

わが国電気事業発電部門における 規模の経済性と効率性および要素需要分析

Economies of Scale, Efficiency and Input Demand Analysis of Generation Sector in Japanese Electric Power Companies

キーワード：規模の経済性、配分非効率性、要素需要、
一般化マクファデン費用関数、電気事業

北村 美香

本論文では、わが国電気事業の発電部門に関する1981年から1998年のパネルデータを使用して、費用の配分非効率性を明示的に考慮しつつ大域的に要素価格に関する凹性を満たす伸縮的な費用関数の推定を行う。推定結果より、配分非効率性が全く存在しないという帰無仮説は棄却されるため、配分非効率性が個々の要素需要及び費用全体に及ぼした影響の度合いを計測する。さらに、計測期間中の技術進歩率及び規模の経済性を推計し、その結果を配分非効率性が存在する場合と排除された場合の双方について個々の企業及び期間ごとに提示する。

1. はじめに
2. 一般化費用関数
3. データ及び推定

4. 実証分析結果
5. まとめ
補論

1. はじめに

1999年5月改正の電気事業法に基づき2000年3月21日から電力小売部分自由化が運用開始された。それにより、わが国電力市場の約3割を占める大口需要家に対する電力供給が自由化され、従来の10電力会社（第1種電気事業者）以外の発電事業者の参入が解禁されると共に、料金規制が撤廃された。このような規制緩和によって期待されていることは、電気事業者自身の経営効率の改善と、電気料金の効率化による経済全体の資源配分の適正化であろう。本論文では前者の効用に論点を絞り、経営非効率の改善の余地がどの程度存在するのか、即ち電力市場部分自由化以前の電気事業の経営が、どの程度非効率を伴って

いたかを明らかにする。そのため、わが国9電力事業者のパネルデータ（1891-1998）を用い、Atkinson and Halvorsen (1984, 1986)、Atkinson and Cornwell (1994a, 1994b) 等による一般化費用関数モデル（あるいはシャドー費用関数モデル）を推定することで、経営の効率性を費用の測度で計測する。その結果、非効率の解消によって削減可能な費用の大きさが明らかになる。

本論文では特に電気事業の発電部門を対象として非効率性を計測する。わが国に先駆けて電力市場の自由化を行った英国や米国の一部の州においては、従来発電部門とネットワーク部門（送配電部門）の垂直統合型企業により独占的な電力の供給が行われていた発送配電一貫形態から、発電部門及び小売部門への競争導入が行われ、現在その競争導入の成

果が問われ始めている。その一方で、ネットワーク部門は従来通り規制部門として残されている場合が多い。したがって今後、わが国電気事業への規制緩和の効果を評価するにあたっては、まず発電部門の非効率性を計測しておくことが重要であると考えられる。わが国の実証研究では、費用効率、すなわち潜在的に削減可能な費用の計測値は、現在のところ経営全体という形で発電部門とネットワーク部門を一緒に推定したものしか利用可能でない¹。発電部門と送配電部門の技術特性の違いや、両者の部分自由化によって受ける影響の度合いが異なることを考えれば、自由化の影響が先行的に評価されると推測される発電部門のみの計測が必要であろう。

日本の電気事業者についての同様の分析は、アメリカの事業者に対するものほど多くはないが、鳥居（1994）、小林（1996）、北村・筒井（1996）、穴山（1997）、服部・筒井（1998）、小池（1999）がある。小林（1996）は、9電気事業者の火力発電部門と原子力発電部門のパネルデータを別々に用いて、本論文と同じ一般化費用関数を推定している。小林（1996）の主たる問題関心は公正報酬率規制による歪みの検証にあり、本論文で目的とするところとは異なる。使用データも1978-85年度であり、部分自由化直前の情報を含んでいない。鳥居（1994）と穴山（1997）は、先行研究の中で送配電部門の非効率性計測を行っているただ二つの例である。前者は、確率的フロンティア関数によって電気事業の効

率性と規模の経済性を計測したもの、後者はデータ包絡分析（以下、DEA）を用いて自発的ヤードスティック競争の可能性を検証したものであるが、両者とも費用効率の一部分である技術非効率（あるいは X 非効率）の計測にとどまり、費用効率の計測にまで至っていない。

一方、小池（1999）、北村・筒井（1996）及び服部・筒井（1998）では、費用効率の計測は行われているが、いずれも経営全体を対象にして送配電部門と発電部門の区分をしていない。なお、小池（1999）は、1995年の電気事業法改正で料金規制に導入されたヤードスティック査定効果をDEAにより検証した研究である。北村・筒井（1996）と服部・筒井（1998）は共に効率性の日米比較が目的であり、同じデータを用いて前者はDEA、後者は一般化費用関数による分析を行っている。

本論文では、分析のために一般化費用関数モデルを採用している。一般化費用関数モデルの利点は、新古典派費用関数において仮定されている、企業は市場で観測される要素価格に基づいて費用の最小化を行っているという制約を置くことなく費用関数の計測を行うことができる点である。

費用関数を用いた上記先行研究全てに共通する課題として、分析に用いられる費用関数の特定化に際してトランスログ費用関数の適用を行っているため、費用関数が大域的に凹性を満たすことが必ずしも保証されていないこと、それに関連して、配分非効率性の分析はパネルデータを用いた分析の場合においてもその平均値で評価が行われており、指標の企業及び時間別の推移が捉えられていないことが指摘され得る。

本研究では、これら先行研究で十分な分析が行われてこなかった問題点をさらに深く掘

¹ 米国の電気事業者を対象として一般化費用関数の適用による費用分析を行った研究として、Atkinson and Halvorsen（1984, 1986, 1990）があるが、いずれも費用効率の計測は行っていない。一方電気事業を対象とした分析ではないが費用効率の計測を行った先行研究にはAtkinson and Cornwell（1994a, 1998）、Kumbhakar（1992）等がある。これらはいずれも米国の航空会社のパネルデータを用いた実証分析である。

り下げ、Kumbhakar (1992) で用いられた大域的に凹性を満たす費用関数の推定を通してわが国電気事業における1981年から1998年のパネルデータに基づき発電部門の配分非効率性の分析を行う。本論文では投入要素ごとの配分非効率性は各社ごとに計測されるのみでなくその時間的変化も考慮する。推定された費用関数を用いることにより配分非効率性が個々の要素需要及び費用に対して及ぼす影響の度合いを分析することに加え、配分の非効率性が存在する場合とそれが排除された(効率的な)場合の双方において技術進歩、規模の経済性の計測を行う。それら計測指標を企業ごとかつ時間別の推移において捉えることにより、個々の企業の生産技術構造をより詳細に分析することが可能となる。特に、技術進歩に関して従来の配分非効率性の時間変化を考慮しない計測は、時間的な技術の変化にともなう配分非効率性の変化が技術進歩率指標に与える影響を十分に捉えていないという意味において、計測結果に歪みをもたらしていた可能性が存在する。

本論文の構成は以下の通りである。第2節では費用最小化の仮定を緩和した一般化費用関数の説明を行う。第3節では費用関数推定に用いたデータ及び推定結果を提示する。第4節で実証分析結果の提示と評価を行い、第5節でまとめと今後の課題に関して若干触れる。

