

米国電気事業者の部門別効率性と小売自由化の影響

—距離関数を用いた確率的フロンティア分析手法の適用—

An Analysis of Technical Efficiency and Impacts of Deregulation in U.S. Electric Utilities

キーワード：電気事業、小売自由化、効率性、確率的フロンティア、距離関数

筒 井 美 樹 後 藤 美 香

本稿では、距離関数を用いた確率的フロンティア分析手法により米国電気事業者の部門別効率性を推定し、小売自由化が事業者の生産効率性にどのような影響を及ぼしたのかについて検証した。その結果、発電部門および一般管理部門については、小売自由化を決定した州の事業者は、そうでない州の事業者に比較して自由化決定以前から効率性が低かったものの、近年改善傾向にあることが示された。一方、ネットワーク部門については自由化による効率性への有意な影響は認められなかった。本稿の結果から、部門によって小売自由化の影響の顕れ方に相違が見られることが確認され、自由化の議論に際して、電気事業の部門ごとの評価の必要性が示唆された。

- 1 はじめに
- 2 分析手法の背景
- 3 データおよび実証分析モデル
 - 3.1 発電部門
 - 3.2 ネットワーク部門
 - 3.3 一般管理部門

1 はじめに

1990年代以降、電力市場の自由化は欧米を中心とする世界的な潮流となっている。欧州では、1990年代前半に全面自由化を行った英国（イングランド・ウェールズ）やノルウェーに続き、EU加盟各国は電力市場に関するEU指令に基づいて電力市場の開放を着実に進めている。2003年6月にはEU指令の修正が行われ、各加盟国は2004年7月までに家庭用以外の需要家について、また2007年7月までには全ての需要家について自由化することが決定している。一方米国では、州によって自由化への取り組み方が異なっており、自由化の開始こそ欧州に比較して遅れたものの、1997年以降相次いで小売自由化を開始

- 4 実証分析結果
 - 4.1 発電部門
 - 4.2 ネットワーク部門
 - 4.3 一般管理部門
- 5 おわりに

する州が現れた。その結果、2003年2月時点では、17州1特別区において自由化が実施されている¹。その反面、わが国でも大きく取り上げられたエネルギー企業エンロンの破綻や、カリフォルニアでの電力危機の影響を受け、一部で自由化を延期する州も見られるなど、自由化が産業および社会に与える影響をより慎重に検討する姿勢が見られるようになってきている。

このような状況に関連して、Cameron (2001)、米国エネルギー省 (DOE, 2002)、およびJoskow (2003) では、近年発電部門の設備投資が増加する一方で送電部門では長期間にわたり投資が減退していることに着目し、過少投資によっ

¹連邦エネルギー規制委員会 (FERC) の発表に基づく。

て引き起こされる可能性のあるネットワークの容量制約の顕在化と、それによる信頼度への影響について警鐘を鳴らしている。彼らは、容量およびシステムの両面において頑健なネットワーク部門の存在が、競争導入の成功の要となる重要な役割を果たすことを強調している。また米国では、規制緩和の動機の1つとして、地域的な料金格差が指摘されており（EIA, 2000）、概して料金水準の高い州が電力の規制緩和を積極的に推進してきたという背景がある。これに対し、料金の裏側にあるコスト構造及び効率性に注目し、主として日米比較の観点から米国電気事業の効率性を分析した筒井（2003a）では、自由化を決定した州の事業者とそれ以外の事業者との経営全体の効率値の比較を行っている。その結果、自由化を決定した州の事業者の方がそれ以外の州の事業者に比較して効率値が低い一方で、計測期間中にかなりの程度の改善が見られ、計測期末の1999年には、自由化を進めていない州の事業者の効率性水準に追いついていることが示されている。また、後藤（2002）では、自由化の影響の検証を直接の目的としたものではないが、1990年から1998年の米国電気事業者送配電ネットワーク部門のパネルデータを用いた生産効率性分析を行っている。その結果、計測期間中に労働の相対的過大使用と資本の過小使用という資源配分の歪みが見られることを指摘し、90年代後半における人員削減と自由化以前からの過小投資傾向を、非効率の観点から間接的に裏付けている。

このように、自由化が電気事業に及ぼした影響を多面的に検証することは、将来の自由化的方向性を検討する上で重要な課題である。しかしながら、自由化の影響と生産効率性との関わりを部門別に検証することを主目的とした統合的分析は、現在のところ行われていない。特

に、自由化によって競争が導入されるのは発電部門と小売部門であり、ネットワーク部門については従来通り規制部門として残ることからも、自由化の影響は部門ごとに異なることが予想される。発電部門は、直接的に競争にさらされることから、当該部門の効率値にも何らかの影響があることが予想される一方で、規制下におかれるネットワーク部門は直接的に自由化の影響を受けることは無い。しかし、例えば一部の部門に競争が導入されることにより、コスト削減圧力の下で経営全体の効率性が上昇し、その結果として他部門の効率性も上昇するという自由化の間接的な効果も考えられる。特に経営の効率化を図る第一歩として、まず間接部門の効率化に着手することが考えられ、一般管理部門については自由化の影響を強く受けることが推察できよう。垂直統合型の電気事業の場合、このように競争部門と規制部門が併存し、自由化の影響が部門ごとに異なることが推察されるため、事業者の効率性に対する自由化の影響を検証するためには、部門ごとの評価が必要と言える。

わが国でも、2000年の特別高圧需要家への小売自由化に引き続き、さらなる小売自由化対象の拡大がすでに予定されている。後発的に小売自由化に着手するわが国にとって、自由化に先行する国の成果の評価を行うことは、そこからのインスピレーションを得るという面で有用である。そこで本稿では、小売自由化の評価の一環として米国の電気事業者を取り上げ、効率性に対して自由化がどのような影響を与えているのかを、部門別の生産効率性分析を通じて検証する。本稿の構成は以下の通りである。2節では本稿で用いた計測手法である確率的フロンティア分析（Stochastic Frontier Analysis : SFA）モデルについて、先行研究および手法の理論的フレームワークに関する説明を行う。3

節ではデータと具体的な実証分析モデルを示す。続く4節で分析結果の提示とその解釈を行い、5節で推定結果のまとめとわが国へのインプリケーションを述べる。

2 分析手法の背景

SFAモデルを用いた生産効率性の研究は、Meeusen and van den Broeck (1977) およびAigner, Lovell, and Schmidt (1977) という、2つのほぼ同時期に発表された論文から始まった。これらはクロスセクションデータを用いた生産関数をベースに、非効率の分布として半正規分布ないし指数分布を仮定した分析であった。論文が発表された当初、効率性の値はサンプル平均のみであり、個別サンプルごとに計測不可能と考えられたが、Jondrow *et al.* (1982) の方法によって誤差項の分解が個別サンプルごとに可能であること、すなわち効率値を個別サンプルについて計測可能であることが示され、分析の活用範囲が広がった²。

