

## DEA による日米電気事業の経営効率性計測と比較分析

## Measurement and Comparison of Management Efficiency among Japanese and U.S. Electric Utilities by DEA : Decomposition of Inefficiency

キーワード：経営効率性、DEA、Malmquist Index

北村美香 筒井美樹

本稿では、DEA を用いて日米の電気事業者 23 社に関して経営効率性の計測と比較分析を行った。効率性指標として、総合生産効率性、技術効率性、資源配分効率性、規模効率性、コスト効率性の計測を行った。また、Malmquist Index を計測することにより、生産性の時系列的な比較を行った。さらに、費用最小化を達成するための最適な要素雇用量からみた各投入要素の余剰を明らかにした。その結果、第一に、平均でみた場合両国の技術効率性、資源配分効率性、コスト効率性は米国のそれと同水準ないしは上回ることが明らかになった。よって、日本の電気料金が米国のそれと比較して割高であるのは、少なくとも生産効率性の差からくるものではなく、むしろ生産段階における資本費など投入要素価格の差に原因があると推察される。第二に、技術効率性の時系列的な変化を表す Malmquist Index は両国とも計測期間中著しい変化はなく、顕著な技術進歩はみられなかった。よって、今後現在の生産技術を前提とする限り、技術進歩による経営効率性の向上はそれほど期待できないと思われる。第三に、費用最小化からみた非効率性の最も大きな要因は資源配分の非効率性であり、費用最小化を達成するための最適な要素雇用量からみた余剰に関して両国とも資本が全期間を通してプラスに出ると同時に購入電力量はマイナスに出た。以上の計測結果は、今後特に日本において、発電部門における競争入札や余剰電力購入を通じて資源配分効率性を高めることによりコスト削減に資するとともに、資・機材調達における競争入札の促進による資本コストの節減を通じて、コスト面における一層効率的な経営が実現可能であることを示唆していると考えられる。

- はじめに
- 計測手法の図解
- 計測指標とモデル
  - 総合生産効率性 (CCR Model)
  - 技術効率性 (BCC Model)
  - Malmquist Index
  - コスト効率性 (Cost-minimizing Model)
  - 資源配分効率性
- データ
  - 使用データの概要
  - 一般に用いられる生産性指標
- 計測結果
  - 計測結果一覧と要因分解
  - 生産性の時系列的推移
  - 費用最小化からみた投入要素余剰
- まとめと課題

## 1. はじめに

近年、電気事業を取り巻く経営環境は規制緩和の流れの中で大きく変化しており、国内外の電気事業者にとって、コスト削減とともにより効率的な電気事業経営が一層の関心事となってきた。そのような中、国内の電気事業者に関して電気料金の内外価格差問題の原因は日本の電気事業の経営非効率性のせいなのか、ある

いは投入要素価格など他の原因によるものなのか、といった議論が出て来る。

本稿では、Data Envelopment Analysis (包絡分析法、以下 DEA) を用いた最適化計算により生産効率性フロンティアを計測し、個々の企業がそのフロンティアからどれだけ乖離しているかを距離関数の逆数を求める線形計画問題として計測することにより、相対的な効率性指標の導出とその要因分解を行なう。さらに、生産性の

経年的な分析を行うために Malmquist Index を計測し、相対的な生産性変動の時系列的な分析とその日米比較を行う。その結果を用いることにより、日本の電気事業の生産性をコスト構造と電気料金との関係という視点から検証することを本稿の目的とする。

日本の電気事業の生産性計測に関する先行研究としては、鳥居 (1994) による発電部門及び送配電部門の効率性を Stochastic Frontier Method を用いて分析したものや、DEA を用いて日本以外の 5 ヶ国を含む国際比較を行なった穴山 (1996) などがある。しかし、コスト効率性まで含んだ総合的な国際比較を相対的かつ経年的に行い、その要因分析まで含んだ事例はまだない。本稿では、日本とアメリカの計 23 社の電気事業者に関して、技術効率性に加えコスト効率性をも 1983 年から 1993 までのデータを用いて各年ごとに相対的に計測するとともに、Malmquist Index を算出することにより時系列的な効率性の比較まで行なった。

DEA は、生産関数や費用関数の推定によって効率性フロンティアを求めるパラメトリックな方法と異なり、先験的に特定の関数形や誤差項の分布形を仮定する必要がないため、よりバイアスの少ない生産性計測手法であるという利点を持ち、関数推定において生じる統計的な様々な問題<sup>(注 1)</sup>に煩わされることもない。また、企業行動における費用最小化や利潤最大化を仮定せず計測を行うことができるという点も大きな利点と言える。反面、使用変数の数による結果の変動や、変数選定の難しさ、特異なサンプルの存在によりフロンティアが大きく影響を受ける場合があること、最適化の計算における極端なウェイト付けによる問題などがあげられる。しかし、先に触れた利点の他、複数の投入と複

数の産出を同時に考慮した効率性指標を導出し、総合的な判断が可能となるというメリットもあるため、米国などで多くの産業分野において実証分析に適用されてきている。

具体的な計算においては、より少ない投入でより多くの産出を達成することを効率性計測のための最適化の目的とし、サンプル企業の中で優秀な者同士を結びあわせて piecewise linear な生産効率性フロンティアを形成する。そして、そのフロンティアから個々の企業がどれだけ乖離しているかを距離関数を用いて計測することにより、その相対的な効率性指標を計測する。

基本的なモデルとして、産出最大化指向と投入最小化指向の 2 つのモデルが考えられ、両者は同じ事象を異なる方向からみていると言える。

電気事業の場合、産出 (販売電灯・電力量) を所与の水準で最小限保証した上で投入を最小化するモデルを用いるのが産業の性質上妥当と考えられるため、本稿の計測では投入最小化指向のモデルを用いた。

本稿における基本的な計測モデルをここで簡単に説明すると、効率的な企業は規模の経済性が一定である、すなわち最適規模で操業していると仮定し、総合的な生産効率性を計測する CCR モデル、個々の企業の最適操業規模への調整は考慮せず、各企業の実際の操業レベルに応じた技術効率性を計測する BCC モデル、費用最小化の制約を加えることにより資源配分の効率性まで考慮した費用最小化モデルがあげられる。

以上のモデルの計測により、コスト効率性、資源配分効率性、総合生産効率性、技術効率性、規模効率性を個々の企業について計測し、企業の経営効率性 (非効率性) が何に起因しているのかを探る。

