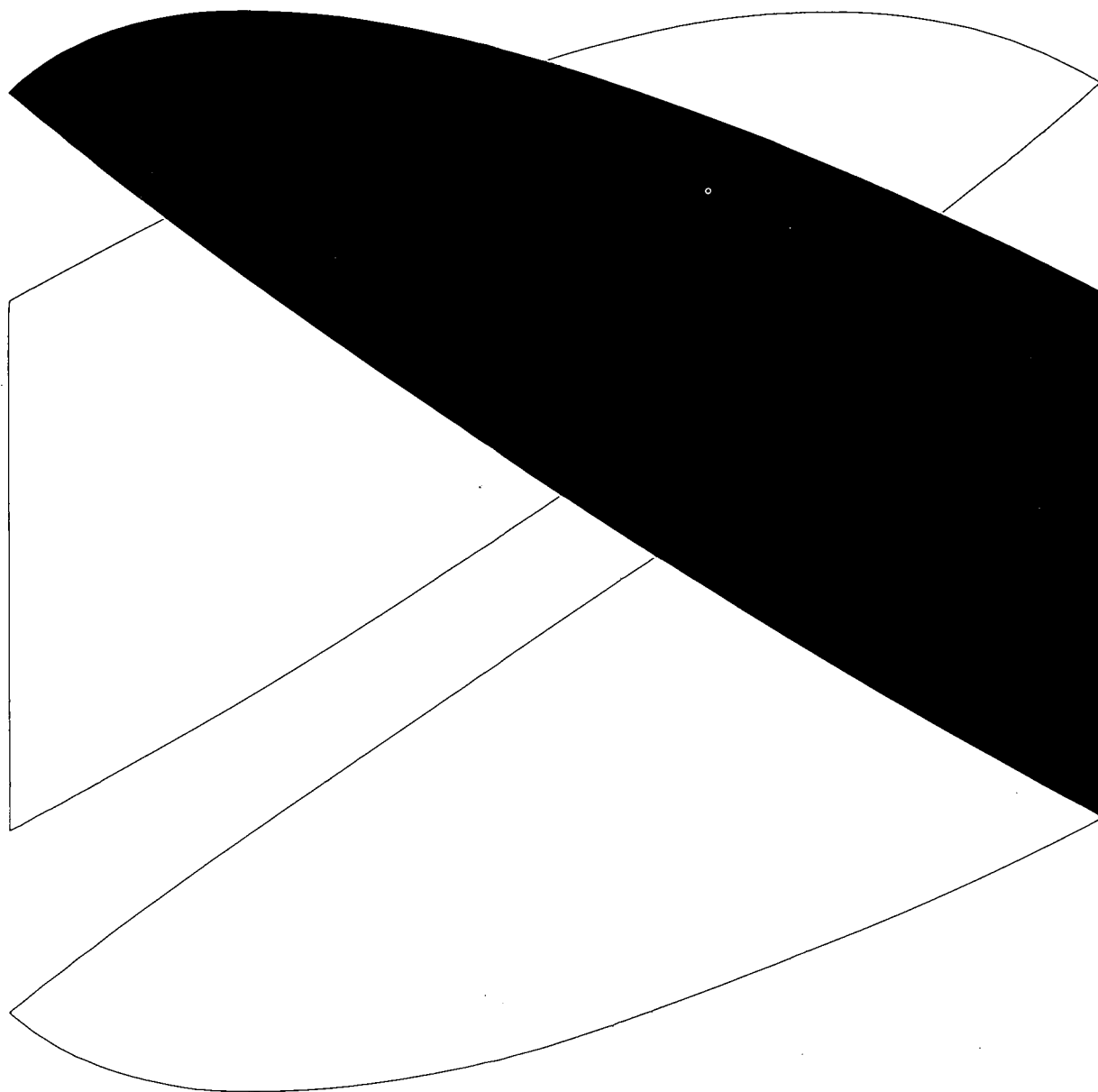


ISSN 0387-0782

電力經濟研究



No.37 1996.12

財団法人 電力中央研究所 経済社会研究所

編集委員

森清	堯	大河原	透
蟻生	俊夫	加藤	久和
井内	正直	長野	浩司
今村	栄一		

目 次

巻 頭 言	1
< 研究論文 >	
DEA による日米電気事業の経営効率性計測と比較分析	北村 美香.....3 筒井 美樹
わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討	加藤 久和.....15
東京は過大か	金本 良嗣.....29 大河原 透
一集積の経済と都市規模の経済分析一	
原子力発電新技術のライフサイクル分析	内山 洋司.....43 横山 速一
< 調査論文 >	
DSM プログラムの効果評価手法	浅野 浩志.....49
< 研究ノート >	
技術代替を考慮した一般均衡の計算法	西村 一彦.....59
< 研究紹介 >	
オープン・アクセスにおける財産権の保障	丸山 真弘.....67
電力市場自由化の環境・省エネルギーに及ぼす影響とその対応策	矢島 正之.....73 一米国の例から見た考察一
環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想	山本 公夫.....81
[海外動向]	
米国アウトソーシング事情	蟻生 俊夫.....89
APEC 地域の電力分野における民間支援の可能性	上之蘭 博.....91 一太平洋経済協力会議の参加報告一 岡田 健司
気候変動枠組条約第 2 回締約国会議 (COP-2)	東 一郎.....93 明日香壽川
[解 説]	
原子力損害賠償に関するウイーン条約改正について	田辺 朋行.....95
電力卸供給入札	丸山 真弘.....97
[文献紹介]	
「英国電力の実験：民営化の成果、課題、教訓」	鈴木達治郎.....99
経済システムの比較制度分析	服部 徹.....101

巻 頭 言

昔も今も、世界の知性と良識を代表する高級紙と言えば、ロンドンとニューヨークの2つのタイムズ紙であろう。そのニューヨーク・タイムズが1929年の年頭の社説の中で「過去をもって将来を予測する方法があるとするれば、今年は慶賀と希望に満ちた1年となるであろう」と書いた時、この説に異論をはさむ識者は全くいなかった。誰もが好景気は永遠に続くと思っていたのである。暗黒の木曜日に始まる世界大恐慌前夜のアメリカの話である。

それから60年後の1989年1月早々、日本では元号が「昭和」から「平成」に変わった。日本を代表する経済紙、日本経済新聞は、年頭の社説において、豊かさを実感するための生活原理の確立を訴えると同時に、内需主導型拡大政策の持続を主張した。この頃、日本経済はバブル経済の絶頂期にあったが、好景気がバブルによるものであることを見抜いたエコノミストはほとんどいなかった。日本人のほとんどが好景気はまだまだ続くと思っていたわけである。我々も例外ではなかった。

60年前に比べれば格段に秀れた分析用具と豊富な判断材料をもちながら、何故、我々は過ちをおかしたか。さらに悪いことには、バブル景気に酔った多くの日本人が欧米に学ぶことはもはや何もないとさえ思い込んでしまった。バブル発生理由と原因の詮索もさりながら、何よりも反省すべきは、我々研究者は学問においても、もっと謙虚であるべきことであった。経済社会分析においては特に、歴史に学ぶことを知ることが肝要である。さもなければ、同じ過ちを再び繰り返すことになりかねない。自戒をこめてこの一文を草した。歴史の流れを意識しつつ、諸外国の事例に学び、地道な研究を蓄積していくことが本当の意味で社会に役に立つ研究につながると考えて、我々は日夜研究に邁進しているつもりである。その結果の一端を本号からも汲み取って頂ければ幸いである。

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^(注 1)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。

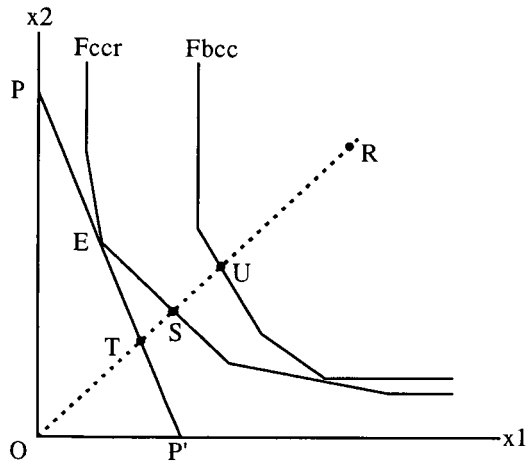


図1 DEAによる効率性計測の概念図

- 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)

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

- λ ---- 個々の企業に対するウェイトベクトル
- θ ---- 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。(注2)

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

(注2) 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 θ 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

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} \quad \theta \\
 s.t. \quad & \theta([x_{0i}^t] + k_a[x_{0j}^t]) - (x_i^t + k_a x_j^t) \lambda^t \\
 & \quad - (x_i^{t-1} + k_a x_j^{t-1}) \lambda^{t-1} \geq 0 \\
 & \theta([x_{0i}^t] + l_a[x_{0j}^t]) - (x_i^t + l_a x_j^t) \lambda^t \\
 & \quad - (x_i^{t-1} + l_a x_j^{t-1}) \lambda^{t-1} \geq 0 \\
 & (y_r^t + k_b y_s^t) \lambda^t + (y_r^{t-1} + k_b y_s^{t-1}) \lambda^{t-1} \quad (4) \\
 & \geq ([y_{0r}^t] + k_b [y_{0s}^t]) \\
 & (y_r^t + l_b y_s^t) \lambda^t + (y_r^{t-1} + l_b y_s^{t-1}) \lambda^{t-1} \\
 & \geq ([y_{0r}^t] + l_b [y_{0s}^t]) \\
 & \sum \lambda^t + \sum \lambda^{t-1} = 1 \\
 & \lambda^t, \lambda^{t-1} \geq 0
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 & \min_{\phi, \lambda, \mu} \quad \phi \\
 s.t. \quad & \phi[x_{0j}^{t,k}] - (x_i^{t+1} + k_a x_j^{t+1}) \lambda^{t+1} \\
 & \quad - (x_i^t + k_a x_j^t) \lambda^t - [x_{0j}^{t,k}] \mu \geq 0 \\
 & \phi[x_{0j}^{t,l}] - (x_i^{t+1} + l_a x_j^{t+1}) \lambda^{t+1} \\
 & \quad - (x_i^t + l_a x_j^t) \lambda^t - [x_{0j}^{t,l}] \mu \geq 0 \\
 & (y_r^{t+1} + k_b y_s^{t+1}) \lambda^{t+1} + (y_r^t + k_b y_s^t) \lambda^t \\
 & \quad + [y_{0s}^{t,k}] \mu \geq [y_{0s}^{t,k}] \\
 & (y_r^{t+1} + l_b y_s^{t+1}) \lambda^{t+1} + (y_r^t + l_b y_s^t) \lambda^t \\
 & \quad + [y_{0s}^{t,l}] \mu \geq [y_{0s}^{t,l}] \\
 & \lambda^t, \lambda^{t+1}, \mu \geq 0
 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)において、 $x_{0j}^{t,k}$ 、 $x_{0j}^{t,l}$ 、 $y_{0s}^{t,k}$ 、 $y_{0s}^{t,l}$ 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。

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

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

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

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

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

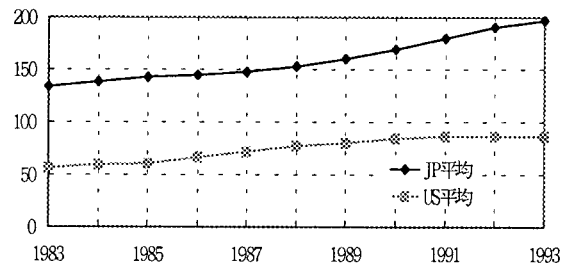
$$R_{n83}^* = \ln(R_{n83}) - \ln(R_{m83})$$

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

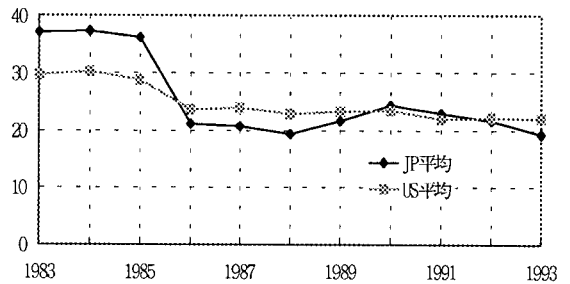
$$- \sum_g W_{m83g} (\ln X_{m83g} - \ln \tilde{X}_{83g})$$

- 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

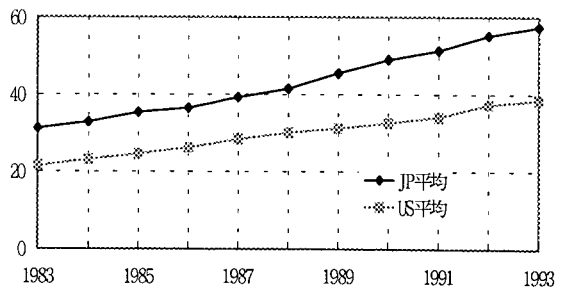
一方、アウトプット・データとしては、以下の2つを使用した。



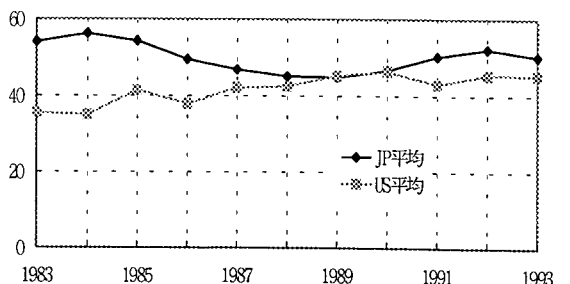
(a) 資本単価 (\$/kW)



(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³) 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⁴)

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⁵)(注⁶)

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。

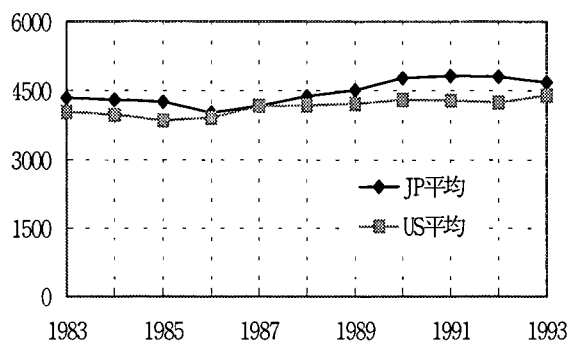
(注³) ここで資本費は、経営全体の減価償却費、修繕費、利息の合計で算出している。

(注⁴) 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。

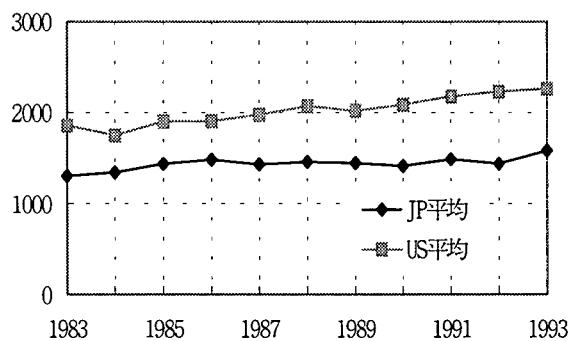
(注⁵) 図3(a)-(c)は、電気事業における3つの基本的なインプットデータから見た単純な生産効率性であり、各々のインプットデータを総販売電力量で除して算出している。

(注⁶) 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。

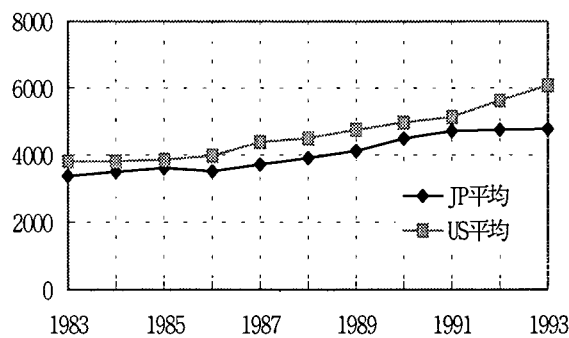
DEAによる日米電気事業の経営効率性計測と比較分析



(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

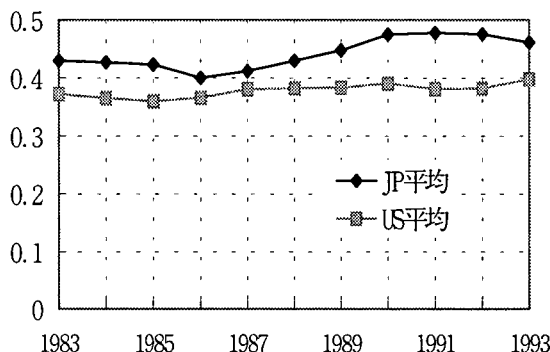


図4 設備利用率

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
①総合生産効率性 (CCR θ)										
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
②技術効率性 (BCC θ)										
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
③コスト効率性 (CE)										
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
④資源配分効率性 (AE = CE / CCR θ)										
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
⑤規模効率性 (SE = CCR θ / BCC θ)										
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

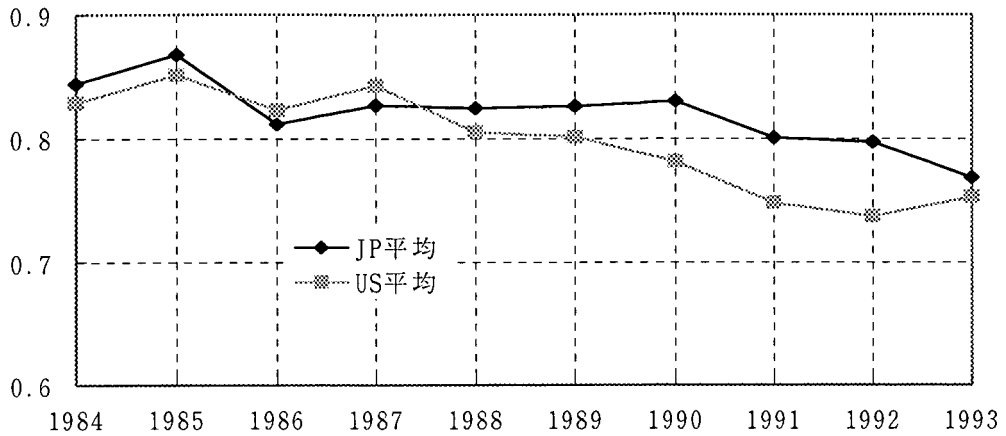


図5 コスト効率性の日米比較

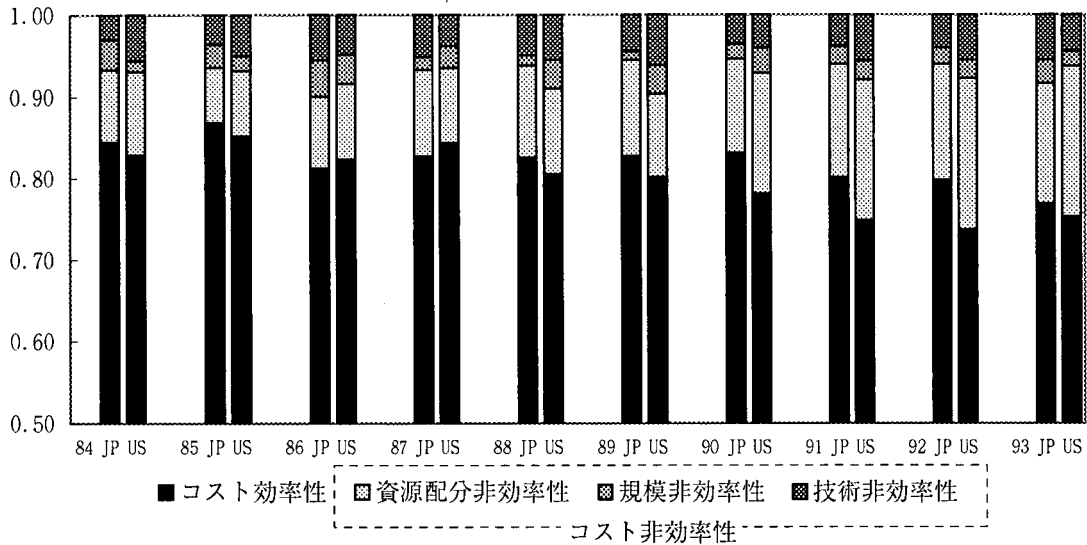


図6 コスト非効率性の要因分解

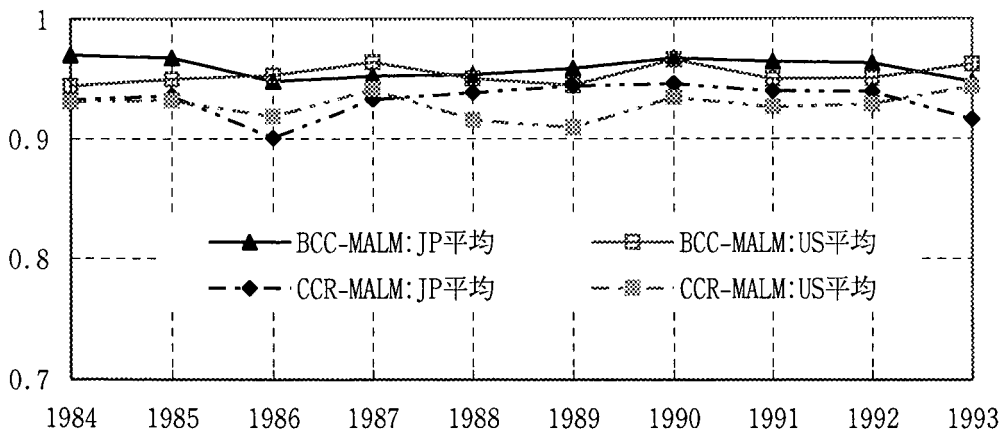


図7 Malmquist Index の経年的推移

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。^(注7)

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

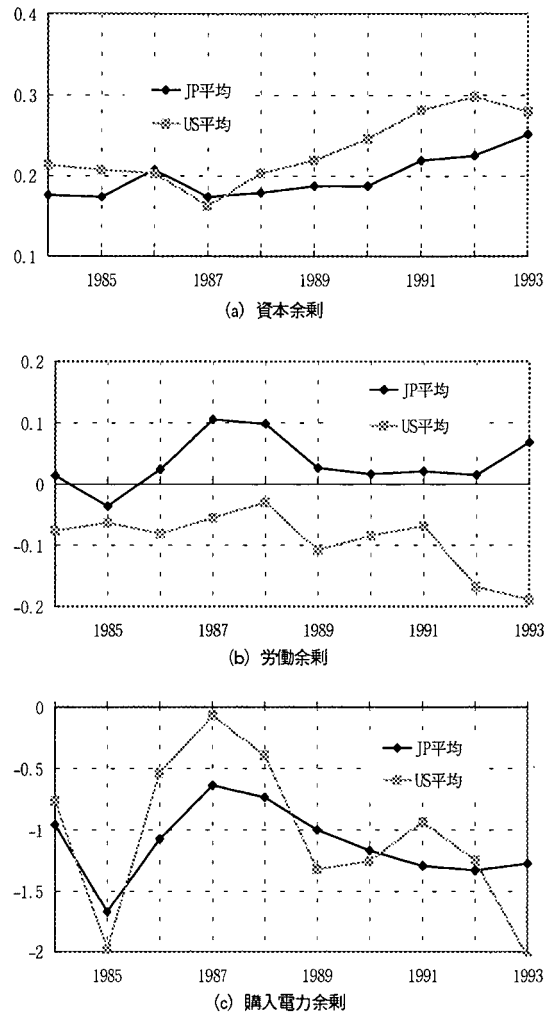


図8 投入要素余剰

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。^(注8)

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、

^(注8) 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)

わが国電力需要の推移とその構造： 時系列分析による検討

Electricity Demand and the Structure in Japan: An Examination Using Time Series Analysis

キーワード: 電力需要、単位根、共和分、エラーコレクションモデル

加藤 久和

本研究は、わが国の電力需要の時系列推移及び電力需要の構造分析に時系列分析の方法を適用し、これを検討したものである。大口、業務用、小口及び電灯電力需要の4系列に対して単位根検定を行ったところ、これらの系列には単位根が存在するという帰無仮説を棄却できず、また一方で定常であるという帰無仮説は棄却された。また、1970年代の石油ショックによる電力需要に対する構造変化を明示的に考慮してもこの結論は変更されなかった。さらに、電力需要関数を導出し、電力需要と所得及び価格要因との共和分の関係を検討したところ、その存在を否定することはできず、電力需要関数そのものが長期・安定的な関係を与えることが明らかになった。この結論を利用して、エラーコレクションモデル及びベクトル自己回帰モデルを推計し、長期・安定的な関係からの短期的な不均衡は大口電力でほぼ2年、電灯電力でほぼ9ヶ月で修正されることを示した。また、インパルス応答関数等による分析から電灯電力需要においては価格要因がGrangerの意味での因果関係を持たないという結論を得た。

- はじめに
- 電力需要の動向と単位根検定
 - 電力需要の動向
 - 単位根検定
 - 構造変化と単位根
- 電力需要関数と共和分
 - 電力需要関数の導出
 - 共和分検定
- ECM、VARと電力需要構造の分析
 - ECM、VARモデルの推計
 - 電力需要の構造
- おわりに

1.はじめに

電力はわが国の最終エネルギー消費の基幹を担い、経済活動における最も重要な構成要素の一つである。その需要構造を把握することは、電力の安定供給という側面のみならず、経済政策の適切な立案にとっても不可欠である。

本研究は時系列分析の方法を適用し、電力需要がどのような性質を持って推移しているかについて分析し、さらにその性質から導かれる電力需要の構造を検討するものである。

最近では種々のマクロ変数を対象とした時系列分析による様々な研究がなされている。しか

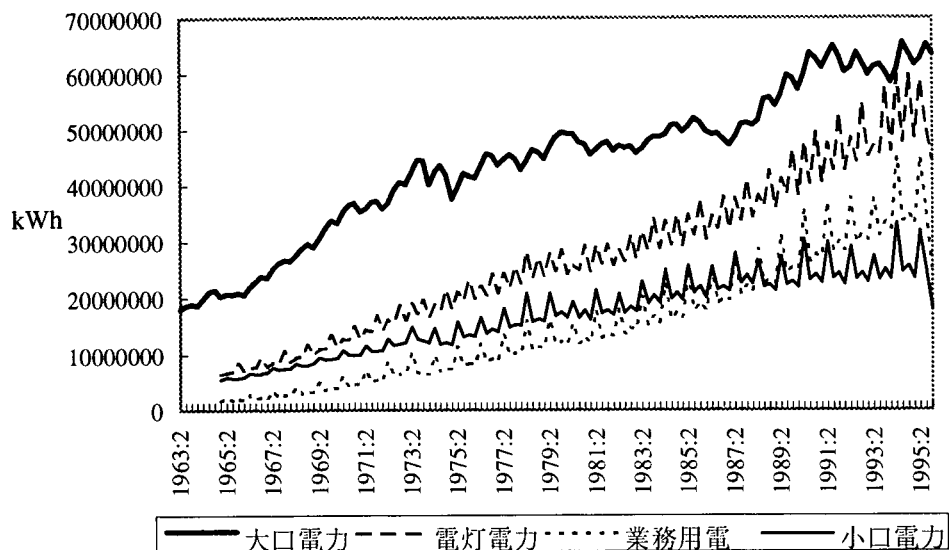
しながら、電力需要を直接の対象とした、近年の時系列分析手法の成果を取り入れた研究は現在まで行われていない。本研究の成果は電力需要構造の検討のみならず、今後の需要予測モデルの開発等においても、その精度の向上等に有用な知見をもたらすと期待される。

2.電力需要の動向と単位根検定

2.1 近年の電力需要の動向

図1は、わが国の電力需要量の推移を1960年代以降95年までについて、四半期データによって示したものである。対象は大口電力(KWH)、業務用電力(ECH)、小口電力(ESH)