SFAモデルの基本的な考え方は以下の通りである。いま、生産者は以下の技術の下で生産活動を行っているものとする。

$$y_{it} = f(x_{mit} \cdot \beta) \cdot \exp(v_{it} - u_{it}), \quad (1)$$

ここで y_{it} は i ($i=1, \dots, I$) 事業者の t ($t=1, \dots, T$) 期間における生産物、 x_{mit} は i 事業者の t 期間における m 投入要素 ($m=1, \dots, M$)、 β は $(M \times 1)$ の未知パラメータである。 v_{it} は測定誤差や関数形誤差などを含む通常の誤差項であり、i.i.d. $N(0, \sigma_v^2)$ と仮定する。一方 $u_{it} \geq 0$ は個別の事業者の技術非効率を帰着させる部分であり、半正

² その後、切断正規分布やガンマ分布など、非効率の分布に仮定される分布形の拡大や、クロスセクションデータからパネルデータへの拡張など、多くの研究者の努力による貢献が蓄積してきた。SFAモデルの発展および様々なモデルに基づく理論および実証面からの広範囲にわたる説明については、Kumbhakar and Lovell (2000) を参照されたい。

規分布や切断正規分布などの分布形を仮定することで、 v_{it} と分離して推定する。

本稿では、このSFAモデルを生産関数ではなく距離関数に応用したモデルを適用する。これは、上記式 (1) の生産関数に基づくSFAモデルでは、複数の投入要素を用いて単一の生産物を生み出す生産プロセスを分析対象としており、複数生産物の取扱いに限界があるためである。すなわち、複数生産物を考慮することにより分析の解釈が広がると考えられることから、本稿では、生産関数と同様の情報を有し、要素価格データを必要とせず、かつ複数生産物を容易に扱うことのできる点で優れた性質を持つ距離関数を使用する³。

投入要素距離関数 (Input Distance Function ; IDF) は下記のように記述される⁴。

$$D_I(y, x) = \max\{\lambda : (x/\lambda) \in L(y)\}, \quad (2)$$

ここで投入要素集合 $L(y)$ は、生産量ベクトル $y \in R_+^T$ を生産可能な全ての投入要素量ベクトル $x \in R_+^M$ の集合であり、 λ は、 y の生産量を維持しつつ投入要素量 x を一律に、最大限縮小することのできる比率を示している。 $D_I(y, x)$ は、 x について非減少かつ一次同次な準凹関数、 y について非増加の関数である。また、 $x \in L(y)$ であれば $D_I(y, x) \geq 1$ となる性質を有し、効率的な事業者の場合は $D_I(y, x) = 1$ 、非効率が存在する事業者は $D_I(y, x) > 1$ となる。

距離関数を用いたSFAモデルは次の通り記述される。

³ このような利点に着目し、距離関数を用いて効率性の分析を行った先行研究には、Lovell *et al.* (1994), Grosskopf and Hayes (1993), Grosskopf *et al.* (1997), Fare *et al.* (1993), Coelli and Perelman (1996), Morrison Paul *et al.* (2000) およびHattori (2002) がある。Hattori (2002) では、配電部門における効率性の日米比較を行っている。

⁴ これに対して生産物距離関数 (Output Distance Function) を定義し、分析に用いることも可能である。本稿では所与の生産物の下での投入要素の縮小による効率化を検討するため、投入要素距離関数を用いている。

$$1 = D_I(y_{rit}, x_{mit}) \cdot \exp(v_{it} - u_{it}). \quad (3)$$

本稿では、Battese and Coelli (1993, 1995) にならい、 u_{it} の分布形に切断正規分布 $N^+(\mu, \sigma_u^2)$ を仮定する。期待値 μ は事業者の外生的な要因に影響をうけるものとして、次のような関数を想定する。

$$\mu_{it} = \delta_0 + \delta z_{hit}, \quad (4)$$

ここで z_{hit} は、事業者の非効率に影響を与えると予想される環境要因変数である。したがって、事業者ごとの技術非効率値は、分布の平均 μ が z_{hit} の変動に伴い動くことで、時間についてもその変動を捉えることが可能である。また、 x に関する一次同次の制約を用いることにより、式(3)は以下の通り変形される。

$$\frac{1}{x_{Nit}} = D_I\left(y, \frac{x_{mit}}{x_{Nit}}\right) \cdot \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (5)$$

ただし x_{Nit} は、基準として用いる任意の投入要素である(i 事業者 t 期)。

各事業者の技術非効率値は、Jondrow et al. (1982) の方法に従い u_{it} の条件付き期待値から以下の通り求めることができる(Coelli, 1993)。 $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ 、 $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$ 、また

$\Phi(\cdot)$ を標準正規分布の分布関数とすると、

$$E(\exp\{-u_{it}\} | v_{it} - u_{it}) \\ = \left\{ \exp(-\mu_* + \frac{1}{2}\sigma_*^2) \right\} \left\{ \frac{\Phi(\frac{\mu_* - \sigma_*}{\sigma_*})}{\Phi(\frac{\mu_*}{\sigma_*})} \right\}, \quad (6)$$

$$\text{た だ し こ こ で } \mu_* = \frac{\sigma_v^2(\delta_0 + \delta z) - \sigma_u^2 \varepsilon}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \\ = (1 - \gamma)(\delta_0 + \delta z) - \gamma \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u, \quad \text{お よ び} \\ \sigma_*^2 = \frac{\sigma_u^2 \sigma_v^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} = \gamma \sigma^2 (1 - \gamma) \text{ で あ る。}$$

3 データおよび実証分析モデル

本稿では、筒井(2003b)で用いた米国データと同様のものを使用する⁵。すなわち、米国の垂直統合型私営電気事業者で原子力発電を保有するという条件でスクリーニングをかけ、抽出された22の事業者について、発電部門、ネットワーク部門、一般管理部門に関する個票データを、1992年から2000年の時系列で収集し分析に用いている。なお、部門によっては全期間を通じて欠損等が見られた事業者もあったため、最終的には発電部門22社、ネットワーク部門21社、一般管理部門19社で計測を行っている(表1)。すべてのデータは一般に公開されている全米エネルギー規制委員会(FERC)のデータベースForm1、およびエネルギー情報局(EIA)のデータベースEIA860から収集し、加工している。