## 2. 計測指標の図解

以上の計測指標の概略を図 1 を用いて説明する。

(注 1) 適切な関数形選択の問題に加え、推定段階における多重共線性の問題、同時性のバイアス、分散不均一性、誤差項の系列相関、といった各種問題があげられる。

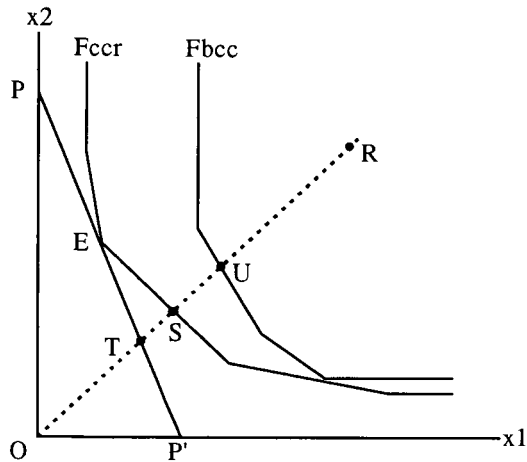


図1 DEAによる効率性計測の概念図

- PP' ---- コスト制約
- FCCR ---- CCRモデルで計測した生産可能性フロンティア
- Fbcc ---- BCCモデルで計測した生産可能性フロンティア
- x1 ---- 投入要素1
- x2 ---- 投入要素2

例えば今、ある会社が図1の点Rに存在し、2つの投入要素で1つの産出物を生産していると仮定すると、R社の各種効率性は以下の関係を持つ。

$$\frac{OT}{OR} = \frac{OS}{OR} \times \frac{OT}{OS}$$

(コスト効率性) = (総合生産効率性) × (資源配分効率性)

$$\frac{OS}{OR} = \frac{OS}{OU} \times \frac{OU}{OR}$$

(総合生産効率性) = (規模効率性) × (技術効率性)

$$\text{コスト効率性} = \frac{\text{最小コスト}}{\text{実際のコスト}}$$

### 3. 計測指標とモデル

#### 3.1 総合生産効率性 (CCR Model)

総合生産効率性の計測には CCR モデル (Charnes, Cooper and Rhodes (1978)) を用いる。CCR モデルは DEA の最も基本的なモデルであり、最も効率的な企業は技術的に効率的であるばかりでなく最適規模で操業しているものと仮定する。プライマルモデルとデュアルモデルは

双対問題であり、同じ計測を異なる変数により行っていると言うことができるため、本稿における実際の計測では計算的に扱い易いプライマルモデルを用いた。

#### CCR モデル (dual)

$$\begin{aligned} \max_{u,v} & \quad u^T y_0 \\ \text{s.t.} & \quad v^T x_0 = 1 \\ & \quad -v^T X + u^T Y \leq 0 \\ & \quad v, u \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

- $x_0$  ---- 0社の投入物ベクトル
- $y_0$  ---- 0社の産出物ベクトル
- $X$  ---- 全社の投入物マトリックス
- $Y$  ---- 全社の産出物マトリックス
- $v$  ---- 投入物に関するウェイトベクトル
- $u$  ---- 産出物に関するウェイトベクトル

#### CCR モデル (primal)

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \quad \theta \\ \text{s.t.} & \quad \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \\ & \quad y_0 - Y\lambda \leq 0 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{2}$$

- $\lambda$  ---- 個々の企業に対するウェイトベクトル
- $\theta$  ---- 効率性指標

本稿では、各年ごとのデータの連続性を考慮し、データの変動を平準化するために、実際の計測には2年分のデータを順次プールすることにより行った。すなわち、連続する2期間のデータによりフロンティアの形成を行うため、ある年の偶然的なデータの変動がフロンティアの形成に及ぼす影響を少なくし、フロンティア自体の動きを滑らかにしている。これにより、より安定的な効率性指標の計測が可能となる。

DEA における各種効率性指標の計測において注意しなければならない問題の1つとして、dual モデルにおける各要素のウェイトの大きさがある。各会社の最適化計算の過程において、その会社にとって不利な要素がある場合、不利な影響をなくすようにするためその要素のウェイトを0とする可能性がある。その場合、すな

りでなく、非現実的なウェイト付けによる評価であるとも言える。そこで、この問題に対処するためウェイト自体にある範囲の制約を与える必要が生じるのである。

DEA の最適化計算に用いられる個々の要素のウェイトは、それ自体に何の制約も置かない場合個々の要素のシャドウプライスとなる。そこで、現実の要素価格が各要素のウェイト比に与える制約として実際の要素価格比を用いる方法が考えられる。<sup>(注2)</sup>

本稿においては、個々の投入、産出の価値を反映した効率性を計測する1つの方法として、全ての投入、産出に関してそれぞれの企業が実際に直面している価格をウェイトの制約として与えた。このようなウェイトの制約を与えるモデルは Cone-ratio モデル (Charnes, Cooper, Wei and Hung (1989)) と呼ばれ、このモデルを適用することにより、より現実的なウェイト付けによる最適化計算が可能となる。

一般的に、個々の要素の価格情報がない場合でも、仮定をおくことにより Cone-ratio モデルの適用は可能であるという利点を持つが、本稿では、実際の投入要素コストデータ、産出物価格データが入手可能であったため、前述の dual モデル (式(1)) で与えられるウェイト  $v$ 、 $u$  に関して以下の制約を課した。

$$\min \frac{c_j}{c_i} \leq \frac{v_j}{v_i} \leq \max \frac{c_j}{c_i}$$

$$\min \frac{p_s}{p_r} \leq \frac{u_s}{u_r} \leq \max \frac{p_s}{p_r}$$

$c$  ----- 投入要素単価

$p$  ----- 産出物単価

$i, j$  ----- 投入要素

$r, s$  ----- 産出物

<sup>(注2)</sup> 電気事業の場合料金規制を受けており、実際には費用最小化に対するバイアスが存在する可能性があり、シャドウプライスと実際の要素価格に格差が生じているとも考えられるが、本研究においては実際の要素単価をウェイトの制約として用いた。

よって本稿で扱うモデルは厳密には、データを2期間プールした Cone-ratio モデルの1つである領域限定モデル (Thompson, Singleton, Thrall and Smith (1986)) である。実際の計測はこの制約を入れた2期ごとの primal モデルで行ったため、投入要素  $i$  を基準にした投入要素  $j$  に対するウェイトの最大値と最小値をそれぞれスカラー  $k_a$ 、 $l_a$ 、同じく産出要素  $r$  を基準にした産出要素  $s$  に対するウェイトの最大値と最小値をそれぞれスカラー  $k_b$ 、 $l_b$  とすると、それぞれ投入要素  $j$ 、産出要素  $s$  に関する部分の最適化問題の記述は以下の式(3)の形になる。

