

複数財対称一般化マクファデン費用関数を用いた 費用構造分析：わが国電気事業の垂直統合の経済性

Analysis of cost structure by multi-product symmetric generalized
McFadden cost function: economies of vertical integration of the Japanese
electric power companies

キーワード: 対称一般化マクファデン費用関数、垂直統合の経済性、可変費用、総費用、
電気事業

北村美香 根本二郎

本研究は、電気事業の発電部門と送配電部門を垂直統合型企業の上流部門と下流部門とし、複数財対称一般化マクファデン費用関数を用いて両部門における垂直統合の経済性を計測する。その際電気事業が典型的装置産業であるという産業の特徴を考慮して計測を行うため、資本設備が每期ごとに最適な水準に調整されるわけではないとする仮定の下で、複数財可変費用関数を固定費用関数と同時に推定する。また、垂直的な費用構造の下での要素需要の重複計算に関する構造的な制約を組み込み、固定費を考慮した総費用に基づくわが国電気事業の垂直統合の経済性の計測とそれに関する考察を行う。

1. はじめに
2. 垂直統合の経済性の概念
 - 2.1 先行研究の動向
 - 2.2 自然独占性と垂直統合の経済性
 - 2.3 垂直統合の経済性の計測指標
3. データと推定モデル
 - 3.1 データ
 - 3.2 推定モデル
4. 実証分析結果
 - 4.1 費用関数推定結果
 - 4.2 総費用関数に基づく垂直統合の経済性
5. まとめと今後の課題

1. はじめに

国内外における近年の様々な産業の規制緩和と動向を見た場合、特に諸外国において最も急激な変化を遂げているものが電力産業であろう。1990年における英国の電力市場自由化をはじめ、欧州各国および米国の一部の州においても、発電部門、送電部門、配電部門の（会計ないし会社）分離を含めた、電力市場の再編を伴う規制緩和の急速な進展が見られる。そのような世界的な規制緩和の潮流の中で、わが国電気事業においても、1995年12月に改正・施行された電気事業法の下で、一部新設火力電源の競争入札という形で発電部門に部分的な競争が導入された。その

後、電気事業審議会においてさらなる競争環境の整備を目的とした議論が継続され、2000年からは自由化の対象を従来の卸売部門から小売部門（一部大口需要家）へと拡大する方針が1999年1月の基本政策部会報告において固められた。

しかし、本来このような経済的産業規制のあり方の議論は、対象とする産業がどのような費用構造を有しているのかという基礎的な分析結果に基づいてなされるべきであろう。そのような費用構造分析の中で最も重要なものの1つとして、規制の根拠となる自然独占性の存在の検証があげられる。

従来、わが国電気事業の費用構造分析に関する議論は規模の経済性の議論に集約されが

ちであった。生産される財が1財である場合、規模の経済性の存在は自然独占性のための十分条件であるため、そのような議論は産業の自然独占性の検証において意味を持つものである。しかし、複数の財を複数の部門において生産する構造を考えると、それらが互いに費用節約的に生産されているかどうか、という範囲の経済性の概念が生じ、全体的な規模の経済性のみでは自然独占性の必要条件にも十分条件にもなり得ないことが示された (Baumol *et al.* (1982) p.172)。

わが国の電力の大部分は、発電から配電小売まで垂直的に統合された10の地域独占電力会社によって最終需要家に供給されている。このような産業構造の場合、発電、送配電といった各機能別の部門が、それぞれに別の生産を行いながら全体として垂直的に統合されていると考えることが可能である。そこで本研究では、従来のわが国電気事業に対する費用構造分析を更に推し進め、垂直的な費用構造において自然独占性の必要条件となる垂直的な範囲の経済性の計測を行う。その際、広範囲なデータ領域における計測結果を検証する必要性を考慮し、推定される費用関数の適切さ (properness) に重点を置いた計測を行う。

本稿の構成は以下の通りである。第2章では電気事業における費用構造分析の先行研究を概観した後、本研究で計測の焦点となる垂直的な範囲の経済性の概念について記述する。第3章では推定に用いたデータ及び関数形を説明し、その推定結果を用いて導き出される垂直統合の経済性の指標について具体的な定式化を行う。第4章では実証分析結果を示し、最終章 (第5章) でまとめと今後の課題について述べる。

2. 垂直統合の経済性の概念

2.1 先行研究の動向

電力産業に関する費用構造分析では、Weiss (1975) や Joskow and Schmalensee (1983) で議論される通り、送配電部門は規模の経済性の存在により自然独占性を有するという主張が存在する。また、Landon (1983) は、電気事業の発電、送配電という垂直的な部門構造に着目し、長期的な契約下で生じ得る経済環境等の不確実性、設備の特殊性、上流部門 (発電) と下流部門 (送配電) の技術の密接な相互依存的関係及びその複雑性 (これらは Joskow and Schmalensee (1983) でも議論されている) から、垂直統合型企業が計画、運用において各部門の情報を内部化し、部門間の調整を行いながら最小費用を達成できるであろうと主張する。

このような議論を基に、米国では電気事業における垂直統合の経済性を直接的ないし間接的に計測することを試みた実証分析がいくつか存在する。Henderson (1985) や Roberts (1986) は、自然独占性の検証を目的とした研究ではないが、電気事業に関する費用分析を行うことにより、送配電部門を発電部門と独立に分析することはできないことを示した。Kaserman and Mayo (1991) では、自然独占性の十分条件の検証を行うために複数財生産の場合における範囲の経済性の概念を、電気事業の垂直的な費用構造に応用した。そこでは、発電部門と送配電部門の産出物からなる二財費用関数を推定することによって直接的に垂直統合の経済性並びに財固有の規模の経済性の計測を行っている。Gilsdorf (1994) は、複数財トランスログ費用関数を推定し、費用関数の近似点で見た局所的な発電、送電、配電の各部門間の弱費用補完性と