図1 近年の電力需要の推移



及び電灯電力（DHD）の4系列である。季節変動を伴うものの、各系列とも時間とともに増加している。とりわけ、大口電力需要は過去30年間の間に3倍以上に増加しており、また電灯電力についても5倍以上の需要増加を示している。なお、図1に示した電力需要量の推移は9電力の合計であり、また自家発自家消費電力は含まれていない。

以下の節では、この4系列の電力需要の時系列推移の構造を分析するが、四半期データにおける季節変動の影響を除去するために季節調整を行い、また対数変換を行うものとする。

2.2 単位根検定

(1) 定常性と単位根過程

通常、計量経済学で扱われる変数は定常性が前提とされている。定常性とは、時間とともにその変数がゼロレベルあるいはトレンド線に沿った推移を示し、そのトレンド線等からの乖離は確率的な攪乱として把握される性質を言う。もし、ある変数の推移からトレンドを除いた後の残差が平均0でかつ有限な一定の分散等を持つとき、これを「トレンド定常」と呼ぶ。

一方、トレンド定常でない系列（非定常系列）については、時間とともにその変数の値が発散

する場合と、発散はしないもののその変数の推移がまったく確率的な（すなわちトレンド線が存在しない）場合がある。この後者の場合を単位根過程（あるいはランダム・ウォーク）という。通常、我々が観察する経済変数にあっては時間とともに発散する場合は稀であり、トレンド定常でない場合は単位根過程のみを考慮すれば十分である。（定常性及び単位根等の議論については、Hamilton[1994]、山本[1988]が詳しい。また、以下の議論については Dolado[1990]等も参考としている。）

この節の初めにも述べたが、通常の計量分析では変数にトレンド定常を想定する。しかし、もし変数が単位根過程に従っている場合、その変数を用いた OLS 等による分析は真の関係を与えるのではなく、「見せかけの回帰」をもたらす可能性がある。したがって、電力需要関数を導く前に、電力需要そのものの性質を確認しておく必要がある。そのために、電力需要の各系列に対して単位根検定を行う。

(2) 単位根検定

単位根検定にあたっては、(1)式及び(2)式で表わされる帰無仮説 (H_0) 及び対立仮説 (H_1) を用意した。帰無仮説は各電力需要の系列がドリ

フト付き（定数項付き）単位根過程にしたがうとするものであり、対立仮説は1次の自己回帰過程（AR(1)過程）で表わされる定数項付きのトレンド定常であることを意味する。検定のポイントはパラメータ ρ が1であるか否かを判断することにある。

$$H_0: X_t = \delta + X_{t-1} + u_t \quad (1)$$

$$H_1: X_t = \mu + \delta' t + \rho X_{t-1} + u_t \quad (2)$$

X_t は対数変換後の電力需要量、 t はタイム・トレンド、 u_t はホワイト・ノイズ（攪乱項）を示している。Dickey and Fuller[1979]によって提案された検定（DFテスト）における検定統計量は次の(3)式及び(4)式である。

$$T(\hat{\rho} - 1) \quad (3)$$

$$(\hat{\rho} - 1) / s_\rho \quad (4)$$

ここで T はサンプル数、 s_ρ はパラメータ ρ の最小二乗推定量の標準誤差である。

DFテストはAR(1)過程を対象としているが、(2)式の誤差項に強い自己相関が生じる場合には誤差項に関する独立性の仮定が満たされず、適切な結果が得られない。そこで、対立仮説についてより一般的な p 次自己回帰（AR(p)）モデルを採用し、(5)式により Augmented Dickey-Fuller テスト（ADFテスト）を行う。

$$\Delta X_t = \mu + \delta' t + (\rho - 1)X_{t-1} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta X_{t-i} + u_t \quad (5)$$

なお、ラグ次数 p については Schwarz のベイズ情報量基準等から判断して4期のラグを採用した。これは四半期データを分析対象としている点からも妥当であろう。（手続きについては Campbell and Perron[1991]等参照。）表1はこのテストの結果を示している。

表1はADFテストに加えてDFテストの結果をノンパラメトリックな方法で修正を行ったPPテスト（Perron[1988]参照。）の結果（ $Z(\rho), Z(t)$ で表示）及び単位根の存在に加え(5)式で定数項が0であるという複合仮説を検定するためのF値タイプの検定の結果（ Φ で表示）も併せて示している。なお、critical value は Hamilton[1994] 所載の Fuller によるシミュレーション結果にしたがっている。例えば、有意水準10%の棄却域は(3)式及び $Z(\rho)$ については-17.5、(4)式及び $Z(t)$ については-3.15、また Φ については 5.47 である。

表1の結果をみると、(1)式の帰無仮説を棄却できないという結果が得られたと言えよう。F値タイプのテストでは一部帰無仮説を棄却する結果もあるが、総合的に判断して、電力需要の4系列はドリフト付き単位根過程に従っている可能性が強い。なお、上記各テストは大標本を対象としているが、本研究における電力需要量のサンプル数は120程度であることに留意する必要がある。加えて、季節調整による帰無仮説棄却方向へのバイアスやレベル変数に含まれる情

表1 電力需要系列に対する単位根検定の結果

	KWH	ESH	ECH	DHD
$Z(\rho)$	-4.87991	-1.5269	-1.18899	-2.05024
$Z(t)$	-2.11037	-0.35003	-0.42863	-0.5749
$T(\rho - 1)$	-7.21264	-1.27841	-2.58992	-2.8983
$(\rho - 1) / s_\rho$	-2.17593	-0.47937	-1.09156	-1.59831
Φ	3.65276	5.86767*	6.31392*	9.01955***

注： $Z(\)$ はPPテストの結果、それ以外はADFテストの結果を表わす。

*は10%、**は5%、***は1%で有意であることを示す。

サンプル期間はKWHについては1963:2-1995:4、それ以外は1965:1-1995:4である。

報の逸失などを考慮する必要もある (Campbell and Perron[1991]参照。なお、季節ダミー変数を適用して季節調整前の系列に単位根検定を適用しても同様な結果が得られている)。

(3) 定常性の検定

上記では帰無仮説に単位根、対立仮説に定常性を仮定して検定を行った。しかしながら、サンプル数の制約等からその結論が堅固なものとは十分に判断できない。そこで、帰無仮説と対立仮説を入れ替えて、電力需要の各系列が定常であるかどうかについての検定を行う。この検定は Kwiatkowski et.al[1992] によって提案されたものであり、KPSS テストと呼ばれている。具体的には(6)式の検定統計量を用いる。

$$\eta_{\mu} = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / s^2(l) \quad (6)$$

ここで

$$S_t = \sum_{i=1}^t e_i \quad t=1,2,\dots,T$$

$$s^2(l) = T^{-1} \sum_{i=1}^T e_i^2 + 2T^{-1} \sum_{s=1}^l w(s,l) \sum_{i=s+1}^T e_i e_{i-s}$$

である。但し、 e_t は電力需要を切片とタイムトレンドに回帰させた残差 (トレンド定常の検定の場合、レベル定常の場合は切片のみ)、 $w(s,l)$ は選択的加重関数である。これについては Kwiatkowski et.al[1992]で提案された関数を利用した。また、critical value についても同論文で示されている値を用いている。

わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討

表2はラグが4期の場合のKPSSテストの結果である。レベル定常、トレンド定常いずれの場合も帰無仮説は棄却され、したがって電力需要変数は非定常であるとの対立仮説が受容される。この結論は前節の単位根検定の結果を補強・補完するものである。

2.3 構造変化と単位根検定

(1) 構造変化の検定

電力需要はマクロ経済環境に大きく左右される。第一次石油ショック等が電力需要の時系列構造に影響を及ぼしたことを考慮した場合、前節で得られた結論は維持されるであろうか。ここでは、最初に Step-wise Chow テスト (F 検定) を用いて構造変化の有無を確認する。

検定に際して、電力需要の各系列にはサンプル期間に一度だけ構造変化が起きたとし、これは1969年第1四半期から1977年第4四半期までの間に生じたと仮定する。構造変化が起きた時点をブレイク・ポイントと呼び、TBで表わす。構造変化が生じなかったとする帰無仮説を、構造変化が起きたとする対立仮説に対して、AR(4)モデルを利用してF検定を行った結果を示したのが図2である。図2の縦軸はF値を表わしている。

大口電力についてはF値が最も高かったのは1973年の第3四半期の4.646であり、これは帰無仮説を有意水準1%で棄却する。また、電灯電力に関しては1972年の第4四半期の2.448が最も高く、帰無仮説を有意水準5%で棄却する。しかしながら、小口電力、業務用電力については帰無仮説が棄却されず、構造変化がなかったと

表2 KPSSテストの結果

	KWH	ESH	ECH	DHD
レベル定常	2.3478***	2.3875***	2.4689***	2.4462***
トレンド定常	0.4928***	0.5745***	0.5373***	0.5328***

注：表1参照

図2 ステップワイズ・チヨウテストの結果

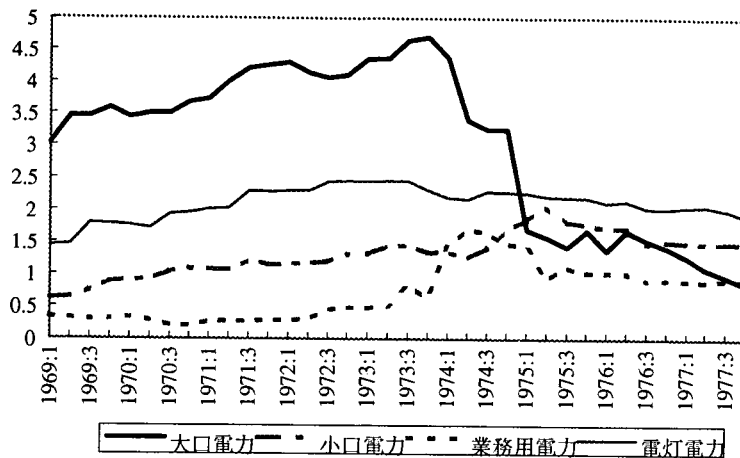
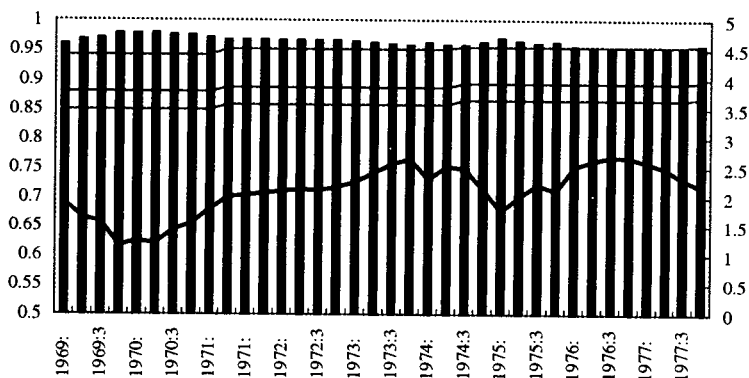
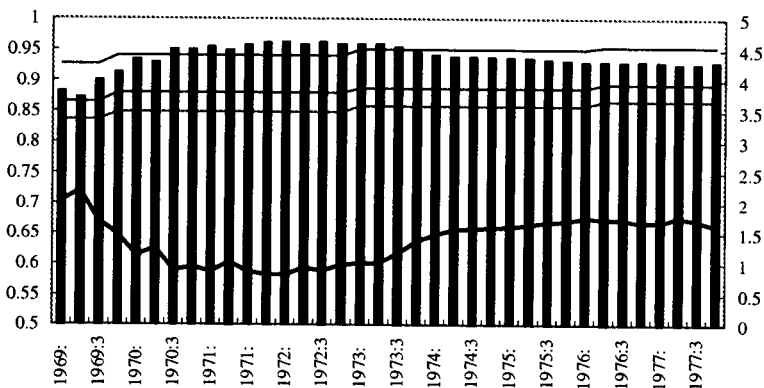


図3-1 Perron テストの結果 -KWH-



注：凡例等は本文参照。

図3-2 Perron テストの結果 -DHD-



注：凡例等は本文参照。

結論される。

(2) 構造変化を考慮した単位根検定

大口電力需要及び電灯電力需要系列に対して、構造変化を考慮した場合でも単位根の存在を棄却できないとする結論が維持されるかどうかについて、Perron[1989]が提案した検定により確認を行う。なお、図1から、石油ショック等における一時的な水準そのものの顕著な低下はみられないことから、対立仮説にTB以降トレンドの変化が起きたことを表わす変数を加える。検定に際して利用した対立仮説を表わす式は(7)式である。

$$\Delta X_t = \mu + \delta' t + (\rho - 1)X_{t-1} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta X_{t-i} + \zeta DT_t + u_t \quad (7)$$

DT_t はt>TBのときt-TB、それ以外では0となるダミー変数である。

図3-1及び図3-2はPerronテストの結果を表わしている。棒グラフは(7)式のパラメータ ρ の値(図左の縦軸)を、折れ線は(4)式に基づく検定統計量(図右の縦軸)を表わす。critical valueはPerron[1989]によって与えられており、これは図上部の水平線で示されている。大口電力需要及び電灯電力需要ともに検定統計量はcritical valueを下回っており、単位根を有するという帰無仮説が棄却できないことを意味している。このことから、構造変化を考慮しても前節の結論は変更されないことが示された。

3. 電力需要関数と共和分検定

3.1 電力需要関数の導出

本節では電力需要関数の一般形を導出する。電力需要関数の導出については、消費者の最適化行動からマーシャル需要関数を利用して導く方法及び派生需要として生産関数から導く方法がある。

(ケース1：マーシャル需要関数)

わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討

消費者は次の効用最大化に直面している。(8)式は家計の効用関数であり、(9)式は予算制約である。

$$U = U(Q_1, Q_2, \dots, Q_n; \bar{Z}) \quad (8)$$

$$I \geq \sum_{i=1}^n P_i Q_i \quad (9)$$

Uは効用水準、 Q_i は第iエネルギー財の消費量、 P_i はその価格、Zはその他の消費財の消費量、またIは所得を表わす。第iエネルギー財を電力として、これについて効用最大化問題を解くと(10)式のマーシャル需要関数を得る。

$$Q_i = Q_i(P_1, P_2, \dots, P_n; I; \bar{Z}) \quad (10)$$

(ケース2：生産関数からの派生需要)

企業は(11)式のプロダクション関数によって生産活動を行っているとする。

$$X = F(K, L, Q_1, Q_2, \dots, Q_n; \bar{S}) \quad (11)$$

Xは生産量、Kは資本ストック、Lは労働力、またSは技術水準などの条件である。(11)式を Q_i について解くと(12)式が得られる。

$$Q_i = Q_i(P_K, P_L, P_1, \dots, P_n; X; \bar{S}) \quad (12)$$

ケース1、ケース2ともに、他のエネルギー財の価格及びその他の条件を無視することにより、電力需要を所得(IあるいはX)と価格(P_i)の関数によって表現することができる。その簡易化された線形の需要関数を表わしたのが(13)式である。なお、各変数は対数変換されるものとする。

$$\ln E = \alpha + \beta_1 \ln INCOME + \beta_2 \ln PRICE \quad (13)$$

Eは電力需要、INCOMEは所得要因、PRICEは価格要因を示す。以下では大口電力及び電灯電力需要の二つの系列についてその需要構造の分析を進めていくが、その具体的な説明変数のデータとしては、大口電力については所得要因として実質国内総生産(GDP)、価格要因として電力卸売物価(PESAN)を卸売物価指数(WPI)でデフレートしたものをを用いる。また、電灯電力については、所得要因として実質民間最終消費

支出(CP)、価格要因については電力消費者物価(PEH)を消費者物価指数(CPI)デフレートしたものをを用いる。いずれも基準は1990年である。

3.2 共和分検定

(1) 共和分と見せかけの回帰

単位根を有する系列のうち、一階の階差、すなわち変化分を取った場合に定常となる系列をI(1)変数と記述する。多くのマクロ経済変数がI(1)変数であるという指摘がなされており、実は電力需要の各系列についてもI(1)変数であることが確認できる。表3は電力需要の各系列の一階の階差に対してADFテストを行った結果であり、いずれも単位根が存在するという帰無仮説が棄却されている。

表3 電力需要の一階の階差に対する単位根検定

	KWH	ESH	ECH	DHD
$T(\rho - 1)$	-375.21***	-146.12***	-77.682***	-114.18***
$(\rho - 1)/\sigma\rho$	-5.7361***	-3.71918**	-3.18839*	-3.64195**
Φ	16.4695***	7.59261**	5.63364*	7.32666***

注：表1参照

一方、電力需要関数を構成する各所得要因、価格要因についても、これが単位根を持つことが確認されている。表4は各所得、価格要因に対する単位根検定の結果を示しており、いずれの場合も帰無仮説を棄却できない。これらの変数の一階の階差をとった系列は定常である。なお、GDP、CP等のマクロ経済変数に単位根があるか否かについてはTakeuchi[1991]、Iwamoto

表4 電力需要関数の説明変数に対する単位根検定

	GDP	CP	CPI	WPI	PESAN/WPI	PEH/CPI
$Z(\rho)$	-5.04505	-5.40017	-1.50034	-1.10504	-9.11091	-8.64335
$Z(t)$	-2.83401	-2.65768	-1.14019	-0.5051	-2.1302	-2.22516
$T(\rho - 1)$	-8.99745	-5.94843	-3.87705	-2.30178	-8.74267	-11.13736
$(\rho - 1)/\sigma\rho$	-3.48929**	-2.90989	-1.90192	-0.79499	-1.86172	-2.2306

注：表1参照

サンプル期間：GDP, CP(1965:1-1995:4), WPI, PESAN/WPI(1965:1-1995:1), CPI, PEH/CPI(1969:4-1995:1)

et.al[1992]、副島[1994]等の研究があるが評価は定まっていない。

一般にI(1)変数間の回帰は、それぞれの変数が独自の確率的な推移を示しているため、真の関数関係ではなく、「見せかけ」の関係を示す危険性が高いことが指摘されている。しかしながら、I(1)変数どうしの線形結合が長期的かつ安定的な均衡関係を表わす場合が存在する。これが「共和分」である。共和分にあるI(1)変数間のOLS回帰は共和分回帰と称され、パラメータのOLS推定量はサンプル数の増加とともに急速に真の値に収束する。共和分に関するこの一連の関係を初めて論じたのがEngle and Granger[1987]である。

電力需要を構成する各I(1)変数が共和分の関係にあるかどうかを検討することは、すなわち電力需要関数そのものが長期安定的な関係を表わしているか否かを検討することである。

Engle and Granger[1987]は共和分の存在について次の二段階の検定の方法を提唱しており、これが最も一般的な共和分検定の方法であるとされる(以下、E-G二段階検定と言う。)

Step1:共和分の関係を検定する変数の組合わせをOLSにより推計を行い(すなわち電力需要関数を(13)式から求める。)、その

表5 Engle-Granger 共和分検定の結果

変数	(KWH, GDP, PESAN/WPI)				(DHD, CP, PEH/CPI)			
	KWH, Inc	KWH, Pr	Inc, Pr	KWH, Inc, Pr	DHD, Inc	DHD, Pr	Inc, Pr	DHD, Inc, Pr
ラグ次数	4	2	1	4	1	1	1	1
$T(\rho - 1)$	-22.39**	-11.77	-10.19	-22.10**	-28.60***	-5.695	-5.214	-34.69***
$(\rho - 1)/\sigma\rho$	-3.240*	-2.898*	-2.492	-3.084	-3.670**	-1.667	-1.605	-4.038**

注：表1参照、Incは所得要因、Prは価格要因を示す。

サンプル期間：1965:1-1995:1

残差系列を求める。

Step2:求められた残差系列に対して ADF テストを実行し、残差系列に単位根が認められない場合、上記の変数の組み合わせは共和分の関係にあるとする。

なお、E-G 二段階検定の critical value は変数の組み合わせ数によって異なり、これは Phillips et.al[1990]によって与えられている。

表 5 は Engle-Granger の二段階検定を (KWH,GDP,PESAN/WPI) の系列の組み合わせ及び (DHD,CP,PEH/CPI) の系列の組み合わせに適用した結果である。ADF テストにおける次数については、Schwarz のベイズ情報量基準を用いて決定した。大口電力系列の組では (KWH,INCOME) の組み合わせ及び (KWH,GDP,PESAN/WPI) の組み合わせで共和分の関係が見出せる。電灯電力系列の組み合わせにおいても同様に (DHD,CP,PEH/CPI) の組み合わせの他、(DHD,CP)の組み合わせにおいても共和分の関係があると判断できる。二つの系列の組み合わせとも、共和分ベクトルが二つあり、一つは価格要因の係数がゼロのベクトルではないかと考えられる。以上の結果は頑健なものであろうか。他の有力な検定方法である Johansen[1988]の共和分検定の結果を考慮して判断することとする。

表 6 は Johansen の最尤法を利用したトレーステストの結果である。これによると、(KWH,GDP,PESAN/WPI) の系列の組み合わせ

については共和分ベクトルが存在しないとする帰無仮説は有意水準 5%で棄却されるのに対し、(DHD,CP,PEH/CPI) の系列の組み合わせについては共和分ベクトルが存在しないとする帰無仮説は、有意水準 10%では棄却できない。電灯電力需要に関する組み合わせの結果は Engle-Granger の二段階検定の結果と矛盾するものである。しかしながら、留意すべき点は Johansen のテストでは共和分ベクトルがあるという真の状態に対し、しばしば共和分ベクトルがないという帰無仮説を棄却できないことが多いという指摘である。(Hatanaka[1996]等参照。) Engle-Granger の二段階検定及び Johansen の共和分検定による共和分の存在の確認についてはややあいまいさが残るものの、本来、共和分検定にはこのようなあいまいさが存在する。以下では、両系列の組み合わせとも共和分の関係があるとして分析を進めることとする。

表6 Johansen共和分検定の結果

	KWH, GDP, PESAN/WPI		DHD, CP, PEH/CPI	
帰無仮説	$r=0$	$r\leq 1$	$r=0$	$r\leq 1$
対立仮説	$r>=1$	$r>=2$	$r>=1$	$r>=2$
検定統計量	33.4829**	15.0755	26.1961	11.1902

注：表1参照、rは共和分ベクトルの数を表わす。

4. ECM、VAR と電力需要構造の分析

4.1 ECM、VAR モデルの推計

(1) ECM の推計

Granger 表現定理によれば、共和分の関係にある系列の組み合わせはエラーコレクションモデル（以下、ECM）として定式化できる。ECM とは、具体的に(14)式の関係にあるものを言う。

$$\Delta X_t = \alpha + \beta EC_{t-1} + \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta X_{t-i} + \sum_{i=1}^n \delta_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n \zeta_i \Delta Z_{t-i} + u_t \quad (14)$$

ここで X_t は電力需要量、 Y_t は所得要因、 Z_t は価格要因、 u_t はホワイト・ノイズである。また、 EC_t は誤差修正項であり、共和分回帰によって求められた残差系列を代入することで得られる。その係数の符号条件はマイナスであり、これは前期の長期的な関係（共和分関係）からの短期的な不均衡の調整速度を意味している。ECM モデルの有用性は、電力需要量の変動分（ ΔX_t ）を過去の長期的な関係から明示的に定式化できる点にある。(14)式に即して言えば、電力需要量の今期の変動幅を過去の所得・価格要因の変動幅等から説明することができるということである。

(14)式について、 $n=1,2,4$ の場合の推計結果を示したものが表7である。大口電力需要の変動を説明する ECM モデルの推計においては誤差修正項はすべてマイナスの符号条件を満たして有意である。Schwarz のベイズ情報量基準からみるとラグ次数は $n=2$ のとき -7.8203 で最小になる。($n=1,2,4$ のケースのみならず、 $n=8$ までのケースで最小となっている。DHD についても同様である。) このときの調整済み決定係数は 0.3556 であり、1 期前の自己ラグと 2 期前の所得及び価格要因が有意な係数となっている。また、誤差修正項の係数は -0.1229 であり、ほぼ 2

年間で長期的な関係からの不均衡が修正されることになる。一方、電灯電力需要の誤差修正項もすべてマイナスで有意、ラグが $n=1$ のとき Schwarz のベイズ情報量基準が -6.6752 で最小になる。しかしながら、所得・価格要因は有意な係数は得られなかった。 $n=1$ のとき誤差修正項の係数は -0.3596 であり、ほぼ 9 ヶ月で長期的な関係からの不均衡が修正されることになる。

(2) VAR モデルの推計

Granger 再表現定理から、上記で推計された ECM と(15)式で表わされる VAR モデル（ベクトル自己回帰モデル）とは同値である。

$$X_t = \theta + \sum_{i=1}^{n+1} \gamma_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n+1} \delta_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{n+1} \zeta_i Z_{t-i} + u_t \quad (15)$$

(15)式で X_t 、 Y_t 、 Z_t は電力需要量、所得要因、価格要因を表わし、また n は(14)式のラグ次数に対応する。ECM は階差変数間の調整過程を描写するものである一方、VAR モデルはレベル変数そのものの関係を表わす。

大口電力需要系列及び電灯電力需要系列についてそれぞれ所得・価格要因とともに VAR モデルを推計した結果が表8である。ラグ次数については、前節の ECM の推計結果から、大口電力需要系列については $n=3$ 、電灯電力需要系列については $n=2$ を選択している。

大口電力需要については、所得、価格要因とも 2 期前及び 3 期前のラグが有意に計測されている一方、自己ラグは 1 期前及び 2 期前のラグが有意である。また、電灯電力需要系列については、1 期前と 2 期前の自己ラグ及び所得要因の 1 期前のラグのみが有意であった。

4.2 電力需要の構造

本節では ECM、VAR モデルを用いて、Granger 因果の関係及びインパルス応答関数から、電力需要の構造を検討する。

(1) Granger 因果

表7 エラーコーレクションモデルの推計結果

被説明変数：KWH

Const	EC(-1)	INCOME(-1)	INCOME(-2)	INCOME(-3)	INCOME(-4)	PRICE(-1)	PRICE(-2)	PRICE(-3)	PRICE(-4)	KWH(-1)	KWH(-2)	KWH(-3)	KWH(-4)	adj R square	D.W.	SBIC
0.00903037	-0.201182	-0.243208				0.039711				0.338831				0.202242	1.84727	-7.68687
(4.2376)***	(-4.643)***	(-2.404)***				(1.1257)				(3.6768)***						
0.0039652	-0.122876	-0.0039718	0.360121			0.032318	-0.119537			0.242151	-0.079857			0.355565	2.12444	-7.82033
(1.6430)*	(-2.884)***	(0.039206)	(3.6395)***			(1.01692)	(-3.761)***			(2.7967)***	(-0.9161)					
0.0025956	-0.136795	0.072077	0.394331	0.258396	0.289501	0.044089	-0.088194	-0.010373	-0.00729	0.10386	-0.164063	-0.030553	0.094902	0.407255	1.85408	-7.70083
(-0.80793)	(-3.012)***	(0.6414)	(3.5679)***	(2.1914)**	(2.5581)***	(1.2909)*	(-2.696)***	(-0.31315)	(-0.21654)	(1.01219)	(-1.6334)*	(-0.33097)	(1.04571)			