### CCR モデル

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \quad \theta \\ \text{s.t.} & \quad \theta([x'_{0i}] + k_a[x'_{0j}]) - (x'_i + k_a x'_j) \lambda^t \\ & \quad - (x'^{-1}_i + k_a x'^{-1}_j) \lambda^{t-1} \geq 0 \\ & \quad \theta([x'_{0i}] + l_a[x'_{0j}]) - (x'_i + l_a x'_j) \lambda^t \\ & \quad - (x'^{-1}_i + l_a x'^{-1}_j) \lambda^{t-1} \geq 0 \\ & \quad (y'_r + k_b y'_s) \lambda^t + (y'^{-1}_r + k_b y'^{-1}_s) \lambda^{t-1} \\ & \quad \geq ([y'_{0r}] + k_b [y'_{0s}]) \\ & \quad (y'_r + l_b y'_s) \lambda^t + (y'^{-1}_r + l_b y'^{-1}_s) \lambda^{t-1} \\ & \quad \geq ([y'_{0r}] + l_b [y'_{0s}]) \\ & \quad \lambda^t, \lambda^{t-1} \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$x'_{0i}$  ----- 0 社  $t$  期の  $i$  投入要素雇用量

$x'_i$  -----  $t$  期の  $i$  投入要素雇用量の会社ベクトル

### 3.2 技術効率性 (BCC Model)

前述の CCR モデルと異なり、BCC モデルでは規模の経済性一定を効率性の条件としない。すなわち、操業規模の過大ないし過小による規模非効率性を考慮しない純粋な技術効率性を計測していると言える。そのため、その計測結果は操業規模の効率性をも考慮している CCR $\theta$  と等しいかあるいは高く出る。具体的には、CCR モデルである式(2)に制約  $\sum \lambda = 1$  を加えることにより BCC モデルとなる。本稿で用いたモデルは前述の CCR モデル同様、2期間プールの領域限定モデルであるため、以下の形になる。

**BCC モデル**

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} \quad \theta \\
 s.t. \quad & \theta([x'_{0i}] + k_a[x'_{0j}]) - (x'_i + k_a x'_j) \lambda^t \\
 & \quad - (x'^{t-1}_i + k_a x'^{t-1}_j) \lambda^{t-1} \geq 0 \\
 & \theta([x'_{0i}] + l_a[x'_{0j}]) - (x'_i + l_a x'_j) \lambda^t \\
 & \quad - (x'^{t-1}_i + l_a x'^{t-1}_j) \lambda^{t-1} \geq 0 \\
 & (y'_r + k_b y'_s) \lambda^t + (y'^{t-1}_r + k_b y'^{t-1}_s) \lambda^{t-1} \quad (4) \\
 & \geq ([y'_{0r}] + k_b [y'_{0s}]) \\
 & (y'_r + l_b y'_s) \lambda^t + (y'^{t-1}_r + l_b y'^{t-1}_s) \lambda^{t-1} \\
 & \geq ([y'_{0r}] + l_b [y'_{0s}]) \\
 & \sum \lambda^t + \sum \lambda^{t-1} = 1 \\
 & \lambda^t, \lambda^{t-1} \geq 0
 \end{aligned}$$

さらに、第2章の各種効率性指標の関係を  
用いることにより、規模効率性を導き出す。

$$\begin{aligned}
 CCR\theta &= \text{純粋な技術効率性} \times \text{規模効率性} \\
 BCC\theta &= \text{純粋な技術効率性} \\
 \frac{CCR\theta}{BCC\theta} &= \text{規模効率性}
 \end{aligned}$$

**3.3 Malmquist Index**

DEAによる効率性指標そのものは、各時点に  
おけるフロンティアを基準とした相対的な指標  
である。そこでさらに、技術進歩による各年ご  
との生産可能性フロンティア自体の位置の移動  
をとらえるために、まず以下の形式の Frontier  
Shift Effect の計測を行う。

**Frontier Shift Effect の計測モデル**

$$\begin{aligned}
 & \min_{\phi, \lambda, \mu} \quad \phi \\
 s.t. \quad & \phi[x'^{t,k}_{0j}] - (x'^{t+1}_i + k_a x'^{t+1}_j) \lambda^{t+1} \\
 & \quad - (x'_i + k_a x'_j) \lambda^t - [x'^{t,k}_{0j}] \mu \geq 0 \\
 & \phi[x'^{t,l}_{0j}] - (x'^{t+1}_i + l_a x'^{t+1}_j) \lambda^{t+1} \\
 & \quad - (x'_i + l_a x'_j) \lambda^t - [x'^{t,l}_{0j}] \mu \geq 0 \\
 & (y'^{t+1}_r + k_b y'^{t+1}_s) \lambda^{t+1} + (y'_r + k_b y'_s) \lambda^t \\
 & \quad + [y'^{t,k}_{0s}] \mu \geq [y'^{t,k}_{0s}] \\
 & (y'^{t+1}_r + l_b y'^{t+1}_s) \lambda^{t+1} + (y'_r + l_b y'_s) \lambda^t \\
 & \quad + [y'^{t,l}_{0s}] \mu \geq [y'^{t,l}_{0s}] \\
 & \lambda^t, \lambda^{t+1}, \mu \geq 0
 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)において、 $x'^{t,k}_{0j}$ 、 $x'^{t,l}_{0j}$ 、 $y'^{t,k}_{0s}$ 、 $y'^{t,l}_{0s}$ は領域

限定モデルにおける前期 (t 期) の投入要素 j と  
生産物 s の最適値の上限・下限である。これら  
を今期 (t+1 期) のデータの 1 つとしてモデルに  
組み込むことにより、フロンティアシフトの後  
退を防いでいる。

また、式(5)に制約式(5')を追加することにより、  
BCC モデルをベースとしたフロンティアシフ  
トが計測できる。

$$\sum \lambda^t + \sum \lambda^{t+1} + \mu = 1 \quad (5')$$

これにより、前期から今期にかけてフロンテ  
ィアの移動があったかどうか、あった場合どの  
程度であったかを計測することができる。

すなわちこれは、前年の生産可能性フロンテ  
ィアに比べてその年の生産可能性フロンティア  
がどれだけ成長したかを計測するためのもので  
あり、上記結果を用いた生産効率性の時系列的  
な指標である Malmquist Index を式(6)により計  
測できる。

$$\begin{aligned}
 \Pi_{t+1} &= \frac{\Pi_t}{\phi_{t+1}} \\
 M_{t+1} &= \Pi_{t+1} \times \theta_{t+1}
 \end{aligned} \quad (6)$$