距離関数 D_I の定式化には伸縮的な関数形であるトランス・ログ型を採用している。各部門について異なる環境変数を用いているが、モデルの一般型は以下の通りである。

⁵ 筒井(2003b)では、データ包絡分析法を用いて効率性の日米比較を行っている。

表1 サンプル事業者一覧

	会社名	州	地域	発電部門	ネットワーク部門	一般管理部門	自由化カテゴリ
1	AMERENUE	Missouri	MAIN				RS0
2	ARIZONA PUBLIC SERVICE CO	Arizona	WSCC				RS1
3	BALTIMORE GAS & ELECTRIC CO	Maryland	MAAC				RS1
4	CAROLINA POWER & LIGHT CO	North Carolina	SERC				RS0
5	COMMONWEALTH EDISON CO	Illinois	MAIN				RS1
6	CONSOLIDATED EDISON CO OF NEW YORK INC	New York	NPCC			—	RS1
7	CONSUMERS ENERGY CO	Michigan	ECAR		—		RS1
8	DETROIT EDISON CO	Michigan	ECAR				RS1
9	DUKE ENERGY CORP	North Carolina	SERC				RS0
10	FLORIDA POWER & LIGHT CO	Florida	FRCC				RS0
11	FLORIDA POWER CORP	Florida	FRCC				RS0
12	GEORGIA POWER CO	Georgia	SERC				RS0
13	INDIANA MICHIGAN POWER CO	Indiana	ECAR			—	RS0
14	NIAGARA MOHAWK POWER CORP	New York	NPCC				RS1
15	NORTHERN STATES POWER CO	Minnesota	MAPP				RS0
16	PACIFIC GAS & ELECTRIC CO	California	WSCC				RS1
17	PECO ENERGY CO	Pennsylvania	MAAC			—	RS1
18	PPL ELECTRIC UTILITIES CORP	Pennsylvania	MAAC				RS1
19	PUBLIC SERVICE ELECTRIC & GAS CO	New Jersey	MAAC				RS1
20	SOUTHERN CALIFORNIA EDISON CO	California	WSCC				RS1
21	VIRGINIA ELECTRIC & POWER CO	Virginia	SERC				RS1
22	WISCONSIN ELECTRIC POWER CO	Wisconsin	MAIN				RS0

* RS0 : 小売自由化に消極的な州の事業者

RS1 : 先行的に自由化を開始している州の事業者

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{1}{x_{Nit}}\right) = & \beta_0 + \sum_r \beta_r \ln y_{rit} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_r \sum_s \beta_{rs} \ln y_{rit} \ln y_{sit} \\
 & + \sum_m \beta_m \ln\left(\frac{x_{mit}}{x_{Nit}}\right) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_m \sum_n \beta_{mn} \ln\left(\frac{x_{mit}}{x_{Nit}}\right) \ln\left(\frac{x_{nit}}{x_{Nit}}\right) \\
 & + \sum_r \sum_m \beta_{rm} \ln y_{rit} \ln\left(\frac{x_{mit}}{x_{Nit}}\right) \\
 & + \beta_t t + \sum_r \beta_{rt} \ln y_{rit} t \\
 & + \sum_m \beta_{mt} \ln\left(\frac{x_{mit}}{x_{Nit}}\right) t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 \\
 & + v_{it} - u_{it}, \\
 & (i=1,\dots,I, t=1,\dots,T),
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ここで } \sum_m \beta_m = 1, \quad \sum_n \beta_{mn} = 0 \quad (m=1,\dots,M), \\
 \sum_m \beta_{rm} = 0 \quad (r=1,\dots,R), \quad \sum_m \beta_{mt} = 0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_{rs} = \beta_{sr} \quad (s,r=1,\dots,R), \quad \beta_{mn} = \beta_{nm} \quad (m,n=1,\dots,M), \\
 \beta_{rm} = \beta_{mr} \quad (r=1,\dots,R, m=1,\dots,M),
 \end{aligned}$$

$$\beta_{rt} = \beta_{tr} \quad (r=1,\dots,R), \quad \beta_{mt} = \beta_{tm} \quad (m=1,\dots,M)$$

である⁶。

本稿では、上記モデルを電気事業の発電部門、ネットワーク部門、一般管理部門にそれぞれ適用し、FRONTIER Version 4.1 (Coelli, 1996) を用いて最尤法による推定を行った。

3.1 発電部門

発電部門は、資本、労働、燃料を投入要素として使用し、発電電力量を生産する部門と考える。ここでは火力、原子力などの発電技術の違いは明示的には区別せず、全ての発電形態を計測対象として含めている。投入要素および生産物は、具体的に以下の通りである。

⁶ 距離関数をこのような形で直接的に推定することに伴う、誤差項と説明変数間の相関に対する同時性バイアスの問題は、例えば Atkinson et al. (2003) および Coelli (2000) において議論されている。この場合、より本質的には費用最小化の条件により配分非効率まで考慮した明示的なモデル設定が必要と考えられる。本稿ではこのような問題については特に改善策を施しておらず、今後の課題とする。

投入要素 :

- x_{g1} ; [GK] 資本--合計発電容量 (MW)
 x_{g2} ; [GL] 労働--発電部門の従業員数 (人)
 x_{g3} ; [GF] 燃料--発電用燃料消費量 (10^9 kcal)

生産物 :

- y_{g1} ; [NGEN] ネット発電電力量 (GWh)

環境要因 :

- z_{g1} ; [RS] 自由化変数
 z_{g2} ; [NUR] 電源構成---原子力比率

なお従業員数については、各部門の入件費は入手できるものの、人員数は経営全体の値しか入手できない。そのため、総入件費に占める発電部門の入件費のシェアをもとに発電部門の従業員数を按分することによって算出している。燃料に用いた汽力発電用燃料消費量は、プラントごとの消費燃料（石炭、石油、ガス）について熱量換算値を足しあげ、各社の値を算出している。また原子力発電用の核燃料消費量については入手困難であったため、一般的な熱効率0.35を仮定して原子力発電電力量から消費燃料の熱量換算値を逆算したものを使用した。生産物のネット発電電力量は、発電電力量合計から揚水発電に使用した電力量を差し引いたものである。

非効率に影響を与えると考えられる環境要因としては、効率値と自由化の影響を検証する目的のために、小売自由化の進捗度を示す自由化変数を作成して用いた。自由化変数は、2000年までに小売自由化を決定した州に属する事業者が1、それ以外を0とするダミー変数である⁷。また、電源構成を示す指標である原子力比