それぞれの部門固有の規模の経済性を検証している¹。Hayashi *et al.* (1997) では、同じく複数財トランスログ費用関数を用いることにより、送配電部門と発電部門に対する費用関数の分離可能性 (separability) を検証し、垂直統合の経済性が存在するか否かの確認を行っている。

しかしながら、これらの先行研究のうち Kaserman and Mayo (1991) 以外はいずれもトランスログ費用関数を用いていることから、関数の近似点における局所的な経済性の評価にとどまり、広範囲なデータ領域において垂直統合の経済性がどの程度存在するかに関する直接的な計測は行われていない。一方 Kaserman and Mayo (1991) では、費用関数の説明変数として投入要素価格が考慮されておらず、関数の伸縮性の喪失が計測結果に与えるバイアスが問題となる²。そのような計測手法における限界に加え、必ずしも同じデータセットを用いているわけではないため、これら一連の米国電気事業者に関する自然独占性、規模の経済性、垂直統合の経済性に関する費用構造の実証分析結果は、現在のところ共通の合意に基づく整合的な結論に至っているとは言えない。

以上の米国における一連の研究成果からも明らかな通り、電気事業の発送配電一貫の産

業形態が費用効率性の観点から有利性を持つのかどうかという分析は、わが国電気事業の望ましい産業構造を考える際の重要な論点として認識されよう。

わが国電気事業の費用構造に関する実証分析は、経営全体、発電部門、送配電部門のいずれか1つを分析対象とし、そこでの産出物をそれぞれ1財とした場合の規模の経済性の計測を中心として行われてきた³。また、それら先行研究のほとんどに共通する分析フレームワークとして、長期費用関数を用いている点が指摘される。Nemoto *et al.* (1993) では、短期費用関数の推定を通じてわが国電気事業者の最適資本ストックと実績資本ストックとの乖離を分析し、その結果過剰設備の可能性を指摘するとともに一部の企業を除いて規模の経済性が喪失してきていることを示したが、垂直的な費用構造分析は行っていない。服部 (1999) では、電気事業の垂直的費用構造分析を行うことにより、発電部門と送配電部門が別々に分析することはできないことが示されたが、垂直統合の経済性の計測は行われていない。渡辺・北村 (1994, 1998) では、垂直的費用構造分析を通じて直接的に発電部門と送配電部門の垂直統合の経済性の計測を行っているが、前者は Kaserman and Mayo (1991) らと同様の費用関数型を用いているため、費用関数の伸縮性の喪失からくる推定結果のバイアスが危惧される。後者は、複数財ハイブリッド短期費用関数の推定を行い、伸縮性の問題を克服しているが、資本設備に関する単調減少性を満たしていないサンプルがかなりの数存在する等、推定自体のパフォーマンスに改良の余地が残されていた。

¹ 弱費用補完性が存在するということは、複数財生産においてある財の限界費用が他の財の生産量を増加することによって増加させられることがないことを意味する。これは、「2回微分可能な複数財費用関数の産出物集合 N において、その産出物水準 y に至るまでの領域で弱費用補完性が成立すれば、 N の全ての構成要素に関して y において範囲の経済性が存在する」(Baumol *et al.* (1982) p.75, Panzar p.22) ことに基づいた分析である。すなわち、弱費用補完性の成立は範囲の経済性の十分条件であるため、弱費用補完性が成立していれば範囲の経済性の存在を意味する。ただし、十分条件であるため逆は必ずしも成立しないことに注意を要する。

² その他に、Gilsdorf (1995) では自然独占性の成立のための条件式をローカルなデータ領域で直接的に計測しているが、垂直統合の経済性や規模の経済性に関する言及は行っていない。

³ わが国及び米国における電気事業の規模の経済性研究に関する動向は根本 (1992)、新庄 (1994) 及び鳥居 (1994) 参照。

2.2 自然独占性と垂直統合の経済性

発電部門と送配電部門に関して垂直的な自然独占性が成立する十分条件の1つは、発電部門、送配電部門が共に固有の規模の経済性を有し、かつ両部門間に範囲の経済性が存在することである⁴。特に、垂直的な範囲の経済性の存在の有無は、現在電力市場の規制緩和を進めている欧米各国で典型的に見られる発電、送電、配電、小売といった機能別の分割（会計分離ないし会社分割）の是非を問う議論を行う際、考慮すべき重要な課題であり、範囲の経済性が存在することは、自然独占性成立の必要条件でもあるため、現実の議論に対するインプリケーションも大きいと考えられる。

ここで、以下において垂直的な部門間における範囲の経済性を垂直統合の経済性と言い換えることとする。垂直統合の経済性は、発電部門の生産を、送配電部門の生産を、生産要素価格ベクトルを w とすると、 $C(y_U, y_D, w) < C(y_U, 0, w) + C(0, y_D, w)$ が成立することである。これは、各部門の生産を単独で行った場合の合計費用（右辺）が両方を統合して生産した場合の費用（左辺）を上回る状態を意味しており、この条件が成立している状況下では、両部門を分割することにより、統合生産する場合に比較して全体として費用の上昇を引き起こすことを意味する。

この垂直統合の経済性の検証を電力産業に適用する場合、産業の持つ特性から以下の留意点が存在する。電気事業に代表される装置産業の場合、各段階（発電、送配電）ごとに固有の固定設備が存在し⁵、それらは例えば10年から15年といった長期間にわたる需要

見通しに基づいて長期的に最適な設備形成となるよう投資が行われる。そのため、毎期毎期の資本設備量は調整過程にあると考えられ、総費用を最小化するよう最適化されていると想定して費用関数を推定することは非現実的な面があると考えられる。そこで、我々はそのような可能性による推定上のバイアスを避けるため、準固定的な投入要素である資本設備を所与とした可変費用関数を推定する。その上で、可変費用関数に固定費用関数を加えた総費用関数の推定値を用いることにより費用構造分析を行う。