- Π ----- 基準年のフロンティアを 1 として指  
数化した各年のフロンティアの位置
- φ ----- フロンティアシフト
- M ----- Malmquist Index
- θ ----- CCR モデルあるいは BCC モデルに  
よる生産効率性指標

このタイプの Malmquist Index は、各年ごとの  
フロンティアの時系列的移動を距離関数の逆数  
でとらえ、ある基準年のフロンティアの位置を  
1 と基準化し、各年ごとの相対的な効率性をそ  
のフロンティアの動きと結び付けることにより、  
生産性の伸びを時系列で評価できるようにした  
ものである。

**3.4 コスト効率性 (Cost-minimizing Model)**

さらに、費用最小化を目的関数とする計測を  
行った。この問題は、前述のモデルが個々の企

業の資源配分比率を一定として計測しているのに対し、個々の企業の資源配分比率の最適化までを含むため、Allocation Model とも呼ばれる。すなわち、費用最小化のための最適要素雇用量を変数として解く。

コスト効率性は実際のコストに対する最小コストの比率で計測される。そのため、まず式(7)の計算を行うが、ここでもまた領域限定モデルによる制約を課すとともにデータの2期間プールを行っている。

### Cost - minimizing モデル

$$\begin{aligned} \min_{v(x), \lambda} \quad & w = \sum_j [c'_{0j}] (v(x)_i^t + l_a v(x)_j^t) \\ \text{s.t.} \quad & (v(x)_i^t + k_a v(x)_j^t) - (x_i^t + k_a x_j^t) \lambda^t \\ & - (x_i^{t-1} + k_a x_j^{t-1}) \lambda^{t-1} \geq 0 \\ & (v(x)_i^t + l_a v(x)_j^t) \lambda^t \\ & - (x_i^{t-1} + l_a x_j^{t-1}) \lambda^{t-1} \geq 0 \\ & (y_r^t + k_b y_s^t) \lambda^t + (y_r^{t-1} + k_b y_s^{t-1}) \lambda^{t-1} \\ & \geq ([y'_{0r}] + k_b [y'_{0s}]) \\ & (y_r^t + l_b y_s^t) \lambda^t + (y_r^{t-1} + l_b y_s^{t-1}) \lambda^{t-1} \\ & \geq ([y'_{0r}] + l_b [y'_{0s}]) \\ & \lambda^t, \lambda^{t-1}, v(x)^t \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$c'_{0j}$  ----- 0社t期におけるj投入要素単価  
 $v(x)_j^t$  ----- t期における費用最小化のための  
 j投入要素の最適要素雇用量変数

この問題の最適解を  $(v(x)^*, \lambda^*)$  とすると、ある会社0社のコスト効率性  $E_c$  は式(8)となる。

$$E_c = \frac{\sum_j [c'_{0j}] [v(x)^*_{0j}]}{\sum_j [c'_{0j}] [x^*_{0j}]} \quad (8)$$

### 3.5 資源配分効率性

コスト効率性と総合生産効率性の差異は資源配分効率性で説明され、第2章の計測指標の図解で示した通り、

$$\text{資源配分効率性} = \frac{\text{コスト効率性}}{\text{総合生産効率性}}$$

で計算される。すなわち、ある会社の資源配分

効率性  $E_a$  は式(9)となる。

$$E_a = \frac{E_c}{CCR\theta} \quad (9)$$

総合生産効率性とそれに内包される各種効率性指標は、各社の投入要素雇用量比率を現状のまま一定と仮定して計測している。コスト効率性も、所与の要素価格の下で費用最小化を達成する点を投入要素雇用量比率を一定として計測するが、効率性フロンティアとコスト制約線が接する点である最適要素雇用量比率（最適要素雇用量）と実際の要素雇用量とのずれを、コスト非効率性を構成する資源配分非効率性としてとらえる。それが  $E_a$  である。

## 4. データ

### 4.1 使用データの概要

以上の各モデルについて、日米電気事業者23社の1983年から1993年のデータを使用し、各年ごとに計測を行った。23社の内訳は、日本の9電力、米国の垂直統合された大手私営電気事業者14社である。

全てのモデルに共通に、インプット・データとして以下の4つを使用した。

- x1 ----- 資本；合計最大出力 (MW)
- x2 ----- 燃料；使用燃料 (divisia 指数)
- x3 ----- 労働；従業員数 (人)
- x4 ----- 購入電力量 (1,000MWh)

これらのうち、資本・燃料・労働は電気事業において典型的なインプットとみなされているものである。購入電力量は、自社保有施設により発電する場合の設備の代替として、またアウトプットとして採用している販売電力量から購入分を相殺するものとしてインプットに加えた。

資本に関しては、発電部門の資本量と送配電部門の資本量が平行的に動いていると想定し、合計最大出力を経営全体の資本量としている。

使用燃料については、石炭、石油、ガス及び

表1 データの概要

	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
x1	15,511	12,686	3,605	49,492	13,982	4,581	5,457	24,750
x2	53,464	48,156	8,865	188,234	37,273	21,603	7,562	81,635
x3	15,460	10,147	5,062	40,136	13,417	4,406	2,596	20,738
x4	13,203	9,601	1,377	44,125	14,653	8,179	959	35,602
y1	17,340,998	15,181,480	3,172,673	67,380,931	16,121,702	7,082,573	4,612,099	36,359,902
y2	51,268,791	43,170,617	11,307,173	177,110,270	41,686,530	14,373,490	19,441,249	72,502,484