⁷ 2000年までに小売自由化を決定した州ではなく、実施した州の事業者について1、それ以外の州の事業者を0とするダミーも考えられるが、自由化に対応して何らかの経営行動をとる場合は、実際に開始した年よりも決定した年の方がよりインパクトが強いと考えられることから後者を採用した。また、2000年までに自由化を開始した州の事業者を2、2000年までに自由化実施について決定はしているがまだ実施に移行

率（原子力発電電力量／合計発電電力量）も採用した。さらに、非効率の経年的な変化を示すタイムトレンド (t) も採用している。

これらのデータを用いた具体的な推定モデル及び非効率の期待値 μ を下記に示す⁸。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{1}{GF_{it}}\right) = & \beta_0 + \beta_1 \ln NGEN_{it} \\ & + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln NGEN_{it})^2 \\ & + \beta_K \ln\left(\frac{GK_{it}}{GF_{it}}\right) + \beta_L \ln\left(\frac{GL_{it}}{GF_{it}}\right) \\ & + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln\left(\frac{GK_{it}}{GF_{it}}\right))^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln\left(\frac{GL_{it}}{GF_{it}}\right))^2 \\ & + \beta_{KL} \ln\left(\frac{GK_{it}}{GF_{it}}\right) \ln\left(\frac{GL_{it}}{GF_{it}}\right) \\ & + \beta_{1K} \ln NGEN_{it} \ln\left(\frac{GK_{it}}{GF_{it}}\right) \\ & + \beta_{1L} \ln NGEN_{it} \ln\left(\frac{GL_{it}}{GF_{it}}\right) \\ & + \beta_t t + v_{it} - u_{it}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\mu_{it} = \delta_0 + \delta_R RS_{it} + \delta_N NUR_{it} + \delta_t t. \quad (9)$$

なお、推定の際に用いるデータは平均値で基準化している。また、一般型（式7）における t に関する2次項、交差項のパラメータについては0の制約をおいた。以下、他部門についても同様の扱いをしている。

していない州の事業者を1、それ以外を0とするダミーも考えられるが、本稿のサンプルでは1に分類される事業者が少なく、カテゴリ別に平均値を出すには問題が生じたため、これは採用しなかった。

⁸ この場合生産物が单一であるため、生産関数を使用することも可能であるが、本稿では他部門と同様にするため距離関数を用いている。

3.2 ネットワーク部門

ネットワーク部門は、資本と労働を投入して、電力を顧客まで送り届ける部門とし、合計販売電力量と合計契約口数をサービスの代理変数と考える。具体的な変数は以下の通りである。

投入要素 :

- x_{n1} ; [NK] 資本--ディビジア指数、
- x_{n2} ; [NL] 労働--送配電部門の従業員数（人）

生産物 :

- y_{n1} ; [SALE] 合計販売電力量 (GWh)
- y_{n2} ; [NUM] 合計契約口数 (口)

環境要因 :

- z_{n1} ; [RS] 自由化変数
- z_{n3} ; [LARG] 需要特性--大口顧客比率
- z_{n2} ; [DENS] 需要特性--需要密度

資本については、送電部門を代表する送電線こう長 (km) と、配電部門を代表する変圧器容量 (VA) に関するディビジア指数⁹を採用した。また従業員数については、発電部門と同様の方法で算出している。生産物としては、合計販売電力量と顧客数(合計契約口数)を用いた。

非効率の要因分析に使用するデータとしては、発電部門と同様の自由化変数を用いている。また、事業者の供給エリアの需要特性を示す要因として、需要密度および大口顧客比率を採用了。需要密度は、家庭用需要家数を配電変圧器個数で除して求めており、大口顧客比率は、家庭用以外の販売電力量を大口販売電力量と見なし、これの総販売電力量に対する比率を計算している。さらに、非効率の経年的変化を示すタイムトレンド (t) も採用了。

これらのデータを用いた推定モデルおよび

非効率の期待値 μ は、具体的に以下の通りである。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{1}{NL_{it}}\right) = & \beta_0 + \beta_1 \ln SALE_{it} + \beta_2 \ln NUM_{it} \\ & + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln SALE_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln NUM_{it})^2 \\ & + \beta_{12} \ln SALE_{it} \ln NUM_{it} \\ & + \beta_K \ln\left(\frac{NK_{it}}{NL_{it}}\right) + \frac{1}{2} \beta_{KK} \left(\ln\left(\frac{NK_{it}}{NL_{it}}\right)\right)^2 \\ & + \beta_{1K} \ln SALE_{it} \ln\left(\frac{NK_{it}}{NL_{it}}\right) \\ & + \beta_{2K} \ln NUM_{it} \ln\left(\frac{NK_{it}}{NL_{it}}\right) \\ & + \beta_t t + v_{it} - u_{it}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mu_{it} = & \delta_0 + \delta_R RS_{it} + \delta_D DENS_{it} \\ & + \delta_L LARG_{it} + \delta_t t. \end{aligned} \quad (11)$$

3.3 一般管理部門

一般管理部門は、物的な生産活動には直接携わっていない間接部門であり、当該部門が提供しているサービスをどのように定義し数量化するのかについては、他部門と異なり投入と产出の技術的な関係が明確ではなく、この点についての一般的なコンセンサスもないため、困難な面がある¹⁰。ここでは一般管理部門を、資本と労働を投入することにより社内の管理と、事業者全体の経営戦略の策定を行う部門と考え、それぞれの代理変数を以下の通り想定した。

⁹ ディビジア指数の作成方法については、筒井 (2003b) の補論を参照のこと。

¹⁰ 筒井 (2003b) では、一般管理部門の生産物は事業者の規模に比例すると想定し、規模の代理変数として合計販売電力量を採用している。

投入要素：

x_{a1} ; [AK] 資本--資本ストック (\$1000)

x_{a2} ; [AL] 労働--一般管理部門の従業員数(人)

生産物：

y_{a1} ; [MNG] 管理-- 合計労働人員 (人)

y_{a2} ; [STR] 戰略-- 合計販売電力量 (GWh)