2. 一般化費用関数

企業は、well behavedな生産関数 $Y=f(X, t)$ と一連の制約 $R_s(X, t) = 0, s=1, \dots, M$ の下で費用最小化を行っている、すなわち $W'X$ を最小化するよう行動するものと仮定する。ここで、 X は $(n \times 1)$ の生産要素ベクトル、 Y は産出物、 t はタイムトレンド、 W は $(n \times 1)$ の投入要素価格ベクトルをそれぞれ

意味する。第1の制約はよく知られた生産関数であるが、第2の制約は、例えば資本設備などの(準)固定的な生産要素の存在により価格の変化に対して生産要素投入量の調整が遅れることや、規制当局による価格、財・サービスの品質等に関する規制などを原因として発生する可能性のある、費用最小化目的に従わない行動から生じる部分を表すものであり、配分非効率性と呼ばれる。この費用最小化問題の一階の条件は以下の通りである。

$$\frac{f_i}{f_j} = \frac{W_i + \sum_s \lambda_s \partial R_s / \partial X_i}{W_j + \sum_s \lambda_s \partial R_s / \partial X_j} \quad (1)$$

$$\equiv \frac{W_i^*}{W_j^*}, \quad j \neq i = 1, \dots, n.$$

ここで W_i^* は投入要素 i のシャドープライス、 λ_s は制約 s に対するラグランジュ乗数である。ここで、生産関数及び式(1)の一階の条件を使って投入要素 X について解くことにより、シャドー費用関数 $W^*X \equiv C^*(W^*, Y, t)$ を(少なくとも間接的に)得るために用いられる条件付要素需要関数 $X = X(Y, W^*, t)$ を導出することができる。もし何ら配分非効率性が存在しないならば、シャドープライスは市場で観測される価格と一致し、その場合シャドー費用関数は最小化された費用関数と同一となる。

ここでモデルを実際の計測に適用可能にするため、シャドープライスと市場価格の間に何らかの関係を仮定する必要がある。本研究ではToda (1976)、Atkinson and Halvorsen (1984)、Lovell and Sickles (1983)、Kumbhakar (1992) 等の先行研究に従い以下の関係を仮定する。

$$W_i^* = d_i W_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

ここで d_i は配分非効率性を示すものと考えられる。多くの論文でこの部分は定数として仮定されるが、ここではこの d_i が企業及び時間に依存して変化するものであると仮定する。Kumbhakar (1992) に従い、以下の通り定式化する。

$$d_i = R' \psi_i, \quad i=1, \dots, n, \quad (3)$$

ここでベクトル R は企業固有かつ時間的に変化する変数を含むものとする。そうすることにより、 d_i は企業と時間に依存して固有な変化をすることを許容することになる（ただし現段階では簡便化のため企業及び時間の添字を省略している）。もし全ての i と t に関して $d_i = d$ ならば、限界代替率が市場価格の比率に等しいという意味で投入要素の配分が効率的であることを意味する。しかし、 $d_i = d$ は検定すべき仮説であるため²、シャドー費用関数は一般化費用関数として解釈することができる。他の検定すべき仮説としては、 d_i が会社及び時間に固有のものであるかどうかである。

本研究では、シャドー費用関数を対称一般化マクファデン (Symmetric Generalized McFadden : SGM) 費用関数により定式化する (SGM費用関数の理論的基盤に関する詳細についてはDiewert and Wales (1987) を参照のこと)。これまで産業ないし企業等の費用構造に関する多くの実証分析においてトランスログ費用関数が用いられてきた。トランスログ費用関数は任意の関数を2次の項までテーラー展開して近似したものであり、産出物及び要素価格に関して2階の伸縮性を有する関数である点において分析に適した性質を備えている長所があげられる。しかしなが

ら、一方でトランスログ費用関数は経済理論からの要請で適切とされる費用関数の制約条件 (regularity condition) を多くの場合において満たさないことが経験的に知られている (Röller (1992)、Diewert and Wales (1987)、Kumbhakar (1992))。この問題点に関して、理論的な制約条件を満たすことが可能な関数形として提案されたものの1つに、Diewert and Wales (1987) のSGM費用関数がある。SGM費用関数は、要素価格に関する凹性を関数の伸縮性を損なうことなく大域的に満たすことが可能な点で好ましい性質を有しているとされる³。

本研究では、観測される実際の価格をシャドープライスに置き換えることによって配分非効率性を内包するようSGM費用関数を定式化し、関数形は Y 、 W 、 t について各データポイントにおいて2階の伸縮性を有するものとする。本研究で使用されるわが国電力会社の発電部門に関するSGMシャドー費用関数 $C^*(\cdot)$ は以下の通り定式化される。

$$\begin{aligned} C^*(\cdot) = & g(W^*)Y + \sum_i b_i W_i^* \\ & + \sum_i b_{ii} W_i^* Y + a_{YY} \left\{ \sum_i \alpha_{iYY} W_i^* \right\} Y^2 \\ & + \sum_i b_{it} W_i^* Y t + a_{it} \left\{ \sum_i \beta_{it} W_i^* \right\} t \\ & + a_{iYY} \left\{ \sum_i \delta_{iYY} W_i^* \right\} t^2 Y, \end{aligned} \quad (4)$$

$$i=1, \dots, n,$$

ここで $g(\cdot)$ は以下の通り定義されるものとする。

$$g(W^*) = W^* S W^* / 2\theta W^*. \quad (5)$$

S は $n \times n$ の対称半負値定符号 (negative

² 実際の計測に際しては d_i のうち1つは1に基準化されるため、この仮説は $d_i=1$ に等しい。

³ 厳密には、制約なしの推定で凹性の条件を満たさない場合でも、制約を課して推定することにより必然的に条件を満たすことが可能となる。

semidefinite: NSD) 行列であり、 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)'$ は全てが 0 値をとることはない非負定数から構成されるベクトルである。ただし、係数 θ は外生的に与えられるものと仮定し、また、以下の総和制約を課す。

$$\sum_i S_{ij} = 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

ここでもし α_{rr} 、 β_{rr} 、 δ_{rr} も θ と同様に外生的に与えられるものとし、推定において費用関数が伸縮性を有するために最低限必要な係数のみ残すとすれば、 a_{rr} 、 a_r 、 a_{rr} を推定すべき係数とする。一方、より伸縮性の高い費用関数を採用する場合は、逆に a_{rr} 、 a_r 、 a_{rr} を 1 に基準化し、 α_{rr} 、 β_{rr} 、 δ_{rr} を推定すべき係数とすることになる。本研究では後者、すなわちより伸縮性の高い形を採用している。

シャドー費用関数 $C^*(\cdot)$ は、それが非負性、単調増加性、投入要素価格 W^* に関する一次同次性と凹性を満たすならば、well behaved な生産関数に双対である。非負性はシャドー費用関数の推計値によりチェックすることができる。単調増加性は推定された投入要素需要関数の値が非負であることにより確認できる。さらに、費用関数 $C^*(\cdot)$ は、もし任意の $W^0 > 0$ について次に掲げる制約が満たされるならば、点 (W^0, Y^0, t^0) において伸縮性を有する (W^* について一次同次) 費用関数であると言える。その制約とは、 $\theta'W^0 > 0$ 、 $\alpha_{rr}'W^0 \neq 0$ 、 $\beta_{rr}'W^0 \neq 0$ 、 $\delta_{rr}'W^0 \neq 0$ (ここで、 $\alpha_{rr} = (\alpha_{1rr}, \dots, \alpha_{nrr})'$ 、 $\beta_{rr} = (\beta_{1r}, \dots, \beta_{mr})'$ 、 $\delta_{rr} = (\delta_{1rr}, \dots, \delta_{mrr})'$)。最後に、もし推定された S 行列が NSD 行列であれば、 $C^*(\cdot)$ はシャドー投入要素価格 W^* に関して大域的に凹性を満たすことができる。この点が、他の費用関数に比較した場合の SGM 費用関数の主要な利点である。