核燃料の消費量を熱量 (kcal) 換算して利用している。インプットとして各燃料の熱量合計を使用すると核燃料が過大に評価される傾向があるため、それを緩和するべく、本稿においては以下のような divisia 指数の作成を行った。

$$D_{nt} = \exp(R_{nt}^*)$$

$$R_{nt}^* = \ln(R_{nt}) - \ln(R_{n(t-1)})$$

$$= \sum_g \frac{1}{2} (W_{ntg} + \bar{W}_{ng}) (\ln X_{ntg} - \ln \tilde{X}_{ng})$$

$$- \sum_g \frac{1}{2} (W_{n(t-1)g} + \bar{W}_{ng}) (\ln X_{n(t-1)g} - \ln \tilde{X}_{ng})$$

$$D_{n83} = \exp(R_{n83}^*)$$

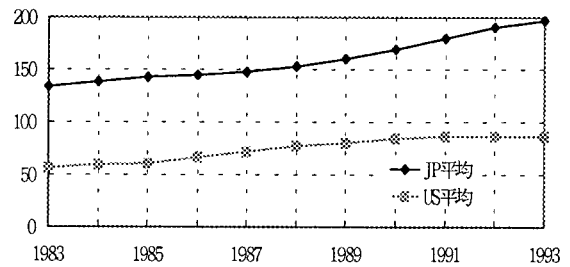
$$R_{n83}^* = \ln(R_{n83}) - \ln(R_{m83})$$

$$= \sum_g W_{n83g} (\ln X_{n83g} - \ln \tilde{X}_{83g})$$

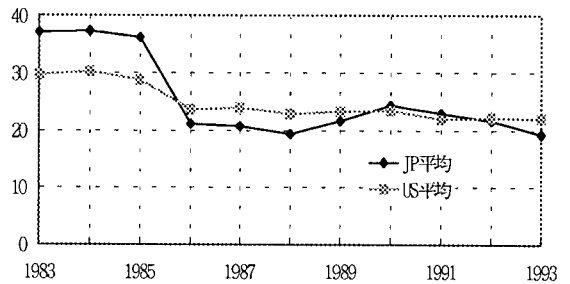
$$- \sum_g W_{m83g} (\ln X_{m83g} - \ln \tilde{X}_{83g})$$

- $D_{nt}$  ----- n 社 t 年の Divisia 指数
- $R_{nt}$  ----- n 社 t 年の各燃料 input の伸び率の、幾何平均からの乖離についての加重平均
- n, m ----- 会社 (1 社 ~ 23 社)
- t ----- 1983 年 ~ 1993 年
- g ----- category (coal, petroleum, gas, nuclear)
- $X_{ntg}$  ----- n 社 t 年 燃料 g の input
- $\tilde{X}_{ng}$  ----- n 社 燃料 g の input の年幾何平均
- $\tilde{X}_{83g}$  ----- 83 年 燃料 g の input の会社幾何平均
- $W_{ntg}$  ----- n 社 t 年 燃料 g のコストシェア
- $\bar{W}_{ng}$  ----- n 社 燃料 g のコストシェアの年算術平均

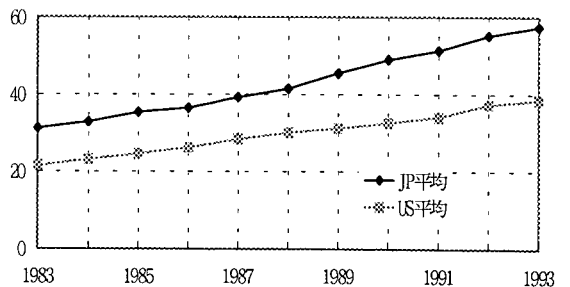
一方、アウトプット・データとしては、以下の2つを使用した。



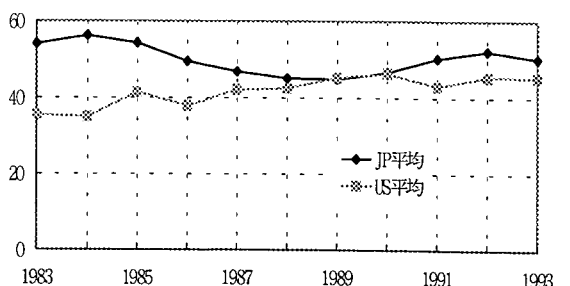
(a) 資本単価 (\$/kW)



(b) 燃料単価 (1000\$/divisia index)



(c) 労働単価 (1000\$/人)



(d) 購入電力単価 (1000\$/MWh)

図2 投入要素単価

y1 ----- 販売電灯量 (MWh)  
 y2 ----- 販売電力量 (MVh)

電力の販売量は、電気事業における典型的な産出物であり、ここでは電灯(家庭用)と電力(商工業用)に分けている。これはインプット、特に資本の利用特性において、両者間で相違が見られるからである。

これらのデータの概要については、表1の通りである。

また費用最小化モデルにおいては、それぞれのインプットに関する費用データを用いた。実際にモデルの中では費用データを物量データで除して単価を算出し、これを使用している。  
 (注<sup>3</sup>) 各インプットの単価の概要は図2のようになる。なお、日本のデータに関しては、OECDデータによるGDPに関する購買力平価により、USドルに変換して用いた。

資本・労働・購入電力について、米国に比べ日本の電気事業の要素単価の方が高い傾向にあることがわかる。特に資本に関しては米国の2倍もしくはそれ以上の値をとっている。  
 (注<sup>4</sup>)

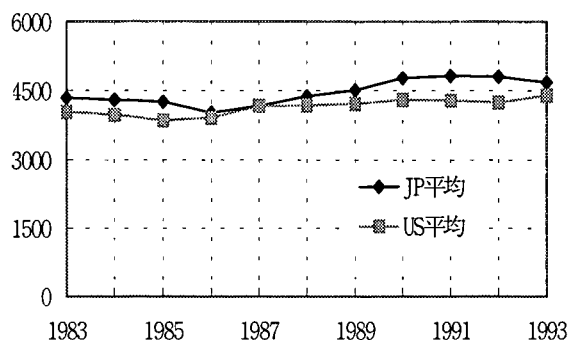
#### 4.2 一般に用いられる生産性指標

次に、いくつかの単純な生産性指標図3、4に示す。  
 (注<sup>5</sup>)(注<sup>6</sup>)

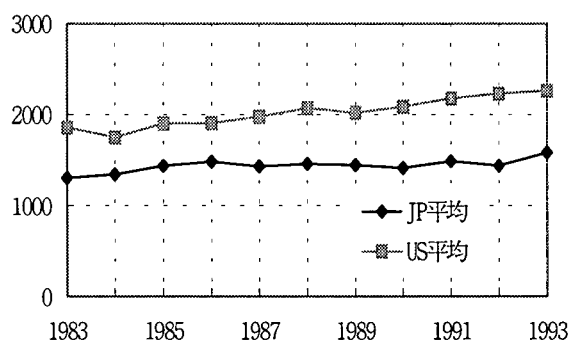
これらを概観すると、図3(a)と図4より、資本生産性(発電効率性)は日本の方が計測期間を通して米国を上回っているといえる。一方、燃料・労働については米国の方が上回っており、この両者の単純な生産効率性について見る限りは米国の方がよい値を示していることがわかる。