環境要因：

z_{a1} ; [RS] 自由化変数

z_{a2} ; [DENS] 立地特性--需要密度

z_{a3} ; [LARG] 立地特性--大口顧客比率

資本については、1992年時点の業務資産の実質帳簿価額¹¹に対して、各期の資本の純増分を加算していくことで資本ストックデータを作成した。このようなデータは、帳簿上で減価償却が行われたとしてもその資本としての機能自体は変わらないことと整合的である。また、一般管理部門の生産物として取り上げた管理業務は、人事や総務などを想定しており、そのサービス量は全社員数に比例するものと想定し、管理業務量の代理変数として合計労働人員を採用した。投入要素として扱う当該部門の人員数との関係で見ると、全社員数に占める一般管理部門の人員数の割合が小さいほど効率的ということになる。一方戦略策定業務は、企画など事業者全体の売り上げに貢献するサービスと考え、そのサービスはおよそ事業者の規模に比例すると仮定し、合計販売電力量を代理変数として採用した。すなわち販売量（事業者規模）に対して一般管理部門の規模が小さいほど効率的、という考え方である¹²。

非効率の要因分析に使用するデータとしては、自由化変数のほかに、事業者（主に本社）がどのような地域に立地しているかを示す変数を用いた。例えば、都市圏であればある程度需要が密集していることが想定できるし、また商工業需要家が多く存在する地域（もしくは大規模な産業用需要家が存在する地域）ならば、大口顧客比率が高くなることが想定できる。都市圏か否か、商工業地域か否かという観点で、立地特性の代理変数として、需要密度と大口顧客比率を用いた。また他部門同様、タイムトレンドも採用している。

これらのデータを用いた具体的な推定モデル及び非効率の期待値 μ を以下に示す。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{1}{AL_{it}}\right) = & \beta_0 + \beta_1 \ln MNG_{it} + \beta_2 \ln STR_{it} \\ & + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln MNG_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln STR_{it})^2 \\ & + \beta_{12} \ln MNG_{it} \ln STR_{it} \\ & + \beta_K \ln\left(\frac{AK_{it}}{AL_{it}}\right) + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln\left(\frac{AK_{it}}{AL_{it}}\right))^2 \\ & + \beta_{1K} \ln MNG_{it} \ln\left(\frac{AK_{it}}{AL_{it}}\right) \\ & + \beta_{2K} \ln STR_{it} \ln\left(\frac{AK_{it}}{AL_{it}}\right) \\ & + \beta_t t + v_{it} - u_{it}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \mu_{it} = & \delta_0 + \delta_R RS_{it} + \delta_D DENS_{it} \\ & + \delta_L LARG_{it} + \delta_t t. \end{aligned} \quad (13)$$

なお、本稿で用いた各部門のデータの概要は表2に示す通りである。

¹¹ 実質化に際しては、Handy-Whitman Index の建物に関する指標を用いた。基準年となる1992年のデータは、1992年までの20年間の指数の加重平均を用いて実質化している。

¹² 実際には、会社全体の規模に対する一般管理部門が小さすぎることによる非効率も存在するため、一概に一般管理部門が小さいほど効率的とは言い切れないが、本稿では当該部門の効率性計測の一つの試みとしてこれらを採用することとした。

表2 使用データ概要

		全サンプル				最大 ¹	最小 ²
		1992年 平均	2000年 平均	全期間		全期間平均	全期間平均
				平均	標準偏差		
発電部門	資本(MW)	10,824	8,836	10,441	5,103	20,821	5,545
	労働(人)	4,882	3,059	4,047	2,106	10,100	3,000
	燃料(10 ⁹ kcal)	93,674	92,946	100,083	52,206	231,798	76,105
	ネット発電電力量(GWh)	38,378	40,436	40,856	20,112	88,083	20,926
ネットワーク 部門	資本(ディビジア指数)	1.155	1.408	1.235	0.641	2.013	0.813
	送電資本(km)	8,020	9,437	8,668	6,035	8,490	8,281
	配電資本(VA)	19,361	24,708	21,371	10,626	36,974	11,659
	労働(人)	2,006	1,584	1,704	932	2,564	1,196
	合計販売量(GWh)	45,918	58,315	52,269	21,100	94,222	25,198
一般管理 部門	合計契約口数(1000口)	1,817	2,031	1,909	1,088	3,387	723
	資本(\$1000)	374,207	528,259	475,009	335,642	779,815	248,455
	労働(人)	1,907	1,460	1,644	962	2,124	1,030
	全労働人員数(人)	10,260	7,055	8,619	4,054	16,696	6,248
環境要因	合計販売量(GWh)	45,918	58,315	52,269	21,100	94,222	25,198
	原子力比率	0.372	0.431	0.387	0.168	0.747	0.382
	需要密度	5.497	5.424	5.421	6.379	5.590	3.351
	大口顧客比率	0.715	0.714	0.717	0.078	0.761	0.692

*1 販売電力量の全期間平均が最も大きい事業者 (Commonwealth Edison社)

*2 販売電力量の全期間平均が最も小さい事業者 (Arizona Public Service社)

4 実証分析結果

各部門の推定結果の一覧を表3に示す¹³。この表を基に、以下で各部門の効率性について検証する。

4.1 発電部門

まず、生産物の係数 β_1 の絶対値に着目すると、わずかではあるが1よりも小さくなっている。本稿のモデルは、規模に関する収穫について何ら制約を置かない (Variable Returns to Scale) ため、この結果から、発電部門については規模に関して収穫遞増 (Increasing Returns to Scale) であるといえる¹⁴。次に、タイムトレンド t の係数

β_t について見ると、正の符号で有意な結果が得られており、計測期間中に技術進歩があったことを意味している。一方で、非効率部分を説明する要因として組み込んだタイムトレンドの係数 δ_t については、有意な結果が得られなかつた。このことは、時間の経過に従って事業者の効率性が有意に変化していないことを示している。また計測期間中に技術進歩が見られることから、発電部門については事業者全般的に生産性が向上していると推察できる。

その他の非効率説明要因に着目すると、自由化変数、原子力比率についても有意な結果が得られている。すなわち、自由化が進んでいる州の事業者の方が有意に効率値が低く、また原子

¹³ なお、本稿における推計結果は、ネットワーク部門と一般管理部門について、投入要素に関する準凹関数の制約を満たしていない。この点に関して望ましい推計結果とは言えないが、トランシログ型の関数型を用いる推定では、準凹関数の制約を満たすことは比較的困難とされている。この問題を回避するために、Diwert and Wales (1987) などで代替的な関数型が提唱されている。