条件付要素需要関数は、シェパードの補題 $X_i(W^*, Y, t) = \partial C^* / \partial W_i^*$ を適用することによ

り以下のとおりで得ることができる。

$$\begin{aligned} X_i(W^*, Y, t) &= Y \left\{ \frac{S^{(i)}W^*}{\theta'W^*} - \frac{\theta_i W^* SW^*}{2 (\theta'W^*)^2} \right\} + b_i + b_{ii}Y \\ &\quad + a_{rr}\alpha_{rr}Y^2 + b_{ii}Yt + a_i\beta_{ii}t + a_{rr}\delta_{rr}t^2Y, \end{aligned} \quad (7)$$

ここで $S^{(i)}$ は S 行列の第 i 列を指す。投入要素需要に関する配分非効率性の影響は $X_i(W^*, Y, t)$ の推定値に関して配分非効率性が存在する場合と排除された場合の推計値を比較することによって得ることが可能である。同様にして、配分非効率性の総費用に対する影響も、配分非効率性を考慮した実際の費用と効率的な最小費用の差異により各社各期ごとに式(8)の通り計測することができる。

$$\begin{aligned} &\sum_i W_i X_i(W^*, Y, t) - \sum_i W_i \bar{X}_i(W, Y, t) \\ &= Y \left[\sum_i W_i \left\{ \frac{S^{(i)}W^*}{\theta'W^*} - \frac{\theta_i W^* SW^*}{2 (\theta'W^*)^2} \right\} \right. \\ &\quad \left. - \sum_i W_i \left\{ \frac{S^{(i)}W}{\theta'W} - \frac{\theta_i W SW}{2 (\theta'W)^2} \right\} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

ここで $\bar{X}_i(W, Y, t)$ は配分非効率性が排除された場合の $X_i(W^*, Y, t)$ の推計値である。よって、上記式の値はもし $d_i = d$ であるならば 0 になる。一方もし $d_i \neq d$ であるならば、すなわちシャドープライスが市場価格と異なっているならば、費用関数の凹性の性質により式(8)の値は非負となる。

次に、費用関数により計測される、費用の削減度合いによって捉えられる技術進歩率は以下の τ により定義される。

$$\tau = - \frac{\partial \ln C^A}{\partial t}, \quad (9)$$

ここで C^A は現実の費用関数を表すもので、

$$C^A = \sum_i W_i (\partial C^*(\cdot) / \partial W_i^*) = \sum_i W_i X_i(W^*, Y, t)$$

という関係式を使ってシャドー費用関数から導出される。 τ の正 (負) の値は、技術進歩

(負の技術進歩)を表すものと考えられる。さらに、技術進歩が要素需要に与えるバイアスの程度は $E_{it} = \partial \ln X_i(W^*, Y, t) / \partial t$ によって計測される。もし $E_{it} < 0 (> 0)$ であれば、投入要素 i に対して節約的(使用的)技術進歩であると判断できる。ここで注意すべき点として、この技術進歩指標に対して時間 t は2通りの経路から影響を及ぼすという点がある。すなわち、第一に X_i は t の項を含むためその直接的な影響であり、第二は W^* を通じた間接的な影響である。後者は特に d_i が t の関数である場合明らかであろう。よって、 d_i について t の影響を考慮せず定式化することは、技術進歩の計測結果にバイアスをもたらす可能性が危惧される。

規模の経済性は以下のSCEによって計測される。

$$SCE = 1 - 1/RTS = 1 - (ECY), \quad (10)$$

ここでRTSは規模の経済性(Caves *et al.* (1984))であり、ECYは Y に関して計測される費用の弾力性、すなわち $ECY = \partial \ln C^*(\cdot) / \partial \ln Y$ を表す。もしこの指標の符号が正(負)であるならば、規模に関して収穫通増(通減)の状態にあると評価される。もちろんこの規模の経済性指標も現実の費用関数 C^* に関して計測することが可能である。

3. データ及び推定

本研究ではわが国9電力会社の1981年から1998年の18期間にわたる各社別年次個票データをプールしたデータを用いている。本研究の費用関数システム推定に使用するデータセットは、燃料、労働、資本の各数量および単価データと産出物数量データ、属性変数データ、タイムシフトにより構成される。投入要素価格は費用をそれぞれの対応する数量により除したもので定義している。発電部門は燃

料、労働、資本を投入要素として総発電電力量を産出していると考えられる。燃料の数量は単位の異なる別々の燃料を合計するため、熱量換算している。労働価格は従業員給与を従業員数で除して計算している。その際委託関係費は上記労働価格により除して人数換算し、費用及び数量の双方に加えて考慮している。資本費は減価償却費、修繕費、支払利息の合計とした。支払利息は企業全体の設備取得原価に占める発電部門の設備取得原価の比率により按分している。資本ストックの計測に関してはCowing *et al.* (1981)の方法に従った。すなわち、基準年における資本ストックデータを帳簿価額から一定の方式に従い時価換算し、その後毎年のデータを恒久棚卸法により積み上げたものを使用している。以上の使用データの概要一覧(補論表1)と資本ストックデータ作成の詳細は補論に記述する。データの基準化は平均値の周りで1にすることにより行っている。

ここで、会社及び時間の添え字をそれぞれ f ($f=1, \dots, 9$)、 t ($t=1, \dots, 18$)とすると、式(7)の条件付要素需要関数システムは以下のとおり記述することができる(ここでは実際の推定式にあわせて a_{fY} 、 a_i 、 a_{nY} を1に基準化した形で記述する)。

$$\begin{aligned} \frac{X_{if}(\cdot)}{Y_{if}} &= \left\{ \frac{S^{(i)}W^*}{\theta^i W^*} - \frac{\theta_i W^* S W^*}{2 (\theta^i W^*)^2} \right\} \\ &+ b_i/Y_{if} + b_{ii} + \alpha_{iYY} Y_{if} + b_{it} + \beta_{it} t/Y_{if} \\ &+ \delta_{it} t^2 + v_{if}, \quad i=1, \dots, n, f=1, \dots, 9, \\ &t=1, \dots, 18 \end{aligned} \quad (11)$$

要素需要関数システムは費用関数と同様の情報を有しているため、推定に際して費用関数は直接的には使用しない。式(11)において、推定式の両辺を産出物 Y で除して被説明変数としているのは、各企業の規模の違いを考慮するためである。すなわち、わが国の電気事

業者は規模に関して最大のものと最小のものとで約10倍程度の差異が存在しており、規模の違いを原因とする誤差項の不均一分散の可能性を考慮した扱いである。このような方法は Kumbhakar (1992) 及び Rask (1994) においても試みられている。要素需要関数の誤差項ベクトル (v_1, \dots, v_n) は、平均0、分散共分散行列は正値定符号であると仮定する。なお、弾力性推定値の不変性を保証するため、係数 θ_i は対応する投入要素数量データの平均値により外生的に与えられるものとする。 $i=1, \dots, n$ は具体的に燃料、労働、資本を表し $i=F, L, K$ とする。