固定費用を含む費用関数は、一般性を失うことなく、固定費用部分と可変費用部分に分離して以下の通り表すことができる。

$$C(y_U, y_D) = G + c(y_U, y_D) \quad (1)$$

ここで、固定費用 G は各財の生産量 y_U 、 y_D には依存しないが、正の生産量を持つ財の組み合わせに依存すると仮定する。具体的には、ある財の生産に固有の資本設備及び固定費用と、両方の財に共通する資本設備及び固定費用の存在を考慮し、それら資本設備量の存在が、生産する財の組み合わせを表すものとし、かつ固定費は各資本設備の量に依存するものとして、 $G = G(k_U, k_D)$ という定式化を行う。ここで k_U は発電部門に帰属する資本設備であり、 k_D は送配電部門に帰属する資本設備である。

2.3 垂直統合の経済性の計測指標

発電部門の生産と y_U 送配電部門の生産 y_D の間における垂直統合の経済性指標（Economies of Vertical Integration : *EOVI*）

⁴ 複数財生産の場合の費用の劣加法性成立のための条件は複数提示されている（Baumol *et al.* (1982), Chap. 7, Sharkey (1982), Chap. 4 を参照のこと）。

⁵ 電力産業の発電部門と送配電部門の場合、両部門に共通の固定設備は、販売及び一般管理部門に関連する本社機能、販売機能等のための資本設備である。一方、部門固有の固定設備は、発電部門の場合発電プラント設備、送配電部門の場合送配電ネットワークの流通設備である。

は、以下の定義式により計測される。

$$EOVI_{UD} = VC(y_U, y_D) - VC(y_U, 0) - VC(0, y_D) \quad (2)$$

ここでは簡単化のため、産出物以外の費用関数の説明変数を省略してある⁶。これを統合生産のコストで基準化し、改めて $EOVI_{UD}$ として定義し直すと以下の通りとなる。

$$EOVI_{UD} = \frac{VC(y_U, y_D) - (VC(y_U, 0) + VC(0, y_D))}{VC(y_U, y_D)} \quad (3)$$

$$EOVI_{UD} = \begin{cases} \geq 0 & \text{垂直統合の経済性なし} \\ < 0 & \text{あり} \end{cases} \quad (4)$$

この垂直統合の経済性は、上流部門（発電部門） U と下流部門 D （送配電部門）が統合されたときの総費用 $C(y_U, y_D)$ と、それぞれを単独で生産したときの費用（スタンドアロン費用）の合計 $C(y_U, 0) + C(0, y_D)$ との差を、統合したときの費用で基準化した比率である。

ここで、計測における注意点として、以下の問題点が指摘される。すなわち、分割生産した場合の部門別費用を、推定した費用関数から計算する場合、費用関数の構造上、一部の投入要素費用に関して両部門で重複計算の問題が生じるということである。そこで、可変投入要素のうち、上流部門の生産にのみ使用されるもの、あるいは下流部門の生産にのみ使用されるものが存在する場合、それらが部門個別費用の計測において、投入要素価格ベクトル W に関連して両部門に重複発生することを避ける必要性が生じる。本研究では、この問題に対処するため、費用関数の推定において要素需要関数に関連する制約を置くこととした。具体的な制約は第3章で説明する。ただし、この制約は費用関数の推定に際して推定係数の値に影響を及ぼすことを通じて関

数に内包されるものであり、垂直統合の経済性指標の定義式自体には影響しない。

3. データと推定モデル

3.1 データ

本研究では、わが国9電力会社の1980年から1997年の18期間にわたる各社別年次データをプールして用いている。使用データに対応する変数名及び簡単な内容説明、単位は、以下の表1に示す通りである⁷。

まず、発電部門と送配電部門にそれぞれ対応する生産物として、生産 y_U と y_D 生産を考える。発電部門の生産 y_U は自社の発電電力量とする。送配電部門の生産 y_D に関しても、基本的には最終需要家に対する電気の販売量と考えられる。しかし、最終需要家に対する需要種別の販売電力量は、それぞれが流通ネットワーク設備の利用度合いにおいて異なっており、同じ1kWhの電力の供給であっても、需要種別ごとにその供給コストが異なっている。そこで、この需要種別の電力供給コストの違いが送配電サービスの提供度合いの違いを表す1つの基準であると考え、需要種別の販売量をそれぞれの総合単価によりウェイト付けして加工している。融通及び他社販売電力量も、同様にその単価によりウェイト付けして加算している。具体的には、 i 需要種に対して $\sum_i kWh_i \times \frac{\text{総合単価}_i}{\sum_i \text{総合単価}_i}$ という計測を行うため、総収入を総合単価の合計で除した数値と等しくなる。

投入要素に関しては、資本設備として発電、送電、変電、配電、業務からなる経営全体の資本費を資本のユーザーコストで割ったもの

⁷ 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」。

⁶ すなわち、投入要素価格 W は省略している。

表 1 使用データ一覧

| データ | 変数名 | 内容 | 単位 |
|------------|------------|---|---------------------|
| 生産物 U | y_U | 発電電力量 | GWh |
| 生産物 D | y_D | 需要種別加重電力販売量（融通・他社販売量含む） | GWh |
| 資本設備 | k | 資本費÷資本のユーザーコスト (w_k) | 100万円 / 資本のユーザーコスト |
| 燃料価格 | w_f | 燃料費÷熱量換算燃料使用量（化石燃料+核燃料）(F) | 100万円 / 10^9 kcal |
| 労働価格 | w_l | (人件費+委託費)÷当期月平均給与人員数 (L) | 100万円 / 人 |
| 購入電力価格 | w_p | (融通購入電力料+他社購入電力料)÷(融通購入電力量+他社購入電力量) (P) | 100万円 / GWh |
| 資本費ないし固定費用 | $G(\cdot)$ | 全部門（発電部門、送電部門、変電部門、配電部門、業務部門）設備に対する（減価償却費）+（修繕費）+（支払利息）+（固定資産税） | 100万円 |
| 可変費用 | VC | (燃料費)+(労働費)+(購入電力量) | 100万円 |