被説明変数：DHD

Const	EC(-1)	INCOME(-1)	INCOME(-2)	INCOME(-3)	INCOME(-4)	PRICE(-1)	PRICE(-2)	PRICE(-3)	PRICE(-4)	DHD(-1)	DHD(-2)	DHD(-3)	DHD(-4)	adj R square	D.W.	SBIC
0.01622	-0.359622	0.233293				-0.041607				-0.26693				0.344924	2.06001	-6.67517
(4.0048)***	(-3.479)***	(1.08531)				(-0.48937)				(-2.7027)***						
0.022938	-0.347506	0.155681	-0.303573			-0.104677	0.025417			-0.313539	-0.16265			0.356232	1.96334	-6.58665
(4.5654)***	(-3.107)***	(0.599345)	(-1.2723)			(-1.1699)	(0.30085)			(-2.558)***	(-1.5707)*					
0.024264	-0.209205	0.330123	0.044957	0.409243	-0.152411	-0.135251	0.024339	0.002094	0.028667	-0.454354	-0.362809	-0.219802	-0.092274	0.338461	1.99108	-6.37025
(3.3078)***	(-1.6286)*	(1.1771)	(0.1561)	(1.4746)*	(-0.6148)	(-1.3942)*	(0.2517)	(0.02300)	(-0.3287)	(-3.026)***	(-2.433)***	(-1.4981)*	(-0.7689)			

注：表1参照、()内はt値を示す。

わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討

表8 ベクトル自己回帰モデルの推計結果

-KWH-												
Variables	Const	INCOME(-1)	INCOME(-2)	INCOME(-3)	PRICE(-1)	PRICE(-2)	PRICE(-3)	KWH(-1)	KWH(-2)	KWH(-3)	adj R square	D.W.
KWH	1.37729	-0.22396	0.353619	-0.22951	-0.0024799	-0.14116	0.113376	1.08384	-0.306953	0.08099	0.996013	2.09779
	(3.699)***	(-0.211)	(3.265)***	(-2.153)**	(0.08382)	(-3.380)***	(3.612)***	(11.70)***	(-2.333)**	(0.9433)		
INCOME	0.7326	0.489991	0.46431	0.039296	0.047282	-0.109973	0.080395	0.049109	0.076033	-0.161644	0.998225	1.93521
	(2.100)**	(4.929)***	(4.575)***	(0.3926)	(1.7057)*	(-2.81)***	(2.733)***	(0.5660)	(0.6167)	(-2.009)**		
PRICE	-0.673111	-0.583153	-0.525266	1.06023	0.937727	-0.060497	0.069573	-0.088194	0.213171	-0.055264	0.953946	2.06645
	(-0.5786)	(-1.1795)	(-1.5521)	(3.177)***	(10.15)***	(-0.4637)	(0.7094)	(-0.3048)	(0.5185)	(-0.2060)		

-DHD-										
Variables	Const	INCOME(-1)	INCOME(-2)	PRICE(-1)	PRICE(-2)	DHD(-1)	DHD(-2)	adj R square	D.W.	
DHD	0.983598	0.68675	-0.189014	-0.080535	0.041006	0.355028	0.277914	0.992924	2.07756	
	(2.991)***	(3.138)***	(-0.8710)	(-0.9351)	(0.4746)	(3.597)***	(2.808)***			
INCOME	-0.035572	0.604339	0.294032	0.032335	-0.18345	0.130374	-0.064277	0.997066	2.06112	
	(-0.2453)	(3.074)***	(6.264)***	(0.8754)	(-0.4816)	(2.996)***	(-1.473)			
PRICE	0.73736	-0.521688	0.664373	0.967225	-0.06117	-0.268481	0.137459	0.947029	2.07212	
	(1.937)*	(-2.060)**	(2.645)***	(9.704)***	(-0.6612)	(-2.35)**	(1.200)			

注：表1及び表7参照

VAR を利用して、電力需要関数を構成している変数間の Granger 因果を確認する。(16)

式と(17)式を推計し、(17)式の Y_{t-i} が X_t の予測に有意に寄与している場合、 Y_{t-i} は Granger の意味で X_t と因果の関係にあるという。

$$X_t = \theta + \sum_{i=1}^{n+1} \gamma_i X_{t-i} + u_t \quad (16)$$

$$X_t = \theta + \sum_{i=1}^{n+1} \gamma_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^{n+1} \delta_i Y_{t-i} + u_t \quad (17)$$

Granger 因果の検定に F 検定を利用して、その結果を示したものが表である。行変数に対して列変数が Granger 因果にあるかどうかを示している。大口電力需要については、所得要因、価格要因とも Granger の意味で因果があることが確認されたが、電灯電力需要に対しては所得要因のみが Granger の意味で因果があることになる。この結果は、VAR モデルにおいて、電灯電力需要の説明変数として価格要因が有意ではなかったことと同値である。また、電灯電力需要の組合せにおける共和分ベクトルにおいて、価格要因の要素がゼロである可能性が指摘されたこととも整合的である。

表9 Granger因果の検定

	KWH	INCOME	PRICE
KWH		6.09057**	7.76569**
INCOME	6.08127**		4.65275**
PRICE	2.33834	4.70487**	

	DHD	INCOME	PRICE
DHD		3.36907*	1.49394
INCOME	2.28419		0.836525
PRICE	3.60308**	1.62031	

注：表1参照

少なくとも、VAR モデル等において将来の電力需要を見通す場合、大口電力にあつては自己ラグの他、GDP などの所得要因や電力価格要因が重要な役割を果たしていることが明らかになっ

わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討

た。言い換えるならば、大口電力需要の構造的な要因として所得・価格要因が不可欠なものであるということになる。一方、電灯電力需要に関しては、将来予測にあたって自己ラグ及び所得要因が不可欠な構造要因として捉えられるものの、価格要因は有意な構造要因ではないことが示唆される。

(2)インパルス応答関数

表7の推計結果を利用して、インパルス応答関数を計算した結果が図4である。インパルス応答とは、VAR モデルにおいて所得、あるいは価格要因に外部から1単位のショックを与えたとき、電力需要に時系列的にどれだけの影響を及ぼすかを計算したものである。

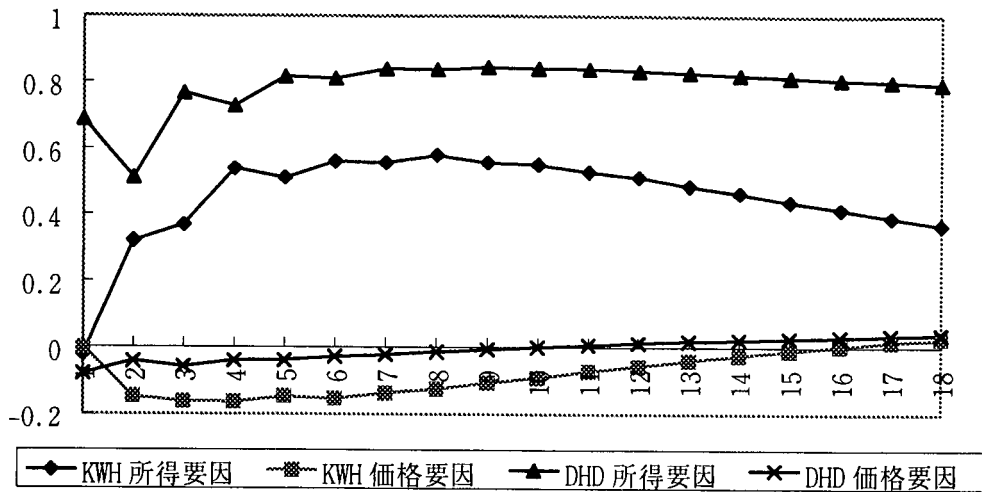
大口電力需要におけるインパルスの応答では、所得の外生的な1単位の増加は、第1期にはほとんど電力需要に影響を与えないが、第2期以降ほぼ2年間にわたって電力需要を増加させ、その後徐々にその影響は減衰していく。価格に対するショックは大口電力需要にマイナスの影響をもたらす、その影響は約4年間続くことがわかる。

電灯電力需要に関しては価格要因はほとんど影響を与えない。これは上で述べたように Granger の意味で因果関係がないためである。一方、所得に対する1単位のショックは第1期から影響を与え、ほぼ1年後に累積として0.8~0.9単位の電力需要をもたらした後に安定し、以降徐々に低下していく。

5.おわりに

本論文はわが国の電力需要の時系列について分析を行ったものである。当初述べたように、電力需要は年々増加しており定常な系列であるとは言いがたい。単位根検定により、その推移がトレンド定常であるか、あるいはドリフト付きランダム・ウォークであるかを検定したところ、大口電力、業務用電力、小口電力及び電灯

図4 インパルス応答関数



電力系列のいずれの系列についても単位根の存在を棄却することができなかった。加えて、明示的に構造変化を取り入れた検定によっても単位根の存在は棄却できないということがわかった。電力需要関数を想定して、所得要因及び価格要因についても単位根検定を行ったところ、それぞれが I(1)変数であることも判明した。

大口電力系列及び電灯電力系列について、これらと所得、価格要因との共和分の可能性について検定したところ、共和分関係を否定することはできなかった。したがって、電力需要と所得・価格要因は長期的な安定関係にあり、その均衡からの乖離は数期間後に修正されることが明らかになった。Granger 再表現定理を利用してエラーコレクションモデルを推計したところ、安定的な関係からの乖離は大口電力に関してはおよそ2年間、電灯電力に関してはおよそ9ヶ月のラグをもって修正されている。

時系列分析の手法については、現在でも肯定・否定の両面から様々な議論がある。例えば共和分を用いた分析は、ある関数関係が長期的な関係にあるか否かについての判断材料を与えるが、いかにその関係が決定されているかについての情報をもたらすものではない。こうした議論を念頭に本研究では Granger 因果等構

造的な分析にとっても有用なツールを利用し、電力需要の構造を検討した。このような試みは伝統的な計量分析を補完するとともに、インパルス応答など時系列分析ならではの独自の成果を与えてくれるものである。

今後、電力需要予測においても、VAR 等を利用した新たな手法が開発されていくものと考えられる。その意味では、本研究の成果は予測手法開発についてもいくばくかの寄与ができたものと考えている。

謝辞：本論文の作成においては神戸大学助教授北坂真一氏及び匿名本誌レフリーから有益なアドバイスを頂いた。また、当研究所内においても様々な方からご意見等をいただいた。ここに感謝申し上げたい。当然のことながら、本論文に関する誤り等についての責任は筆者一人のものである。

[参考文献]

- [1] Campbell, J.Y. and P. Perron (1991), "Pitfalls and Opportunities: What Macro Economists Should Know about Unit Root", NBER Macroeconomic Annual, 1991, 141-201.
- [2] Dickey, D.A. and W.A. Fuller (1979), "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a

- Unit Root”, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- [3] Dolado, J.J., T. Jenkinson, and S. Sosvilla-Rivero (1990), “Cointegration and Unit Roots”, *Journal of Economic Surveys*, 4, 249-273.
- [4] Engle, R.F. and C.W.J. Granger (1987), “Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing”, *Econometrica*, 55, 251-276.
- [5] 副島豊 (1994), 「日本のマクロ変数の単位根検定」, *金融研究*, 第 13 巻, 97-129.
- [6] Hamilton, J.D. (1994), *Time Series Analysis*, Princeton Univ. Press.
- [7] Hatanaka, M. (1996), *Time-Series-Based Econometrics*, Oxford Univ. Press.
- [8] Iwamoto, T. and H. Kobayashi (1992), “Testing for a Unit Root in Japanese GNP”, *Japan and World Economy*, 4, 17-32.
- [9] Johansen, S. (1988), “Statistical Analysis of Cointegration Vectors”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231-254.
- [10] Kwiatkowski, D., P.C.B. Phillips, P. Schmidt, and Y. Shin (1992), “Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root”, *Journal of Econometrics*, 54, 159-178.
- [11] Perron, P. (1988), “Trends and Random Walks in Macroeconomic Time Series: Further Evidence from a New Approach”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 297-332.
- [12] Perron, P. (1989), “The Great Crash, The Oil Price Shock, and the Unit Root”, *Econometrica*, 57, 1361-1401.
- [14] Phillips, P.C.B., and S. Ouliaris (1990), “Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration”, *Econometrica*, 58, 165-193.
- [13] Takeuchi, Y. (1991), “Trends and Structural Change in Macroeconomic Time Series”, *Journal of Japan Statistical Society*, 10, 13-25.
- [14] 山本拓 (1988), 『経済の時系列分析』, 創文社

（ かつう ひさかず
電力中央研究所 経済社会研究所 ）

東京は過大か

—集積の経済と都市規模の経済分析—

Is Tokyo Too Large? : An Empirical Analysis of City Sizes in Japan

キーワード：都市経済学、集積の経済、最適都市規模

金本良嗣 大河原透

東京都市圏の過密・過大論を根拠にして、首都機能移転が現実の政策課題として登場している。国土政策の検討のためには、望ましい都市規模とはいかなるものなのかに関する研究が必要になるが、この種の実証研究は十分になされているわけではない。この論文では、全国の都市圏を対象に集積の経済性を導入した総生産関数の推計を行い、生産活動における集積の経済と通勤費用の増大や混雑などの集積の不経済との綱引きで都市の最適規模が規定されるとの伝統的な都市経済モデルに基づき、都市規模の最適性に関する実証研究を行う。集積の経済は、人口 20 万人以下の都市圏ではほとんど出現していないが、20 万人以上の都市圏では大きく、とりわけ、人口が 20 万人から 40 万人の都市圏では非常に大きい。集積の経済の推定値をもとに、人口 100 万人以上の 17 の都市圏について、最適都市規模に関するヘンリー・ジョージ定理の成立性を検討した。地価総額とピグー補助金総額の比率を取ると、東京都市圏は 17 の都市圏のほぼ平均に位置しており、比率の比較では東京圏が過大であるとの仮説は支持されない。ただし、絶対額の比較においては東京圏が抜きんでて大きく、東京圏が過大であるという可能性も残されている。

- はじめに
- 集積の経済の推定
 - 都市圏の定義
 - 都市圏経済データの開発
 - 集積の経済を導入した生産関数
 - 推定結果
- 最適都市規模の検討
 - ヘンリー・ジョージ定理と最適都市規模
 - 都市のヒエラルキーと最適都市規模の検証
 - 主要都市圏の地価総額データの推計
 - 地価総額とピグー補助金総額の比率
- 結論
- 参考文献

1. はじめに

東京都市圏の人口は 3 千万人を越え、先進諸国のなかでも経済活動が集積する有数の都市圏として、大きく発展を遂げてきた。そのなかで、東京都市圏は巨大都市ゆえの問題を抱えている。道路や通勤鉄道の混雑、遠距離長時間通勤、ゴミ処分問題、水問題、電力需給の逼迫などは典型的な東京問題といえる¹。巨大都市東京がもつ負の側面を強調し、一極集中に伴う弊害の是正

を目的に掲げ、東京問題に対応しようとしているのが首都機能移転などの政策である。

だが、経済活動の東京圏への一極集中にも功罪の両面があることを忘れてはならない。東京圏の経済活動の集積は、人々や企業が利益を求め東京に多種多様な主体が集まることにより実現されたものであり、集積の利益は高い賃金や企業の利益、さらには高い地価に反映されている。高い地価は土地の有効利用を促すシグナルであり、それ自体を問題とすべきではなく、問題があるとすれば、制度的な欠陥などにより、高い地価に応じた土地利用がなされていないことがある。混雑などの集中の弊害が高じ、高い

¹東京圏の通勤問題に関しては Merriman, Ohkawara and Suzuki(1995)、東京圏の電力需給については大河原(1995)などの文献がある。

地価を負担してまでも東京に留まる必然性が薄れるなら、人々や企業はより良い都市を求めて長期的には移動していく。都市の将来の帰趨を決めるのは、そこにいる住民であり企業であり、東京といえども都市間の競争に晒されている。東京がその最適規模を越えて過大になっているかどうかを検討するためには、集積の経済と通勤費用の増大や混雑等による集積の不経済を比較することから分析を始めなくてはならない。

日本の都市において、集積の経済がどの程度出現しているかを明らかにした研究は、これまでもいくつか存在するが、それらはすべて製造業での集積の経済に焦点を当てている。現代の都市におけるサービス業の重要性を考慮すると、非製造業も加えて、都市の経済活動全体を対象にした研究が求められている²。また、米国では、相互に密接な関係にある行政区域をまとめ、統計分析に適した標準大都市統計地域(Standard Metropolitan Statistical Area : SMSA)という都市圏が設定されているが、日本では公式に定義された都市圏は存在せず、従来の研究では、中心都市の行政区域を都市圏の代わりに用いたり、人口密度を都市規模の代理指標として用いてきた。本研究では、竹内章悟により電力中央研究所で開発された都市圏である「統合都市地域」(IMA : Integrated Metropolitan Area)を用いて、都市圏の総生産関数を推定し、日本の都市における集積の経済の大きさを実証的に明らかにする。

最適都市規模に関する理論研究では、ヘンリー・ジョージの名を冠した有名な定理が存在する³。ヘンリー・ジョージ定理には様々な拡張版があるが、最も簡潔に定理を要約すれば以下のようなになる。たとえば、都市で発生する集積の

利益は企業だけが享受し、集積の不経済は通勤者(都市住民)のみが負担するとすれば、集積の不経済に見合う補助金を都市住民に与える(これをピグー補助金と呼ぶ)必要があるが、都市規模が最適になるのは、都市で発生する差額地代(都市的土地利用の地代と農業地代の差額)の総額が集積の外部経済に対するピグー補助金の総額に等しいときである。これがヘンリー・ジョージ定理であり、集積の利益の大きさを表すピグー補助金総額が、集積の不経済を反映する差額地代総額と見合うときに、都市規模が最適になることを述べている。

このように、ヘンリー・ジョージ定理は最適都市規模を検討する有力な分析手法である。しかし、地代のデータは簡単には入手できないので、ヘンリー・ジョージ定理をそのままの形で実証研究にのせるのは容易ではない。このため本研究では、地代と比例関係にある地価を用いるが、バブル経済の生成と崩壊にみられるように、地価と地代の間には必ずしも安定的な比率が保たれていたわけではなく、どの時点の地価を分析に用いるかで、都市規模の実証研究の結果は「おれ」を持つことも考えられる。

なお、Kanemoto (1980)などにより行われた都市経済の研究の成果によれば、均衡で最適都市規模が達成されるとは必ずしも限らず、均衡では都市規模は過大になる傾向があることが判っている。つまり、市場経済では都市規模は望ましい水準を越え大きくなりがちである。実際の都市圏は都市規模によりヒエラルキーを形成しており、東京都市圏はその頂点にあると考えられる。都市規模が過大になる傾向があるとの議論を、都市ヒエラルキーにおける各階層毎に適用すると、各階層において均衡都市規模が最適都市規模を超える傾向が存在するとなる。ただし、最適都市規模からの乖離幅は階層により大きく異なりうる。都市規模が小さい階層では、その都市規模が小さいがゆえに、新たに同じ規

2 たとえばKawashima (1975), Nakamura (1985), Tabuchi (1986) など。

3 ヘンリー・ジョージ定理はAmott and Stiglitz (1979), Henderson (1977), Kanemoto (1980) などで分析がなされている。日本語での解説については、金本(1989), (1992), (1994)を参照。

模の都市を創るのは容易であり、最適規模からの乖離は相対的に小さくなるであろう。これに対し、大きな都市階層では、そこに含まれているのと同じ大きさの大都市を新たに創るのは困難であり、最適都市規模からの乖離は大きくなる。したがって、大都市ほど最適都市規模からの乖離が大きいという推測ができる。

本研究では、地価総額とピギー補助金総額の比率を人口 100 万人以上の都市圏について計算し、東京都市圏が他の都市圏と比較して大きく異なっているかどうかを検証する。他の都市圏の都市規模も過大になっている可能性があるため、この検証から直ちには東京圏が過大であるか過小であるかの結論が得られるわけではない。しかし、もし他の都市圏と比較して有意に大きくなっていけば、東京圏が過大になっているのではないかという推測が可能である。

2. 集積の経済の推定

この研究の第一の課題は、都市圏を対象にした総生産関数を推定することによって集積の経済の大きさを明らかにすることである。ただし、米国における SMSA のような都市圏は日本では公的には定義されていないので、都市圏を研究者が設定しなくてはならない。さらに、総生産関数のなかで変数として用いられる都市圏ごとの経済データの作成という問題が出てくる。これらのデータは公的統計からは得られないので、研究者が利用可能な統計資料を組み合わせ、都市圏ごとに生産額、就業者、民間資本、社会資本のデータの推計を行う必要がある。以下では、都市圏の設定、データの推計手法、総生産関数の推定を順次説明する。

2.1 都市圏の定義

これまで、何人かの研究者が日本の都市圏を独自に設定しており、著者が知る限りでも、山田浩之・徳岡一幸の「標準大都市雇用圏」(SMEA: Standard Metropolitan Employment Area)、川嶋辰彦

の「機能的都市コア」(FUC: Functional Urban Core)、竹内章悟の「統合都市地域」(IMA: Integrated Metropolitan Area)が存在する。本研究では、電力中央研究所で開発された竹内の都市圏を分析に用いることにした。

竹内の IMA は 1985 年国勢調査の「従業地・通学地集計結果」の全国 3,246 市町村の通勤通学データに基づいている。都市圏への統合は以下のプロセスで進む。隣接する 2 つの市町村を一つの地域とみなしたとき、地域内就業就学率が、それぞれの市町村の市内就業就学率より大きくなる場合、当該 2 市町村の一体性は高いと考えられ、同一の都市圏を構成するものとした。このようにして統合した都市圏をまた一つの地域と考え、この地域からの域外就業就学先上位 3 市町村について、同様の検討を行い、条件を満たす地域が複数個存在するときには、統合後の域内就業就学率が最大となる市町村との組み合わせを最も統合レベルの高い組み合わせとして採用する。市内就業就学率が 90% を越える市町村は、既に独立した都市圏を形成しているものとして、統合先を見出すことはしない。ただし、市内就業就学率が 90% 未満の市町村が 90% を越える市町村に統合されることは妨げない。このルールに従い、市町村の統合を繰り返すと、3246 の市町村は 6 回の収束を経た後に、それ以上の統合が進まなくなり、結果として 456 の都市圏に統合された⁴。

IMA の利点は、統合にあたり域内就業就学率という相対的な指標を用いているところにある。たとえ人口密度の低い地域であっても、就業や就学で地域間の交流が活発であれば、同一の圏域として位置づけられ、一つのまとまりをもった都市圏となる。このため、SMEA と FUC と比べるならば、IMA の都市圏は大きくなる傾向がある。たとえば、東京都市圏の人口は 1990 年で

⁴鈴木・竹内 (1994) が IMA の定義を詳細に解説し、山田・徳岡、川嶋の都市圏の紹介もしている。

33,529,313 人になるが SMEA ではその範囲が狭く、27,187,116 人である。

2.2 都市圏経済データの開発

80年代後半のバブル経済の生成と90年代前半のバブル経済の崩壊のなかで、地価は大きく変動した。地価が大きく変動している時期の地価データを用いると、分析結果に偏りが生じることも考えられ、最新時点の分析もできるが、あえて1985年を分析対象年として選び、データを開発した。なお、実質価格の基準年は1985年である。以下では、456のIMAのデータに基づき、就業者、民間資本、社会資本を説明変数とする総生産関数を推定するが、使用するデータの推計法を紹介しよう。

1985年は国勢調査年であり、市町村レベルでの従業地ベースの就業者数は国勢調査の結果にあり、独自に推計する必要はない。これ以外のデータに関しては基本的には県レベルのデータを、合理的な仮定に基づきIMAに按分する方式を採った。

総生産関数の被説明変数である総生産額は、県別産業別の付加価値額がベースとなるが、10大都市については都市別の総生産額を直接用いることができる⁵。これ以外のIMAの総生産額は製造業、非製造業の就業者シェアに従い按分したものの和となる。10大都市をその中に含まないIMA(Aで示した)を例に、推計の手順を示そう。このIMAの製造業と非製造業の就業者数を $N(A, 1)$ 、 $N(A, 2)$ とし、このIMAが属する県(Iで示した)の産業別生産額を $Y(I, j)$ 、 $j=1, 2$ 、就業者数を $N(I, j)$ 、 $j=1, 2$ とすると、総生産額は次のようになる。

$$(1) \quad Y(A) = \sum_{j=1}^2 Y(I, j) \frac{N(A, j)}{N(I, j)}$$

IMAに10大都市が含まれている場合は、10大都市以外の市町村について(1)式の操作を行う。民間資本は、総生産額の推計と同様の方式に従い、県レベルの製造業と非製造業の資本を、就業者ではなく生産額のシェアにより、IMAに分割する。社会資本は県別に4目的別に推計されたデータが存在し、それぞれ以下の方式でIMAに分割する。農林水産基盤の社会資本は、農林水産業の就業者シェアで、産業基盤の社会資本は製造業の生産額シェアで、運輸通信基盤の社会資本は総生産額シェアで、生活基盤の社会資本は人口シェアで分割する。

なお、基礎データの出典は、就業者数と人口については「1985年国勢調査」、産業別生産額は「県民経済計算」、民間資本と社会資本は大河原・松浦・中馬(1985)である。

2.3 集積の経済を導入した生産関数

都市に集積の経済がどれだけ出現しているかを明らかにするため、都市圏の総生産関数 $Y = F(N, K, G)$ を推定する。ただし、 N は就業者、 K は民間資本、 G は社会資本、 Y は総生産額であり、都市圏での集計量である。集積の経済が存在しないとき、総生産関数は就業者と民間資本について一次同次(収穫一定)であり、集積の経済は推定された総生産関数の規模の経済性により計測できると考える。

市場を経由しない企業間取引により技術的な外部性が企業にもたらされると仮定すれば、規模の経済性で集積の経済を計測するのが正当化することができる。都市の就業者総数と社会資本で測られた集積の経済を享受している企業の生産関数は、この企業が雇用し投入する就業者数を n 、民間資本を k とすれば、 $f(n, k, N, G)$ となる。

⁵ 10大都市は、札幌、川崎、横浜、名古屋、京都、大阪、神戸、広島、北九州、福岡である。

便宜的に全ての企業を同質とし、 m を都市に存在する企業の総数とすれば、都市で集計した総生産関数は $Y = mf(N/m, K/m, N, G)$ となる。個々の企業の自由な参入退出により、企業の生産関数 $f(n, k, N, G)$ は n と k に関して収

穫一定である。この関係により、企業数は $m = m^*(N, K, G)$ と3つの変数で表現でき、都市全体の総生産関数は N, K, G の関数となり、(2)式となる。

$$(2) \quad F(N, K, G) = m^*(N, K, G) f\left(\frac{N}{m^*(N, K, G)}, \frac{K}{m^*(N, K, G)}, N, G\right)$$

これを N で偏微分すれば

$$(3) \quad F_N(N, K, G) = m \left[\frac{1}{m} f_n + f_N \right] + m^* [f - n f_n - k f_k] \\ = f_n(n, k, N, G) + m f_N(n, k, N, G)$$

となり、企業レベルの生産関数は規模につて収穫一定で、(3)の第1式第2項はゼロとなり、(3)の第2式を得る。なお、最後の項 $m f_N$ は都市の集積の経済による限界便益を示している。

企業間の技術的な外部性により都市経済の集積が出現するとの仮定は、分析を行うには簡単で便利であるが、Kanemoto (1990)が議論しているように、市場を経由しない企業間の取引による外部経済により都市が出現するとの仮定で、現実に存在する大都市を説明するのは強引である。たとえば、Kanemoto (1990)や Krugman (1991)は最終生産物や中間投入物の異質性により都市経済の集積を説明している。交通費用や情報費用といった取引費用とともに財の異質性を導入すると、企業間の技術的な外部性がなくとも都市経済の集積は説明される。したがって、ここでの(2)式は財の異質性のもとで得られる総生産関数とみなすのが現実的である。しかし、異質財モデルでは、最適性などの規範的な分析は十分に成功しておらず、3節で行う最適都市規模の理論的基礎を財の異質性に求めるのは脆弱といわざるを得ない。