¹⁴ 規模の経済性はAtkinson, Cornwell and Honerkamp (2003) の式21に従い、データの平均値で計算している。以下、ネッ

トワーク部門および一般管理部門においても同様である。ただし厳密には、 y に関する2次の項があるため個別の観測点において検証すべきである。発電部門の規模の経済性はすでに一部で消失しつつあると唱える先行研究は、Christensen and Green (1976) 以降いくつか見られるため、本稿でも全てのデータポイントについて規模の経済性の計測を行った。その結果、大規模事業者についてはChristensen and Green 同様一部で規模の不経済が観測されているが、大部分の領域（7割以上）において経済性が存在することが示された。

表3 推定結果一覧

		発電部門	ネットワーク部門	一般管理部門
定数項	β_0	0.0290 (1.583)	0.9280 (6.335)*	0.2141 (4.737)*
$\ln y_1$	β_1	-0.9352 (-57.369)*	-0.2152 (-3.05)*	-0.7970 (-7.196)*
$\ln y_2$	β_2	— —	-0.7425 (-12.647)*	-0.3078 (-2.452)*
$(\ln y_1)^2$	β_{11}	-0.4249 (-6.622)*	-1.5478 (-5.862)*	0.4164 (1.177)
$(\ln y_2)^2$	β_{22}	— —	-0.3153 (-1.584)	-0.5767 (-1.481)*
$\ln y_1 * \ln y_2$	β_{12}	— —	0.4681 (2.125)*	0.2069 (.614)
$\ln x_1$	β_K	0.2856 (7.786)*	0.6789 (11.673)*	0.2348 (5.188)*
$\ln x_2$	β_L	0.2487 (8.892)*	— —	— —
$(\ln x_1)^2$	β_{KK}	0.5303 (3.724)*	0.2958 (3.211)*	0.0304 (.406)
$(\ln x_2)^2$	β_{LL}	-0.0366 (-.324)	— —	— —
$\ln x_1 * \ln x_2$	β_{KL}	-0.2403 (-2.406)*	— —	— —
$\ln y_1 * \ln x_1$	β_{1K}	0.1186 (2.186)*	-0.2594 (-2.007)*	-0.5582 (-3.171)*
$\ln y_2 * \ln x_1$	β_{2K}	— —	0.1195 (1.185)	0.8130 (3.688)*
$\ln y_1 * \ln x_2$	β_{1L}	-0.1974 (-3.154)*	— —	— —
t	β_t	0.0203 (6.288)*	-0.0001 (-.013)	-0.0056 (-.636)
非効率				
定数項	δ_0	-1.8254 (-1.602)	1.2648 (6.711)*	1.2627 (3.528)*
RS	δ_R	1.6380 (1.83)*	-0.0059 (-.176)	0.9549 (3.669)*
NUR	δ_N	-0.3719 (-2.498)*	— —	— —
$DENS$	δ_D	— —	-0.3649 (-19.071)*	0.3014 (1.711)*
$LARG$	δ_L	— —	-0.0073 (-.051)	-2.2327 (-5.296)*
t	δ_t	0.0154 (1.378)	-0.0143 (-2.024)*	-0.0222 (-1.546)
σ^2		0.0851 (2.15)*	0.0209 (9.403)*	0.0535 (5.273)*
γ		0.9539 (39.554)*	0.9251 (32.313)*	0.3584 (2.596)*
対数尤度		174.3484	109.2505	28.1833

括弧内はt値、*は有意水準10%

力比率の高い事業者の方が有意に効率性が高いと解釈することができる。

ここで各社の効率値について、自由化変数に基づき2つのカテゴリーに分け、それぞれの平均値の推移を図1に示す。この図からも明らかな通り、小売自由化に消極的な州の事業者（RS0）の平均値の方が効率値は高く、先行的に自由化を開始している州の事業者（RS1）の方が効率値は低い。その差は平均で7%程度である。一般に自由化を先行的に導入した州はもともと電気料金の高い州であると言われているが、生産効率性の面からも劣っていたと考えられる。

また、先に示したタイムトレンドの影響(δ_t)はデータの平均的な傾向であり、単に平均的な

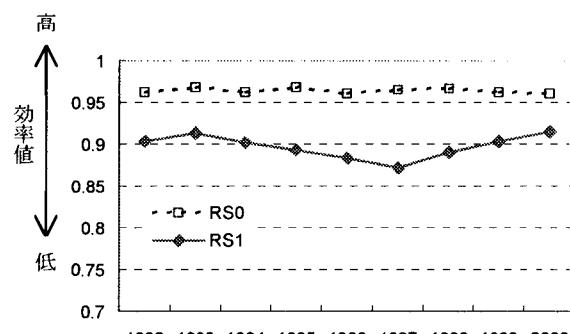


図1 発電部門の自由化カテゴリー別の効率値

効率値について有意な経年的変化が見られないというだけであるが、図1より、自由化カテゴリーによって効率値の経年的変化の傾向にも違いが見られることがわかる。RS0が計測期間中ほぼ横ばいであるのに対し、RS1の平均値は97年までは低下傾向で、それ以降は上昇傾向となっている。米国で小売の自由化の決定がな

されたのはちょうど97年ころからであるため、自由化による影響で効率化への取り組みが効果を顕し初め、効率値の低下傾向が上昇傾向に転じたと解釈することもできる¹⁵。

4.2 ネットワーク部門

まず y_1 と y_2 の係数 β_1 、 β_2 に着目すると、合計で-0.958であり、わずかではあるが規模に関して収穫遞増となっている。発電部門と異なりネットワーク部門については、規模の経済性が依然として存在するという考え方が一般的であるが、本稿での結果はそれを支持するものといえる。

次に、タイムトレンド t の係数について見ると、有意な結果が得られていない。よって、ネットワーク部門において計測期間中に技術進歩があったことは確認されない。一方で、非効率を説明するタイムトレンドについては、負に有意な結果となっている。これは計測期間中、効率性の低い事業者の効率値が改善され平均的な効率値が上昇することで事業者間格差は小さくなつたものの、技術進歩には影響を与えていない、と解釈することができる。

そのほかの非効率の要因については、需要密度について負に有意であり、需要密度が高いほど事業者の効率性が高いことが示されている。これは一般的な認識とも整合的な結果である。一方、自由化変数、大口顧客比率ともに有意な結果は得られなかった。電力自由化によって競争が導入されるのは発電部門と小売部門であり、ネットワーク部門についてはこれまで通り規制下に置かれることになる。そのため、直接的には自由化の影響が観察されない部門であ

¹⁵ このように、自由化に対して積極的な州の事業者の方が総じて効率値が悪く、近年効率値が改善している傾向は、同様の事業者の経営全体について、他の手法（データ包絡分析法）を用いて効率性を計測した筒井（2003a）においても示されている。