投入要素需要関数は d_i に関して0次同次であるため、全ての係数の識別を可能にするため d_i 中の任意の1つを1に基準化するため(要素需要関数システムの数対数尤度及び最終的な費用増分等の計測結果はどの要素を基準化するかに依存しない)。ここでは燃料に関する非効率性要素 d_f を1に基準化して労働及び資本に関する非効率性要素 d_l と d_k を推定する。さらに d_l と d_k の非負性を保証するため、以下のとおり定式化する。

$$\begin{aligned} d_{Lft} &= \left(1 + \phi_L + \phi_{Lt}t + \phi_{Ltt}t^2 \right. \\ &\quad \left. + \phi_{LDD}H_{DDft} + \phi_{LRL}H_{RLft} \right)^2, \\ d_{Kft} &= \left(1 + \phi_K + \phi_{Kt}t + \phi_{Ktt}t^2 \right. \\ &\quad \left. + \phi_{KDD}H_{DDft} + \phi_{KRL}H_{RLft} \right)^2, \end{aligned} \quad (12)$$

$$f = 1, \dots, 9, \quad t = 1, \dots, 18.$$

ここで f は個別企業に関する添え字、 t は時間に関する添え字である。

本研究では、企業にとってコントロール不可能な各社の地域特性等の要因が配分非効率性の原因となる可能性を考慮し、その影響を捉える属性変数 H を配分非効率性要素の説明変数に加えている。具体的には、 H_{DD} は需要密度、 H_{RL} は送配電ロス率である⁴。需要密度

と送配電ロス率は以下の2つの理由により配分非効率性指標の構成要素として考慮している。①両変数は各電力会社固有の地域特性を反映したダミー変数の役割を果たす代理変数となり得る⁵。②発電部門とネットワーク部門の密接な技術的關係を考えた場合、特に需要密度は、需要地近接発電所立地の困難性による遠隔地での大規模・高規格発電所建設や、それに伴うネットワークの大規模化・複雑化により1つ1つの発電所を必ずしも最も効率的な状態で運転することが可能ではない、などの理由から生じる資本設備投資の特性を原因とした配分非効率性の可能性を示唆する間接的指標とも考えられる。

さらに、31年ぶりに改正された電気事業法施行後の発電部門に対する部分的な規制緩和による費用への影響を考慮し、1996年から1998年について1を、1981年から1995年に0をとるダミー変数も当初定式化において検討し検討を行った。しかし、規制緩和ダミーに関しては労働及び資本ともに有意に推定されず、採用しなかった。

また、属性変数が配分非効率性要素を介さず費用に対して直接影響を及ぼす可能性も検討した。すなわち、属性変数として発電部門の設備稼働率、送配電ロス率、需要密度の3要素を考慮し、それらを単独ないし複数組み合わせ合わせたものを、説明変数として費用関数に直接組み込みみだいくつかのケースを推定し

⁴ 他に発電設備稼働率を入れたケースもいくつか計測を試みたが良好な結果が得られなかった。発電部門の配分非効率性にネットワーク部門の費用構造に対してより多くの影響を与えると予想される送配電ロス率や需要密度が入っていることは、わが国電気事業が発送配電一貫の経営形態をとっており、その一体的な運用から需要の地理的な分布状況やネットワークの構成が発電設備の建設及び運用にも少なからず影響を及ぼすことを考えると必ずしも不自然なことではない。

⁵ わが国電気事業の費用構造分析において各社の地域特性を示す変数として需要密度と送配電ロス率を考慮した分析に中西・瀬尾 (1989) がある。

た。その場合は他の説明変数同様、要素価格の一次結合項と属性変数の積の項とした。それら複数の推定結果を、費用関数が理論から要請される一連の制約条件を満たしているかどうか、係数は有意に推定されているか、全体的な推定精度が良好であるか等の基準により総合的に評価した上で、最も推定結果の良好なものを採用した。その結果、最終的に計測に用いるものとして、属性変数は費用関数に直接的には組み込まれず、式(12)に示されるとおり需要密度と送配電ロス率が非効率性要素を通じて費用に影響を及ぼす定式化を採用した。

以上より、採用したモデルは具体的には燃料、労働、資本の各投入要素需要関数(1)式と、(12)式の非効率性要素の関数から構成される要素需要関数システムであり、これを繰り返し非線形SUR (Seemingly unrelated regression) 推定法により推定した。推定係数の総数は34である。推定結果から、費用関数は単調増加性及び非負性は全てのデータポイントにおいて満たされていることが確認され、投入要素価格に関する凹性は S 行列がNSDとなるよう係数に制約を与えて推定したため大域的に満たされることが保証されている。具体的には、ここで A を下方三角行列とすると、 $S = -AA'$ となるよう係数を再定式化して推定することより凹性の制約を課すことになる。係数推定結果は補論表2に提示する。

さらに、上記(12)式の非効率性係数に関しては推定係数について以下の検定 (χ^2 分布を用いたワルド検定) を行い、非効率性要素の統計的有意性に関する確認を行った。具体的には、(a)非効率性ファクターは企業固有ではない ($\phi_{LDD} = \phi_{KDD} = \phi_{LRI} = \phi_{KRI} = 0$)、(b)非効率性ファクターは時間的要素及び企業ごとの要素に依存しない ($d_i = (1 + \phi_i)^2$ かつ $d_k = (1 + \phi_k)^2$)、(c)非効率性ファクターは存在し

ない ($d_i = d_k = d = 1$)、というものである。ここで(c)の条件は d_i を1に基準化しているためである。検定統計量はそれぞれ以下の通りであった。(a) $\chi^2(4) = 19.57$ 、(b) $\chi^2(8) = 37.18$ 、(c) $\chi^2(10) = 561.85$ 。以上の検定結果より、制約(a)から(c)は全て有意水準1%で帰無仮説が棄却され、配分非効率性要素は企業ごと及び時間ごとに変化することが統計的有意性をもって確認された。

4. 実証分析結果

まず、労働、資本それぞれについての非効率性要素指標である d_i 、 d_k の推移を見るため、計測期間の初期時点 (1981年)、最終時点 (1998年) 及び全期間平均値を会社ごとに抜粋して図1(a)と図1(b)にそれぞれ提示する。

図1より、労働の配分非効率性を示す d_i 及び資本の配分非効率性を示す d_k は、ともに計測期間初期にのみ1を上回っているものの、次第に低下して1を下回って推移する傾向が見られ、新古典派費用関数における費用最小化の状態に比較して、この場合燃料に対して労働と資本が過少使用 (燃料は労働及び資本に対して過大使用) から過大使用 (燃料は労働及び資本に対して過少使用) へと転じている傾向が見られる。さらに、労働に対する資本の配分非効率性を示す d_k/d_i を計算してみると、1981年の2.324から1998年の1.187へと期間中減少傾向を示しているものの一貫して1を上回っており、資本の労働に対する過少使用 (労働の資本に対する過大使用) を示している。