都市の総生産関数としては様々な関数型を想定することができるが、はじめに単純なコブ・

ダグラス型を取り上げる。

$$(4) \quad Y = AK^\alpha N^\beta G^\gamma$$

個々の企業レベルでは就業者と民間資本に関して収穫一定を仮定しており、都市における集積の経済の大きさは規模の経済性で測ることができ、それは $\alpha + \beta - 1$ となる。

(4)式を推定したところ、社会資本のパラメータの推定値は負、あるいは統計的に有意でなかった。このため(4)式の就業者のパラメータが社会資本の存在により上方にシフトするという仮定を導入し、(5)式の推定を行った。

$$(5) \quad Y = AK^\alpha N^{1-\alpha} N^\gamma \ln G$$

このとき、都市の集積の経済の大きさは $\gamma \ln G$ となる。

2.4 推定結果

(5)式の推定にあたっては、以下の(6)式を用いた。なお(5)式のパラメータとの対応では $\alpha = a_1$ 、 $\beta = a_2 + 1 - a_1 - a_3$ 、 $\gamma = a_3$ となる。

$$(6) \quad \ln(Y/N) = A_0 + a_1 \ln(K/N) \\ + a_2 \ln N + a_3 \ln(G/N)$$

都市規模別に総生産関数の推定を行い、その結果を表1に掲げた。人口規模が20万人以下の都市圏では、社会資本の推定パラメータは負でありしかも統計的に有意である。20万人以上の

都市圏では、それらは負であるが、統計的には有意でない。この推定結果を受容するならば、小規模都市では社会資本の限界生産力は負であ

り、これ以上の大きな都市ではゼロであるとなる。しかし、社会資本が生産に貢献していないとの結論は、にわかには受け入れがたい。

表1 社会資本を導入したコブダグラス型生産関数の推定結果

パラメータ	全都市圏 (456)	100万 (34)	40 - 100万 (34)	20-40 万 (32)	20万以下 (373)
A_0	0.66 (6.47)	-0.69 (-1.54)	0.62 (0.88)	-2.50 (-1.55)	0.74 (5.89)
a_1	0.57 (12.40)	0.72 (6.30)	0.25 (4.07)	0.58 (6.68)	0.60 (10.11)
a_2	0.01 (3.08)	0.07 (2.75)	0.05 (0.96)	0.24 (1.87)	0.00 (0.06)
a_3	-0.26 (-9.06)	-0.05 (-0.32)	-0.08 (-1.00)	-0.02 (-0.15)	-0.27 (-8.42)
\bar{R}^2	0.40	0.81	0.45	0.63	0.29

注：2行目のかっこ内の数字はサンプル数。それ以外のかっこ内はt統計量。

社会資本のパラメータが負となる理由のひとつには、地域間の所得再配分効果をねらって、公共投資を所得の低い圏域により重点的に配分してきたことがある。この結果、クロス・セクション・データを用いての最小自乗推定では、社会資本のパラメータは負となりがちである。これは、社会資本の供給サイドと需要（あるいは生産性）サイドが混合されたことによる同時方程式バイアスの典型とみることもできる。こ

のため、操作変数法を使い総生産関数の推定を試みたが、これまでのところ良好な推定結果は得られていない。

(6)式の世界資本の推定パラメータは負あるいは統計的に有意でないため、社会資本を説明変数から除外した総生産関数の推定も試みた。この結果を表2に示したが、この定式化では都市における集積の経済は $a_2 = \alpha + \beta - 1$ となり、企業レベルの規模の経済と同一のものとなる。

表2 社会資本を導入しないコブダグラス型生産関数の推定結果

パラメータ	全都市圏 (456)	100万 (17)	40 - 100万 (34)	20-40 万 (32)	20万以下 (373)
A_0	0.19 (1.95)	-0.77 (-2.13)	0.19 (0.34)	-2.58 (-1.73)	0.37 (2.91)
a_1	0.49 (10.02)	0.72 (6.53)	0.25 (4.05)	0.59 (6.81)	0.47 (7.54)
a_2	0.03 (6.60)	0.07 (2.93)	0.07 (1.58)	0.25 (1.98)	0.01 (1.69)
\bar{R}^2	0.30	0.81	0.43	0.63	0.15

注：2行目のかっこ内の数字はサンプル数。それ以外のかっこ内はt統計量。

表2によれば、人口20万人以下の都市圏では集積の経済は非常に小さく、都市規模を2倍にしたときの、集積の経済による生産の増加は約1%に過ぎない。これに対し、人口40万人以上の2つのグループでは、集積の経済による生産の増加は約7%である。驚くべきことに、人口が20万人から40万人の都市圏で、集積の経済が最も大きくなり、25%に達している。

表1で社会資本のパラメータが負となったのは、社会資本が地域経済の生産により非線形的に寄与しているためとも解釈することができ、社会資本の貢献の非線形性を導入したのが(5)式であり、この修正コブ・ダグラス生産関数を推定する。ここでの非線形性は、就業者の生産

性は社会資本が存在することで高まり、就業者が多ければ多いほど社会資本の生産性も高まることを意味している。表3では(5)式の対数を取った(7)式の推定結果を示した。

$$(7) \ln(Y/N) = A_0 + a_1 \ln(K/N) + a_2 \ln N \ln G,$$

ただし、 $a_1 = \alpha$ 、 $a_2 = \gamma$ である。

表3の最終行はKとNに関する規模の経済であるが、非線形性が存在し、規模の経済は都市規模に依存する。ここでは、東京都市圏の都市規模を用い、規模の経済を評価している。表3に示された規模の経済は、表2の半分程度の大きさとなる。

表3 修正コブダグラス型生産関数の推定パラメータ

パラメータ	全都市圏 (456)	100万 (17)	40 - 100万 (34)	20 - 40万 (32)	20万以下 (373)
A_0	0.31 (3.36)	-0.30 (-1.14)	0.67 (1.99)	-0.95 (-1.16)	0.42 (3.43)
a_1	0.48 (9.87)	0.72 (6.48)	0.25 (4.09)	0.59 (6.70)	0.47 (7.52)
a_2	0.0014 (6.89)	0.0022 (2.89)	0.0023 (1.21)	0.0081 (1.63)	0.0006 (1.61)
\bar{R}^2	0.30	0.81	0.41	0.62	0.15
規模の経済	0.026	0.040	0.042	0.146	0.010

注：2行目のかっこ内の数字はサンプル数。それ以外のかっこ内はt統計量。

3. 最適都市規模の検討

ここでは、前節で導いた集積の経済の推計値に基づき、日本の大都市とりわけ東京都市圏が過大であるかどうかを検討する。

3.1 ヘンリー・ジョージ定理と最適都市規模

ヘンリー・ジョージ定理は、都市の最適規模に関する条件を与えるものであり、1970年代に

何人かの都市経済学者により導出されている⁶。都市における集積の経済の源泉とこの対極に存在する集積の不経済を何に求めるかにより、ヘンリー・ジョージ定理は異なる形をとる。しかし、集積の経済と不経済を何に求めようとも、定理の本質は同じであり、集積の経済による便益が都市で生まれる差額地代の総額に等しいと

⁶ たとえば、Arnott and Stiglitz (1979)、Henderson (1977)、Kanemoto (1980)など。

きに最適都市規模が達成される。

この研究では、都市で発生する集積の経済の源泉を、都市で活動する多くの企業が相互に影響し合うことで生じる外部経済と社会資本の存在に求める。一方、集積の不経済は、都市が大きくなると住民の通勤距離が増大することに見られるような都市における空間の希少性に求める。全ての住民が同質であることを仮定すると、住民の効用を最大にする最適都市規模は、都市で生まれる差額地代の総額が集積の経済の源泉に与えるピグー補助金の総額に等しいときに達成されることになる。これがヘンリー・ジョージ定理である⁷。

はじめに、社会資本の存在を仮定しない表 2 で示された総生産関数に基づき、ヘンリー・ジョージ定理を解説することにしよう。このとき、個々の企業の生産関数は

$$f(k, n, N) = Ak^\alpha n^{1-\alpha} N^{\alpha+\beta-1},$$

となる。企業の就業者数は n 、資本は k であり、 N は集積の経済の源泉となる都市全体の総就業者数である。就業者一人当たりのピグー補助金は $m\partial f / \partial N$ であり、ピグー補助金の総額は以下ようになる。

$$(8) \quad PS = Nm\partial f / \partial N = (\alpha + \beta - 1)Y$$

ただし、 m は都市の企業数であり、 $m = N/n$ を満たす。また Y は都市全体の総生産額で、 $Y = AK^\alpha N^\beta$ となる。都市規模が最適になっているとき、ピグー補助金の総額は都市で生まれる差額地代の総額に等しくなることをヘンリー・ジョージ定理は述べてが、さらに最適性に関する 2 階の条件により、図 1 で示すように、都市が最適規模を越えているならば、ピグー補助金総額は差額地代総額よりも小さくなることが導かれる。つまり、差額地代総額がピグー補助金総額を上回るときには、都市は過大であるとの結論を得る。

次に社会資本を導入する。このとき、最適都市規模に関する条件は、社会資本へのアクセスの共通性に依存する。純粋公共財の場合は、全ての住民が社会資本を利用して混雑現象は全く発生しない。だが、現実の世界では社会資本の利用に際して、なんらかの混雑現象がみられるのが一般的であり、純粋公共財とみなすのは困難である。純粋公共財のケースは、Kanemoto (1980) の 3 章と同様の議論が可能で、地価総額と等しくなる集積の利益はピグー補助金と社会資本の供給費用の和に等しい。純粋地方公共財では、集積の経済はその供給費用の一部分を担うに過ぎないとなる。実証研究では、社会資本が純粋公共財の場合と純粋私的財の場合の両極端を扱う。

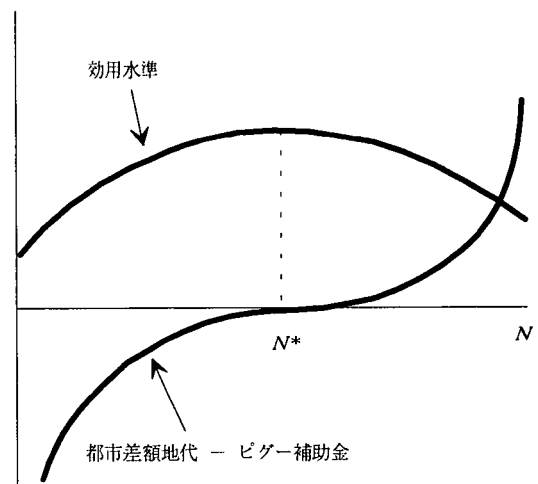


図1 差額地代総額とピグー補助金

表 3 の推定結果は、個々の企業の生産関数が $f(k, n, N, G) = Ak^\alpha n^{1-\alpha} N^\gamma \ln G$ であるときのものであり、このとき都市におけるピグー補助金の総額は

$$(9) \quad PS = \gamma (\ln G) Y$$

となる。このピグー補助金総額を、都市の総地代あるいは総地代から社会資本の供給費用を引いたものと比較する。

なお、最適都市規模については二通りの解釈ができる。一つは、都市規模を変化させたとき、

⁷詳しい証明は Kanemoto (1980)の2章を参照のこと。

住民の効用が最大になる都市規模を最適都市規模とみるものである。もう一方の解釈は、同質の都市が多数あるものとして、その都市数を変化させて、住民の効用が最大になる都市数に到達したときに、最適都市規模は達成されるとするものである。ただし、国の総人口が固定されており、しかも国民は多数存在する同質の都市の中から一つの都市を選んで住むと仮定すれば、人口規模による最適化も都市数による最適化も全く同じことになる⁸。

3.2 都市ヒエラルキーと最適都市規模の検証

ここでの、都市規模の実証研究では、地代ではなく地価のデータを用いるが、地価から地代への変換では、次のような調整が必要となる。ヘンリー・ジョージ定理で用いられる差額地代は、土地を都市的に利用をしたときの地代から土地に手を加えず農地として利用したときの農業地代を差し引いたものである。土地を都市的に利用に供するためには、造成費用等の開発費用がかかることが一般的であり、現実の地価から土地の開発費用を除き、土地固有の価値に相当する地価を求める必要がある。こうして求めた地価に適切な割引率を乗じれば、都市的に利用された用地の地代を計算することができる。これから農業地代を差し引けば、差額地代となる。これらは理論的な手続きあり、現実にはこの計算で用いる土地の開発費用、地価から地代への割引率、農業地代のいずれも適切な推計値を得るのは容易でない。

割引率をとっても、これまでの日本では地価地代比率が極めて高い上に、大きく変動しており、適切な値を設定するのは困難である。表4には地価総額とGDP比率を示したが、1970年の2.48から1990年の5.35まで上昇し、その後1993年の4.01まで低下している。これからわかるように、地価地代比率の変動は大きい。

このように、割引率ひとつ取っても変動は大きく、地価から地代への変換は困難である。このため、ヘンリー・ジョージ定理を直接当てはめるのではなく、地価総額とピグー補助金の総

表4 地価総額とGDP比率

年	地価総額 (十億円)	地価総額 GDP
1970	181,531	2.48
1975	376,406	2.54
1980	705,793	2.88
1985	1,004,073	3.09
1990	2,338,239	5.35
1993	1,855,143	4.01

出典：国民経済計算（経済企画庁）

額の比率を各都市ごとに計算し、この比率が都市規模によりまとめたグループ間で有意な差があるかをはじめに検証する。

以下では、均衡に到達しているとき、都市規模は過大になる傾向があり、しかも大きな都市ほど過大になるという都市経済の理論研究の成果を紹介しておこう。

Kanemoto (1980)の2章で示したように、集積の経済が存在するときには、均衡都市規模は最適な規模を越えて過大になる傾向がある。議論を簡単にするために、全ての都市が全く同じ条件を持っており、都市以外の地域は存在しないと仮定する。このときの都市規模の決定は全国人口をどれだけの数の都市に分けるかという問題になる。なお、全国人口が一定のときは、都市数について最適化と都市規模について最適化は、同値であることは既に述べた。

全国人口は一定で \bar{N} とし、これが同規模の人口を持つ m 個の都市に分けられると、各都市の人口は $N = \bar{N}/m$ となる。都市間の人口移動を妨げる要因はないとすれば、均衡ではどの都市に居住しようとも、住民の効用水準は一定に

⁸当然のことだが、都市数は整数であるが、この分析方式では都市数は整数にならない。

なる。この均衡で達成される効用水準は都市の人口規模の関数として $u(N)$ で表される。この状況を図2に描いたが、そこでは人口 N^* で都市の最適規模が決まる。

次に、 N^* から N^{\max} の大きさの都市はどれも安定均衡となりえること、つまり均衡が複数存在することを示す。

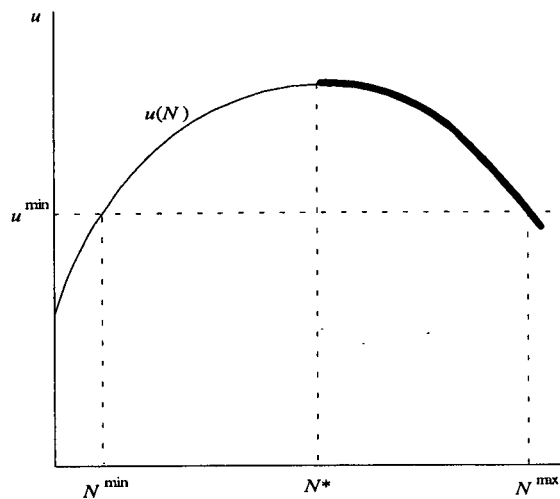


図2 最適都市規模と市場都市規模

まず N^* より小さい規模の都市が存在するでしょう。全ての都市の人口が同じである状態から、人口移動が生じて、一人の住民がある都市から別の都市に移動したとする。このとき、移動元の都市の効用水準は少し低下するが、移動によって住民を受け入れた地域の効用は少し高まる。住民は高い効用を求めて移動するので、人口が流入した都市は N^* に到達するまで成長し、 N^* よりも小さい都市は消滅してしまう。したがって、人口が N^* よりも小さい都市は安定的な均衡にはならない。

ところが、 N^* と N^{\max} の間にある都市では、都市規模が大きくなるにつれ、効用水準は低下していく。住民がある都市から別の都市へ移動すれば、移動先の都市の効用は低下してしまうので、 N^* と N^{\max} の間にある都市を初期条件とすれば、だれも移動する誘因を持たない。した

がって、これらの規模の都市は安定的な均衡となりえる。つまり、安定的な市場均衡は複数存在し、そのなかには最適都市規模も含まれるが、最適規模を越えたものも含まれる。

現実の経済では、異なった産業構造を持ち、異なった機能を持つ多数の都市が存在している。同じ機能を持った都市を集めてグループを構成すると、ヒエラルキーをもった都市階層を作ることができる。このとき、都市規模に関するこれまでの議論を、都市ヒエラルキーの中の各階層に適用することができる。

複数均衡が存在する場合には、現実の都市規模と最適な都市規模との乖離幅は、各都市の歴史に左右されるが、乖離の上限は新しく作ることができる都市の大きさに依存している。ヒエラルキー構造の中では、ある階層に新たに属することになる都市は、その階層よりも一つ下の階層にある都市が成長し、生じると考えられる。このとき、都市規模の小さい階層では、小さいがゆえに、同程度の規模の都市を追加するのは容易である。だが、ヒエラルキーの上位では、新しい都市を追加するのは困難である。東京都市圏の人口は約3200万人であるが、大阪都市圏は約1500万人であり、大阪都市圏を一つ上のヒエラルキーに引き上げるためには、新たに1500万人以上の人口を増やさなくてはならない。したがって、大都市では、現実の都市規模と最適規模との乖離幅が大きくなる傾向にあると推測される。

3節の目的は、大都市ほど最適規模からの乖離が大きくなる傾向にあるとの仮説を検証することにある。以下では、異なる大きさのヒエラルキーに属す都市圏ごとに、地価総額とピグー補助金の比率を計算し、東京都市圏でこの比率が他の都市圏とどれだけ異なるかの比較を行う。

3.3 主要都市圏の地価総額データの推計

はじめに、都市圏の地価総額の推計法を紹介する。まず、都市圏は都市計画地域によって構

成されているものと仮定する。これにより、現在のところ開発が禁止されている市街化調整区域は都市圏に含まれるが、将来の開発の可能性を考えると、適切な取り扱いといえよう。

地価データの出典は1985年1月の地価公示と1984年7月と1985年7月の都道府県地価調査である。都道府県地価調査は1985年1月時点の地価の推定に用い、両者の平均をとり1985年1月の地価のサンプルを増やした⁹。

85年当時の都市計画法では、都市計画地域は市街化促進地域と市街化調整地域に区分されており、前者は第1種住居専用、第2種住居専用、住居、近隣商業、商業、準工業、工業、工業専用の8つの土地利用区分にさらに分けられている。工業と工業専用については、地価の推計ではサンプル数が少ないため統合した。7つのカテゴリーの市街化促進地域と市街化調整区域のそれぞれについて、都市圏ごとに平均地価を都市圏面積に乘じ、地価額を推計した。当然ではあるが、8つの土地利用カテゴリーの地価額総計が、都市圏の地価総額になる。

なお、平均地価のデータのもとになる地価データが十分に得られない自治体があり、次式を推定することで代用した。

$$(10) \ln P = a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i D_i + bt$$

ただし、 P 、 D 、 t はそれぞれ地価、土地利用ダミー変数、都心からの距離である。

3.4 地価総額とピグー補助金総額の比率

はじめに、人口100万人以上の17都市圏で地価総額とピグー補助金総額の比較を行う。表5にコブダグラス型生産関数(6)で $a_3 = 0$ との制約をおいたときの結果を示した¹⁰。全ての都市圏で地価総額はピグー補助金総額を大きく上回り、地価総額・ピグー補助金総額比率の17都市

圏の平均値は145.4である。ヘンリー・ジョージ定理によると、都市規模が最適になっていれば、この比率は地価総額と差額地代総額の比率に必ず等しくなる。土地開発費と農業地代の存在を無視すれば、この比率は土地のユーザーコストの逆数に等しくなるので、土地のユーザーコストは0.69%と極端に低い値をとる。日本では、地代・地価比率が非常に小さいことはよく知られた事実であり、0.69%となったユーザーコストはそれほど非現実的であるわけではない。ただし、ここで用いた地価の推定値は粗く、「国民経済計算」に掲載されている都道府県地価総額と比較するとかなり大きくなっている。

東京都市圏の地価総額は非常に大きい、同時にピグー補助金の総額も大きい。結果として、東京圏の地価総額・ピグー補助金総額比率は17都市圏の平均値を少し下回る144.6に過ぎない。したがって、東京都市圏が過大であるという結論は得られない。もし東京都市圏が過大であるならば、他の都市圏の多くもまた過大となる。ただし、これは地価総額・ピグー補助金総額比率に基づくものであり、絶対額での比較によれば、東京都市圏は第二の規模の大阪都市圏の2倍以上の大きさを持つことから、最適規模を越えているとの結論が導かれる。たとえば、地価総額・ピグー補助金総額比率を120とするならば、東京都市圏では地価総額からピグー補助金総額を引いた差額は約15,000億円となり、大阪都市圏では約3,500億円になる。東京都市圏も大阪都市圏も過大になるが、東京都市圏は最適規模を遙かに越えて過大となり、大阪都市圏を東京都市圏の大きさまで引き上げるのが望ましくなる。

なお、京都、広島、浜松の各都市圏は地価総額・ピグー補助金総額比率がかなり高くなっている。これは、地形的な要因によるものと解釈でき、たとえば京都都市圏は盆地で、平野にある都市圏と比べれば、都市を物理的に拡張させ

⁹ 都道府県地価調査の1984年データが欠落する場合は、1985年データのみを用いる。

¹⁰ ピグー補助金総額は、人口100万人以上の都市圏を対象にして推定した総生産関数に基づいている。

表5 地価総額とピグー補助金総額

Cobb-Douglas 生産関数

IMA	地価 (10億円) (a)	ピグー補助 金 (10億円) (b)	(a) (b)	人口 (1985)
東京	1,031,422	7,134	144.6	31,883,659
大阪	402,241	3,005	133.9	14,463,666
名古屋	241,461	1,791	134.9	7,406,962
京都	121,256	569	212.9	3,203,076
札幌	33,703	336	100.4	2,110,113
広島	59,898	355	168.6	1,988,186
福岡	34,730	351	99.0	1,928,487
北九州	46,798	335	139.8	1,848,793
仙台	25,804	170	152.2	1,579,968
前橋	45,055	259	174.1	1,545,802
四日市	29,884	267	111.9	1,472,053
岡山	40,196	302	133.0	1,462,123
久留米	21,651	220	98.3	1,243,558
静岡	33,721	207	162.7	1,207,611
宇都宮	36,961	223	165.8	1,177,367
浜松	46,522	204	228.1	1,087,420
熊本	17,189	153	112.1	1,022,891
平均			145.4	

表6 地価総額とピグー補助金総額

修正 Cobb-Douglas 生産関数

IMA	地価 (10億円) (a)	ピグー補助 金 (10億円) (b)	(a) (b)	地価—社会資 本 (10億円) (c)	(c) (b)
東京	1,031,422	4,174	247.1	961,531	230.3
大阪	402,241	1,665	241.6	372,684	223.8
名古屋	241,461	951	253.9	225,992	237.7
京都	21,256	285	426.1	115,347	405.3
札幌	33,703	173	194.3	26,536	153.0
広島	59,898	178	336.7	54,762	307.9
福岡	34,730	172	202.0	30,711	178.6
北九州	46,798	164	285.5	43,014	262.4
仙台	25,804	82	314.0	22,485	273.6
前橋	45,055	125	360.1	41,769	333.8
四日市	29,884	129	231.9	26,770	207.7
岡山	40,196	149	269.9	36,293	243.7
久留米	21,651	107	203.1	18,700	175.4
静岡	33,721	98	343.0	31,223	317.6
宇都宮	36,961	106	348.5	34,403	324.4
浜松	46,522	96	482.9	44,204	458.8
熊本	17,189	73	237.1	14,999	206.9
平均			292.8		267.1

ることが困難で、地価が高くなっていると考えられる。

表6には社会資本を導入した修正コブダグラス生産関数(7)式の推定結果を示した。ここでは、集積の経済は小さく推計されているから、地価総額・ピグー補助金総額比率は大きくなる。社会資本を純粋私的財とみなすならば、この比率がヘンリー・ジョージ定理の最適都市規模からの乖離の指標となる。一方、社会資本を純粋公共財とみなすならば、地価総額から社会資本を差し引かなくてはならないが、表6の最終列に示したように(地価総額—社会資本総額)・ピグー補助金総額比率は地価総額・ピグー補助金総額比率と大きくは異ならない。表5の解釈と同様に、表6の2つの比率ともに、東京圏は突出

しておらず、これらの比率からは東京圏が過大だという証拠は見つからない。

4. 結論

本研究では、全国都市圏を対象に総生産関数の推計を行い、都市圏で集積の経済がどの程度出現しているかを明らかにし、これをもとに東京都市圏が過大であるかを検討した。以下では主要な結論を要約する。

都市圏の総生産関数に社会資本を導入しそれを単純なコブ・ダグラス型で特定化し推定したとき、社会資本のパラメータの推定値は統計的に有意でないが負の値をとった。このため、コブ・ダグラス型生産関数の推計では、社会資本を除外した。この生産関数の推計結果によれば、

集積の経済は、人口 20 万人以下の都市圏ではほとんど出現していないが、20 万人以上の都市圏では大きく出現する。とりわけ、人口が 20 万人から 40 万人の都市圏では、集積の経済が最も大きくなり、この規模の都市では、都市規模が 2 倍になると、生産性は 25% も増加する。また、人口規模 40 万人以上の 2 つの都市規模グループでは、都市規模が 2 倍になると生産性は 7% 増加する。

さらに、社会資本の効果を非線形で導入した修正コブ・ダグラス生産関数も推定した。このケースでは、社会資本の生産への貢献は正になったが、集積の経済は小さくなった。

これらの集積の経済の推定値をもとに、人口 100 万人以上の 17 の都市圏について、最適都市規模に関するヘンリー・ジョージ定理が成立しているかを検討した。全ての都市圏で、地価総額はピグー補助金総額よりもかなり大きくなっているが、両者の比率を取ると、東京都市圏は 17 の都市圏のほぼ平均に位置している。したがって、比率の比較では東京圏が過大であるとの仮説は支持されない。ただし、地価総額とピグー補助金総額の乖離の絶対額の比較においては、東京圏が抜きんでて大きく、東京圏が過大であると言える可能性も残されている。

この研究は、ヘンリー・ジョージ定理を用い都市の最適規模を実証的に検証する最初の試みであり、それだけに改良の余地は数多く残されている。今後の研究の発展の方向性をいくつかまとめておこう。

第 1 点は、ここでは地価総額を大胆な仮定に基づき推計しており、改善の余地がある。経済企画庁は、県レベルではあるが、民有地の地価総額を公表している。たとえば東京都の全てが東京都市圏に入っており、我々が推計した東京都の地価総額は経済企画庁のものと比較可能である。このように直接比較できるいくつかの県では、我々の推計値は経済企画庁の地価総額の

ほぼ 3 倍程度になっている。我々は道路や公園などの公有地も推計対象に含めており、経済企画庁のものを上回っても不思議はないが、都市圏の公有地比率は 3 割程度であり、経済企画庁データとの差の全てを、これに求めることはできない。都市圏の地価総額の推計は容易ではないが、新たな推計法を試みる価値はあろう。