を用いる⁸。資本のユーザーコストは Christensen and Jorgenson (1969) に基づき

⁸ このような簡便法を採用した理由は、各部門の資本設備が物理的にはそれぞれ異なる計測単位を持ち、1つの指標とするためには複数の資本設備を指数化する問題が存在すること、また、恒久棚卸法などを用いて資本ストックの推計を行うためには、少なくとも1年分の資本設備の時価評価額が必要となるが、そのようなデータが公開データベースから入手できないことによる。しかし、このように資本をインプリシットに求めることは、資本稼働率の変動を無視することになり電気事業の場合には特に問題である。そこで、費用関数の推定の際には、設備利用率を属性変数として採用し調整を行っている。

$w_k = P(r + \delta)$ とした。ここで、 P は資本財価格指数（日本銀行：総合卸売物価指数）、 r は長期プライムレート（長期信用銀行）、 δ は減価償却費÷前期末固定資産期末帳簿価額（有価証券報告書）である。燃料価格は燃料費を熱量換算した燃料投入量で除して計算した。労働価格は従業員給与に委託関係費を加えたものを従業員数で除して計算している。資本費は減価償却費、修繕費、支払利息、固定資産税の合計とした。購入電力量に関しては、それが送配電部門の生産物の一部として計上されること、及び生産構造全体において発電部門の資本設備量との整合性を保つ必要性から、投入要素として考慮した。

使用データの全社全期間平均を表 2.1 と表 2.2 に示す。

表 2.1 使用データ平均 (1)

| 項目 | 燃料 | | | 購入電力 | | |
|----|-------------|---------|--------|-----------|---------|--------|
| | 数量 | 費用 | 単価 | 数量 | 費用 | 単価 |
| 単位 | 10^9 kcal | 100万円 | 1000円 | GWh | 100万円 | 1000円 |
| | 133,751 | 277,334 | 2,452 | 13,733 | 145,637 | 10,432 |
| 項目 | 労働 | | | 資本 | | |
| | 数量 | 費用 | 単価 | 数量 | 費用 | 単価 |
| 単位 | 人 | 100万円 | 1000円 | 100万円÷指数 | 100万円 | 指数 |
| | 15,573 | 180,315 | 11,165 | 3,592,197 | 548,584 | 0.1584 |

表 2.2 使用データ平均 (2)

| 単位 | 設備利用率 | 発電電力量 | 加重需要電力量 |
|----|-------|--------|---------|
| | | GWh | GWh |
| | 0.453 | 64,734 | 9,143 |

3.2 推定モデル

従来、多くの費用構造に関する実証分析において、トランスログ費用関数を用いられてきた。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回微分可能であるという関数としての伸縮性を有する点で分析に適した性質を備えているという長所があげられる。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 (1987)、Kumbhakar(1992))。

この問題点に対処するため、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) の対称一般化マクファデン費用関数 (Symmetric Generalized McFadden Cost Function; SGM 費用関数) がある。このSGM 費用関数は、要素価格に関する凹性を関数の伸縮性 (flexibility) 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⁹。それに加え、特に範囲の経済性及び財固有の規模の経済性等、自然独占性の計測において必要とされる0値の産出物の取り扱いにおいて、トランスログ費用関数ではデータを対数変換するため0値を扱うことが不可能であるのに対し¹⁰、SGM 費用関数では直接的に0値を代入することができるという利点も有しており、このような分析に適した費用関数であると言える。

SGM 費用関数の定式化に関して説明するため、まず投入要素市場は完全競争であることを仮定し、可変費用部分について以下の可変費用関数の定式化を行う。

$$VC(w_f, w_p, w_b, y_U, y_D, k, t) = \min_{F, P, L} \left\{ w_f F + w_p P + w_l L \right. \\ \left. \begin{array}{l} | f(y_U, y_D, F, P, L, k, t) \geq 0, \\ F, P, L \geq 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

⁹ 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を可能とする。

¹⁰ 一般化トランスログ費用関数として定式化することにより0値を扱えるようになるが、一般化トランスログ費用関数もトランスログ費用関数同様、Roller (1990) の指摘する通り0に近い領域で不安定な動きをすることが知られており、近似点近傍の局所的な計測を行う場合を除き、多くの場合において自然独占性検証に適した関数形とは言えない。

ここで、推定を容易にするため、資本 k が発電部門と送配電部門に加法的に分離可能であること、つまり $k = k_U + k_D$ を仮定する。これは企業全体の資本設備を発電部門ないし送配電部門のいずれかに帰属させて考慮することを意味する。これにより、産出される財の種類 (組合せ) によって資本設備使用総量が決定される構造を費用関数に内包させる。しかし、ここで可変費用関数における推定係数を節約するため、可変費用への影響は会社全体の資本設備総量 $k = k_U + k_D$ から受けるものと仮定し、複数財可変費用関数の説明変数としてはこの合計値 k を採用する。この複数財可変費用関数をSGM 費用関数として以下の通り定式化する。

$$VC(\cdot) = g(W) \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + \sum_j a_j w_j \\ + \sum_j a_{jj} w_j \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} \\ + \sum_j \sum_s b_{js} w_j y_s t + b_t \left\{ \sum_j a_j w_j \right\} t \\ + \sum_s \sum_u d_{su} \left\{ \sum_j \lambda_j w_j \right\} y_s y_u \\ + b_u t^2 \left\{ \sum_j \delta_j w_j \right\} \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} \\ + e_k k \left\{ \sum_j \chi_j w_j \right\} \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} \\ + f_h h \left\{ \sum_j \varphi_j w_j \right\} \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + v$$

(6)

ここで、 $s, u = 1, 2, \dots, r$: 生産物、 $j = 1, 2, \dots, m$: 投入要素、 h : 属性変数 (設備利用率)、 $W = (w_1, \dots, w_m)$: 投入要素価格、である。投入要素価格及び生産物以外の説明変数としては、計測期間18年における技術進歩を考慮するため、トレンド t を説明変数として入れている。また、わが国の場合⁹ 電力会社全てが原子力発電設備を有し、火力発電を主力として用いている構造上、一般的に電力各社の技術的差異は大きくないと考えられるため、推定に際しては事業者別の会社ダミーは入っていないが、発電部門の産出物の特性変数として設備利用率を入れている¹¹。 v