以上の結果から、各電気事業者はシャドールコストを最小化しており、投入要素に関して市場価格ではなく仮想の価格に基づいて要素需要を決定していたことが分かる。一般的な定義として、投入要素の効率的な配分は市場で観察される価格に基づいて行われるもので

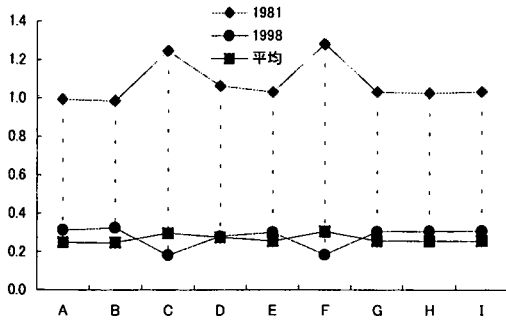


図1(a) d_i の企業別推移

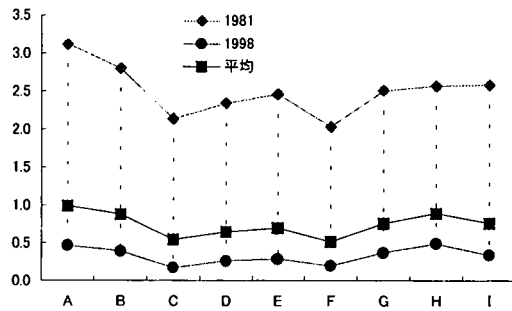


図1(b) d_k の企業別推移

あるため、その意味では各社は要素の非効率な配分を行っていることになるが、彼らのシャドー費用最小化の目的に関しては効率的であるのかもしれない。換言すれば、もし市場価格によって評価される費用が上昇するならば、一般的な意味での配分効率性は悪化するが、企業の経営効率性自体は悪化していないかもしれない。

次に、配分非効率性によって引き起こされている総費用の増加分を評価する。すなわち、この指標によって、配分非効率性を排除することによりどの程度の費用削減が見込まれるかを判断することができる。式(8)を使って計測した1981年から1998年の各社の配分非効率性に起因する総費用増加部分をその第一項により基準化してパーセンテージ表示したものが表1である。ただしここでは紙幅の節約のため1981年、1985年、1989年、1993年、1998年と全期間平均の数値を抜粋して示してい

る。

表1より、配分非効率性によりもたらされている総費用増加分は1981年で平均して4.52%となっているが、その後1985年ないし1989年ごろにかけて一旦減少した後増加傾向に転じているものの、1998年時点の全社平均で1.18%と低水準にとどまっており、全社全期間平均で見た場合も1.54%であった。特徴点として、各社間のばらつきが小さく、全期間平均でみてH電力の0.98%からF電力の2.55%と2%未満の範囲内に収まっていることが分かる。これはすなわち、配分非効率性の改善による費用削減余地が横並び的かつ低水準であることを示している。

配分非効率性による総費用の増加分は投入要素需要の歪みをもたらす全体的な影響を確認するのに有効であるが、一方で、個別の投入要素がそれぞれどの程度相対的に過大な

し過少使用されているのかを検討することは

表1 配分非効率性による総費用への影響度 (%)

会社	1981	1985	1989	1993	1998	平均
A	7.43	1.05	0.04	0.19	0.08	1.25
B	5.45	0.63	0.15	1.14	0.76	1.21
C	2.87	0.05	2.28	3.87	2.72	2.27
D	3.62	0.02	1.10	2.38	1.66	1.58
E	4.43	0.08	0.74	2.03	1.74	1.65
F	2.50	0.13	3.22	4.74	2.18	2.55
G	4.55	0.22	0.44	1.20	0.55	1.10
H	5.07	0.75	0.06	0.39	0.08	0.98
I	4.77	0.32	0.28	1.08	0.83	1.23
平均	4.52	0.36	0.92	1.89	1.18	1.54

表2 配分非効率性による要素需要への影響度 (%)

会社	燃料			労働			資本		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
A	3.51	22.99	-3.92	5.70	39.56	-17.85	-4.91	6.23	-33.01
B	0.79	16.13	-5.55	-1.91	45.78	-30.27	-1.55	10.96	-33.82
C	-3.59	11.28	-8.64	-28.56	39.88	-61.64	9.58	21.82	-26.61
D	-1.97	11.96	-7.42	-16.60	46.09	-49.79	4.87	17.05	-29.79
E	-3.34	15.41	-13.10	-14.99	31.83	-48.32	2.86	13.26	-24.53
F	-4.91	11.01	-10.91	-32.22	34.96	-68.04	10.63	22.85	-22.74
G	-0.34	15.42	-6.95	-5.63	39.82	-28.59	0.45	10.84	-29.01
H	3.19	19.38	-4.20	4.88	33.82	-13.47	-3.90	5.04	-26.11
I	-0.26	15.56	-7.34	-5.23	42.49	-35.91	0.25	12.89	-30.80

全体の費用増加の原因を探る上で有用と考えられる。そこで次に、配分非効率性の各投入要素需要に対する影響を見るため、非効率性を含む場合の要素需要推定値から非効率性を排除した最適な場合の推計値を減じた両者の差異を非効率性を含む場合の要素需要量で除して基準化し、パーセンテージ表示した結果を表2に示す。なお、ここで示される投入要素需要に対する配分非効率性の効果の推計値は、産出物水準を所与とした条件の上に成り立っている。

紙幅の節約のため、それぞれの投入要素に関して最適投入量との差の平均、最大、最小についてのみ示す。従って例えばA電力の燃料は、費用最小化のための最適使用量に比較して平均で3.51%過大使用されており、労働は5.70%過大使用、資本は4.91%過少使用であることが分かる（ただし過大使用と過少使用の場合、符号の関係から最大値と最小値の解釈が逆になることに注意を要する）。他の事業者に関しても同様に解釈することができる。企業によってそれぞれの要素の過大・過少使用のパターンが異なっているものの、全体的な傾向としては、平均でみて燃料と労働が過少使用されている一方資本は過大使用であることが分かる。これは北村・筒井（1996）及び服部・筒井（1998）で米国との比較において経営全体で計測された結果が資本及び労働の過大使用と燃料の過少使用を示している

結果とは労働の部分に関して異なるが、その原因としては、本稿の計測対象は発電部門のみであり、発電部門固有の結果である点、比較対象として日本国内の事業者に限定しており米国の事業者の最適要素需要パターンの影響を受けない点などが考えられる。

さらに、最適値と比較した要素需要過不足の企業平均を時系列推移で示したものが図2である。

1986年、1987年あたりを境に燃料及び労働は過大使用から過少使用へ、資本は過少使用から過大使用へと変化し、要素需要パターンの傾向が変化していることが分かる。この傾向は1990年代を通じて一貫しており、80年代の需要想定に基づき建設された資本設備が90年代に入り運用を開始し、その後の景気低迷に伴う需要の伸びの鈍化により過大傾向とし

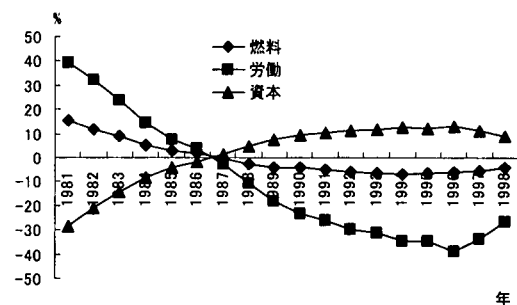


図2 要素需要過不足の時系列推移

表3 配分非効率性を考慮した場合と排除した場合の技術進歩率(%)