次の改良点は総生産関数の特定化である。都市圏の総生産関数をコブ・ダグラス型で特定化したとき、社会資本のパラメータが負の値をとってしまうが、これは、生産額が少ない地域で、公共投資が相対的に潤沢に行われたことによる可能性が大きい。つまり、社会資本の生産効果を推定しようとしているにもかかわらず、同時方程式バイアスにより、社会資本の供給関数が推定されてしまったと見ることができる。なんらかの形で、生産効果のみを抽出する仕組みを生産関数の推定段階で工夫する余地がある。

第 3 の改良点は集積の経済の理論的基礎に関わるものである。この研究では集積の経済を技術的外部経済性に求めた。しかし、Kanemoto (1990) や Krugman (1991) で議論しているように、異質財モデルに輸送費用や通信費用などを組み合わせると、集積の経済の発生を説明できる。Kanemoto (1990) は、このようなモデルでは、一企業の立地決定はその企業の輸送・通信費用を変化させるだけでなく、取引関係にある企業の立地決定にも影響を及ぼすことを示している。つまり、企業の立地決定に関して外部効果が発生しており、これにより都心での企業の集中が不十分になるという市場の失敗がもたらされる。このような場合には、最適な都市規模を達成するためには、企業に対してピグー補助金を与えなくてはならない。また、異質財モデルでは、この問題に加えて、企業はプライス・テーカーとして行動しないので、価格体系に歪みが生じるという問題が存在する。したがって、価格体系の歪みを前提とした次善の最適化を考えな

ればならないが、このような次善の状況でのヘンリー・ジョージ定理の導出は、今後の課題である。

謝辞

本研究は、1996年3月まで電力中央研究所に在職した筑波大学の鈴木勉講師と、筆者らが共同で研究を行った成果をとりまとめたものである。鈴木講師には都市圏データの利用と都市圏地価総額の推計を主として担当していただいた。また、実証研究の各段階では、金本研究室の長尾重信、松田直己、安田誠、春井孝則の各氏に協力していただいた。本論文の下敷きとなった英語版は1996年1月に東京国際文化会館で開催された第9回 TCER-NBER-CEPR Trilateral Conference で報告したものである。討論者の高橋孝明講師と Jacques Thisse 教授および参加者の方々から有益なコメントを頂戴した。また、3月の京都大学都市経済学ワークショップにおいても同論文を報告したが、田淵隆俊教授からは洞察に富んだコメントを頂いた。さらに、その発展型である本論文を、1996年12月の応用地域学会大会で報告したが、討論者である鄭小平講師からいくつかの有益なコメントを頂くとともに、八田達夫教授よりヘンリー・ジョージ定理の実証研究の適用に関して、また山田浩之教授より都市圏の設定法と実証研究への適用に関するコメントを頂戴した。記して感謝することにした。

【参考文献】

- 金本良嗣(1989)、「都市規模の経済学」、『応用ミクロ経済学』(伊藤元重・西村和雄編)第5章、東京大学出版会、145-172。
 金本良嗣(1992)、「東京一極集中の経済学」『最適都市を考える』(宇沢弘文・堀内行蔵編)第4章、東京大学出版会、95-105。
 金本良嗣(1994)、「首都機能移転の効果」『東京一極集中の経済分析』(八田達夫編)第8章、日本経済新聞社、213-256。

- 川嶋辰彦(1982)、「都市化の将来」、『運輸と経済』、第42巻5号、1-14。
 大河原透(1995)、「東京圏の電力需給の諸問題」、『東京問題の経済学』(八田達夫・八代尚宏編)第4章、東京大学出版会、125-166。
 大河原透・松浦良紀・中馬正博(1985)、「地域経済データの開発 その1 製造業資本ストックと社会資本ストックの推計」、電力中央研究所研究報告 No. 585005。
 鈴木勉・竹内章悟(1994)、「全国圏域構造の分析 — 80年代の人口分布構造」、『電力経済研究』第33号、49-58。
 徳岡一幸 (1991)、「日本の大都市圏 — 1985年における S M E A の設定と都市化の動向」、『香川大学経済学部研究年報』、第30号、139-210。
 山田浩之・徳岡一幸 (1984)、「戦後の日本における都市化の分析 — 標準大都市雇用圏によるアプローチ」、『地域学研究』第14号、199-217。
 Arnott, R. and Stiglitz, J., (1979), "Aggregate Land Rents, Expenditure on Public Goods and Optimal City Size," *Quarterly Journal of Economics* 63, 471-500.
 Henderson, V., (1977), *Economic Theory and the Cities*, Academic Press.
 Kanemoto, Y., (1980), *Theories of Urban Externalities*, North-Holland.
 Kanemoto, Y., (1990), "Optimal Cities with Indivisibility in Production and Interactions between Firms," *Journal of Urban Economics* 27, 46-59.
 Kawashima, T., (1975), "Urban Agglomeration Economies in Manufacturing Industries," *Papers of Regional Science Association* 34, 157-175.
 Krugman, P., (1991), "Increasing Returns and Economic Geography," *Journal of Political Economy* 99, 483-499.
 Merriman, D., T. Ohkawara, and T. Suzuki (1995) "Excess Commuting in the Tokyo Metropolitan Area: Measurement and Policy Simulations", *Urban Studies*, 32, 69-85.
 Nakamura, R., (1985), "Agglomeration Economies in Urban Manufacturing Industries," *Journal of Urban Economics* 17, 108-124.
 Tabuchi, T., (1986), "Urban Agglomeration, Capital Augmenting Technology, and Labor Market Equilibrium," *Journal of Urban Economics* 20, 211-228.

かねもと よしつぐ
 東京大学 経済学部
 おおかわら とおる
 電力中央研究所 経済社会研究所

原子力発電新技術のライフサイクル分析

Life cycle analysis of advanced nuclear power generation technologies

キーワード：原子力発電、高速増殖炉、ライフサイクル分析、エネルギー収支、CO₂原単位

内山 洋司 横山 速一

本研究は、軽水炉と高速増殖炉について燃料の採掘から輸送、精製、それに発電と廃棄物の処理処分に至るすべてのプロセスを対象にライフサイクルにわたるエネルギー投入量とCO₂排出量を分析し、原子力発電の技術進歩による環境影響に関して次に示す改善効果を明らかにしたものである。

- ① 生産エネルギーと投入エネルギーの比で表わされるエネルギー収支は、軽水炉の場合、ウランの濃縮技術により最も大きな影響を受ける。ワンスルー方式の場合、ガス拡散法ではエネルギー収支は24であるのに対し遠心分離法では82にまで大きくなり、さらに燃焼度を30GWd/tから45GWd/tにまで高めると85に向上する。
- ② プルトニウムをリサイクルするプルサーマル方式のエネルギー収支は、ワンスルー方式と比較した場合、ガス拡散法では27と大きい、遠心分離法になると69と小さい。これは遠心分離法を燃料サイクルに取り入れるシステムでは、プルトニウム利用による濃縮ウランの節約効果よりも再処理などで燃料サイクルを複雑するほうがエネルギーの投入量が多くなるためである。
- ③ エネルギー収支を最も大きくする発電技術は高速増殖炉で、その値は106と火力や自然エネルギーを含めた発電方式の中で最も優れている。
- ④ 軽水炉のCO₂原単位は、ウラン濃縮をガス拡散法から遠心分離法にすることで半分以上にまで低減できる。高速増殖炉は、CO₂原単位をさらに小さくする効果がある。

1. はじめに
2. 原子力発電新技術
3. ライフサイクル分析
3. 1 エネルギー収支

3. 2 CO₂排出量
4. おわりに
- 参考文献

1. はじめに

大量の化石燃料消費は、酸性雨による森林被害やCO₂による地球温暖化の原因となっている。原子力発電はライフサイクルにわたるCO₂排出量が最も小さく¹⁾、温暖化への影響が最も小さい発電方式として注目されている。

現在、我が国の原子力発電では軽水炉の使用済み燃料を再処理してプルトニウムを取り出し、それを燃料として再利用するプルサーマル技術の実用化に向けて準備が進められている。濃縮ウランにしても、海外のガス拡散プラントで製造されたものだけでなく、国内で遠心分離法に

より生産されたものも少しずつ使われ始めている。またプルトニウムを高速増殖炉でリサイクル利用していくことはウラン資源の有効活用の観点から重要と考えられ研究開発が進められている。こういった新技術が、原子力発電のエネルギー収支とCO₂排出量にどのような影響を与えるかを調べることは興味あることである。

本研究は、我々が開発したライフサイクル分析手法^{1),2),3)}を用いて、上に述べた原子力発電の新技術が、ライフサイクルにわたるエネルギー収支とCO₂排出量の改善にどの程度まで寄与す

るかを明らかにしたものである。

2. 原子力発電技術

軽水炉の放射性廃棄物の発生量と燃料サイクル費の低減および運転サイクルの長期化を図るため、燃焼度¹を高める技術開発が進められている。既に現在までに取り出し平均燃焼度 39.5GWd/t の燃料が実用化しており、新たに 45GWd/t の燃料について実用化の準備が進んでいる。将来は、60GWd/t の高燃焼度の導入も計画されているが、本研究ではデータが入手できた 30GWd/t と 45GWd/t の燃焼度についてエネルギー収支と CO₂ 原単位を計算し比較した。

使用済燃料は再処理しない場合、そのまま地下深部の地層に直接処分することになる。このいわゆるワンス・スルー方式では、主に天然ウランの中に 0.7%しか存在しないウラン 235のみを利用することになる。その場合、ウランの資源量は可採年数で 40 年程度⁴⁾に過ぎない。

軽水炉では、燃焼した燃料中に燃え残りのウラン 235 とウラン 238 が転換して生成したプルトニウムが 2%弱ほど残っている。これらの核分裂性物質を再処理によって回収すれば、天然ウランの 99.3%を占めるウラン 238 をプルトニウムに換えて有効に利用できることになる。このプルスーマル方式よりウラン 238 をもっと効率的に利用する方法に高速増殖炉がある。もしその実用化が図れるとウラン資源の 60%がエネルギー源として利用できることになるといわれている。

表 1 に本研究でエネルギー収支と CO₂ 排出量の分析に取上げた原子力発電の新技術の検討プロセスを示す。検討した軽水炉は発電出力

1,000MW の沸騰水型軽水炉 (BWR) で、燃焼度 30GWd/t の炉特性は文献 1 の値を、燃焼度 45GWd/t の炉特性は文献 5 の値を採用した。

表 1 原子力新技術の分類

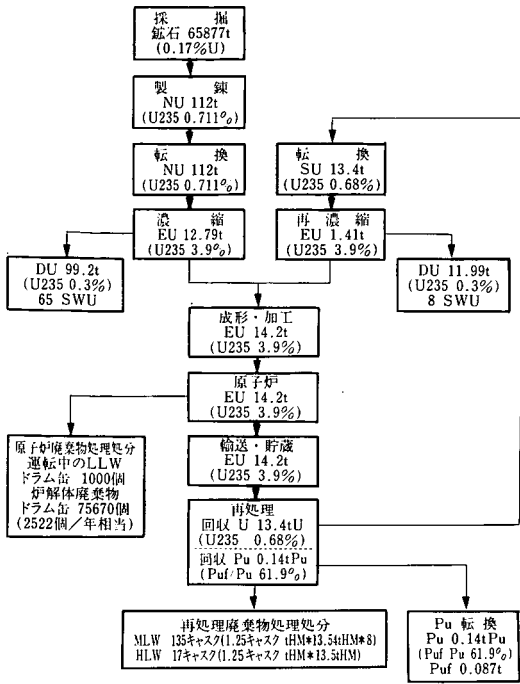
(発電出力：100 万 kW)

		設備利 用率[%]	燃焼度 [GWd/t]	燃料サイ クル	ウラン 濃縮法
軽 水 炉	在来型	75	30	ワンス・スルー	ガス拡散
	A	75	30	ワンス・スルー	遠心分離
	B	88	45	ワンス・スルー	遠心分離
	C	75	30	プルスーマル	ガス拡散
	D	75	30	プルスーマル	遠心分離
	E	88	45	プルスーマル	遠心分離
高速増殖炉		90	70	プルスーマル	なし

プルスーマルは、ウラン新燃料を炉心の 2/3 に、MOX (ウランプルトニウム混合酸化物) 燃料を炉心の 1/3 にウランを装荷する図 1 に示す方式を対象とした。プルトニウムは、使用済ウラン燃料の再処理で回収したものを使用し、MOX 燃料から回収されたものは使用しないものとした。

高速増殖炉は MOX 燃料を用いるループ型炉で、炉特性データと燃料サイクル諸量は文献 5 の値を引用した (図 2)。燃料の平均燃焼度は 70GWd/t、平衡装荷燃料を 11.75t/y (炉心：6.02、ブランケット：5.73)、年間設備利用率を 90% とした。炉心には、炉心燃料から回収されるプルトニウム 0.972t にブランケット燃料から回収されるプルトニウム 0.293t の一部 0.180t を混合して得られる調整プルトニウム 1.152t を燃料に加工して供給するものと仮定した。

¹ 燃焼度：単位重量の核燃料の燃焼によって取り出される熱出力をいう。原子炉の熱出力を Q [GW]、核燃料の炉内滞在時間を D [day]、核燃料の装荷量を M [ton] としたとき燃焼度 B [GWd/ton] は $B=QD/M$ で表される。



NU: 天然ウラン EU: 濃縮ウラン DU: 減損ウラン
 Puf: 核分裂性プルトニウム

(1) ウラン新燃料 (2/3 炉心)

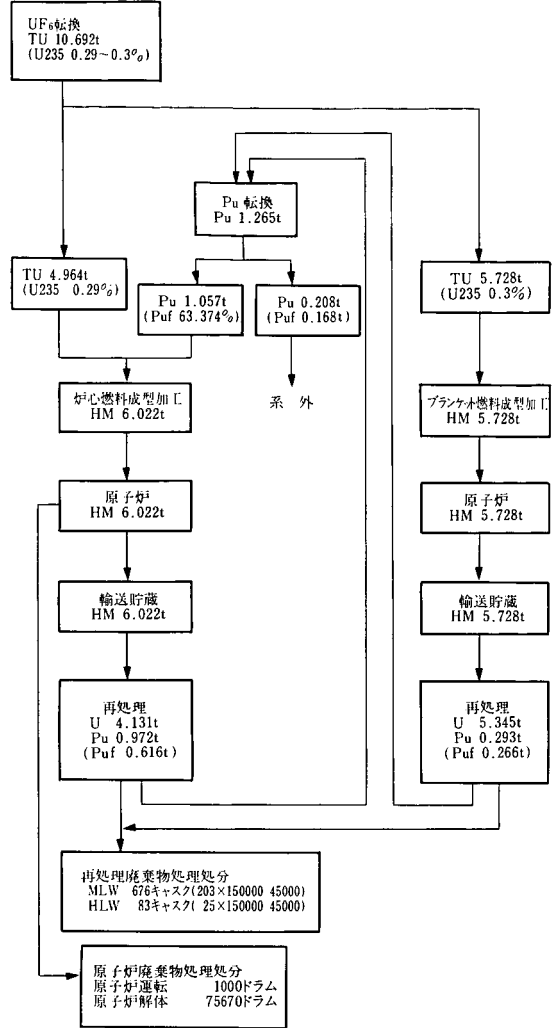
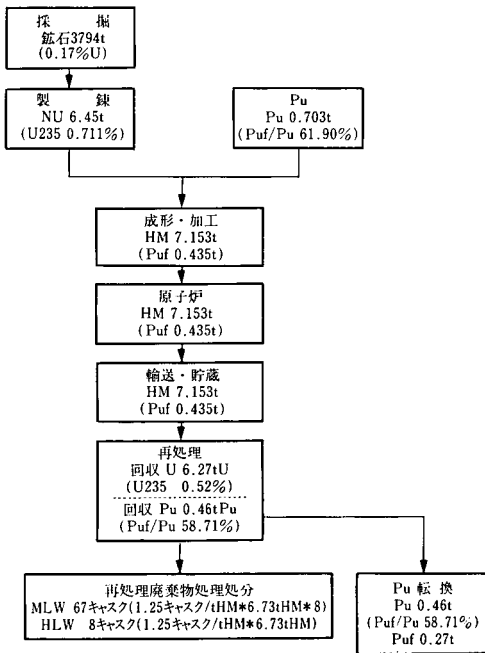


図2 高速増殖炉の燃料サイクル諸量



HM: 金属ウラン MLW: 中レベル放射性廃棄物
 HLW: 高レベル放射性廃棄物

(2) MOX 燃料 (1/3 炉心)

図1 プルサーマルの燃料サイクル諸量

高速増殖炉の廃炉は、軽水炉と同様に考えた。軽水炉の場合、建設に要する資材量 107.6 万トン（鉄：9.2 万トン、コンクリート：98.4 万トン）から、廃炉時に 54 万トンの廃棄物が発生する¹⁾。そのうち比放射能が $10^{-6} \mu Ci/g$ 以上の放射性廃棄物は 3.24 万トン（鉄：0.35 万トン、コンクリート：2.89 万トン）になり、それをキャスクに閉じ込めたときのドラム缶数は 75,670 本になる¹⁾。高速増殖炉を運転するときに発生する放射性廃棄物量は、低レベル廃棄物については軽水炉のドラム缶数 1,000 本/年に等しいと仮定し、中・高レベル廃棄物のドラム缶数については 759 本/年とした。

3. ライフサイクル分析

3.1 エネルギー収支

ある発電方式が電気エネルギーの生産手段になるためには、設備の建設や運転に要するエネルギー（投入エネルギー）が発電で生産するエネルギー（生産エネルギー）より小さいことが必要である。この投入エネルギーと生産エネルギーを比較する方法をエネルギー収支分析と呼んでいる。

発電方式のエネルギー収支分析は、1975年に英国のP.F. Chapmanが原子力発電について分析した事例⁶⁾が最初で、それ以降、1980年代初期までに数多くの分析事例が報告されている^{7),8),9),10),11)}。その後、研究は一時的に途絶えたが1990年代に入って発電方式の温暖化影響が問題になると、再び研究が行われるようになった。

エネルギー収支は、プラントの寿命期間における生産エネルギーを投入エネルギーで割った値（エネルギー収支比）である。最新データにより異なる発電方式について求めた結果によると、その値は水力発電が50と最も大きく、原子力、石油火力、石炭火力がそれぞれ24、21、17と続いており、希薄なエネルギーを利用する太陽光発電や波力発電は10以下の値である¹⁾。

エネルギー収支比が大きいプラントは、基本的にはエネルギー密度の高いエネルギーを利用する発電方式である。それらは少ない投入エネルギー（燃料を除く）で、大量の電気を生産できるものである。水力発電は雨や雪を利用して貯えた水の位置エネルギーを、地熱は地下のマグマ熱を利用している。火力発電は、エネルギー密度が高い化石燃料を、軽水炉は天然ウランに0.7%含まれる核分裂性物質であるウラン235を利用している。

原子力発電の投入エネルギーに占める割合が最も多いのはウラン濃縮の運転エネルギーで、

ガス拡散法の場合、その値は全投入エネルギーの81%にも達している²⁾。したがってウラン濃縮技術を運転エネルギーの消費が少ない遠心分離法に置き換えれば、エネルギー収支が大幅に改善すると期待できる。また軽水炉の高燃焼度技術や高速増殖炉も燃料所要量が少なく燃料サイクルの負担を軽減することから、エネルギー収支を向上する可能性がある。

図3は、こういった原子力発電の新技術によるエネルギー収支の改善効果について分析した結果を取りまとめたものである。分析によるとウラン濃縮のエネルギー消費を35%にまで削減する遠心分離法の採用は、ワンス・スルー方式の場合、エネルギー収支比を24から82にまで改善することがわかった。さらに燃焼度を高めることで、エネルギー収支比は85になる。

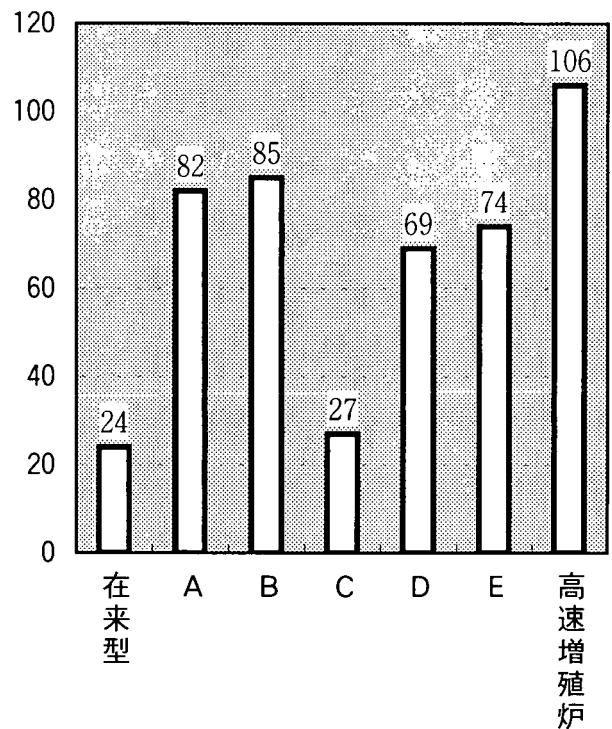


図3 原子力新技術のエネルギー収支比

プルサーマル方式の場合、エネルギー収支比を改善するかどうかはウラン濃縮技術によって異なる。ウラン濃縮技術を従来のガス拡散法にした場合、プルサーマル方式のエネルギー収支比は 27 とワンス・スルー方式の 24 よりも大きくなるが、遠心分離法では 69 とワンス・スルー方式の 82 よりも小さくなる。これは、濃縮技術の進歩に伴って、プルサーマル方式の濃縮エネルギー節約効果が小さくなり、再処理など燃料サイクルが複雑になるために余分に消費するエネルギー量を相殺できなくなるからである。濃縮に遠心分離法を用いた燃料サイクルで、プルサーマル方式のエネルギー収支比をワンス・スルー方式よりも優れたものにするためには、MOX 燃料の比率をもっと高めるか、さもなければ再処理のエネルギー消費を低減する新しい技術開発が必要になる。そういった技術進歩が達成されなければ、プルサーマル方式はウラン資源の有効利用が図れることがあっても、エネルギー収支比を改善することにはならない。

高速増殖炉は、ウランの濃縮プロセスを要しない他に、軽水炉に比べて炉内の燃料装荷量が少ないなど燃料サイクルへの負担を小さくする特徴を有している。これはエネルギー収支を向上する効果があり、今回の分析でその値は 106 と大幅に高まることになった。この値は、これまで検討してきた各種発電方式のエネルギー収支比の中で最も大きな値であり、高速増殖炉が電力の生産効率の点で最も優れたプラントであることを示している。

3.2 CO₂ 排出量

エネルギー収支分析は、燃料の採掘から搬入、発電、廃棄物の処理処分に至るすべてのプロセスについて“ゆりかごから墓場まで”のライフサイクルについて投入エネルギーを調べる手法であるため、それらの種類と量から CO₂ 排出量を求めることができる。

発電方式の CO₂ 排出量は、各プロセスの建設と運用のために消費した資材およびエネルギーの種類と量をライフサイクルにおいて求めれば計算できる。ライフサイクルでの CO₂ 排出量には、各プロセスの建設と運用から発生する CO₂ の他に、発電時の化石燃料から発生する CO₂ 量、燃料採掘時に漏洩するメタンガスを CO₂ 量に換算した値、粗天然ガス中の CO₂ 量、セメント製造時の CO₂ 量が含まれる。発電容量が異なる発電方式の CO₂ 排出量は、ライフサイクルに発生する CO₂ 排出量を、その間に発電した発電量(送電端)で割って得られる kWh の値、いわゆる CO₂ 原単位を求めることで比較できる。

原子力発電は、発電時に燃料から CO₂ を排出しない分、温暖化影響が小さく、その値は LNG 火力の 1/30 である¹⁾。原子力発電は、燃料サイクルが複雑で、それぞれのプラント建設に多くの資材とエネルギーが必要になり、間接的に CO₂ を排出している。しかしそれらを耐用期間で平均し、かつ発電所 1 基分相当にして CO₂ 排出量を求めると、その値はライフサイクルにわたる排出量の 5% 程度である。原子力発電の CO₂ 排出量の大半は運用時で、特にウラン濃縮時の排出量が極めて大きい。

本研究では、3.1 のエネルギー収支分析をもとに、原子力発電の新技术について CO₂ 原単位を求めた。図 4 はその計算結果で、検討した新技术は、エネルギー収支を改善するだけでなく、ライフサイクルにわたる CO₂ 排出量も削減することがわかる。すなわち CO₂ 原単位は、プルサーマルにより 5.3g-C/kWh、それにウランの濃縮を遠心分離法に転換することで 2.78g-C/kWh、さらに燃焼度を向上することで 2.5g-C/kWh にまで小さくなる。また、高速増殖炉になると、CO₂ 原単位は 2.2g-C/kWh と発電方式の中で最も小さな値になることがわかる。

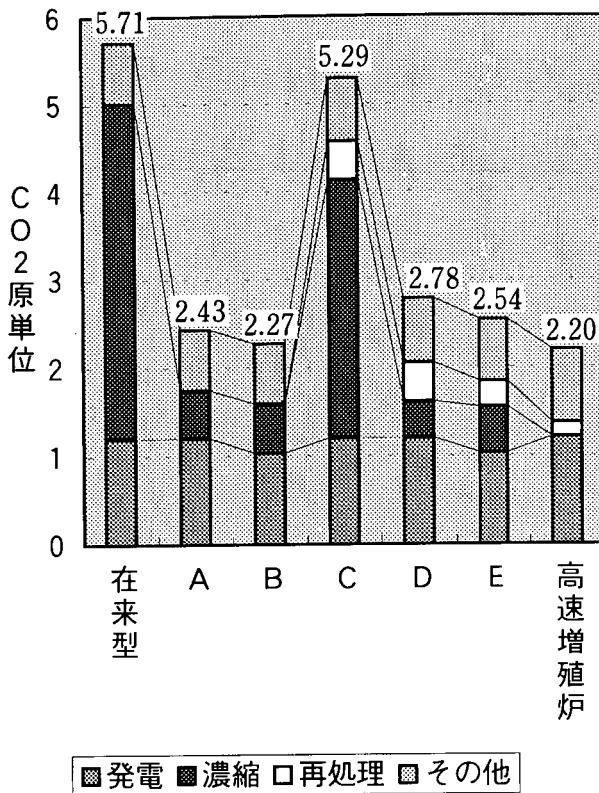


図4 原子力発電の新技術によるCO₂排出量

4. おわりに

今回のライフサイクル分析により、わが国で導入が計画されている原子力発電の新技術は、基本的にはエネルギー収支を向上し、CO₂ 排出量を抑制する技術であることが定量的に明らかになった。しかし、プルサーマルについては、ウラン濃縮技術が遠心分離法に転換されるとエネルギー収支比は悪くなる。この場合、プルサーマルのエネルギー収支比をワンス・スルー並に向上するには、MOX 燃料の比率増加や高効率の再処理技術といった新たな技術開発が必要になる。

高速増殖炉は、ウラン濃縮過程を必要とせず、燃料の単位質量あたりの発生エネルギーを大きくする利点がある。その特長は、今回の分析により得られたエネルギー収支比が最も大きくかつCO₂原単位が最も小さいという結果からもわかる。もし安全性と経済性が確保でき、さらに立地が受け入れられるならば、高速増殖炉は地球温暖化への影響が最も小さい電源として大きな役割を果たすことになる。