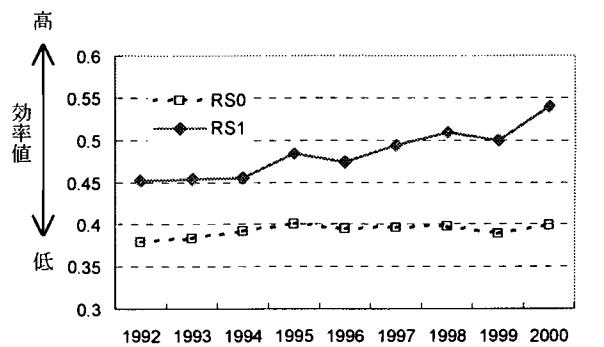


図2 ネットワーク部門の自由化カテゴリー別の効率値

るが、一方で自由化によって競争部門のみならず経営全体の効率化が図られ、その結果として間接的に規制部門にも効率化をもたらすことも考えられる。しかし本稿の結果からは、このような自由化の間接的な効果は有意に観測されなかつたと言える。

図2は、自由化カテゴリー別効率値の平均値の推移である。一見すると、自由化を積極的に推進する州の事業者（RS1）の平均値の方が計測期間を通じて高いが、実際には、RS1に分類される一つの事業者（Consolidated Edison社：ConEd）の効率値が極端に突出して高い結果となっており、RS1の平均値を大きく引き上げている。この事業者以外に着目すると、ほとんどの事業者が効率値30～60%程度のバンド内で推移しており、自由化カテゴリーによる差もみられない¹⁶。なお、本稿で示す部門別の効率性は、それぞれの部門で独立に行っているため、効率性の水準について部門間比較をすることはできない。すなわち、この結果からネットワーク部門の効率値が他部門と比較して低い水準にあるかどうかは判断できない。

¹⁶ 図2で示されるネットワーク部門の効率値の平均値が、発電部門や、次節にて示す一般管理部門と比較しても低い水準となっているのは、ConEd社の効率値が極端に高く、その他の事業者の相対的な効率値が低く推定されるためと考えられる。このようなConEd社の突出した特徴は後藤（2002）においても報告されているが、ConEd社を入れない場合も推定パラメータに大きな変動がなく、恣意的なサンプル抽出しないという意味からも、サンプルから削除していない。

4.3 一般管理部門

一般管理部門では、他部門と異なり規模に関する収穫遞減が見られる (β_1 および β_2)。すなわち、規模の経済が見られないという推定結果である。事業者は大規模になるにつれ、社内管理のために間接部門が大きくなる傾向にある。また間接部門の人事費は割高なこともあります、間接部門が大きくなりすぎることは効率化の侧面でも問題視されている。今回のサンプル事業者については、すでに効率的な規模を超てしまっていると言えるだろう。

タイムトレンドについては、技術進歩および非効率の双方について、有意な結果は得られなかつた。しかし、自由化変数については正の符号で有意な結果が見られる。これは発電部門同様、自由化が積極的に進められている州の事業者の方が効率値が低いことを指している。そこで、自由化カテゴリー別の平均値の推移を図3に示す。この図からも明らかなように、RS0の方がRS1を大きく上回っている。しかし、RS0が期間を通じて大きな変化が見られない一方で、RS1の平均値は徐々に上昇しており、計測期間中の伸び率はおよそ8%（1999年まででは12%）となっている。先述の通り、米国において小売自由化が実際に始まったのは1997年であるが、それ以前より小売自由化に向けた準備は始められている。例えば1994年には、カリフオルニア州公益事業委員会より小売自由化の方針を示した通称「ブルー・ブック」(CPUC, 1994) が出版されており、これにより小売自由化が本格化することを全米の電気事業者が認識し始めたと言われている。自由化に積極的な州の事業者は、このような小売自由化の動向に比較的早期から対応し、まずは間接部門から効率化を進めたものと推察される。

自由化以外の要因については、事業者の立地

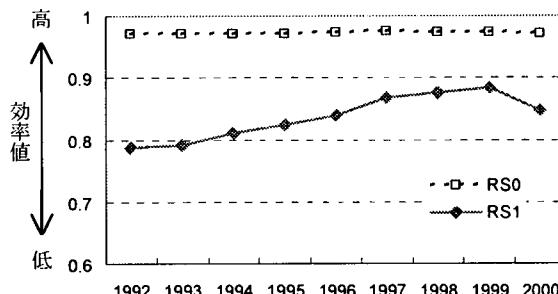


図3 一般管理部門の自由化カテゴリー別の効率値

特性について、需要密度の高い都市圏の方が効率値が低く、商工業地域の事業者の方が効率値が高いとの結果になっている。本稿では投入要素として資本ストックを使用しているため、全体的に資本コストの高い大都市圏の事業者が、資本投入過多と評価された結果と考えられる。一方、商工業地域の事業者の方が効率的という結果は、同程度の規模の事業者でも、大口顧客を抱える事業者は、小規模な一般管理部門で効果的に事業を展開できるメリットを有していると解釈することができる。

5 おわりに

本稿では、米国電気事業者の発電部門、ネットワーク部門、一般管理部門の3部門について、距離関数を用いた確率的フロンティア分析モデルにより効率性を推定し、小売自由化が事業者の効率値に与える影響について分析した。その結果、各部門によって自由化の影響の顕れ方に相違が見られることを明らかにし、自由化の議論に際して、電気事業の部門ごとの評価の必要性を示唆した。

具体的な部門別の結果に着目すると、発電部門と一般管理部門については、小売自由化を積極的に推進する州の事業者（RS1）とそれ以外の事業者（RS0）で、効率値の平均値に有意な違いが見られ、RS1に分類される事業者の方が効率値が低いことがわかった。しかしながら効

率値の時系列変化については、発電部門、一般管理部門とともに、RS0の平均値は計測期間を通じてほぼ横ばいであるのに対し、RS1の平均値は、発電部門では1997年まで下降傾向の後上昇傾向に転じており、一般管理部門については計測期間を通じて上昇傾向となっている。このことから、RS0の事業者に対しては自由化の影響がほとんどみられないのに対し、RS1の事業者については、一般管理部門では比較的早期から、発電部門については小売自由化の始まった1997年頃から、効率値を向上させる効果があつたと推察できる。

一方で、規制部門であるネットワーク部門については、RS1とRS0の平均値に有意な差は認められなかつた。自由化によって、競争部門のみならず経営全体の効率化が図られ、その結果として規制部門の効率化も進むという自由化の間接的な影響は、今回の計測期間においては確認されなかつたと言える。

