また、両研究とも静学的な枠組みに基づいており、動学的な枠組みによる追試も今後の課題として残されている³²。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、本誌匿名レフェリーならびに名古屋大学の根本二郎助教授、電力中央研究所・経済社会研究所の岡田健司主任研究員、渡辺尚史主任研究員から有益なアドバイスを頂いた。また、ケンブリッジ大学の Michael Pollitt 講師には推計結果についてコメントを頂いた。記して感謝する。もちろん本稿における誤りについては全て筆者の責任である。

【参考文献】

- [1] Atkinson, S.E. and C.Cornwell (1993) "Measuring Technical Efficiency with Panel Data, A Dual Approach," *Journal of Econometrics*, 59, 257-261.
- [2] Atkinson, S.E. and C.Cornwell (1994a) "Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data," *International Economic Review*, 35, 231-243.
- [3] Atkinson, S.E. and C.Cornwell (1994b) "Estimation of Output and Input Technical Efficiency Using a Flexible Functional Form and Panel Data," *International Economic Review*, 35, 245-255.
- [4] Atkinson, S.E. and C.Cornwell (1998) "Profit versus Cost Frontier Estimation of Price and Technical Inefficiency: A Parametric Approach with Panel Data," *Southern Economic Journal*, 64, 753-764.
- [5] Atkinson, S.E. and R.Halvorsen (1984) "Parametric Efficiency Tests, Economies of Scale, and Input Demand in U.S. Electric Power Generation," *International Economic Review*, 25, 623-638.
- [6] Atkinson, S.E. and R.Halvorsen (1986) "The Relative efficiency of Public and Private Firms in a Regulated Environment: The Case of U.S. Electric Utilities," *Journal of Public Economics*, 29, 281-294.

³⁰ 例えば、ジョルゲンソン型のユーザーコストの定義を用いる方法がある。資本価格データの違いが今回のような費用関数の推定に基づく効率性分析に及ぼす影響については Farber (1989) を参照のこと。

³¹ 電気事業に特有の様々な属性を考慮した研究に中西・瀬尾(1989)がある。

³² こうした課題に対する最近の試みとして Atkinson and Halvorsen (1998) がある。

- [7] Atkinson, S.E. and R.Halvorsen (1990) "Tests of Allocative Efficiency in Regulated Multi-Product Firms," *Resource and Energy*, 12, 65-77.
- [8] Atkinson, S.E. and R. Halvorsen (1998) "Parametric Tests for Static and Dynamic Equilibrium," *Journal of Econometrics*, 85, 33-50.
- [9] Bauer, P.(1990) "A Survey of Recent Econometric Developments in Frontier Estimation," *Journal of Econometrics*, 46, 21-39.
- [10] Farber S.C. (1989) "The Dependence of Parametric Efficiency Tests on Measures of the Price of Capital and Capital Stock For Electric Utilities," *Journal of Industrial Economics*, XXXVIII, 199-213.
- [11] Farrell, M.S. (1957) "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, A 120, 253-281.
- [12] Goto M. and M. Tsutsui (1998) "Comparison of Productive and Cost Efficiencies Among Japanese and US Electric Utilities," *Omega International Journal of Management Science*, 26, 177-194.
- [13] Lau, L.J. and P.A.Yotopolos (1971) "A Test for Relative Efficiency and Application to Indian Agriculture," *American Economic Review*, 61, 94-109.
- [14] Lovell, C.A.K. and R.C.Sickles (1983) "Testing Efficiency Hypotheses in Joint Production," *Review of Economics and Statistics*, 65, 51-58.
- [15] Pollitt, M.G. (1995) "*Ownership and Performance in Electric Utilities*," Oxford University Press.
- [16] 北村美香・筒井美樹 (1996) 「DEAによる日米電気事業の経営効率性計測と比較分析」電力経済研究 No.37, 3-14.
- [17] 北村美香・筒井美樹 (1997) 「日米電気事業の生産効率性およびコスト効率性比較」第9回日本OR学会RAMPシンポジウム論文集 164-177.
- [18] 小林千春 (1996) 「一般化費用関数に基づく配分の非効率性の検定と規模の経済性—日本の電力産業への適用—」六甲台論集 43巻1号 46-59.
- [19] 中西泰夫・瀬尾英生 (1989) 「電気事業に特有な属性を考慮した費用分析—ヘドニックコストモデルによるアプローチ—」電力中央研究所研究報告 Y88015

(はっとり とおる
つつい みき
電力中央研究所 経済社会研究所)