【参考文献】

- [1] 内山洋司(1995),「発電プラントのライフサイクル分析」,電力中央研究所報告 Y94009。
- [2] 内山洋司、山本博巳(1991),「発電プラントのエネルギー収支分析」,電力中央研究所報告 Y90015。
- [3] 内山洋司、山本博巳(1991),「発電プラントの温暖化影響分析」,電力中央研究所報告(Y91005)。
- [4] OECD-NEA and IAEA(1995),”URANIUM: Resources, Production and Demand”
- [5] 米田文重(1994),「我が国における FBR 導入のシナリオ」,原子力工業、40 巻,9 号。
- [6] P.F. Chapman and L. Brookes(1975),”Energy Analysis of Nuclear Power”, Energy Policy, Vol.3, No.4
- [7] U.S. Energy R&D Administration(1976), ”Net Energy Analysis of Nuclear Power Production in a National Plan for Energy Research Development & Demonstration”
- [8] Oak Ridge Associated Universities/Institute for Energy Analysis(1977),”The Energy Embodied inGoods”,Oak Ridge.
- [9] R.A. Herendeen and R.L. Plant(1981),”Energy Analysis of Four Geothermal Technologies”, Energy, Vol.6.
- [10] 政策科学研究所報告書(1977), 「エネルギー利用構造とエネルギー収支に関する調査」 茅陽一編(1980), 「エネルギー・アナリシス」 電力新報社

(うちやま ようじ
電力中央研究所 経済社会研究所
よこやま はやいち
電力中央研究所 柏江研究所)

DSM プログラムの効果評価手法

Methods for the Evaluation of Demand-Side Management Programs

キーワード：DSM、費用対効果、エンドユースアプローチ、米国電気事業

浅野 浩志

一般電気事業者は、設備投資を抑制するために負荷平準化を中心とするデマンドサイド・マネジメント(DSM)のより一層の推進を経営目標としている。電力市場における競争激化に伴い、DSM の費用効果性の評価もより厳密なものが求められる。これまで、主に計量経済学的手法により時間帯別料金制などの負荷移行効果が分析されてきた。計測通信技術の進展により我が国でもエンドユース実測が可能な状況になってきた。本調査では、DSM プログラムの費用効果性を評価する3つの手法、すなわち、工学的推定手法、エンドユース実測、計量経済学的手法をとりあげ、米国の分析事例をもとに各種手法の特徴と問題点を明らかにする。最後に我が国での実データへの適用可能性を検討する。

- はじめに
- DSM の評価手法
 - DSM 評価の問題点
 - 工学的推定手法
 - 現地調査
 - エンドユース実測
 - 計量経済学的手法
 - 各種評価手法の問題点
- 米国の評価事例
 - 工学的推定手法と現地調査の評価精度
 - エンドユース実測の評価精度
 - 計量経済学的手法の評価精度
 - 適用された評価手法
 - データ収集コストと推定精度
- 日本のデータへの適用可能性

1. はじめに

我が国の電気事業において、負荷平準化を目的としたデマンドサイド・マネジメント(DSM)は、需給運用の不可欠な要素となりつつある。さらに、最近では地球温暖化防止のための炭酸ガス排出抑制という社会的に意義の大きい省エネルギーを目的とする DSM も視野に入れる必要がでてきた。

DSM を実現する技術・プログラムはその対象需要によってさまざまであり、電力会社規模でみた場合、どの DSM プログラムから優先的に適用していくべきか明確な評価基準が求められる。我が国の DSM 拡大にあたって、地域の実状に即したきめ細かな需要ニーズに適合して DSM プログラムを設計し、実施していくための

データベースやツールが十分に整備されているとは言えない。例えば、家庭用エアコンの普及状況や使い方は、その地域のライフスタイルや気候特性を反映してかなり異なる。このようなマーケット・セグメント毎に機器の組み合わせを考慮して、需要方策を設計するためには、エンドユース(最終需要レベル、機器レベル)で需要を把握する必要がある。DSM で先行する米国では、エンドユース・モデルと呼ばれる負荷分析ソフトウェアが広く電気事業で使われている(浅野、他 (1996))。

また、今後、電気事業自身が負荷平準化に寄与する電力利用技術を開発していく中で、研究開発の優先順位をつける上でも、実際の市場に導入された場合の費用効果性を事前評価することが求められる。

これまで、主に計量経済学的手法により時間帯別料金制などの負荷移行効果が分析されてきた(松川(1995))。計測通信技術の進展により我が国でもエンドユース実測が可能な状況になってきた。本調査では、DSM プログラムの費用効果性を評価する3つの手法、すなわち、工学的推定手法、エンドユース実測、計量経済学的手法をとりあげ、米国の分析事例をもとに各種手法の特徴と問題点を明らかにする。最後に、エンドユース・アプローチによる我が国実データへの適用可能性を検討する。

2. DSM の評価手法

2.1 DSM 評価の問題点

米国では1985年以降、エネルギー価格が低下したため、DSMの効果が厳しく問われ始めた。また、伝統的な報酬率規制下ではDSMによる減収が電力会社の経営上、問題になった。そこで、州の規制当局によりDSMインセンティブが創設された。1989年から1993年の間、全米の主要な部分でDSMインセンティブが制度化された。電力会社が減収につながる省電力プログラムを積極的に推進するためには、規制当局がいかに効果的かつ公平なインセンティブを与えるかにかかっている。これは、これまでの総括原価主義を抜本的に変更する制度改革であるため、重要な論点となった。インセンティブを与えるためには、より厳密な効果測定を必要とし、これは大きなコスト増加要因となっている。ここでDSMの効果は、最大電力の抑制と年間省電力量として計測される。評価にかかわる主な論点は、以下の通りである。

- ・ DSM プログラム選択の際に費用効果性をどのように定量化するのか。
- ・ DSM プログラムに帰着すべき減収の大きさをいかに計測し、補償するか。
- ・ DSM 実行のためにどれだけの予算が必要かつ、費用効果的か。

・ 電力会社が主張する費用節減額を規制当局がどう評価するのか。

これらの問いに答えるため、電気事業、EPRI、DOE 傘下国立研究所などで活発な研究調査がなされた。米国において大規模に DSM プログラムが適用されて、効果を計測できるだけの期間が経過したため、プログラムコストや省電力量など DSM プログラム評価のための基礎データが連邦のデータベースとして構築された。

供給側オプション(電源選択)と同様に、DSMにもその効果に不確実性があり、DSM 特有のものとして、以下が挙げられる。

- ・ 効果の有効期間
- ・ フリーライダー(ただ乗り)効果
- ・ 実際の需要削減(kW 効果および kWh 効果)

DSM プログラムの費用効果性を評価するには、工学的推定手法(追跡データベース推定)、エンドユース実測、料金請求書に基づく計量経済学的手法(billing analysis)、およびそれら手法の組合せが用いられる。従来は、工学的推定手法など単一の方法に依存する傾向があったが、現在は統計的モデルに工学的推定値を入力するなど統合した手法を用いることが一般的になりつつある。

評価手法の別の分類としては、使用するデータの性質から、ボトムアップ法とトップダウン法というものがある(Sonnenblick and Eto(1995))。ボトムアップ評価法は、電力会社の追跡調査、DSM プログラム参加者の現地調査、エンドユース実測から省電力量を推定する。ここで機器レベルのデータを収集し、建物レベルの効果や電力会社大での効果へ集計するため、積み上げ方式(ボトムアップ評価法)と呼ぶ。さらにボトムアップ評価法は、工学的推定、現地調査推定、実測方法の3つのカテゴリーに分類できる。工学的推定は、電力会社の DSM 用機器設置のデータベースと製造者推定効率および製品寿命を用いる。現地調査推定は、エネルギー診断員(電

力会社から派遣)が機器の設置・運用状況を確認し、需要家との面接を通じて電力会社のデータベースを修正する方法である。実測方法は、文字どおり需要家サイトに設置された機器の電力消費量を計測する。一方、トップダウン評価法は、毎月あるいは年間の電力消費量(料金請求票)と計量経済学的手法を用いる。

全てのボトムアップ評価法に共通に必要な情報は、次式の右辺の3項である。

$$\text{総省電力量 [kWh/年]} = \text{設置数} * \text{削減電力 [kW]} * \text{稼働時間} \quad (1)$$

幾つかの電力会社の実プログラム(業務用照明改善プログラム)の結果によると、稼働時間推定の誤差が最大の要因となる。レポートの応募あるいはエネルギー診断には需要家自身が設備の稼働時間を自己申告するのが通例である。同時に電力会社は、このデータをチェックするため、稼働時間を実測している(ニューイングランド電力(NEES)やパシフィック・ガス&電力など(PG&E))。これらの電力会社の 21~189 件の需要家サンプルで、実測した稼働時間は、自己申告した値の 70~85%であり、需要家は過大申告する傾向があることがわかった。省電力プログラムには一般にリバウンド効果(テークバック効果)と呼ばれる省電力量の減少が見られる。これは、省電力により需要家の電気料金が減少するため、快適性など電力使用の効用水準を上げてしまい、省電力効果の一部が相殺されることを指す。業務用照明改善プログラムの場合にはリバウンド効果観測されなかった。

2.2 工学的推定手法

工学的なアプローチは、需要機器およびシステム性能特性および DSM プログラムにより設置された機器の運用特性に関する情報を提供する。日本では蓄熱式空調システムによる負荷移行効果がわかりやすい例である(図1参照)。

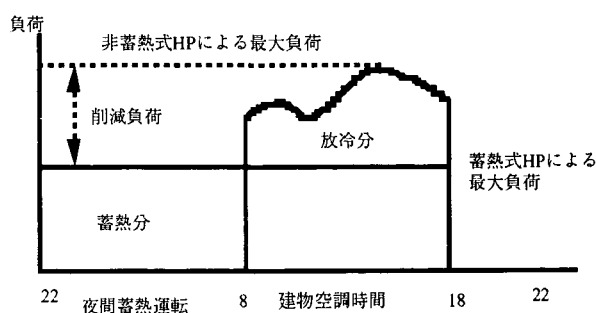


図1 夜間蓄熱運転によるピーク電力削減

工学的手法が適用された初期の段階では、電力消費の実績値(検針票)データと比べて、省電力量を過大評価する傾向がみられたが、その後、現地調査に基づく工学的推定を用いられるようになって、手法間の格差は縮小した。工学的推定手法の特徴は以下のように要約される(Hirst & Reed(1991))。

- ・工学的推定手法はプログラム効果の事前、進行中、事後の各段階の評価に用いることができる。しかし、工学的推定手法に用いる仮定および評価値は、統計的手法やエンドユース実測法など他の方法と比較する必要がある。一方、データの品質問題が起こりやすい統計的手法の検定に用いることができる。

- ・統計的手法や実測に比べると費用がかからないため、費用効果が高い(具体的な費用の水準については後述)。

- ・毎月の検針票を用いる統計的手法ではできない時間帯別の効果を推定できる。したがって、統計的手法で時間帯別に効果を分割するときには、工学的推定手法を用いる。

- ・電力以外のガスや石油製品の消費量への影響を推定できる。

- ・統計的手法では需要家レベルの省電力量は推定できるが、パッケージ化した DSM プログラム(低流量シャワーヘッドと温水器断熱の組合せなど)の効果を個別機器の効果に分割できない。工学的推定手法では、効果を分離できる。

2.3 現地調査

電力会社の従業員または、委託業者による機器設置の点検(現地調査)は、需要家自身による報告(自己申告、工学的推定で用いられる)より正確と考えられている。また、現地調査では付随的な情報を直接需要家から得ることができる。スポット電力量計を用いた短時間の実測を伴うこともある。

2.4 エンドユース実測

エンドユース実測は、需要家建物内の回路毎あるいは機器毎に電力消費を直接計測する方法である。最も調査に費用を要するため、米国においてさえ研究報告例が少ない。費用がかかるため、サンプル数、計測対象機器、計測時間を十分確保することが難しい。そのため、代表性があるかどうかが大きな問題となる。ニューイングランド電力やパシフィックガス・電力によるサンプル数は、21~67 サイトであった。

現在、エンドユース実測に用いる技術の進展はきわめて早く、コストは大幅に低下している。記憶機能のない単相用電力消費計測機器は、計測精度によるが、\$200~1000 とされている(DeAlmedia & Vine(1994))。複数機器の消費電力や室温などのデジタル・アナログデータを処理する汎用データロガーは、モデム機能、記憶機能を内蔵し、コストは\$1500~3000(チャンネル数、メモリーにより異なる)。このデータロガーと組み合わせて用いる電力変換器(トランスジェーサ)は\$200~500。機器別実測には、需要家 1 軒当たり合計で\$5000~8000 程度必要になる。それでも日本よりコストは低い。

機器別実測(submetering)は、家庭用需要家に屋内の配線が嫌われるため、機器別実測なしで機器別負荷曲線に関する情報を提供する手法が非侵入型機器負荷計測システム(NIALMS)である。これは、需要家負荷の時間的变化と各機器の立上り時の有効電力と無効電力の特徴からどの機器が稼働したかを推定する。MIT と EPRI が過

去 10 年間、共同で開発してきた。1996 年 6 月から商品化され、Telog 社から発売された。機器コストは\$1200 で、解析用 PC とソフトウェアは、300 軒のサンプル用で\$15000 と見積もられる。機器別実測の約 1/4 程度のコストで済むが、精度は下がる。

将来、submetering、NIALMS とも双方向通信技術と組み合わせることにより、需要家の電力コスト削減を目的としたエネルギー管理システムの一部として組み込まれることが期待される。

2.5 計量経済学的手法

料金請求票、すなわち、月間使用量と支払い料金のデータを用いた分析モデルは多数ある。大きく分けると、比較モデルと回帰分析モデルの 2 種類がある。さらに比較モデルは次の 3 つの実験計画のタイプに分けられる。

- a) 単一グループ・事前事後比較計画
- b) 静学的グループ比較計画
- c) 2 集団(実験群と対照群)・事前事後比較計画

単一グループ・事前事後比較計画では、単一集団内で事前と事後の電力消費量を比較するか、事後について、参加者と非参加者の消費量を比較する「単純比較モデル」である。

静学的グループ比較計画は、DSM 導入後の参加者(実験群)と非参加者(対照群)の平均消費量を比較する。ここでは暗黙の内に事前の消費量については、参加者と非参加者で無差別であることが前提になる。気象や建物床面積、稼働時間などの要因について回帰分析を行う。

2 集団・事前事後比較計画は、実験群と対照群の事前と事後の電力消費量データを用いる。

具体的な評価式を使って、これらのモデルを紹介する。

(1) 消費データの時系列比較

単一集団内で事前と事後の電力消費量を比較する。気象など外生的な要因について正規化する必要がある。価格効果と AEEI(市場の自律的な省エネルギー)による消費量変化は調整できない。

$$\text{省電力量} = Q_P(t_0) - Q_P(t_1) \quad (2)$$

$Q_P(t_0)$ は、参加者の事前の消費量、 $Q_P(t_1)$ は、参加者の事後の消費量。

(2) 事後消費量のクロスセクション比較

DSM 導入後の参加者と非参加者の平均消費量を比較する静学的グループ比較計画に基づく。同一期間についてデータを収集するため、気象や価格要因の規格化に関する調整を回避できる。ただし、DSM 導入前については、参加者と非参加者の消費量は無差別であることを仮定している。

$$\text{省電力量} = Q_{NP}(t_1) - Q_P(t_1) \quad (3)$$

$Q_{NP}(t_1)$ は、非参加者の消費量、 $Q_P(t_1)$ は、参加者の消費量。

(3) 消費量のクロスセクションおよび時系列比較

2 集団・事前事後比較計画に基づくデータを用いる。非参加者の事前と事後の電力消費量データを含むため、非プログラム要因を除去できる。また、上記(2)に比べ、電力消費のトレンド項を除去できる。

$$\text{省電力量} = [Q_P(t_0) - Q_P(t_1)] - [Q_{NP}(t_0) - Q_{NP}(t_1)] \quad (4)$$

(4) 時系列回帰分析

参加者の電力消費変化を需要家属性や建物構造データで回帰分析する。具体的な説明変数としては、建物床面積 *sqft*、稼働時間 *hours*、冷房度日 *cdd*、ダミー変数(プログラムの事前と事後を表す) *prepost* を用いる。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 prepost + \varepsilon \quad (5)$$

このモデルの欠点は、自己選択バイアスとエネルギー価格効果を除去できないことである。自己選択バイアスとは、DSM プログラムに参加する際の省エネルギーに対する関心度など定量化が困難な要因による電力消費量の変化を指す。

(5)式では誤差項として扱うしかない。また、非参加者データが得られる場合には、(5)式の β_4 が自律的な消費電力量変化を表し、参加者デー

タに対するパラメータと比較することにより、エネルギー価格効果を除去することが可能となる。BPA(ボンネビル電力局)の評価事例では、非参加者との比較データがないため、プログラム効果を同定できなかった。特に測定対象とする末端需要が需要家全体の需要に比べて小さい場合には、非参加者データが不可欠であることがわかった。

(5) クロスセクション回帰分析

クロスセクションデータ、すなわち、参加者と非参加者双方のデータと参加・非参加を表すダミー変数 *participant* を用いる。しかし、フリーライダー効果を除去するのは難しい。フリーライダーを明示的に考慮するには、需要家の DSM プログラム選択確率を表すロジットモデルを組み込む必要がある。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 participant + \varepsilon \quad (6)$$

(6) クロスセクション・時系列回帰分析

2 集団・事前事後比較計画に基づき、参加者と非参加者それぞれ独立に回帰分析を行う。その推定結果の平均値を用いて、プログラムの効果を計算する。これと同様のことを、2 集団・事前事後のデータをプールしたデータに対して単一の回帰式を適用する。

$$kWh = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 prepost \times participant + \varepsilon \quad (7)$$

(7) SAE(統計的調整済み工学推定)分析

省電力量推定に際して、DSM 導入の事前か事後か、あるいは参加したか否かのダミー変数を用いる代わりに、省電力量の工学的推定値 *Savings Estimate* を説明変数に加える(Train(1992))。また、SAE モデルには、前期の電力消費量などラグ付説明変数に加えられる。

$$kWh_{t=1} = \alpha + \beta_1 sqft + \beta_2 hours + \beta_3 cdd + \beta_4 (SavingsEstimate) + \beta_5 kWh_{t=0} + \varepsilon \quad (8)$$

パラメータ β_4 は、省電力量に関する工学的推定値に対する料金データから検証される推定値の実現率を表す。

表1に実際の電力会社により用いられたトップダウン評価手法とモデルの概要を示す。参加者データのサンプル数は、54～1123件。いずれも短期の効果を分析している。プログラムそのものと評価手法が新しいため、長期の効果を分析するためには、同様の分析を繰り返す必要がある。シアトル市電灯は最長3年間の消費量変

化を調査し、省電力量が2年後には95%、3年後には88%と、年を追って減衰する様子を示した。この変化は、需要家による省エネルギー機器の廃棄だけではなく、設置機器の維持管理の不備や非参加者の機器効率改善による。電力会社が想定している市場での機器寿命は電力会社により長短があり、最短5年間、最長18年間で10～15年が多い。

表1 料金請求データに基づく評価手法の実例

電力会社	適用モデル	対象郡	サンプル規模 (参加者総数)	注(使用データ期間等)
ポストン・エジソン	消費量のクロスセクションおよび時系列比較	比較可能な非参加者 5826件	参加者772件 (919)	事前12ヶ月、事後6ヶ月。需要家規模と季節別使用量で10層化。
中央ハドソン・ガス & 電力	SAE	比較可能な非参加者 116件	参加者54件 (606)	事前・事後とも4～5ヶ月。需要家サーベイによる稼働時間推定。
コン・エジソン	SAE	比較可能な非参加者 件数不明	参加者件数不明 (2276)	事前・事後とも4ヶ月。需要家サーベイによる稼働時間推定。
ニューイングランド電力(1)	SAE	比較可能な非参加者 611件	参加者369件 (4114)	事前・事後とも12ヶ月。
ニューイングランド電力(2)	消費データの時系列比較：非参加者データ調整済み	比較可能な非参加者 698件	参加者831件 (2494)	事前・事後とも12ヶ月。
ノースイースト・公益事業	SAE	比較可能な非参加者 1271件	参加者1123件 (5967)	事前、事後とも5ヶ月。需要家規模で7層化。気象要因は調整済み
ポトマック電力	クロスセクション・時系列回帰分析	比較可能な非参加者 1452件	参加者341件 (345)	事前、事後とも12ヶ月。需要家規模で4層化。気象要因は調整済み
シアトル市電灯	消費量のクロスセクションおよび時系列比較	比較可能な非参加者 229件	参加者118件 (128)	事前12ヶ月、事後12～36ヶ月。
パシフィック・ガス & 電力	SAE	比較可能な非参加者 370件	参加者724件 (6432)	事前・事後とも12ヶ月。
サンディエゴ・ガス & 電力	条件付需要分析(CDA)	なし	参加者181件 (789)	事前・事後とも12ヶ月。エンドユース実測に基づくモデル修正

出所：Sonnenblich and Eto(1995).Table2-3に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

表2 年間省電力量評価手法の問題点

評価手法	考慮できる効果	精度の制約要因	推定バイアスの原因	推定誤差の原因
工学的推定手法	他の手法との比較の基準とする	従来機器、使用パターン、DSM機器設置の確認、メーカー効率、需要家行動に関する想定。	従来機器とプログラム対象機器の効率および稼働時間の過大評価あるいは過小評価。	推定誤差は未評価
現地調査	設置前調査による従来機器。エネルギー診断による省エネ機器の稼働時間	使用パターンの単純化、需要家サイトにおける機器消費量の確認	エネルギー診断員による効率および稼働時間の過大評価あるいは過小評価	推定誤差は未評価
エンドユース実測	事前・事後計測による機器使用量の変化	サンプルの代表性、短い計測時間、対照郡のないこと。	機器使用の季節変化。照明と冷暖房負荷の相互作用。サンプルの代表性	短い計測時間。サンプルからの外挿。
計量経済学的手法	対照郡との比較による機器使用量、気象要因の変化	DSMプログラムの長所・短所の解釈が困難。プログラム導入後の1年分のデータが必要。	データおよび誤差項の正規分布仮定の妥当性	不適切なモデル選択。不十分なデータのばらつき。

出所：Sonnenblick and Eto(1995).Table2-3に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

2.6 各種評価手法の問題点

以上、ボトムアップ法とトップダウン法それぞれの特徴と問題点を述べてきた。効果推定上のバイアスや正確さの原因を表2に総括する。

3. 米国の評価事例

3.1 工学的推定手法と現地調査の評価精度

米国の DSM プログラムと需要家の実データを用いて、評価手法の精度を検証する。工学的推定手法、現地調査、エンドユース実測の全てのデータが利用可能な3つのDSMプログラム(ニューイングランド電力[NEES]社2件とノースイースト・公益事業[NU]社1件)から得られる75件の需要家データを用いた。年間省電力量の実現率は、3つのプログラムでそれぞれ、70、87、88%であり、工学的推定は一般的に過大評

価になることと一致している。

$$\text{実現率} = \frac{\text{エンドユース実測値}}{\text{工学的推定値}}$$

通常、実現率は、工学的推定値の評価に用いられるが、ここでは現地調査による推定値とも比較する。また、実現率を(1)式の各要素、すなわち、設置数、機器削減電力、稼働時間に分解する(表3)。設置数はやや過小評価であるものの、主要な誤差要因ではない。工学的推定法では、稼働時間の過大評価が最大の誤差要因であり、機器あたりの削減電力もかなり過大評価されている。工学的推定法のバイアスを減らすには、稼働時間を実測することである。このためには、オン・オフのみ計測するデータロガーを用いればよく、必ずしも高価な電力量計は必要としない。

現地調査は、工学的推定法と比べて推定値の平均が実測値に近いだけでなく、その分散も小さい。Sonnenblick and Eto(1995)によると、工

表3 実現率の要因分解

評価手法	実測サイト数	設置数	稼働時間		削減電力	
			工学的	現地調査	工学的	現地調査
NEES(1)	21	103%	92%	96%	93%	96%
NEES(2)	23	102%	80%	89%	86%	93%
NU	30	101%	89%	113%	97%	91%

出所：Sonnenblick and Eto(1995).Table3-2に基づき作成。業務用照明プログラムを対象。

学的推定法による実現率は 90%の信頼度区間で 70~86%であり、現地調査のそれは 82~93%である。

3.2 エンドユース実測の評価精度

エンドユース実測は、機器使用実態の最も詳細な情報を与えるが、大規模なサンプル数を収集するのに膨大なコストがかかるのが最大の難点である。エンドユース実測に伴う不確実性は、次の3点である。

- ・ サンプルの一般性
- ・ 計測期間
- ・ 照明と空調負荷の相互作用

実測サンプルは少数であるため、対象需要家全体を代表するわけではないため、全数を把握できる追跡データベースからの情報と組合して用いるのが一般的である。そこで、ある一定の信頼性で推定するためには、何件の実測サンプルが必要であるかが重要な問題となる。実際に3社のプロジェクトでは、母集団が1500~6000件に対してサンプルが16~36件という例がある。

また、照明器具のように建物内に多数設置されている場合、どの場所を実測するかによってバイアスが生じる。例えば、88件の業務用ビルを対象に実測した結果(SDG&E社)、ホールやロビーでは稼働時間を過小に、個室や会議室では過大に申告していた(Sonnenblick and Eto(1995))。これは、需要家による申告では、ゾーンにかかわらず同程度の稼働時間を報告する傾向があるためである。同一ビル内で計測器を設置しやすいところをサンプルに選ぶと稼働時間を約10%過大評価した例がある。この例から、計測器を設置しやすい需要家や場所のみをサンプルとして選ぶと計測のバイアスが生じることがわかる。

サンプル規模については従来から多くの検討例があるが、計測期間の長さについてはあまり注意を払われてこなかった。多くの評価研究では、稼働時間は年間を通して一定と仮定している。西海岸北部の Energy Edge プロジェクトで

は、29の業務用ビルの全ての照明電力を対象に最長4年間、実測した。休日を除いて、年平均に比べて、冬季の稼働時間は30分長く、夏季は30分短いことがわかった。

高効率照明器具はビルの冷暖房負荷にも大きな影響を与える。エンドユース実測プロジェクトでは、照明と冷暖房負荷を同時に計測することは少ない。一般のビルでは、冷房電力負荷を削減し、暖房に電力を使うことは希であるため電力負荷は変化しない(日本では業務用電力契約のビルでは、約3割で電力を、低圧電力契約の小規模ビルではそれ以上の割合で電力を暖房用としている)。この過小評価のバイアスを修正するため、追加的な省電力効果として5~15%を線形に上乘せするのが一般的である。ビルエネルギー解析ソフトウェア「DOE2-1」を使ったシミュレーションによると、床面積3600m²以下の小規模ビルでは、相互作用は20%のオーダー、床面積3600m²以上の大規模ビルでは、10%のオーダーを示唆している。

計測期間を長くすることや照明と空調負荷の相互作用を需要家毎に考慮することにより、実測による効果推定の不確実性を20%程度削減できる。

3.3 計量経済学的手法の評価精度

料金請求票データを用いた回帰分析は最も多用される評価手法であるが、省電力量の実測値が同時に利用可能でないため、その精度を分析することは不可能である。2.5節で紹介した多種のモデルの中でも、一般的なSAEモデルの信頼性は、省電力量の工学的推定値の質に大きく依存することがわかった。NEES社のプログラムから実際に得られる工学的推定値の標準偏差は40%、現地調査でさえ20%の誤差がある。この不確実性を前提とする限り、SAE法は単純な回帰モデル以下のパフォーマンスしか得られない。したがって、SAE法が有効なのは、工学的推定値が十分な精度をもっているときのみである。

また、NU社のプログラム分析からは、SAE法による省電力量は、実績値の50~70%にとどまっている(Sonnenblick and Eto(1995))。

適度なコスト負担で精度を上げるには、クロスセクション・時系列回帰分析が有効である。非参加者データを含むことで、推定値の分散を1/3に減らすことができる(DSMプログラムによる省電力量が需要全体の4%程度の場合)。非参加者データを追加することは、実測に比べてはるかに低コストである。