は誤差項である。

ここで $g(W)$ は、

$$g(w) = w' S w / 2\theta' w \quad (7)$$

であり、 S は $m \times m$ の対称半負値定符号 (negative semidefinite: NSD) 行列とならなければならない。 $\theta' = (\theta_1, \dots, \theta_m)'$ は全てが 0 値となることはない定数を要素とする非負値ベクトルである。また、係数の対称性から $d_{su} = d_{us}$ を仮定する。更にここでは、 θ は外生的に与えられるものと仮定する。この他に、全ての係数を識別可能にするために、 S の要素である s_{jl} ($s_{jl} = s_{lj}$, $j, l = 1, 2, \dots, m$) に関する制約と、 β_s に関する制約を置く必要がある。これらの制約は以下の通りである。

(a) ある投入要素価格ベクトル $w' > 0$ について、 $S'w = 0$ が成立すること。

(b) β_s ($s = 1, \dots, r$) のうち 1 つが 1 に基準化される。あるいは、 $\sum_{s=1}^r \beta_s = 1$ となる。

これらの制約を課すことにより、 S に関して $m(m-1)/2$ 個の係数、 a_j は m 個、 a_{jj} は m 個、 b_{js} は mr 個、 d_{su} は $r(r+1)/2$ 個、 β_s は $r-1$ 個、 α_j , λ_j , δ_j , χ_j , φ_j はそれぞれ m 個の推定可能な係数が存在することになる。本研究では、費用関数に高い伸縮性を持たせて推定するために α_j , δ_j , χ_j , φ_j を係数として推定し、 b_{js} , b_{us} , e_k , f_h を 1 に基準化する。また、 d_{su} の推定値が複数財生産における (弱) 費用補完性の検証に直接係わる係数であることから、 λ_j は θ 同様外生的に与えることとし、 d_{su} を推定する¹²。よってこの場合、推定する係数の数は全部で

¹¹ 送配電部門の財の特性変数として、送電ロス率等が考えられるが、今回の計測では推定のパフォーマンスの関係上採用されなかった。また、資本設備変数や属性変数の 2 次項を加える等、その他複数の関数型での計測を試みたが、費用関数としての適切性や推定結果の良好さを考慮した結果、今回の定式化を採用している。

¹² θ 及び λ_j は、対応する投入要素数量データの平均値として外生的に与えている。

$$\frac{m(m+1)}{2} + mr + 5m + \frac{r(r+1)}{2} + r - 1$$

となる¹³。

上記(6)式及び(7)式によって定義される費用関数 $VC(\cdot)$ は、任意の $w' > 0$ について $\theta'w' > 0$ 、 $\alpha'w' \neq 0$ 、 $\lambda'w' \neq 0$ 、 $\delta'w' \neq 0$ (ここで、 $\alpha' = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ 、 $\lambda' = (\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ 、 $\delta' = (\delta_1, \dots, \delta_m)$ である) が成立するならば、点 (w', y', t') において伸縮性を持つ (W について同次な) 費用関数となる¹⁴。尚、本研究で推定した SGM 費用関数の係数の数は、それが伸縮性を維持するために最低限必要とされる係数の数を上回っており、より伸縮性の高い形になっている。

ここで、条件 (1) において、 w' がデータの基準化ポイントである要素 1 のベクトルとすれば、これはすなわち $\sum_l s_{jl} = 0$ for all j となることを意味する。これは、投入要素価格に関して 2 回微分した係数の対称性を仮定した上で、費用関数の投入要素価格に関する 1 次同次性を仮定することと同値であり、実際の費用関数推定において以下の制約を課することとなる。

$$\sum_l s_{jl} = 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

さらに、垂直分割した場合の各部門別コストについて、その部門に課すべきでない費用の重複計算を避けるため、要素需要に関する以下の制約を費用関数システムの構造に組み込んだ上で推定を行った。

$$\left. \frac{\partial C}{\partial P_f} \right|_{y_0=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial P_p} \right|_{y_0=0} = 0 \quad (9)$$

¹³ 実際の変費用関数の推定では、可変投入要素として 3 種類、産出物として 2 種類をそれぞれ考慮している。すなわち、 $m = 3$ 、 $r = 2$ となり、31 個の推定すべき係数が存在し、さらに 17 個のタイムトレンドに関する係数が存在する。このため、係数の推定に際しての自由度は、観測データ数 162 の場合、114 となる。

¹⁴ 条件 $\theta'w' > 0$ 及び $\lambda'w' \neq 0$ に関しては、 θ や λ を、対応する投入要素の数量データの平均値で外生的に与えているため、必然的に満たされる。

これはすなわち、発電量が0である送配電部門の場合、その費用として燃料費が含まれないようにすること、また送配電部門の生産物が0となる発電部門の場合、その費用に購入電力料が含まれないようにするものである。これにより、費用関数に内在する上流部門と下流部門の間の財の（内部的な）取引により生じる費用の重複計算を、垂直統合の経済性指標の定義に際して明示的な差し引き計算をすることなく、費用関数推定の段階で構造的に避けて計測することが可能となる。

推定に際しては、上記(6)式及び(7)式によって定義される費用関数とともに、シェパードのレンマ (Shepard's Lemma) によりこの費用関数から導き出される投入要素需要の関数を用いる。各投入要素需要関数は以下の通りである。

$$x_j = \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} \left[\frac{\sum_l S_{jl} w_l}{\theta' w} - \frac{\sum_l S_{jl} w_j w_l}{2 (\theta' w)^2} \right] + a_j w_j + a_{jj} \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + \sum_s b_{js} y_s t + \alpha_j t + \sum_s \sum_u d_{su} \lambda_j y_s y_u + t^2 \delta_j \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + \chi_j k \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + \varphi_j h \left\{ \sum_s \beta_s y_s \right\} + u_j \quad (10)$$