会社	配分非効率あり						配分非効率なし					
	1981	1985	1989	1993	1998	平均	1981	1985	1989	1993	1998	平均
A	-5.22	-2.92	-2.27	-1.93	0.84	-2.45	-6.43	-4.05	-2.87	-1.95	-0.59	-3.00
B	-4.45	-3.08	-2.80	-3.47	-2.01	-3.21	-4.87	-3.33	-2.38	-1.58	-0.58	-2.44
C	-5.08	-3.78	-4.67	-5.33	-4.08	-4.54	-4.32	-3.07	-2.28	-1.52	-0.46	-2.25
D	-3.78	-3.23	-3.87	-4.23	-2.69	-3.68	-4.39	-2.99	-2.27	-1.50	-0.41	-2.23
E	-4.50	-4.12	-4.23	-5.13	-3.56	-4.62	-6.75	-4.40	-3.35	-2.44	-1.24	-3.55
F	-5.27	-4.73	-5.87	-6.53	-3.66	-5.21	-4.50	-3.25	-2.42	-1.66	-0.55	-2.37
G	-4.71	-4.32	-3.75	-3.79	-0.94	-3.54	-5.23	-3.82	-2.79	-1.86	-0.57	-2.74
H	-6.55	-3.64	-2.59	-2.97	-0.25	-3.00	-6.39	-4.29	-3.14	-2.18	-1.10	-3.25
I	-4.57	-3.26	-3.06	-3.10	-1.56	-3.47	-4.93	-3.55	-2.62	-1.69	-0.64	-2.61

て顕われた結果と考えられる。

次に、技術進歩に関する計測結果を表3に示す。

表3から、配分非効率性を考慮した場合も排除した場合も、技術進歩率指標はほぼ全社全期間で負の数値を示していることが分かる。すなわち、本論文で用いる技術進歩率指標は費用関数によって計測され、他の条件を一定とした場合の期間ごとの費用削減度合いで定義されたものであるため、このように指標が負値となる場合費用増加が起こっていることを示唆している。配分非効率性を排除した効率的な場合は、技術進歩率指標は計測期間初期から中期において配分非効率性が存在する場合に比較して一時的に悪化する傾向が見られるもののその後徐々に改善され、1998年時点では全社において負の数値を示しているとは言え水準でみると縮小していることが分かる。例えば配分非効率性の排除による技術進歩率の改善が比較的大きく出ているC電力で見ると、配分非効率性の排除によって1998年時点で4.08%のマイナスから0.46%のマイナスにまで改善している。全社全期間平均で見た場合、3.47%の費用増加から2.61%の費用増加へと増加幅の縮小が見られた。

このような費用増加の原因としては、燃料、労働、資本といった費用関数に直接組み込まれている要素以外の費用要素の存在が考えられよう。すなわち、同一の発電電力量を維持するために必要な要素投入を時間とともに増

加させるような外生的費用要因の存在が考えられる。そのような外生的費用要因のうちわが国の電気事業を取り巻く状況から鑑み最も一般的に推察され得るものとして、諸外国に比較して厳しい基準を課されている環境規制や、高品質の電力供給を達成するために必要とされる資本設備投資などが考えられる。

技術進歩による要素需要へのバイアスを示す E_{it} の計測結果を企業平均で時系列表示したものが表4である。

表4に示されるバイアス指標の計測期間を通じた全体的傾向及び期間平均より、配分非効率性が存在する場合の燃料及び労働節約的 ($E_{Ft} < 0$ かつ $E_{Lt} < 0$) かつ資本使用的 ($E_{Kt} > 0$) であるものから、配分非効率性が排除された場合の燃料、労働、資本全てについて使用的 ($E_{Ft} > 0$ 、 $E_{Lt} > 0$ かつ $E_{Kt} > 0$) なもの

表4 技術進歩による要素需要へのバイアス

	配分非効率あり			配分非効率なし		
	E_{Ft}	E_{Lt}	E_{Kt}	E_{Ft}	E_{Lt}	E_{Kt}
1981	0.01	-0.01	0.16	0.11	0.24	0.19
1982	0.00	-0.02	0.14	0.10	0.20	0.17
1983	0.00	-0.04	0.14	0.08	0.16	0.16
1984	-0.01	-0.06	0.13	0.07	0.13	0.14
1985	-0.01	-0.08	0.12	0.06	0.11	0.12
1986	-0.03	-0.09	0.13	0.05	0.08	0.14
1987	-0.03	-0.11	0.12	0.04	0.06	0.12
1988	-0.04	-0.14	0.12	0.03	0.05	0.11
1989	-0.03	-0.15	0.12	0.02	0.04	0.09
1990	-0.03	-0.16	0.12	0.02	0.03	0.07
1991	-0.03	-0.18	0.12	0.01	0.02	0.07
1992	-0.04	-0.21	0.12	0.01	0.01	0.06
1993	-0.05	-0.25	0.13	0.00	0.01	0.06
1994	-0.05	-0.28	0.14	0.00	0.00	0.05
1995	-0.05	-0.30	0.14	0.00	-0.01	0.04
1996	-0.04	-0.31	0.13	-0.01	-0.02	0.04
1997	-0.05	-0.34	0.14	-0.01	-0.02	0.04
1998	-0.07	-0.39	0.14	-0.01	-0.03	0.03
平均	-0.03	-0.17	0.13	0.03	0.06	0.09

表5 配分非効率性を考慮した場合と排除した場合の規模の経済性指標

会社	配分非効率あり						配分非効率なし					
	1981	1985	1989	1993	1998	平均	1981	1985	1989	1993	1998	平均
A	-0.1830	-0.0835	0.0209	0.0808	0.0741	-0.0057	-0.1977	-0.0843	0.0210	0.0809	0.0742	-0.0074
B	-0.0902	-0.0428	0.0101	0.0412	0.0558	0.0043	-0.0954	-0.0431	0.0101	0.0417	0.0563	0.0040
C	0.0073	0.0245	0.0493	0.0635	0.0677	0.0464	0.0075	0.0246	0.0505	0.0660	0.0696	0.0477
D	-0.0349	-0.0118	0.0270	0.0423	0.0448	0.0185	-0.0362	-0.0118	0.0273	0.0433	0.0456	0.0189
E	-0.3953	-0.2087	-0.0006	0.1526	0.1529	-0.0313	-0.4136	-0.2089	-0.0006	0.1558	0.1556	-0.0318
F	-0.0064	0.0208	0.0430	0.0569	0.0573	0.0362	-0.0066	0.0209	0.0445	0.0597	0.0586	0.0373
G	-0.1097	-0.0305	0.0501	0.0751	0.0631	0.0189	-0.1149	-0.0305	0.0504	0.0760	0.0634	0.0187
H	-0.1403	-0.0261	0.0710	0.1182	0.1403	0.0503	-0.1478	-0.0263	0.0710	0.1187	0.1404	0.0497
I	-0.0718	-0.0068	0.0448	0.0586	0.0679	0.0289	-0.0754	-0.0069	0.0449	0.0592	0.0685	0.0289