(注<sup>3</sup>) ここで資本費は、経営全体の減価償却費、修繕費、利息の合計で算出している。  
 (注<sup>4</sup>) 燃料に関しては、divisia指数を使用しているため実際の単価の傾向とは多少の相違があると思われる。  
 (注<sup>5</sup>) 図3(a)-(c)は、電気事業における3つの基本的なインプットデータから見た単純な生産効率性であり、各々のインプットデータを総販売電力量で除して算出している。  
 (注<sup>6</sup>) 図4の設備利用率は、発電形態に因らず、事業者ごとに全発電容量と発電電力量から算出し、それを日米で平均している。

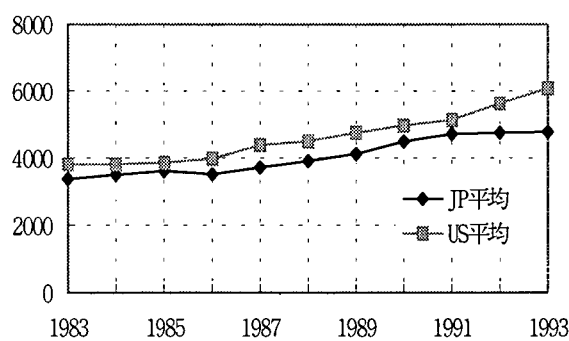
DEAによる日米電気事業の経営効率性計測と比較分析



(a) 資本生産性



(b) 燃料生産性



(c) 労働生産性

図3 生産効率性

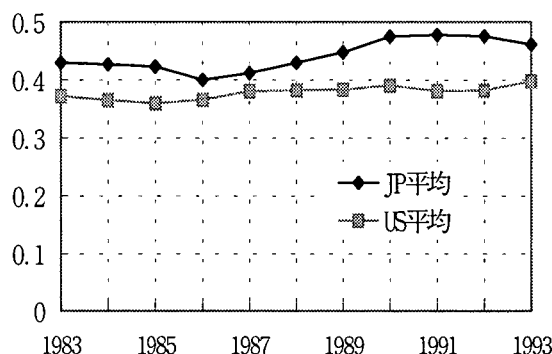


図4 設備利用率



## 5 計測結果

### 5.1 計測結果一覧と要因分解

第3章のモデルと第4章のデータを用いて得た効率性指標の結果一覧表を表2に示す。

図5は表2における③コスト効率性の日米平均を示している。この図から明らかな通り、各国平均でみた場合、コスト効率性は1986年、1987年の2期間を除き日本が米国を上回っていることが分かる。これは、実際のコストに対する最小コストの比率を示すものであり、計測期間中日本は約13%から23%最小コストを上回っており、同じく米国は15%から26%上回っていた。

このコスト非効率性を第2章における各計測指標の関係からそれぞれの要因に分解したものが図6である。この図より明らかな通り、日米ともにコスト非効率性の最も大きな要因は資源配分の非効率性であることが分かる。すなわち、各社における所与の投入要素価格の下で、費用最小化を達成するための要素雇用を行っていないことがコスト非効率性の最も大きな要因であることを意味しており、特に1990年以降の4期間において非効率性が拡大していることがそのまま同期間におけるコスト効率性の低下に結びついていることが分かる。

資源配分非効率性の次に大きな要因としては、技術非効率性をあげることができる。これは、より多くの産出物をより少ない投入によって達成しているかどうかという差によって計測される部分と考えられ、計測期間中3期間を除き日本の方が米国より非効率の程度が低く出ている。

一方、第4章における単純な投入要素でみた生産効率性では、資本以外の燃料、労働に関して日本のほうが米国よりも下回っていた。この相違は、DEAにおいては複数の産出物と複数の投入要素を同時に扱い、最適化計算の過程で各要素のウェイト付けをすることにより総合的な生産効率性を算出するため、ウェイトの大きな資本効率性を多く反映していることに起因していると考えられる。

### 5.2 生産性の時系列的推移

これまでの指標は計測期間ごとの各社の相対的な効率性を各国ごとに平均したものであった。そこで次に、経年的な生産効率性フロンティアのシフト(式(5))、すなわち技術進歩を考慮した時系列的な効率性指標の変化を、Malmquist Indexにより計測した。その結果が図7である。

この図より明らかな通り、両国において計測期間中CCRモデルをベースにした総合生産効率性もBCCモデルをベースにした技術効率性も、共にMalmquist Indexは顕著な変化を見せて

表2 計測指標結果一覧

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
<b>①総合生産効率性 (CCR <math>\theta</math>)</b>										
JP平均	0.933	0.936	0.900	0.933	0.938	0.944	0.946	0.940	0.939	0.916
US平均	0.931	0.932	0.916	0.936	0.910	0.903	0.929	0.920	0.922	0.937
<b>②技術効率性 (BCC <math>\theta</math>)</b>										
JP平均	0.970	0.964	0.945	0.949	0.951	0.956	0.964	0.961	0.960	0.944
US平均	0.944	0.950	0.951	0.962	0.945	0.939	0.960	0.943	0.944	0.956
<b>③コスト効率性 (CE)</b>										
JP平均	0.844	0.868	0.811	0.827	0.824	0.826	0.830	0.801	0.797	0.769
US平均	0.829	0.851	0.823	0.843	0.805	0.801	0.781	0.748	0.737	0.753
<b>④資源配分効率性 (AE = CE / CCR <math>\theta</math>)</b>										
JP平均	0.904	0.925	0.901	0.886	0.878	0.874	0.877	0.851	0.847	0.837
US平均	0.890	0.912	0.899	0.901	0.885	0.887	0.842	0.816	0.801	0.806
<b>⑤規模効率性 (SE = CCR <math>\theta</math> / BCC <math>\theta</math>)</b>										
JP平均	0.962	0.971	0.954	0.983	0.987	0.988	0.981	0.978	0.979	0.971
US平均	0.986	0.981	0.963	0.972	0.963	0.962	0.968	0.975	0.976	0.980