$j, l = 1, 2, \dots, m; \quad s, u = 1, 2, \dots, r$

ここで u_j は誤差項である。

さらに、固定費用部分を可変費用とは切り離して定式化し、両方の推定結果の合計を総費用として定義する。これにより、総費用に基づいた垂直統合の経済性指標を計測することを試みる。ただし、本研究では、可変費用関数の推定結果と包絡線定理により導出される長期最適資本設備量による総費用の評価を行うことはせず、むしろ過去の実績データを用いた実績資本設備量における指標の計測を重視し、固定費用関数については、説明変数として資本設備の実績値を用いる。すなわち具体的には、固定費用関数の定式化において、

上流部門である発電部門と下流部門である送配電部門のそれぞれに帰属する資本設備の実績値である k_U 及び k_D を説明変数として用いる定式化を行う¹⁵。

上記の要件を満たす以外は、固定費用部分の定式化は極力単純化し、部門固有の固定費が、それぞれの部門に帰属する資本設備によって説明される以下の定式化に従うものとする。

$$G(k_U, k_D) = r + \tau_1 k_U + \tau_2 k_D + e \quad (11)$$

ここで e は誤差項である¹⁶。

推定は、式(8)の制約を組み込んだ後の式(6)式(7)の可変費用関数、式(10)の要素需要関数、式(9)の制約式、及び式(11)の固定費用関数部分を、統合的な費用関数システムと考え、可変費用関数と j 番目の要素需要関数 (x_j)、 x_j と x_p に関する制約式、固定費用関数のそれぞれの推定式に対する誤差項 v 、 u_j 、 η_r 、 η_p 、 e (ここで誤差項ベクトル (v 、 u_1, \dots, u_m 、 η_r 、 η_p 、 e) は平均0、分散・共分散行列は正値定符号であると仮定される) を付けて Zellner (1962)の非線型繰り返しSUR推定法により行った。推定に用いたデータは、3.1章で説明した9電力会社の1980年から1997年の18期間年次データであり、合計サンプル162のプールデータとして費用関数の推定に適用した。

上記の可変費用関数及び固定費用関数の推

¹⁵ k_U 及び k_D の具体的なデータ処理に際しては、可変費用関数の推定に際して経営全体の資本設備を表すデータ系列 k が1の周りに基準化されるため、その基準化された k を発電部門と送配電部門の資本費比率により両部門に分割する作業を行う。具体的な比率数値を例示すると、全社全期間平均で発電部門が約49%、送配電部門が約46%である。共通部門である業務部門のウェイトは残りの約5%と相対的に小さいため、ここでは比率の計測に際して考慮していない。

¹⁶ 式(11)についても、属性変数として設備利用率を含めて推定したが、有意な結果が得られなかったため、以下では設備利用率を含まない式を採用する。さらに、線形の定式化の他に、2次形式も試みたが有意な係数が得られなかった。

表3 推定結果

| 変数 | 推定値 (<i>t</i> 値) | 変数 | 推定値 (<i>t</i> 値) |
|--------------|------------------------|-------------|------------------------|
| s_{fp} | 0.0835 (1.85) | α_f | 0.0158 (7.05)** |
| s_{pp} | -0.3247 (-4.64)** | α_p | -1.40E-04 (-6.06)** |
| s_{ff} | -0.0215 (-0.43) | α_l | 9.24E-03 (3.42)** |
| β_{yD} | 0.9957 (1933.67)** | d_{yUyD} | 8.89E-03 (0.80) |
| a_f | -0.1056 (-4.76)** | d_{yUyU} | 1.73E-03 (7.47)** |
| a_p | -9.64E-04 (-3.93)** | d_{yDyD} | 0.0959 (2.71)** |
| a_l | 0.0284 (0.91) | δ_f | -1.12E-04 (-0.43) |
| a_{ff} | 1.0099 (14.07)** | δ_p | -1.17E-03 (-1.96) |
| a_{pp} | 1.3438 (7.24)** | δ_l | 2.95E-04 (0.75) |
| a_{ll} | 1.8452 (19.29)** | χ_f | 2.92E-03 (0.13) |
| b_{fyU} | 0.0676 (19.43)** | χ_p | -0.1247 (-3.64)** |
| b_{fyD} | -0.0851 (-13.15)** | χ_l | -0.0632 (-2.57)* |
| b_{pyU} | -4.16E-04 (-8.05)** | φ_f | -0.0142 (-0.19) |
| b_{pyD} | 0.0208 (1.64) | φ_p | -0.3614 (-2.12)** |
| b_{lyU} | 7.66E-03 (1.32) | φ_l | -0.4562 (-4.39)** |
| b_{lyD} | -0.0605 (-6.03)** | γ | 0.1706 (9.56)** |
| | | τ_1 | 0.4596 (4.79)** |
| | | τ_2 | 1.1557 (10.12)** |

注) **は棄却率1%で有意、*は棄却率5%で有意。

定結果を用いることにより、総費用関数 $TC(\cdot)$ を

$$TC(y_U, y_D, w, k_U, k_D) = VC(y_U, y_D, w, (k_U + k_D)) + G(k_U, k_D) \quad (12)$$

と定義する。この総費用関数の推定結果に基づき、部門固有の固定費及び共通固定費が存

在する場合の総費用で見た垂直統合の経済性の検証を行うことが可能となる。

4. 実証分析結果

4.1 費用関数推定結果

3.2章で提示した連立方程式体系の費用関数システムの推定結果を表3に示す。カッコ内は、(推定値)/(標準誤差)である。標準誤差は、Whiteの頑健共分散推定量を用いている。

可変費用関数に関する係数の推定結果は良好であり、適切な費用関数として要求される条件 (regularity condition) は計測した全てのデータポイントにおいて満たされている。具体的には、投入要素に関する単調性は推定された投入要素需要が全て非負値であることから確認された。産出物限界費用の正値性は、全2種類の産出物(発電電力量及び加重総販売電力量)に対して全てのデータポイントについて正値となることを確認した。投入要素価格に関する凹性は、推定係数を要素として持つヘシアン行列が半負値定符号行列となるよう制約を課したため、大域的に満たされることが保証されている¹⁷。投入要素価格に関する一次同次性は係数制約により初めから課せられている。