へと変化する傾向が見られ、また後者においては前者に比較して資本の使用度合いが減少する傾向が見られた。

次に、規模の経済性の計測結果を配分の非効率性が存在する場合と排除した(効率的な)場合について表5に示す。

表5の計測結果から、規模の経済性に関しては配分非効率性が存在する場合と排除された場合で顕著な差異は認められず、双方とも計測期間初期において規模に関する収穫逓減の状態(指標が負の数値)が観測された後、1980年代後半からは規模に関して収穫逓増の状態(指標が正の数値)に変化してきており、1990年代以降は全ての企業で指標が正の数値となり規模の経済性の存在を示唆していることが分かる(ただしC電力は計測期間を通じて収穫逓増の状態であった。また、全期間平均で見た場合はA電力とE電力の2社で負の数値が示されている)。

これまでのわが国電気事業発電部門に関する先行研究では、規模の経済性に関して様々な結論が提示されており、一貫性のある結果を導き出していないのが現状である。そのような結果の相違がもたらされる原因の1つとして、計測手法や期間、データの定義がそれぞれの研究で少しずつ異なっていることが指摘され得る。例えば比較的最近年のデータを使用した計測例である渡辺・北村(1998)では、大規模事業者で規模の経済性が消滅しつつある傾向が見られる一方、中規模以下の事業者では依然として規模の経済性が存在して

いるという結論が出されており、今回の計測結果とは異なっている。さらに本研究の場合、そのような計測期間やデータの定義の相違点に加え、より根本的な計測の前提条件に係わる違いとして、配分非効率性の考慮があげられよう。すなわち、従来の研究では新古典派費用関数を使用しており、配分非効率性を考慮していない。一方本研究では、個々の企業が観測される投入要素の市場価格に基づいて費用最小化行動をとっていることを前提としておらず、配分非効率性を明示的に考慮した一般化費用関数の推定に基づいて規模の経済性指標を推計している。従ってこの非効率性の考慮の有無が計測結果に影響を及ぼしている可能性が必然的に考えられる。

いずれにしろ、今回の計測では収穫逓減、逓増の双方の場合とも指標の水準自体は非常に小さく、これはすなわちいずれの場合においてもほぼ収穫一定の水準で生産を行っていることを示している。

5. まとめ

本論文では1981年から1998年のわが国9電気事業者の発電部門に関する効率性、技術進歩、規模の経済性、投入要素需要を分析するために一般化(シャドー)費用関数を用いている。その際投入要素のシャドープライスを用いることにより対称一般化マクファデン(SGM)費用関数を配分非効率性を内包する形に拡張して定式化している。SGM費用関数は関数として2階の伸縮性を有するのみで

なく大域的な凹性を満たすことが可能であり、全てのデータ領域においてはこの凹性を(ほとんどの場合)満たすことが困難とされるトランスログ費用関数に対して利点を有している。また、発電部門の燃料に対する他の投入要素の相対的な配分非効率性要因は投入要素ごと、会社ごとに固有の計測結果を得ることに加え、時間に関しても変化を捉え得るよう定式化されている。

実証分析結果より、一般化費用関数の特殊ケースとして定義される、全く配分非効率性が存在しない新古典派費用関数は棄却され、労働及び資本の各要素価格に関する非効率性要因は投入要素及び企業に固有のものであり、かつ時間に依存して変化することが統計検定によりその有意性をもって確認された。配分非効率性により生じる個々の要素需要の過不足は、燃料に対する労働、資本の過大使用が示された。費用最小化を達成する最適使用量との比較では、企業平均の推移を見た場合1980年代末以降1990年代を通じて一貫して燃料、労働の過少使用と資本設備の過大使用の傾向が計測された。一方で、配分非効率性により引き起こされている費用の増加分の計測では、全社全期間平均で1.54%と低水準であり、投入要素ごとの最適使用量に比較した実際の使用量の過大ないし過少の程度からすると非常に小さくなっている。これは、燃料及び労働の過少使用と資本の過大使用が結果的に費用としては相殺されているためであり、要素ごとの配分非効率性の水準は比較的大きいものの総費用全体で評価した場合配分非効率性の排除による費用削減余地はあまり存在していないことを意味している。配分非効率性に影響を及ぼしたと考えられる時間的要素として、1995年に改正された電気事業法及びその後の部分自由化の影響を捉えるため導入した規制緩和ダミーは、今回の計測では有意

に推定されなかった。本研究ではデータの制約により1998年までの動きしか捉えておらず、規制緩和の効果を評価するには時期尚早の感があることは否めない。今後データを延長することにより規制緩和の効果を分析することが可能となると思われる。

また、技術進歩率指標及び規模の経済性指標についても、配分非効率性を考慮した場合とそれが排除された効率的な場合の双方に関して計測を行った。技術進歩率指標の計測結果から、配分非効率性が存在する場合と排除された場合の双方においてほぼ全てのデータ領域で負の数値、すなわち費用増加が見られた。このような費用増加の一因として推察されるのは、費用関数に直接組み込まれていない外生的費用要素の存在である。例えば最も一般的なものとして、環境規制や供給される電力の品質向上に資することを目的とする設備投資等が考えられよう。このような外生的要因を考慮した費用関数の計測は今後の課題である。一方で、配分効率性の改善によって指標の改善が可能となることが示唆された。これは、技術進歩の要素使用傾向の変化に起因していると考えられる。すなわち、技術進歩の各投入要素に関する使用傾向は、配分非効率性が存在する場合燃料及び労働が節約的、資本は使用的であるが、非効率性を排除した場合は燃料及び労働が使用的に変化するとともに、資本は一貫して使用的であるもののその水準が低下しており、費用効率的な要素使用に調整されることに起因している。規模の経済性については配分非効率性が存在する場合と排除した場合に顕著な差異がみられない。ともに計測期間の初期に規模に関して収穫逡減であったものから、1980年代後半以降収穫逡増へと変化しており、かつ全体的に指標の水準が非常に小さいことから、いずれの領域においても収穫一定の規模近傍で生産

を行っていることが示唆された。電気事業における規模の経済性の計測に関しては、米国、日本を問わずいくつかの先行研究において複数の分析法・フレームワーク、計測期間及び計測対象について異なった結果が得られており、確定的な結論が導き出されているとは必ずしも断定できない状況にある。従ってこの問題に関しては今後においてもより慎重な検討を要するであろう。

以上の結果から次のことが指摘される。第一に、配分非効率性による総費用への影響度合いに関して、会社ごとのばらつきが小さくその水準自体も低いことから、従来のヤードスティック的な競争では要素配分の適正化による費用削減効果に限界があり、かつそれによって達成されると期待される費用削減水準も低いこと、第二に、技術進歩率指標からはほぼ全期間において費用増加がみられることから、既存の技術ないしその延長線上の技術によって新規参入が起こったとしても、非効率のしわ寄せがどの部分に配分されるかといった変化にとどまる可能性が高く、産業全体で見た費用削減への抜本的な解決策には結びつきにくい構造が存在することが予想される。この問題をさらに掘り下げて検討するためには、費用増加の原因と推察される環境規制対策や電力の品質向上のために要する費用部分がどの程度あるのかを分析する必要がある。