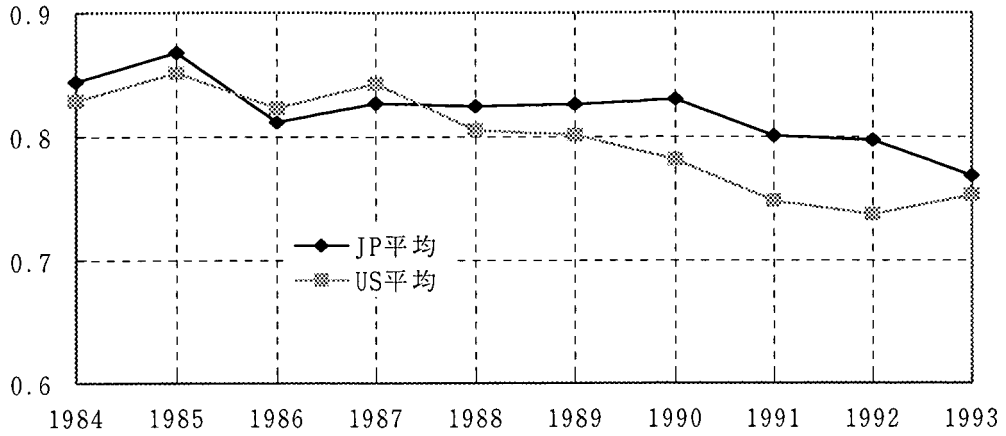


図5 コスト効率性の日米比較

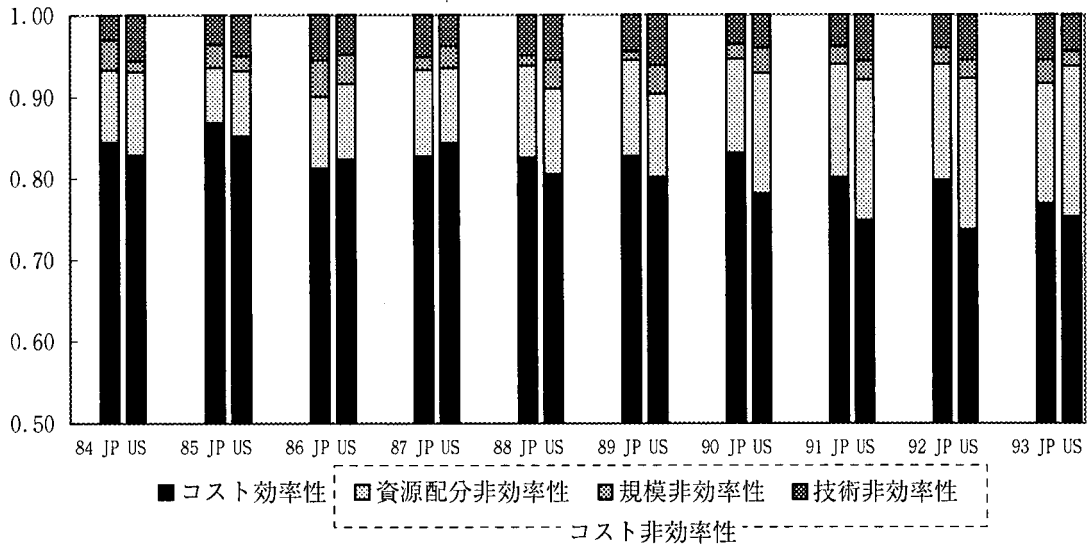


図6 コスト非効率性の要因分解

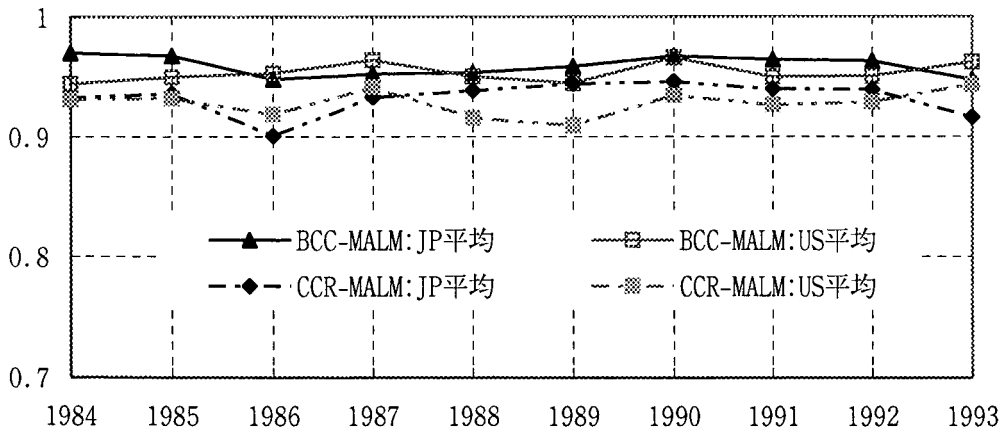


図7 Malmquist Index の経年的推移

いない。一方、各年の相対的な効率性指標の各国平均が著しい変動をしていないことから、フロンティアシフトの効果が一部の会社でごく僅かに出た程度であったことが読み取れる。これはすなわち、計測期間中に顕著な技術進歩がなかったことを示唆しているものと思われる。<sup>(注7)</sup>

### 5.3 費用最小化からみた投入要素余剰

図6より、コスト非効率性の最も大きな要因は資源配分の非効率性であることが明らかになった。そこで、より高いコスト効率性を達成するように資源配分効率を改善するために、個々の要素雇用量の余剰と不足を分析する必要がある。

費用最小化のための最適要素雇用量からみた実際の要素雇用量の余剰と不足を、要素ごとに実績値に対する比率にしてみたものが図8の(a)-(c)である。

第4章で示した通り、単純な指標でみた場合日本の資本生産性は米国のそれを上回っているが、費用最小化の観点からみると、図8(a)より明らかな通り日米共に全期間を通じて余剰がプラスに出ていることが分かる。わずかに日本の余剰が米国のそれを下回っているのは、米国に比べて日本の資本生産性が高いことと関係していると推察される。