米国では、機器に対するリポートプログラムと季時別料金など複数のDSMプログラムが同時に適用される場合がある。このとき、DSMプログラム間の干渉をどのように除去するかは、計量経済学的手法によっても理論的には可能であるが、実際には各プログラムのみに参加している需要家などコントロールされたサンプルを集めるなど、データ側で工夫する。また、この問題より以前にフリーライダー効果の除去などが課題となっている。

3.4 適用された評価手法

実際の電力会社は、トップダウン法、ボトムアップ法のいずれかあるいは両者を採用している。Eto, J. et al.(1995)は、23電力会社の40件のDSMプログラムを対象に費用効果性を調査した。電力会社が用いた年間省電力量の推定手法を表4に示す。全ての電力会社は、DSMプログラム用追跡データベースを持っている。また、その信頼性を向上させるため、殆どの電力会社は工学的推定を補完する現地調査などを行っている。機器の設置状況(設置数など)は、40件中35件のプログラムで現地で確認している。稼働時間は、最大の誤差要因であるが、現地調査(半数)と需要家による自己申告(18件)が一般的で、実測は少ない。標準化されたエンドユース別の稼働時間に依存している評価例が6件あり、信頼性に問題がある。料金請求票データに基づく計量分析ではSAE法が最もよく使われている。

エンドユース実測法は最も信頼度の高い評価手法であるが、費用がかかるため、サンプル数は、母集団の1%以下から最大12%にとどまる。計測期間も2~4週間と短い。

表4 適用された評価手法

評価手法	適用プログラム数(%)
設置機器の確認	
現地調査：サンプル	17(43%)
現地調査：全数	18(45%)
自己申告：サンプル	4(10%)
自己申告：全数	2(5%)
稼働時間	
現地調査：サンプル	17(43%)
現地調査：全数	3(8%)
自己申告：サンプル	9(23%)
自己申告：全数	9(23%)
既往研究から転用	6(15%)
料金データ分析(計量分析)	
事前・事後比較	1(3%)
対照郡を含む比較モデル	3(8%)
対照郡を含む回帰モデル	3(8%)
対照郡を含むSAE回帰モデル	12(30%)
エンドユース実測	11(28%)

出所：Eto, J. et al.(1995), Table5-1

3.5 データ収集コストと推定精度

現実に日本の電力会社が、負荷サーベイを行うためには、そのためのコストがいくらかかるかが最大の関心事である。参考のために米国のデータ収集コストを要約する。DSMコンサルタントから聞き取り調査によると、工学的推定法の分析コストは需要家あたり\$25、通常の現地調査のデータ収集コストと分析コストは、それぞれ\$300~750、合計で\$600~1500とされている。現実のコストは、需要家の建物規模や種類、設置機器、使用モニタリング機材によって変動する。スポット電力計測を伴う現地調査のコストは、収集と分析でそれぞれ\$700~750、合計で\$1400~1500必要とされる。スポット電力計は電流計測のためのトランスデューサであり、機器そのものは\$150~200であるが、設置費用は

サイト依存性が大きく、総設置費用は1チャンネル(エンドユース)あたり\$300~400である。因みに日本でこれと比較できる数字は、10万円のオーダーである。

照明器具のオン・オフを感知するデータ・ロガーによる稼働時間の計測には、需要家あたり\$1300~1500の費用がかかり、データ分析にも同額必要とされる。電力負荷・ロガー(load meter)によるデータ収集コストと分析コストは、それぞれ\$1300~4000、合計\$2600~8000とされている(Sonnenblick and Eto(1995))。

現地調査による DSM プログラム 1 件あたりの評価コストは、10万\$のオーダーである。

評価費用の実績値は、全米で、モニタリング(計測)費用込みで 7884 万\$(1994 年)であった(U.S. Energy Information Administration(1995))。これは、DSM の総費用 27 億\$(需要家負担費用を除く)の 2.9%に相当する。

4. 日本のデータへの適用可能性

電力会社各社は DSM の推進を経営計画に位置付けている。例えば、東京電力は、平成 8 年度のピーク電力シフト目標を 320 万 kW に設定しているが、これには需給調整契約(随時調整契約を除く)による効果は含まれているが、季時別料金制度等(表 5 参照)の効果は加味されていない。当所では家庭用の時間帯別電灯については昼夜間比率の変化を分析した(松川(1995))。今後は家庭用に加えて、業務用や産業用の季時別料

表 5 東京電力における季時別料金加入口数
(1996 年 7 月現在、電気新聞調べ)

契約	契約口数	導入時期
時間帯別電灯	52572	1990 年
業務用季時別料金	549	1996 年 1 月*
小口電力(高圧 A) 季時別料金	215	1996 年 4 月
大口電力季時別料金	996	1988 年

* 当初は 500kW 以上、1996 年 4 月から 500kW 未満にも適用。

金を対象に負荷移行効果を明らかにすることが求められる。

また、料金制に対する反応も、単に価格要因だけではなく、保有機器の使用状態まで考慮して分析すると、必要な DSM 技術開発の課題を提示できる。このためには、機器別使用実態の調査とエンドユース・モデルの活用が有効となる。機器別実測は、需要家への負担や計測・分析コストの面から少数サンプルの短期間のデータに限られる。このため、年間の省電力量やピークカット効果を推計する際に、本論で検討した各種手法が適用できる。また、ある地域の実測データを用いて、他地域での DSM プログラムへの反応を推定できる手法を開発することが望まれる。

【参考文献】

- [1] 浅野浩志、高橋雅仁、岩崎友彦、水地豊、筒見憲三、鴨志田晃：日本型エンドユース・モデルの概念構築、電力中央研究所・日本総合研究所共同研究報告:Y989601、1996 年 7 月
- [2] DeAlmedia, A.T. and E.L. Vine(1994), "Advanced Monitoring Technologies for the Evaluation of Demand-Side Management Programs", Energy, Vol. 19, No. 6, 661-678.
- [3] Eto, J., S. Kito, L. Shown, and R. Sonnenblick. (1995): "Where Did the Money Go? The Cost and Performance of the Largest Commercial Sector DSM Programs", LBL-38201, December, 1995
- [4] Hirst, E. and J. Reed (1991). "Handbook of Evaluation of Utility DSM Programs", ORNL/CON-336
- [5] 松川勇(1995): 「時間帯別料金の効果—わが国の家庭部門における実証分析—」、電力中央研究所研究報告: Y95003
- [6] Sonnenblick, R. and J. Eto (1995): "A Framework for Improving the Cost-Effectiveness of DSM Program Evaluations", LBL-37158, September 1995
- [7] 立石洋一(1994): DSM と電気料金規制、海外電力調査報告 No. 173、1994 年 6 月
- [8] Train, K.E. (1992): "An Assessment of the Accuracy of Statistically Adjusted Engineering Models of End-Use Load Curves", Energy, 17(7), pp. 713-723.
- [9] U.S. Energy Information Administration (1995): "U.S. Electric Utility Demand-Side Management 1994", DOE/EIA-0589(94), December 1995

(あさの ひろし

電力中央研究所 経済社会研究所)

技術代替を考慮した一般均衡の計算法

Computing Equilibrium in the General Leontief Model

キーワード: 一般レオンチェフ・モデル、一般均衡、産業連関分析、降下法

西村 一彦

本研究では、経済システムにおける各産業の技術代替の可能性を包含する一般レオンチェフ・モデルにおいて、均衡解を求める手法を提案する。この手法によれば、経済システムに新技術が導入されたり環境税などの制度的変化をもたらされた場合の構造変化を推定することが可能となり、特に技術評価のための新たな道具立てに貢献するものと考えられる。提案する手法は、技術的または制度的変化が導入された直後の経済システムの構造がホーキングズ・サイモン条件を満たす場合に適用できる。この場合に、一般レオンチェフ・モデルにおける各産業のコスト最小化行動による技術選択のくり返しという模索過程のシミュレーションが、均衡解をもたらすアルゴリズムとなることを示す。さらに、一般的な技術や制度の導入に関しても考察を行う。

- はじめに
- 一般レオンチェフ・モデル
- 効率的なコスト最小技術の選択
- 均衡探索アルゴリズム
 - アルゴリズムの収束性
 - 均衡技術構造の性質
 - 均衡解の唯一性
- 初期技術構造が H-S でない場合
 - 収束する初期値の存在
 - コブ・ダグラス型生産関数の場合
 - 数値実験
- おわりに

1. はじめに

新技術導入の意思決定を行う場合には、導入後の帰結を吟味することが必要である。社会全体の産業において採用されている生産技術が相互に依存している（ある産業で生産される財が他の産業の生産要素である）ことを考慮すると、新技術導入は経済システムの構成要素の変更と捉えられ、社会全体の生産性や、環境負担性に影響を及ぼすと考えられる。

サミュエルソン(1951)による一般レオンチェフ・モデル^[2] (General Leontief Model, GLM) における非代替定理は、様々な財の消費が社会全体の各産業の生産量や、環境負荷におよぼす影響を産業連関表を用いて定量的に明らかにすることを可能にしてきた^[6]。その一方で、産業での採用技術そのものの変更（この場合、

非代替定理は成立しない）に対するインパクトの評価手法は未だに確立していない。

例えば、電力産業で新たな発電技術を採用した場合、電力価格の変化をもたらすと考えられるが、これにより（例えば）製鉄産業は鉄の生産コストを最小化するために高炉よりも電気炉での生産を選択するかもしれない。さらにこのために鉄の価格も変化するということが繰り返され、同様の技術代替が経済システムの隅々にまで波及し、新たな構造をもたらすと考えられる。

同様の構造変化は環境税の導入などの制度的変更によってももたらされる。税導入などの帰結は、経済学における一般均衡の概念に基づいて研究されている。これらは主に、生産者と消費者が最適な生産技術や消費財を選択しあっている状態（一般均衡）を経済モデ

ルの中でシミュレートするものである。

これまで数多くの一般均衡モデル^{[4][8]}が開発されてきた。しかし、これらは主に、労働、資本、素材、エネルギーなどの大まかな生産要素間の代替性を、計量経済学的手法を用いてモデル化し、均衡解を求めている。しかし、このような実際の一般均衡モデルにおける産業の行動モデルは、統計データの不備や均衡計算アルゴリズムの複雑さなどの理由から、特に代替技術選択に関して非常に限定されざるを得ない。

一方、産業連関分析の流れでは、経済システムの最適構造（即ち最適な産業連関表）を、線形計画法を用いて導出する試みがなされてきた^[1]。理論的にはこの方法も、上述の一般均衡でもたらされる均衡技術と同値であることが示されている^[10]。しかし、この方法では線形計画プログラムに盛り込める代替技術の数が限定されるため、制約された条件のもとでの最適構造しか分析することができない。

これに対し本稿では、各産業によるアドホックな技術選択手続きのくり返し（模索過程）が、GLMの均衡に収束することを示すことにより、均衡技術の推定が可能であることを示唆する。従って、提案する均衡技術導出のためのアルゴリズムは、事前に全ての代替技術に関する情報を必要としない。尚、この技術選択手続きは、任意の価格に対し各産業はコスト最小化となる技術を選択し、さらに各産業はコスト自身を価格とする（完全競争を仮定）、というものである。

以下の議論のために、産業や政府による技術的、制度的変化の導入を「アクション」と定義しておく。これを用いれば、本稿の目的は、アクション後の均衡技術及び価格の導出方法の開発となる。2章では、一般レオンチェフモデルの概要を示し、このモデルにおける一般均衡解が、各産業の模索過程のシミュレーションを表

すコスト関数の不動点となり、しかもそれ自身が均衡探索アルゴリズムとなることを示す。3章では、このアルゴリズムを実行する際に必要な、産業のコスト最小技術選択の可能性を述べる。4章では、アクション直後の技術構造がホーキングズ・サイモン^[1]（H-S）条件を満たす場合に、均衡解が2章におけるアルゴリズムにより得られることを示す。5章では、アクション直後の技術構造がH-Sとならず、従って初期の経済システムが機能しない場合にも、上記のアルゴリズムが均衡解をもたらす初期値が存在することを述べる。また、生産関数がコブ・ダグラス型と仮定した場合には、このアルゴリズムが大域収束性を持つことを示し、併せて数値例も示す。

2. 一般レオンチェフモデル

経済システムのモデルであるGLMは次のような仮定により定義される。

- 1) 各産業は唯一つの財を生産する。
- 2) 根源的生産要素は、唯一つ（労働）である。
- 3) 各産業は収穫一定の生産関数を持つ。
- 4) 各産業は完全に競争的である。

今、産業の数 n のGLMを考え、各産業の生産関数が次のような一次同次の凹関数(C^1 級)に従うとする。

$$y_i = f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i,n+1}),$$

但し、 y_i = 産業 i の生産量、 x_{ij} = 産業 j から産業 i への投入量である。また、 $n+1$ 番目の産業は、財を消費し労働を供給する最終消費部門を表す。GLMの概要を図1に示す。

各財の物量収支から、

$$y_i = \sum_j x_{ji} + d_i,$$

但し、 d_i = 産業 i における生産財の消費量である。非代替定理では、GLMにおける均衡技術（投入産出係数） $a_{ij} = x_{ij}/y_i$ が、 d_i に無関係に一定

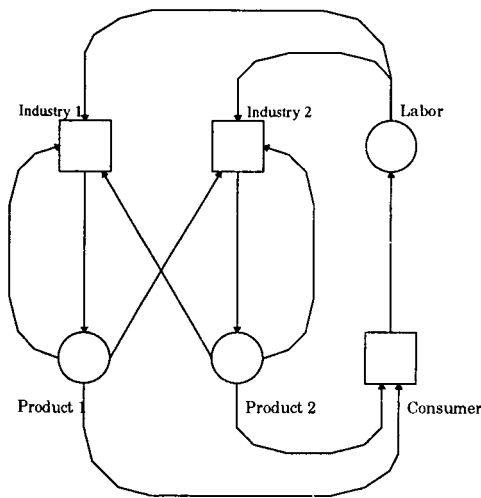


図1 一般レオンチェフモデル (2産業)

であることが示される。

しかし、いかなるアクションもこの均衡技術を変化させる可能性がある。産業 i でのコスト最小化行動は、任意の価格 $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ に対し、

$$\begin{aligned} \text{決定変数: } & x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}, x_{i,n+1}) \\ \text{最小化: } & h_i y_i = p_1 x_{i1} + p_2 x_{i2} + \dots + p_n x_{in} + x_{i,n+1} \\ \text{制約: } & y_i = f_i(x_i), \end{aligned}$$

という最適化問題に定式化される。但し、 h_i = 産業 i の単位生産財の最小コスト (平均コスト) である。またここでは、賃金を 1 に基準化している。

生産関数が 1 次同次であることを考慮すると、上記の最適化問題は次の問題と同値である。同じく任意の価格 p に対し、

$$\begin{aligned} \text{決定変数: } & a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}, a_{i,n+1}) \\ \text{最小化: } & h_i = p_1 a_{i1} + p_2 a_{i2} + \dots + p_n a_{in} + a_{i,n+1} \\ \text{制約: } & 1 = f_i(a_i) \end{aligned}$$

収穫一定の生産関数を持つ GLM では、このように生産量に無関係に選択技術及びそのコストが決定される。この様子は図 2 に描写されている。価格 (p'_1, p'_1) に直面している産業 i はその代替技術の中から最小コスト技術 (a'_{i1}, a'_{i2}) を選択する。以下では、このような各産業におけるコスト最小化行動を、 $h_i(p): R_+^n \rightarrow R_+^1$ というコス

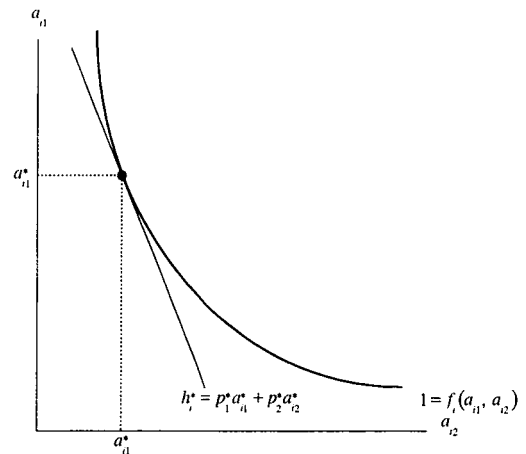


図2 コスト最小技術の選択

ト関数で表すことにする。

各産業が完全に競争的であることから、各産業において生産財に対して平均コストと同一の価格が設定される。従って、GLM における均衡価格は次のような連立方程式の解 (即ち不動点) として得られることになる。

$$\begin{aligned} p_1 &= h_1(p_1, p_2, \dots, p_n), \\ p_2 &= h_2(p_1, p_2, \dots, p_n), \\ &\vdots \\ p_n &= h_n(p_1, p_2, \dots, p_n), \end{aligned}$$

または単に、

$$p = h(p), \quad h: R_+^n \rightarrow R_+^n. \quad (1)$$

この関数 h は、 $p \in P \subset R_+^n$ を P 自身に写す写像と捉えることができる。従って、 h は(1)を解くためのアルゴリズムと見ることができる。

3. 効率的なコスト最小技術の選択

ここでは、コスト最小技術の効率的な選択の可能性について述べる。図 3 は、新たな価格 p'' に対して技術選択を行う産業 i を表している。この図から、この産業は採用技術 ABC に囲われた部分に属する代替技術に限定することができる。

例えば、特に電力価格が上昇した価格 (ベク

トル) に対して製鉄産業は、その代替技術を、比較的電力を用いない技術に限定することができる。産業では実際、全ての代替技術のコストを試算してから採用技術を決定しているわけではない。これらより、各産業のエキスパートによるコスト最小技術の効率的選択が可能であると考えられる。

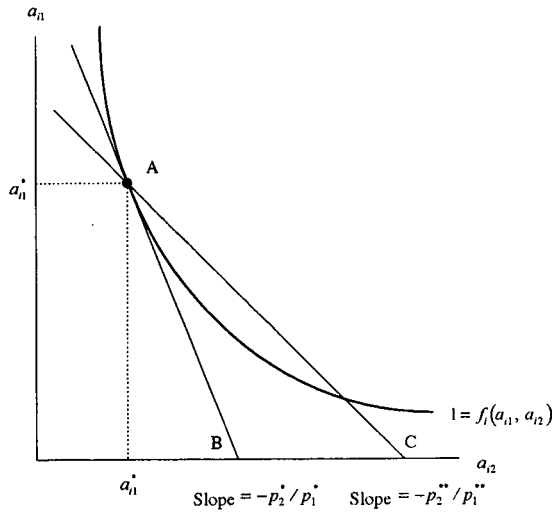


図3 代替技術の限定

4. 均衡探索アルゴリズム

ここでは、アクション直後の技術構造が H-S 条件を満たす場合、アルゴリズム h により価格 p が均衡価格に収束することを示す。但し、アクション直後の技術構造とはアクションの導入は含むが、それによる産業全体の選択技術はアクション以前のままである状態を指す。

4.1 アルゴリズムの収束性

技術構造の H-S 条件とは、いかなる需要も非負の生産によってまかなわれるという、実際の経済システムが、機能する上で持つべき基本的性質に他ならない。従って、少なくともアクション直後の技術構造に関して H-S 条件を仮定する（即ち初期技術構造が H-S 条件を侵さないようなアクションしか仮定しない）ことは、経済システムが適切な初期価格を与えることにより

均衡を自律的に模索することを示す（またそれによって模索過程のシミュレーションによる均衡解の導出が可能であることを示す）場合には必要である。

本稿では、 A 、 a_{n+1} をもって経済システムの技術構造を表す。但し、これらは通常の産出投入係数の転置行列である。今、アクション直後の技術構造を \hat{A} 、 \hat{a}_{n+1} と書くことにすると、各産業での金額収支（物量収支の双対式）は次のようになる。

$$p = \hat{A}p + \hat{a}_{n+1} \quad (2)$$

これを満たす価格を、初期価格とする。

$$p^o = [I - \hat{A}]^{-1} \hat{a}_{n+1}$$

アクション直後の技術構造は各産業によって最適技術の選択が行われていない状態であるが、各産業が初期価格に対して最適技術を選択した場合、初期価格よりもコストが大きくなることはない。従って、次のことが言える。

$$h(p^o) \leq p^o \quad (3)$$

次に、このアクション直後の初期価格が均衡価格 \bar{p} よりも小さくないことを示す。任意の価格に対する最適技術による価格（＝コスト）は、それ以外の技術による価格に比べ大きくない。

$$h(p) \leq \hat{A}p + \hat{a}_{n+1}$$

これは \bar{p} 及び p^o についても言えるが、(2) 及び (3) を考慮すると、

$$\begin{aligned} [I - \hat{A}]\bar{p} - \hat{a}_{n+1} &\leq 0, \\ [I - \hat{A}]p^o - \hat{a}_{n+1} &= 0 \end{aligned}$$

を得る。従って、

$$[I - \hat{A}](p^o - \bar{p}) \geq 0$$

を得るが、 $[I - \hat{A}]$ が H-S であることから、

$$\bar{p} \leq p^0$$

を得る。

$x \leq y$ なる生産要素価格に対し、 $h(x) \leq h(y)$ であるというコスト関数の性質から、

$$\bar{p} = h(\bar{p}) \leq h(p^0) \leq p^0$$

を得るが、これをくり返し用いることにより、

$$\bar{p} \leq \dots \leq h^{k+1}(p^0) \leq h^k(p^0) \leq h^{k-1}(p^0) \leq \dots \leq p^0 \quad (4)$$

を得る。但し、 $h^k(p^0)$ は、初期価格 p^0 から始まる k 番目の価格のシーケンス p^k を表す。

従って、全ての p^k は有界閉区間 $[\bar{p}, p^0]$ (コンパクト集合) のなかに存在する。更に、 h は $\forall p \in P$ に関して閉じていることから、アルゴリズム h の収束性が示される。アルゴリズム h は $P \subset R_+^n$ 上で定義され、ある初期価格 p^0 から $p^{k+1} = h(p^k)$ を満たしながら数列 $\{p^k\}_{k=0}^\infty$ が生成される。数列の各要素はコンパクト集合に含まれ且つ、(4)より h は次のような性質を持つ。

$$\begin{aligned} h(p) &< p && \text{for } p \neq \bar{p}, \\ h(p) &= p && \text{for } p = \bar{p}. \end{aligned}$$

以上より、 h は降下アルゴリズムの性質^{[5][13]}を持ち、 p^k は p^0 から始めることにより \bar{p} (均衡価格) に収束することが示された。

4.2 均衡技術の性質

シェファードの補題^[11]より、コスト関数を用いて価格に対する最適採用技術を表すことができる。

$$\frac{\partial h_i(p)}{\partial p_j} = a_{ij}(p), \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, n+1$$

従って、 ∇ (グラジアン) を用いれば、任意の価格 p に対する最適技術構造を $\nabla h(p)$ と表すことができる。これを用いてコスト関数を表すと、

$$h(p) = \nabla h(p)p + a_{n+1}(p) \quad (5)$$

となる。但し、 $a_{n+1}(p): R_+^n \rightarrow R_+^1$ は最適労働投入係数を表す。これは上述の価格列 p^k に関しても成立することも踏まえ、(5)をさらに変形すると、

$$h(p^k) - \nabla h(p^k)p^k = a_{n+1}(p^k) \geq 0$$

従って、

$$p^k - h(p^k) \leq [I - \nabla h(p^k)]p^k$$

を得る。一方、(3)によれば、 p^0 を初期価格とする場合、この式の左辺は非負となる。

$$[I - \nabla h(p^k)]p^k \geq 0$$

価格列は $p^k \geq 0$ であるが、これを満たすためには $[I - \nabla h(p^k)]$ が H-S であることが必要となる^[9]。結局、前出の価格列に対する技術構造は全て H-S であることになり、均衡技術構造もまた H-S となる。

4.3 均衡の唯一性

生産の理論から、生産関数が凹関数である場合、コスト関数も凹関数となる^[11]。

$$h_i(p) \leq h_i(\bar{p}) + \nabla h_i(\bar{p})(p - \bar{p}), \quad \forall \bar{p} \in P$$

\bar{p} が均衡価格であるとする、 $h_i(\bar{p}) = \bar{p}$ を考慮し、行列を用いて次の式を得る。

$$p - h(p) \geq [I - \nabla h(\bar{p})](p - \bar{p}) \quad (6)$$

今、もう一つの均衡価格 p' が存在したとする。この場合も上記と同様に、

$$p - h(p) \geq [I - \nabla h(p')](p - p') \quad (7)$$

を得るが、(6)、(7)はいかなる価格 $p \in P$ に関しても成立するので、次の式が同時に成立する。

$$[I - \nabla h(\bar{p})](\bar{p} - p') \geq 0$$

$$[I - \nabla h(p')](p' - \bar{p}) \geq 0$$

一方、技術構造 $\nabla h(\bar{p})$ 、 $\nabla h(p')$ 、何れも H-S であるため、結局次の式が同時に成立することに

なる。

$$(\bar{p} - p') \geq 0$$

$$(p' - \bar{p}) \geq 0$$

従って、 $\bar{p} = p'$ であり、H-S 均衡の唯一性が示された。

5. 初期技術構造が H-S でない場合

アクション直後の技術構造が H-S とならない場合でも、何らかの方法で H-S である均衡技術構造を得ることができれば、あらゆるアクションの導入評価が可能となる。

5.1 収束する初期値の存在

前章の(6)は、 $p - h(p) \geq 0$ となる p が存在することを示している。これは $[I - \nabla h(\bar{p})]$ が H-S であることから、

$$[I - \nabla h(\bar{p})](p - \bar{p}) \geq 0$$

となる $p - \bar{p} \geq 0$ が存在するためである。従って、もしこのような p を見つけることができれば、初期の技術構造に無関係に、 h は降下アルゴリズムとなり、均衡に収束する。

5.2 コブ・ダグラス型生産関数の場合

生産関数がコブ・ダグラス型であると仮定できる場合には、このアルゴリズムは初期価格やアクション後の技術構造に関りなく大域的に収束し、均衡解をもたらすことを示す。

各産業は次のようなコブ・ダグラス型一次同次生産関数に従うとする。

$$y_i = \prod_{j=1}^{n+1} x_{ij}^{\beta_{ij}}, \quad \sum_{j=1}^{n+1} \beta_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, n$$

これより完全競争下のコスト関数は、次のようになる。

$$h_i(p) = \left(\prod_{j=1}^{n+1} \beta_{ij}^{-\beta_{ij}} \right) \prod_{j=1}^n p_j^{\beta_{ij}}, \quad i=1, \dots, n$$

$$\equiv c_i \prod_{j=1}^n p_j^{\beta_{ij}}$$

$\log c_i \geq 0$ なる底の対数をとれば、

$$\log h_i = \log c_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \log p_j$$

もしくは行列を用いて、

$$\eta = \chi + B\pi \quad (8)$$

と書ける。但し $\eta = [\log h_i]$ 、 $\chi = [\log c_i] \geq 0$ 、 $B = [\beta_{ij}]$ 、 $\pi = [\log p_j]$ 、である。また、方程式

$$\pi = \chi + B\pi \quad (9)$$

において、

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} < 1$$

であることから、ソローの行和条件^[12]が成立し、(9)は非負可解となる。従って、 $\pi - B\pi > 0$ をみたす $\pi > 0$ が存在し、このことから

$$\lim_{k \rightarrow \infty} B^k = 0 \quad (10)$$

が示される^[9]。

一方、均衡価格は $\pi = \eta(\pi)$ 、 $\eta: R^n \rightarrow R^n$ の解として求められる。従って、上述のアルゴリズム即ち、

$$\pi^{(k+1)} = \eta(\pi^{(k)}) \quad (11)$$

により生成される点列が、均衡解に収束することを示せばよい。(9)より均衡解は、

$$\bar{\pi} = [I - B]^{-1} \chi \quad (12)$$

であるが、(11)を(8)を用いて展開すると、

$$\pi^{(k)} = \chi + B\chi + B^2\chi + \dots + B^{k-1}\chi + B^k\pi^{(0)}$$

であるから、(10)を考慮すれば

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \pi^{(k)} = [I + B + B^2 + \dots] \chi = [I - B]^{-1} \chi$$