それに加え、可変費用関数は準固定投入要素である資本に関して減少関数とならなけれ

¹⁷ 制約なしの推定の場合、ヘシアン行列が半負値定符号とならなかったため、制約を課した形で推定を行った (Diewert *et al.* (1987) 参照)。もし、推定した行列 S が NSD であれば、上記の通り定義された費用関数 $VC(\cdot)$ は投入要素価格 W に関して大域的に凹である。一方、 S が NSD でなかった場合は、 $S = -\Gamma'$ と再度係数化し直すことにより、費用関数の伸縮性を犠牲にすることなく S の半負値定符号性を制約として課した推定が可能となる (Diewert and Wales (1987), Wiley, Schmidt, and Bramble (1973))。ここで、 Γ は下方三角行列である。この再度の係数化は必然的に行列 S を半負値定符号行列とするため、費用関数が投入要素価格に関して大域的に凹性を満たすよう推定を行うことが可能となる。

ばならない。すなわち本研究の場合、 $\partial VC/\partial k < 0$ が成立する必要がある。これに関しても、計測した全データ範囲において満たされていることを確認した（最大値-0.022、最小値-0.958、平均値-0.195）。さらに、固定費部分の係数も全て棄却率1%の水準で有意となっている。

上記の通り、推定した費用関数の適切性及び推定結果の良好さも確認されたため、本研究では垂直統合の経済性指標の算出のためにこの推定値を採用することとする。

4.2 総費用関数に基づく垂直統合の経済性

この章では、推定した総費用関数に基づく垂直統合の経済性の計測結果を提示する。3.2章で固定費用関数(11)の定式化に際して記述した通り、可変費用関数及び固定費用関数における資本データ (k, k_U, k_D) は、長期最適資本量ではなく、過去の実績データを用いる¹⁸。

電気事業者の総費用は式(12)の $TC(\cdot)$ で定義されるため、それをを用いることにより、統合生産した場合と単独生産した場合の固定費の違いを考慮した総費用に基づく垂直統合の経済性指標を計測することが可能となる。具体的には、総費用に基づく垂直統合の経済性指標 (Total Cost Economies of Vertical Integration; $TCEOVI_{UD}$) は、式 (3) を適用することにより、以下の式 (13) の通り計測される。

表4 垂直統合の経済性指標 (%)

| 事業者 | A | B | C | D | E |
|-----|--------|-------|--------|-------|--------|
| 最大値 | -11.06 | -5.36 | -1.44 | -2.93 | -12.49 |
| 最小値 | -16.49 | -6.88 | -11.58 | -7.37 | -17.01 |
| 平均値 | -12.98 | -6.00 | -5.07 | -4.53 | -13.87 |
| 事業者 | F | G | H | I | 全社 |
| 最大値 | -3.16 | -7.39 | -11.97 | -6.26 | -1.44 |
| 最小値 | -9.10 | -9.30 | -20.32 | -7.87 | -20.32 |
| 平均値 | -5.33 | -8.17 | -15.09 | -6.92 | -8.66 |

$$TCEOVI_{UD}$$

$$= \frac{\left[\begin{aligned} &VC(y_U, y_D, (k_U + k_D)) + G(k_U, k_D) \\ &- VC(y_U, 0, k_U) - G(k_U, 0) \\ &- VC(0, y_D, k_D) - G(0, k_D) \end{aligned} \right]}{[VC(y_U, y_D, (k_U + k_D)) + G(k_U, k_D)]} \quad (13)$$

上記指標に基づく垂直統合の経済性の計測結果を、会社平均 (A社からI社) および全社平均で表4に示す。

計測結果から、まず、全社について全期間で垂直統合の経済性が存在することが確認できる。具体的には、全社全期間で、各生産財を部門ごとに単独で生産した場合の合計費用と比較した場合、垂直統合生産による費用節減効果は、最大で約20.3%、最小で約1.4%、平均で約8.6%の水準で存在することが示されている。各社ごとの平均で見ると、垂直統合による費用節減効果は、事業者ごとに約4.5%から約15.1%までと、10%強の開きがあるものの、分割して生産することによる費用増加の可能性が示している。傾向としては、規模が小さい事業者ほど費用増加の可能性が大きくなる特徴がある。

このような計測結果の実態的な原因としては、わが国電気事業者の垂直統合型供給体制に関する議論でしばしばその長所として言及される、発送配電設備の一体的管理・運用、中長期的に見て全体として費用最小化を達成し得るような情報交流及び人材育成といった点が考えられよう。

5. まとめと今後の課題

¹⁸ 今回の垂直統合の経済性指標の計測には反映されていないが、可変費用関数の推定結果と包絡線定理を用いることにより、長期最適資本設備量の計測を行っている。最適資本設備量の実績資本設備量に対する比率を見ると、会社間の差異がかなり大きく出ており全体的な傾向は一概には捉えられない。全社全期間平均では約1.28倍であった。

本研究では、日本の垂直統合型電気事業者9社の1980年から1997年を分析対象として、垂直的費用構造に関する自然独占性の必要条件の検証を行った。産業の費用構造を適切に捉えるため、費用関数は、広域なデータ領域において良好な性質を有し、産出量として0値を扱うことができる等、本研究の検証に適した性質を持つと考えられる、複数財対称一般化マクファデン費用関数を用いた。また、可変費用関数と固定費用関数を個別に定式化し、両者を実際の費用構造に即した要素需要の制約条件下で統合的に推定することにより、総費用に基づく垂直統合の経済性の検証を可能とした。これにより、全体の固定費を各部門の資本設備に明示的に関係させることで部門固有の資本費を考慮し、かつ広域なデータ領域における適切性に配慮した可変費用関数の推定を行うことができ、妥当性の高い経済性指標の計測を行い得た。これらは、従来の研究では吟味が不十分であったと考えられる。