これに対して、購入電力量に関しては逆に全

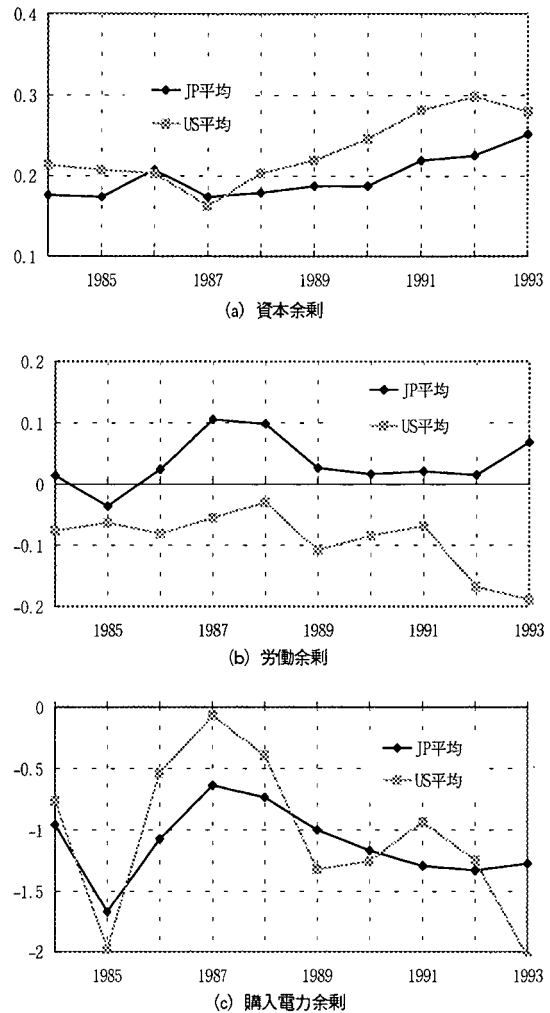


図8 投入要素余剰

期間を通じて余剰がマイナスとなり、すなわち不足が出ている。

以上の結果は、各社において現在の投入要素価格比率を所与とした場合に費用最小化を達成するためには、要素雇用量比率、すなわち資源配分を変更する必要があることを示唆している。本稿の分析において具体的には、購入電力量の増加による発電設備の節減が資源配分の非効率性の是正とそれに伴うコスト削減を通じて経営効率性の上昇につながることを表す。例えば、日本においては発電部門の競争入札や余剰電力購入を通じた競争を促進することにより、一層効率的な経営が可能であると考えられる。

労働の余剰に関しては、日本では1期間を除きプラスに、アメリカでは全期間を通じてマイ

(注7) 本研究において計測した全ての指標に関し、日米平均でみた場合一部の結果を除いて日本が米国を上回っているとの結果を得た。しかし、数値自体の差をみるとともに、両者間の差が統計的にみて有意なものであるかどうかを検定する必要がある。

ここで用いた効率性指標は距離関数の逆数として線形計画法により導出されるものであり、上限が1に固定された計測指標であるため、母集団分布に特定の仮定を設けて検定する方法は適切ではないと思われる。そのため、ここでは分布に特定の仮定を置くことなく実行できるノンパラメトリック検定の1つであるウィルコクソン検定(Wilcoxon test)を用いた。その結果、1期間のサンプル企業23社を日本と米国という2つのグループに分けた場合、1%有意水準で全ての計測指標において日米間に統計的に有意な差は認められないという結果を得た。

すなわち、指標の数値自体には差はあるものの、統計的には日米とも同程度の効率性を維持しているということの意味する。

ナスに出ている。日本でも最近電力会社において配置転換などによる人的投入の削減を行っており、現業部門はかなり省力化が進んだと推察されるが、まだこの時点の計測データには反映されていないため、余剰が出たと思われる。また、間接部門における余剰が計測されたとも考えられよう。<sup>(注8)</sup>

## 6. まとめと課題

本研究では、DEA を用いた日米の電気事業者の経営効率性比較を行なった。計測結果によれば、日本の生産効率性は米国と同程度もしくはそれを上回る水準を達成していることが分かった。

この結果から見る限り、少なくとも日米の電気料金の格差は効率性の差ではないと考えられる。料金格差の原因の1つの可能性としては、資本価格など投入要素価格が日本において割高であることが考えられる。

また、日米共に費用最小化からみた場合資本の余剰と購入電力の不足が計測され、今後発電部門における競争促進によるコスト効率性の上昇や、資・機材調達競争入札の促進などにより資本の投入要素価格を低減させることを通じて、コストを削減することができると考えられる。

本研究は効率性計測の対象として経営全体を扱っている。これはデータの制約が存在したためであるが、今後より深く効率性の計測とその格差の原因分析をしていくために、発電、送電、

<sup>(注8)</sup> 燃料の余剰の計測結果に関しては、各国平均ともに計測期間中プラスとマイナスの両方が出ており、安定的な傾向が読み取れなかったため省略した。また、会社ごとにもその変動にかなりのばらつきが見られた。これは、本研究では資本費まで含めた長期の最適化モデルを用いている一方で、燃料に関しては計測期間内において価格に対する要素雇用量が最適に調整されていないことに起因していると考えられる。その原因としては、短期で見ると各社ごとの実際の雇用量の変動がかなり生じていること、燃料のみ *divisia* 指数を使用している関係上、実際の数量データの動きと多少ずれが生じていることなどがあるとと思われる。

配電といった各部門別の生産効率性の計測を行なう必要がある。さらに、今回の計測においては会社によるコントロールが不可能な環境要因をモデルの中で明示的に取り扱っておらず、またそれらの要因による効率性指標の回帰分析なども行っていないため、今後さらに環境要因まで考慮した分析を進める必要がある。

## 【参考文献】

- [1] 刀根、「経営効率性の測定と改善」(1993)、日科技連
- [2] 鳥居、「講座・公的規制と産業①電力」(1994) 第6章、NTT 出版株式会社
- [3] 穴山、「ヤードスティック規制の有効性」(1996)、東京大学大学院経済学研究科修士論文
- [4] Charnes, Cooper, and Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units." *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- [5] Charnes, Cooper, Wei, and Hung (1989), "Cone Ratio Data Envelopment Analysis and Multi-objective Programming." *International Journal of Systems Science*, 20(7), 1099-1118.
- [6] Charnes, Cooper, Huang, and Sun (1990), "Polyhedral Cone-Ratio DEA Models with An Illustrative Application to Large Commercial Banks." *Journal of Econometrics*, 46, 73-91.
- [7] Charnes, Cooper, Lewin, and Seiford (1994), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application*. Kluwer Academic Publishers
- [8] Ganley, and Cubbin (1992), *Public Sector Efficiency Measurement*. North-Holland
- [9] Thompson, Singleton, Thrall and Smith (1986), "Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas." *Interface*, 16, 35-49.
- [10] Thompson, Dharmapala, Rothenberg, and Thrall (1994), "DEA ARs and CRs Applied to Worldwide Major Oil Companies." *Journal of Productivity Analysis*, 5, 181-203.
- [11] Thore, Kozmetsky, and Phillips (1994), "DEA of Financial Statements Data: The U.S. Computer Industry." *Journal of Productivity Analysis*, 5, 229-248.

( きたむら みか  
つ つ い みき  
電力中央研究所 経済社会研究所 )