しかし、今後何らかの新しい技術や制度の導入によって費用削減効果が生じることは期待されよう。近年では技術的に成熟した産業として考えられてきた電力産業にも、現在実験段階にあるマイクロガスタービン技術や情報技術の適用・実用化などにより、不変と考えられてきた技術構造及び市場構造にも新たな動きが見え始めている。このような動きが加速されることにより、今後の経営効率化へ

の貢献が期待される。

補論

1. 使用データ一覧

使用データに対応する変数名及び概要は以下の表1に示す通りである。データ出所は、通商産業省資源エネルギー庁公益事業部監修「電気事業便覧」及び各社の「有価証券報告書」を元に当所にて加工作成したものである。

2. 資本ストックデータの作成方法

実質資本ストックデータの作成はCowing *et al.* (1981) に従い以下のとおり行った。

$$CS_t = CS_{t-1} + \frac{NI_t}{PI_t}, \quad t = 1981, \dots, 1998,$$

ここで CS_t は t 年の調整後資本ストック、 NI_t は t 年の純投資額、 PI_t は t 年の資本財価格指数(1995年基準)である。基準年の資本ストック CS_{1980} は資本財価格指数の“triangularized” weighted averageとして以下のとおり計測される。

$$CS_{1980} = \frac{BK}{\sum_j \left(\frac{j}{\sum_j j} \right) PI_j},$$

ここで j は1961年から1980年における j 番目の年を表し、 BK は1980年における発電部門資本設備の帳簿価額である。

補論表1 使用データ一覧

データ	変数名	内容	単位
生産物	Y	総発電電力量	GWh
資本価格	w_K	発電部門の資本費÷資本ストック (K)	千円 / 資本ストック
労働価格	w_L	発電部門の (人件費) ÷ 当期月平均給与人員数 (L)	千円 / 人
燃料価格	w_F	燃料費 ÷ 熱量換算燃料使用量	千円 / 10^9 kcal
総費用	$C(\cdot)$	発電部門の (人件費) + (委託費) + (減価償却費) + (修繕費) + (支払利息) + (燃料費)	千円
資本費		発電部門の (減価償却費) + (修繕費) + (支払利息)	千円

3. 要素需要関数システム係数推定結果一覧

補論表2 係数推定結果

変数	推定値 (t 値)	変数	推定値 (t 値)	変数	推定値 (t 値)	変数	推定値 (t 値)
ϕ_K	0.4985 (0.81)	β_{Kl}	4.60E-03 (3.52) **	β_{Fl}	-5.34E-04 (-0.87)	S_{FF}	-0.0511 (-2.42) *
ϕ_{Kl}	-0.1796 (-1.85)	α_{KYl}	-0.0138 (-1.14)	α_{FYl}	1.56E-03 (0.27)	S_{FL}	-0.0290 (-2.81) **
ϕ_{Kll}	6.43E-03 (1.57)	δ_{Kll}	-1.58E-04 (-0.33)	δ_{Fll}	-6.26E-04 (-1.72)	S_{LL}	-0.0178 (-0.91)
ϕ_{KDD}	-0.1476 (-2.90) **	ϕ_{LDD}	0.1364 (1.04)	b_L	9.08E-03 (3.94) **	S_{FK}	0.0801 (3.27) **
ϕ_{KRL}	0.3849 (3.62) **	ϕ_{LRL}	-4.05E-03 (-0.02)	b_{LL}	0.0300 (1.01)	S_{LK}	0.0468 (2.77) **
ϕ_L	0.0308 (0.02)	b_F	-0.0413 (-7.63) **	b_{Li}	7.67E-03 (1.52)	S_{KK}	-0.1269 (-4.59) **
ϕ_{Li}	-0.1221 (-0.59)	b_{FF}	0.4967 (8.08) **	β_{Li}	-4.58E-04 (-1.96) *	δ_{Lli}	-2.42E-04 (-1.07)
ϕ_{Lli}	1.55E-03 (0.26)	b_{Fl}	0.0187 (1.94)	α_{LYl}	-7.15E-04 (-0.29)	b_K	7.84E-03 (0.98)
b_{KK}	0.3087 (5.54) **	b_{Kl}	0.0137 (1.26)				

注) 1. () 内の t 値はWhiteの方法による不均一分散調整済み一致標準誤差によるものである。
 2. t 値 () の添え字**及び*はそれぞれ有意水準 1% と 5% で推定係数が統計的に有意であることを示す。

謝辞

本論文の作成にあたり名古屋大学の根本二郎助教授には研究の初期の段階から懇切なご指導を賜りました。また、二名の匿名査読者からはいくつかの大変有益なコメントを頂戴致しました。ここに心より御礼申し上げます。もちろん、論文に残された一切の誤りは著者のみの責任に帰属するものであることをここに記します。

【参考文献】

- [1] 穴山悌三 (1997) 「ヤードスティック規制の有効性」公益事業研究、49(2)、11-18。
- [2] 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、37、3-14。
- [3] 小池宜弘 (2000) 「電気事業におけるヤードスティック査定方式の実証分析」公益事業研究、133。
- [4] 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、第43巻1号46-59。
- [5] 鳥居昭夫 (1994) . 「規制と企業効率」植草益編『講座・公的規制と産業①電力』第6章、NTT出版。
- [6] 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—ヘッ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。
- [7] 服部徹・筒井美樹 (1998) . 「日米電気事業の経営効率性比較分析—パラメトリックアプローチの応用—」電力経済研究、40、61-72。
- [8] Atkinson, S.E. and R. Halvorsen (1984) , "Parametric Efficiency Tests, Economies of Scale, and Input Demend in U.S. Electric Power Generation," *International Economic Review*, 25, 623-638.
- [9] 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.
- [10] Atkinson, S.E. and C. Cornwell (1994a), "Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data," *International Economic Review*, 35, 231-243.
- [11] 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.
- [12] Cowing, T.G., R.E. Stevenson and J. Small (1981), "Comparative Measures of Total Factor Productivity in the Regulated Sector: The Electric Utility Industry," in *Productivity Measurement in Regulated Industries*, edited by Cowing, T.G. and R.E. Stevenson, 161-177, Academic Press.
- [13] Diewert, W.E. and T.J. Wales (1987), "Flexible Functional Forms and Gloval Curvature Conditions," *Econometrica*, 55, 43-68.
- [14] Kumbhakar, Subal. C. (1992), "Allocative Distortions, Technical Progress, and Input Demand in U.S. Airlines: 1970-1984," *International Economic Review*, 33(3), pp.723-737.
- [15] Lovell, C.A.K. and R.C. Sickles (1983), "Testing Efficiency Hypothesis in Joint Production: A Parametric Approach," *Review of Economics and Statistics*, 65, 51-58.
- [16] Rask, Kevin (1995), "The Structure of Technology in Brazilian Sugarcane Production, 1975-87. An Application of A Modified Symmetric Generalized McFadden Cost Function," *Journal of Applied Econometrics*, 10, 221-232.
- [17] Roller, L. H. (1990), "Proper Quadratic Cost Functions with an Application to the Bell System," *Review of Economics and Statistics*, 72, 202-210.
- [18] Toda, Y. (1976), "Estimation of a Cost Function When the Cost is not Minimum: The Case of Soviet Manufacturing Industries, 1958-1971," *Review of Economics and Statistics*, 58, 259-268.

(きたむら みか)
電力中央研究所 経済社会研究所