今回の計測結果より、わが国の電気事業者は発電・送配電一貫の垂直統合の経済性による費用節減効果を楽しんでいることが全てのデータポイントにおいて確認された。よって、現在世界的な電力市場規制緩和の中心的なモデルとなってきた垂直統合形態の分割（発電・送電・配電・小売り）は、分割の形態にも依存するであろうが、わが国電気事業の状況を見た場合必ずしもそれにより費用節減的な経営を達成できるということには結びつかず、むしろ分割による費用増加の可能性が考えられる。

ただし、本稿の分析では費用関数のパラメータ数を抑制するため、電気事業全体の資本が発電部門と送配電部門に加法的に分離可能であることを先験的に仮定した。言うまでもなくこれは強い制約であり、本稿の結論がこ

れの影響を受けていることは否定できない。次の段階として、部門別の資本データの整備と共に、この仮定を緩めることが急務である。

さらに、本稿の分析の枠組みを超える問題ではあるが、新しい産業形態に移行した後の競争による費用削減効果と、既存の垂直統合型生産構造を分割することにより生じる費用増加額を、相殺してどちらが社会厚生全体として経済性を持ちうるのか比較考量する必要がある。こうした問題に対しては、市場形態の異なる海外の電気事業者との比較を行うことも有益であろう。また、今回は垂直統合の経済性の計測にのみ焦点を絞った分析を行ったが、更に自然独占性の十分条件による厳密な費用構造の検証も必要とされよう。

謝辞

本論文の作成にあたり2名の匿名査読者より多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表す。もちろん、本論文の内容に関する誤り等についての一切の責任は筆者が負うものである。

【参考文献】

- [1] 衣笠達夫（1995）「公益企業の費用構造」、多賀出版。
- [2] 新庄浩二（1994）「自然独占性と規模の経済性」、講座・公的規制と産業①電力第2章、植草益編、NTT出版。
- [3] 鳥居昭夫（1994）「規制と企業効率」、講座・公的規制と産業①電力第6章、植草益編、NTT出版。
- [4] 根本二郎（1992）「電気事業の規模の経済性：最近の研究展望」、電力経済研究 No. 31。
- [5] 服部徹（1999）「わが国電気事業の需要密度の経済性と垂直的費用構造」、第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス公演論文集。
- [6] 渡辺尚史、北村美香（1994）「わが国電気事業の垂直統合の経済性－投入要素比率固定の場合－」、電中研報告 Y93016。
- [7] 渡辺尚史、北村美香（1998）「わが国電気

- 事業の長期費用構造の分析」、電中研報告 Y97016。
- [8] Baumol, W. J., J. Panzar and R. Willig (1982), *Contestable Markets And The Theory of Industry Structure*, Harcourt Brace Javanovich.
- [9] Caves, D. W., L. R. Christensen, and J. A. Swanson (1981), "Flexible Cost Functions for Multiproduct Firms," *Review of Economics and Statistics*, 62, 477-481.
- [10] Christensen, L. R. and D. W. Jorgenson (1969), "The Measurement of U.S. Real Capital Input, 1929-1967," *The Review of Income and Wealth*, 15(4), pp.293-320.
- [11] Diewert, W. E. and T. J. Wales (1987), "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions," *Econometrica*, 55(1), 43-68.
- [12] Gilsdorf, K. (1994), "Vertical Integration Efficiencies and Electric Utilities: A Cost Complementarity Perspective," *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 34(3), 261-282.
- [13] Hayashi, P.M., J.Y. Goo and W.M.C. Chamberlain (1997), "Vertical Economies: The Case of U.S. Electric Utility Industry, 1983-87," *Southern Economic Journal*, 63(3), 710-725.
- [14] Henderson, J.S. (1983), "Cost Estimation for Vertically Integrated Firms: The Case of Electricity," *In Analyzing the Impact of Regulatory Change in Public Utilities*, edited by M.A. Crew, Lexington: Lexington Books.
- [15] Joskow, P. and R. Schmalensee (1985), *Markets for Power: An Analysis of Electric Utility Deregulation*, Cambridge: MIT Press.
- [16] Kaserman D. L. and J.W. Mayo (1991), "The Measurement of Vertical Economies and The Efficient Structure of The Electric Utility Industry," *Journ. of Industrial Economics*, 34, 483-502.
- [17] 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.
- [18] Kumbhakar, Subal. C. (1994), "A Multiproduct Symmetric Generalized McFadden Cost Function," *The Journal of Productivity Analysis*, 5, pp.349-357.
- [19] Landon, J.H. (1983), "Theories of Vertical Integration and Their Application to the Electric Industry," *Antitrust Bulletin*, 28, 101-130.
- [20] Nemoto, J., Y. Nakanishi and S. Madono (1993), "Scale Economies and Over-Capitalization in Japanese Electric Utilities," *International Economic Review*, 34(2), 431-440.
- [21] Panzar, J. C. (1989), "Technological Determinants of Firm and Industry Structure," in R. Schmalensee and R.D. Willig eds., *Handbook of Industrial Organization*, Amsterdam, North-Holland.
- [22] Pulley, L. B. and Y. M. Braunstein (1992), "A Composite Cost Function for Multiproduct Firms with an Application to Economies of Scope in Banking," *Review of Economics and Statistics*, 74(2), 221-230.
- [23] Roberts, M.J. (1986), "Economies of Density and Size in the Production and Delivery of Electric Power," *Land Economics*, 62, 378-386.
- [24] Röller, L. H. (1990), "Proper Quadratic Cost Functions with an Application to the Bell System," *Review of Economics and Statistics*, 72, 202-210.
- [25] Sharkey, W. W., (1982), *The theory of natural monopoly*, Cambridge Univ. Prs.
- [26] Weiss, L.W. (1975), "Antitrust in the Electric Power Industry," *In Promoting Competition in Regulated Markets*, edited by Almarin Phillips, Washington DC:

（きたむら みか
電力中央研究所 経済社会研究所
ねもと じろう
名古屋大学 経済学部）