最後に、日米の電気事業者のコスト構造を比較すると、日本の場合ネットワーク部門のコストが米国と比較して顕著に高いことが指摘されており¹⁷、電気料金の引き下げにはネットワーク部門の効率化が重要との意見も聞かれる。しかしながら、先行して自由化を進める米国の電気事業者に関する本稿の分析結果からは、自由化のネットワーク部門への効果は有意には観測されなかつた。ネットワーク部門の効率化についてはインセンティブ規制など何らかの工夫が必要との認識も諸外国において広がりつつあるが、本稿の結果はそれを裏付けるものとなっている。

このようなネットワーク部門に対する規制の動きは、既に米国および欧州においてかなりの程度進展しており、ネットワーク部門を対象

としたベンチマークリング手法の活用によるインセンティブ規制が研究されるとともに、実際に規制政策への適用も進められている (Jamasb and Pollitt, 2001)。わが国でも今後、小売自由化の範囲が拡大される見込みであるが、発電から送配電まで垂直的に密接な技術関連性を有する電気事業にとって、その要とも言える送配電ネットワーク部門での一層の効率化をどのように進めていくのかは、検討すべき重要な課題である。そのためには、本稿では取り扱っていないコスト面の効率性について、今後さらに掘り下げた検証を行う必要がある。

【参考文献】

- [1] Aigner, D.J., C.A.K. Lovell and P. Schmidt (1977) "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models," *Journal of Econometrics*, 6:1, 21-37.
- [2] Atkinson, S. E., C. Cornwell and O. Honerkamp, (2003) "Measuring and Decomposing Productivity Change: Stochastic Distance Function Estimation Versus Data Envelopment Analysis" *Journal of Business and Economic Statistics*, 21:2, 284-294.
- [3] Battese, G.E. and T.J. Coelli (1993) "A Stochastic Frontier Production Function Incorporating A Model For Technical Inefficiency Effects" *Working Papers in Econometrics and Applied Statistics*, No.69, Department of Econometrics, University of New England.
- [4] Battese, G.E. and T.J. Coelli (1995) "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data" *Empirical Economics*, 20, 325-332.
- [5] Cameron, L. (2001) "Transmission Investment : Obstacles to a Market Approach," *Electricity Journal*, March 2001, 25-38.
- [6] Christensen, L.R. and W.H., Greene (1976), "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation," *Journal of Political Economy*, 84:4:1, 655-676.
- [7] Coelli, T.J. (1996), "A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Programs for Frontier Production Function Estimation," CEPA Working Paper 96/07, Department of Econometrics, University of New England, Armidale.
- [8] Coelli, J. (2000) "On the Econometric Estimation of the

¹⁷ 南部 (2003) 2 章参照。

- Distance Function Representation of a Production Technology," Core Discussion Paper 2000/42, Center for Operations Research and Econometrics, Université Catholique de Louvain.
- [9] Coelli, Tim and S. Perelman (1996) "Efficiency Measurement, Multiple-Output Technologies and Distance Functions: With Application to European Railways," CREPP Working Paper #96/05, Universite de Liege, Belgium.
- [10] CPUC (1994) "Order Instituting Rulemaking on the Commission's Proposed Policies Governing Restructuring California's Electric Services Industry and Reforming Regulation". R. 94-04-31/I. 94-04-032, California Public Utilities Commission.
- [11] Diewert, W. E. and T. J. Wales (1987), "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions," *Econometrica*, 55, 43-68.
- [12] DOE (2002) "National Transmission Grid Study" US Department of Energy May 2002.
- [13] EIA (2000) "The Changing Structure of the Electric Power Industry 2000: An Update" DOE/EIA-0562(00)
- [14] Färe, R., S. Grosskopf, C.A.K. Lovell and S. Yaisawarng (1993) "Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach," *Review of Economics and Statistics*, 75, 374-380.
- [15] Grosskopf, S. and K. Hayes (1993) "Local Public Sector Bureaucrats and Their Input Choices," *Journal of Urban Economics*, 33, 151-166.
- [16] Grosskopf, S. K. Hayes, L. Taylor and W. Weber (1997) "Budget Constrained Frontier Measures of Fiscal Equality and Efficiency in Schooling," *Review of Economics and Statistics*, 79:1, 116-124.
- [17] Hattori T. (2002) "Relative Performance of U.S. and Japanese Electricity Distribution: An Application of Stochastic Frontier Analysis," *Journal of Productivity Analysis*, 18, 269-284.
- [18] Jamasb, T. and M. Pollitt (2001), "Benchmarking and regulation: international electricity experience," *Utilities Policy*, 9, 107-130.
- [19] Jondrow, J., C.A.K. Lovell, I.S. Materov and P. Schmidt (1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model," *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- [20] Joskow, P.L. (2003) "The Difficult Transition to Competitive Electricity Markets in The U.S." Cambridge Working Papers in Economics CWPE 0328.
- [21] Kumbhakar, S. and C.A.K. Lovell (2000), *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press.
- [22] Lovell, C.A.K., S. Richardson, P. Travers and L.L. Wood (1994) "Resources and Functionings: A New View of Inequality in Australia," in W. Eichhorn (Ed.), *Models and Measurement of Welfare and Inequality*, Springer-Verlag Press.
- [23] Meeusen, W. and J. van den Broeck (1977) "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error," *International Economic Review*, 18:2, 435-444.
- [24] Morrison Paul, C.J., W.E. Johnston and G.A.G. Frengley (2000) "Efficiency in New Zealand Sheep and Beef Farming: The Impacts of Regulatory Reform," *Review of Economics and Statistics*, 82:2, 325-337.
- [25] 後藤美香 (2002) 「確率的フロンティアモデルによる技術効率性および配分効率性のパネルデータ分析—米国電気事業者送配電ネットワーク部門の計測—」、公益事業研究 第53巻第3号、39-48.
- [26] 筒井美樹 (2003a) 「投入要素単価水準を考慮した日米電気事業の効率性比較」電力中央研究所報告 Y02010.
- [27] 筒井美樹 (2003b) 「DEAによる日米電気事業の部門別効率性総合比較」電力中央研究所研究調査資料 Y02910.
- [28] 南部鶴彦編 (2003) 「電力自由化の制度設計——系統技術と市場メカニズム——」、東京大学出版会.

筒井 美樹 (つつい みき)
後藤 美香 (ごとう みか)
電力中央研究所 経済社会研究所