となり、(12)の均衡解と同値であることが示される。ここで特筆すべきことは、初期値 $\pi^{(0)}$ に無関係に、このアルゴリズムが収束し均衡解をもたらすということである。

5.3 数値実験

次に、コブ・ダグラス型生産関数におけるアルゴリズムの収束性を、 $n=2$ の場合の数値実験で確認する。図4は次のような場合（実験1）の均衡価格への収束の様子を示す。

— 実験1 —

生産関数

$$y_1 = x_{11}^{0.9} x_{12}^{0.04} x_{13}^{0.06}$$

$$y_2 = x_{21}^{0.01} x_{22}^{0.9} x_{23}^{0.009}$$

初期価格

$$p^{\circ} = (450, 1)$$

均衡価格

$$\bar{p} = (264, 62.4)$$

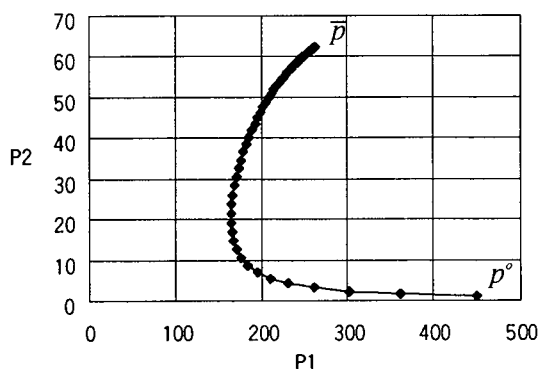


図4 均衡価格探索過程（実験1）

図5には、図4のの均衡探索過程における価格と均衡価格とのユークリッドノルム（距離）を示す。実験1の場合、初期価格 p° に対する技術構造は、H-Sとならない。しかし、図5に示されているように、探索過程の15ステップ以降の技術構造はH-Sとなった。

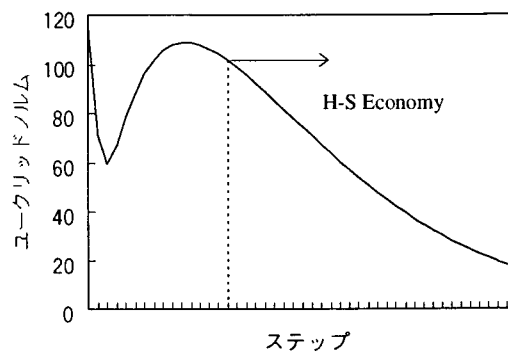


図5 ノルムの変化（実験1）

同様に、次の場合（実験2）の、価格の収束の様子と、ノルムの変化を図6及び図7に示す。

— 実験2 —

生産関数

$$y_1 = x_{11}^{0.01} x_{12}^{0.88} x_{13}^{0.11}$$

$$y_2 = x_{21}^{0.9} x_{22}^{0.02} x_{23}^{0.08}$$

初期価格

$$p^{\circ} = (0.0001, 50)$$

均衡価格

$$\bar{p} = (58.0, 61.0)$$

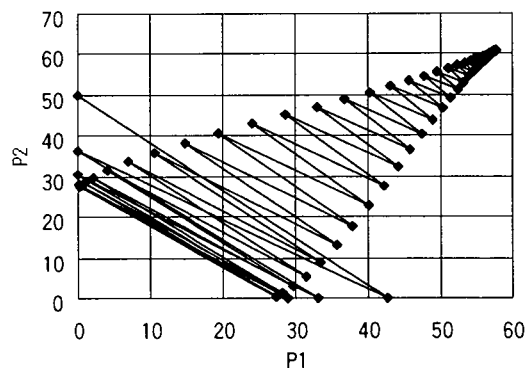


図6 均衡価格探索過程（実験2）

実験2も、初期価格に対する技術構造はH-S条件を満たさないが、この場合は21ステップ以降の技術構造がH-Sとなった。図5、7より明らかのように、必ずしも探索過程の各ステップでノルムが単調減少しないため、通常のノルムの降下関数を見つけることで収束性を示すことは困難である。尚、4章で示したように、H-S構造以降のノルムは単調減少しているのがわかる。

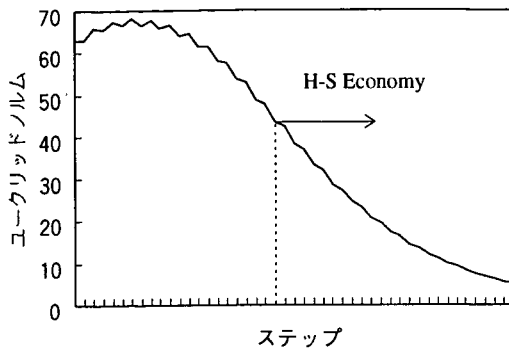


図7 ノルムの変化 (実験2)

6 おわりに

本研究では、新技術および制度の導入にあたり次の事項を得た。1)アクション直後の技術構造がH-Sの場合に、均衡技術を求めるための初期値及びアルゴリズムを求めた。2)アクション直後にH-Sでない一般の場合でも、このアルゴリズムが均衡に収束する初期値が存在することを示した。3)生産関数がコブ・ダグラス型である場合には、大域的に収束することを示した。4)数値実験により以上のことを確認した。

この結果を応用し、今後、各分野のエキスパートによる技術選択シミュレーションを用いた、新技術及び環境税の導入評価が可能になると考えられる。

【参考文献】

[1] Duchin, F., and Lange, G., (1995) "The choice of technology and associated changes in prices in the U.S. economy," *Structural Change and Economic Dynamics*, 6, 335-357.

- [2] Gale, D., (1960), *The Theory of Linear Economic Models*, McGraw-Hill.
- [3] Hawkins, D., and Simon, H. A., (1948) "Note: Some conditions of macro-economic stability," *Econometrica*, 16, October.
- [4] Jorgenson, D. W., and Wilcoxon, P. J. (1993), "Reducing US carbon dioxide emissions: The cost of alternative instruments," *Journal of Policy Modeling* 15, March.
- [5] Luenberger, D. G., (1984), *Linear and nonlinear programming*, Addison-Wesley.
- [6] Nishimura, K., Hondo, H., and Uchiyama, Y., (1996), "Derivation of energy embodiment functions to estimate the embodied energy from the material content," *Energy*, 21/12, 1247-1256.
- [7] Samuelson, P. A., (1951), "Abstract of a theorem concerning substitutability in open Leontief models," in T. C. Koopmans (Ed.), *Activity analysis of production and allocation*, Yale University Press.
- [8] Shoven, J. B., and Walley, J. (1973), "A general equilibrium with taxes: A computational procedure on an existence proof," *Review of Economic Studies* 40, 475-489.
- [9] Takayama, (1985), A., *Mathematical economics*, Cambridge University Press.
- [10] Weyant, J. P., (1985) "General economic equilibrium as a unifying concept in energy-economic modeling," *Management Science* 31/5, 548-563.
- [11] 奥野正寛、鈴木興太郎 (1988),『ミクロ経済学 I・II』、岩波書店。
- [12] 小山昭雄 (1995),『経済数学教室 1~8』、岩波書店。
- [13] 今野浩、山下浩 (1978),『非線形計画法』、日科技連。

(にしむら かずひこ
電力中央研究所 経済社会研究所)

オープン・アクセスにおける財産権の保障

Guarantee of Property Right in Open Access Systems

キーワード:規制緩和、財産権保障、収用、アメリカ、ドイツ

丸山真弘

1. はじめに

1.1 規制緩和とオープン・アクセスへの動き

日本では、1995年の電気事業法改正により、発電部門への競争導入や特定電気事業制度の創設といった制度改革が実施された。しかし、欧米では、送電網の開放を含んだ、より広い範囲での規制緩和の動きが進んでいる。

イギリス(イングランド・ウェールズ)では、1989年電気事業法により、1990年4月に、従来国営であった送電配電事業が民営化されると同時に垂直統合が分離され、送電部門にプール制が導入された(National Grid)。また、欧州連合では、域内エネルギー単一市場の形成を目的として、電気事業者以外の者が送電網に容易にアクセスできるように各国での制度整備を求める指令が、議論の結果ようやく1996年にまとまった。

また、アメリカでは規制緩和の動きにつき先行的しているカリフォルニア州では、最終需要家に電力の供給者を自由に選択する権利を与えることを内容とした制度改革が1995年末に決定された。この制度改革は1998年1月から開始され、2003年までに全ての最終需要家に供給者との直接アクセスを認めることにしているが、その一環として、需要家に対し無差別のサービス提供を保障する一種のプール制が導入される。

このような制度改革は、発電部門や供給部門での公正な競争条件を整備するため、送電網を開放し、需要・供給の双方からの自由なアクセ

スを保障するオープン・アクセスの動きである。日本でのオープン・アクセスの導入の是非については、今般の制度改革を踏まえた上で判断されるべきものであるが、今後の方向という点では、欧米の動きは一つの参考になるだろう。

1.2 オープン・アクセスへの動きと法律問題

送電網の開放によるオープン・アクセスの導入にあたっては、経済法、会社法、租税法など様々な法領域での課題があることが予想される。その中で、日本、ドイツ、アメリカといった、送電線を私有の電力会社が保有している国の場合、オープン・アクセスに伴う垂直統合の分離や送電網の開放を、送電網に対する電力会社の財産権の保障という憲法上の権利との関係でどのように取り扱えばよいかという問題が生じることになる。

そこで、本研究¹⁾では、規制当局が民営の電力会社に対して送電部門の分離や送電網の開放を強制することが、財産権保障との関係で生じることになる問題点を、カリフォルニアとドイツでの議論をもとに整理する。そして、その上で日本におけるインプリケーションについて検討を行う。

2. 憲法での財産権保障とその限界

2.1 私有財産制度と憲法の保障

私有財産制度は、個人が自立して生存していくための前提であり、資本主義の仕組みを形成する不可欠の要素である。そのため、近代国家

ではこれを基本的人権の一つとして保障してきた。

しかし、資本主義の高度化に伴い、貧富の差が拡大するなどの社会的不平等が発生した。このため、国家による社会的公平の実現が求められるようになった。この結果、現代の憲法では、財産権は一定の範囲で制限されるようになった。

2.2 アメリカの私有財産制度とその制限

アメリカ合衆国憲法では、公共目的で、私人の特定の財産を公に移す「収用」についての規定(修正第5条)はあるが、財産権そのものについての規定はない。これは財産権は憲法以前から存在する自然権であるという考え方に基づいている。

一方州は、市民が本来持っている主権の一部を譲り受ける形で、警察や福祉といった共同体を維持するための権限である「ポリス・パワー」を持つ。私有地に対する利用規制は、ポリス・パワーに基づく財産権の制限の例である。

収用の場合には、権利が公に移される代償として、正当な補償を行うことが必要とされるが、ポリス・パワーに基づく財産権の制限の場合には補償は不要である。これは、ポリス・パワーにより制限された財産権は、形式的には共同体の維持のために市民から州に譲り渡されたという形をとっていることによる。このことから、公権力による財産権の制限がポリス・パワーと収用のどちらにあたるか争い(財産権を制限された私人が、当該制約はポリス・パワーではなく収用であるとして、補償を求める「逆収用」の事例)が生じることになるが、裁判例でも明確な区別が示されていないのが現状である。

2.2 ドイツの私有財産制とその制限

ドイツでは、ワイマール憲法以来、財産権は憲法で保障されるが、その行使は公共の福祉に従わなければならないという原則が確立している(基本法第14条)。

ドイツの憲法裁判所は、財産権は法に先だっ

て存在するものではなく、法律によって定められることではじめて憲法上の保護の対象となるという判断を示している。そして、財産権として本質的に保障されるべきものがあるとしても、その内容が徐々にではあれ変化していくことは当然ありうるものであると考えられている。

一方、憲法では収用についても規定している(基本法第14条第3項)。収用の際に与えられる保障については、条文では「公共の利益と関係者の利益を正当に衡量して定める」旨が規定されているが、実際の裁判例では衡量はほとんど行われず、補償額は市場価格とされている。また、財産権の社会化(国有化)についても規定されている(基本法第15条)が、その対象としては「土地、天然資源および生産手段」が予定されており、実施に当たっては収用と同様の補償が必要である。

2.3 日本の私有財産制度とその制限

日本国憲法における財産権保障の考え方は、基本的にはドイツのそれに近いものである(第29条)。すなわち、財産権は憲法により保障されている(第1項)が、その内容は公共の福祉の観点から法により定められている(第2項)。そして、国家が公共目的で個人の財産権を収用することは、正当な補償を条件として認められている(第3項)。

第1項が具体的に保障する財産権とは何かという点については、学説上争いがあり、明確な基準が明らかになっているとはいえない。一方、第2項により法が定めることができる財産権の内容の限界についても、公共の福祉への適合という観点から、内在的制約と政策的制約の二つに分け、その基準を論じようという考え方が一般的であるが、より細かく類型化した形で価値衡量を行うべきとの考え方もある。

日本での財産権の内容をめぐる議論は財産権の制約面について検討を進めるという消極的なアプローチをとっており、ドイツでのそれは、

積極的に財産権の内容を考えていこうという積極的なアプローチをとっている。

収用については、常に完全な補償が必要であるという説と、場合によっては相当な補償でも足りるという説の間で争いがある。

3. 送電部門の分離と財産権保障の関係

財産権の保障とその限界に関する考え方を前提とし、規制当局がプール制の導入のため、私有の垂直統合された電力会社に対し、送電部門の分離を命じることと財産権保障の間の関係につき、カリフォルニア州とドイツでの議論を整理する。

カリフォルニア州で導入されることになったプール類似の制度は、公益事業委員会の提案に応じ三大電力会社が任意に実施するものである。ドイツ連邦経済省はプール制の導入を断念したが、これはプール制が財産権保障との関係から合憲であるとしても、決着までには長い時間がかかることが予想されるので、それまで待つことはできないという判断に基づくものであるとされる。

3.1 カリフォルニア州での考え方

カリフォルニア州の議論については、Pacific Gas & Electric(PG&E)社の意見書²⁾をもとに整理を行う。

この意見書では、規制当局である州の公益事業委員会には、私有の電力会社に対して送電部門の分離を命じる権限は与えられていないと結論づけているが、その根拠は以下の通りである。

公益事業委員会の規制権限はポリス・パワーに基づく。しかし、その権限は公益事業の財産の利用方法に対する規制—具体的には料金規制、差別的取扱の禁止、効率的な経営のための規制—にとどまる。これに対して、私有の電力会社に送電部門の分離を命じることは、財産の行使の制約にとどまらず、所有権の変動を命じるものであり、公益事業委員会の権限には含まれな

い。

一方、収用により送電部門の分離を命じることが可能かという問題については、憲法上、収用を行うことができるのは立法府だけであり、公益事業委員会には独自に収用を行う権限が与えられていないので、収用を命じる立法なしには不可能であるとしている。そして、立法がなされたとしても、収用にあたっては法の適正な手続に基づき、聴聞と弁明の機会が与えられた上で、裁判所により、垂直統合の利益が失われることによる価値の減少なども考慮に入れた補償額が決定されなければならないと結論づけている。

3.2 ドイツでの考え方

ドイツでの議論については、連邦経済省の求めに応じてケルン大学エネルギー法研究所が行った、送電線の開放に関する研究³⁾をもとに整理を行う。

この研究では、プール制の導入にあたっては、公正な競争を確保するために、電力会社の送電部門は分離される必要があるとしている。その上で、以下のような理由を挙げて、規制当局が送電部門を分離することを命じることは、憲法で保障された財産権の保障と矛盾するとしている。

憲法は財産権の本質として、自己の所有物を必要に応じて自由に利用することを保障している。しかし、プール制導入による送電部門の分離により、電力会社は送電網に対する優先的な利用権を失い、他の利用者と同じ条件でしか利用できなくなる。これは、送電網を利用して電気を需要家に供給する電力会社の権利を奪うものであり、その結果、自己の所有物の自由な利用という財産権の本質が侵害される。

一方、送電部門の分離を収用として命じることができるという点については、以下のような点を指摘している。

財産権の収用は、公共の福祉を実現するため

に実施される。しかし、プール制の導入に関しては、小口需要家の取扱や長期的な電源の安定性といった点で問題が指摘されている。収用を行う政府は、プール制の導入は公共の福祉を実現するとの説明を行う必要がある。

さらに、社会化条項の適用については、成立にあたっての政治的な争いを別にしても、本来市場競争ができない場合に行われるはずの手続である社会化を、プールという市場を作るために使うことには違和感があり、実際の適用の際にも、事例がないため様々な要件が明確ではなく、実際の利用には時間がかかる。従って、その活用は難しいと結論づけている。

4. 第三者アクセスと財産権保障

次に、規制当局が送電網への第三者アクセスを命じる場合の財産権保障との関係について、ドイツでの議論を中心にして整理を行う。

第三者アクセスとは、送電網の所有者である電力会社は送電網の優先的な利用権を持ち、それ以外の者は送電網に余裕がある場合に限り利用を求めることができる制度である。

4.1 ドイツでの考え方

ケルン大エネルギー法研究所によれば、第三者アクセスはプール制とは異なり、電力会社の送電線に対する財産権を侵害するものではない。しかし、以下の点から、第三者アクセスを命じることは財産権に伴う義務の範囲を超えている。

電力会社は、送電網に余裕がある限りにおいて、自分の競争相手を含む全ての「第三者」からの求めに応じ、送電網を提供しなければならない。これは一般的な所有物の貸与とは大きく異なる。自己の権利を強制的に競争者を含めた者に提供させる制度としては、特許の強制ライセンス制度がある。しかし、強制ライセンスは特許権者と相手方との利害の比較衡量の上、個別に判断されるものであるが、第三者アクセス

は包括的な提供が義務づけられている。しかも、第三者アクセスの実施のため、電力会社は送電網の安定性維持を目的とした発電予備を確保する必要がある。

従って、第三者アクセスの実施は収用の手続による必要があるとされる。そして、収用を行う国家は、送電網の提供に対する市場価格に、託送料金や、電力会社の逸失利益などを考慮して決定される補償を支払うことが求められる。

4.2 カリフォルニア州での考え方

一方、カリフォルニア州では、プール制導入の是非が最大の論点とされていたため、PG&E社の意見書は直接この点について議論をしていない。しかし、意見書の趣旨からは、以下のような点を指摘できる。

公益事業委員会が第三者アクセスを命じることができるかという問題は、その命令がポリス・パワーに基づき公益事業委員会が持っている、三つの権限のいずれかに該当するかということに帰着する。しかし、この問題はポリス・パワーと収用の違いという一般的な問題にまで行き着くことになるので、簡単な解決は難しい。一方、第三者アクセスが収用にあたりと解される場合には、収用権は公益事業委員会ではなく、立法府にある。従って第三者アクセスを強制することは立法によってのみ可能となる。

5. 託送制度と財産権保障

最後に、相対の託送契約を前提としながら、不当な契約拒絶があった場合には、規制当局が契約締結を命じることができるという制度と、財産権保障との関係を整理する。

ケルン大エネルギー法研究所は、電力会社の財産権保障と、オープン・アクセス実施とのバランスを図る見地から、財産権保障の見地から疑念が残る包括的かつ強制的な第三者アクセスではなく、契約を前提とした送電網へのアクセスを採用することを提案している。

一方、カリフォルニア州で同じような議論をする場合には、以下の点が指摘できる。

公益事業委員会の権限が及ぶ範囲は、電力会社が公益事業のために提供を行っている範囲に限られ、それ以外の部分には及ばないとされる。従って、電力会社が託送を一切行っていない場合には、電力会社は送電線を公益事業として外部に提供しているといえないので、公益事業委員会は託送契約の締結を命じることができないことになる。これに対して、電力会社が既に託送を実施しながら、ある者からの託送要求を不当に拒否した場合には、公益事業委員会は差別的取扱の禁止という点から、託送命令の締結を命じることが可能である。

6. 日本へのインプリケーション

それでは、カリフォルニア州とドイツでの議論を日本に当てはめてみた場合、どのように考えることができるだろうか。

6.1 送電部門の分離

プール制を導入するため、送電部門の分離を電力会社に命じることの是非については、①送電部門の分離は憲法で保障された財産権の本質的内容を侵害することにならないかという点(第29条第1項)と、②送電部門の分離は公共の福祉に適合するかという点(第29条第2項)から議論される。

①については、日本では財産権の本質についての積極的な議論はそれほど行われておらず、②についても公共の福祉とは何かという論点自体が多くの問題を残している。従って、何らかの結論を示すことができるとしてもそのためにかかる時間を考えると時期に応じた制度改革を行うことは困難となることが予想される。

分離を収用であるとして、その旨の立法を行う場合には、前述の論点のうち①は回避することができる。しかし、②は依然として残る上に、収用に対する正当な補償の額をどのように設定

するかという新たな論点が発生する。

6.2 第三者アクセス

プール制の導入によらない送電網の開放については、第三者アクセスの形で強制的かつ包括的な開放を命じる場合には、ドイツの場合と同様に、このような命令を収用として取り扱う必要があるかという点が議論の対象となる。この場合も、第三者アクセスが公共の福祉に適合するかという点や、第三者アクセスの実施に伴う補償額をどのように定めるかという点で争いが残ることになる。

6.3 託送制度

相対による任意の託送契約を原則とした上で、差別的取扱のある場合には規制当局が託送契約の締結を命じるという制度については、1995年の電気事業法改正で一定の整備が行われた。

改正前の電気事業法では、託送(振替供給)は電気事業者の資産である送電網を第三者に貸与するものであるとして、電気事業者の健全な経営を確保する見地から、全て通商産業大臣の許可制とされていた(改正前の法第25条)。これに対して、改正後の電気事業法では、託送は電気事業者と託送を希望する者との間の相対契約によって行うことを原則とし、許可制は廃止された。これにより、電力会社は自己の判断だけで送電網を第三者に提供することができるようになった。

しかし、非電気事業者(IPP)から電気事業者への一定規模以上の電気の供給といった、一定の場合の託送(卸託送・施行規則第38条)については、電気事業者(施行規則第37条の「指定電気事業者」)は契約条件をあらかじめ約款の形で示した上で(法第24条の3第1項)、卸託送を求める者に対しては、約款に定めた条件を満たす限り、この約款に従って託送契約を締結することが求められる(法第24条の3第2項)。そして、電気事業者が不当に契約締結を拒否した場合には、規制当局は電気事業者に対して託送契約の

締結を命じることができる(法第 24 条の 3 第 5 項)。

現在、政府の行政改革委員会・規制緩和小委員会では、エネルギー分野の規制緩和の課題として、電気事業者以外の者が自分で発電した電気を自分で消費するための自己託送の妥当性についての議論が行われている。自己託送についても、現在の卸託送と同様に約款による契約などの条件整備を進めるべきであるとの主張がある一方、自己託送は需要家一般に対して利益を与えるものではなく、広範に実施した場合には電力会社に課せられた供給義務の達成を阻害するおそれがあるので、託送命令の導入といった「活性化」は望ましくなく、現行のケース・バイ・ケースによる相対契約で処理すべきとの反論がある。

最終需要家へ電気を直接供給する小売託送も含め、託送制度について今後どのような制度改革を行っていくべきかという問題については、「電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図る(電気事業法第 1 条)」ためにはどのような方法がふさわしいかという点から、今後議論を深めていく必要があるといえる。

6.3 今後の展開

オープン・アクセスを巡る議論は、1996 年に入っても、アメリカ連邦エネルギー規制委員会(FERC)の Order888/889 の発表など、新しい動きが次々と起こっている。

一方、法律の面においては、今回取り上げた財産権保障の面とは別に、独占禁止法の面からの議論も活発に行われている状況にある。今後は、このような状況を踏まえつつ、オープン・アクセスを巡る法律問題について研究を進めていく必要がある。

【参考引用文献】

- [1] 丸山真弘(1996),「オープン・アクセスにおける財産権の保障－電気事業における財産権と収用に関する検討－」,電力中央研究所報告 Y95010
- [2] Pacific Gas & Electric Company Law Department (1995),”Pacific Gas and Electric Company Memorandum of Points and Authorities”, Pacific Gas & Electric Company
- [3] Jurgen F. Baur and Markus Moraing(1994),”Rechtliche Probleme einer Deregulierung der Elektrizitätswirtschaft”, Nomos Verlagsgesellschaft

(まるやま まさひろ
電力中央研究所 経済社会研究所)

電力市場自由化の環境・省エネルギーに 及ぼす影響とその対応策

— 米国の例から見た考察 —

Impact of Economic Deregulation of the Electricity Supply Industry on Demand-Side
Management and Energy Conservation
- Investigations based on the experiences in the US -

キーワード:規制緩和, 電力市場, DSM, 省エネルギー

矢 島 正 之

1. はじめに

電力市場への競争導入は電気事業の経営戦略にも大きな影響を与えており、米国等ではDSM(Demand-Side Management)の大幅な見直しが進展中である。市場への競争原理の導入は、事業の効率改善を促すためであるが、それが環境や省エネルギーにいかなる影響を及ぼすか、またその対応策としてどのようなものが考えられるかについても十分な検討がなされなくてはならない。

そこで、本稿では、まず、電力市場自由化のDSMに及ぼす影響の実態を米国の例を中心としてみたのち、デイス・インセンティブの軽減策について検討する。最後に、競争環境下におけるDSMの将来についての展望を行う。

2. 競争導入のDSMに及ぼす影響

本章では、米国における電力市場の自由化がDSMに及ぼす影響の実態をみる。

2.1 概 観

米国におけるDSMプログラムは、1989年から1994年にかけて拡大した。予算規模は、8億7000万ドル(1989年)から30億ドル(1994年)へ3.5倍に増大している。削減された電力量は、年間16,300GWh(1989年)から53,300GWh(1994

年)と3.3倍に増大したと推定される。これに対してピーク需要の削減も、20,100MW(1989年)から42,300MWと2倍以上となったと推定される(Hirst 1995)。

DSMプログラムは1970年代半ばにおける石油輸出禁止がきっかけとなって多くの電気事業によって実施されてきたが、それが大いに促進されたのは1980年代後半から1990年代はじめである。その理由は地球温暖化や酸性雨に代表される環境問題の高まりである。DSMプログラムは省エネルギーと環境問題の解決の双方に貢献すると考えられた。

1980年代後半以降、DSMプログラムにとりわけ積極的な姿勢を示したのはカリフォルニアおよび北東、北西地域の諸州である。1990年代はじめには、20以上の州がDSMプログラムのデイス・インセンティブを削除・軽減するために、費用回収、損失収入調整、株主へのインセンティブ・メカニズムの導入などの方策を採用することとなった。これらの政策支援もDSMプログラムの拡大に寄与した。

それが、この数年、電力市場自由化の動きが電気事業に競争に対応した経営戦略の転換や費用削減を迫ることとなり、DSMプログラムに対する支出の根拠も再検討されることとなった。その結果、電気事業はDSM予算を最近削減し、

新たな競争環境の下での DSM の適切な役割を見出すまでその吟味が続けられていくことになる。

一般的に、電気事業が DSM プログラムを実施するにさいしては、それが費用効果的であることを確認する必要がある。

総資源費用(Total Resource Cost:TRC)テストでは、便益には燃料や発・送・配電設備の回避コストが含まれ、費用にはプログラムの実施コスト、参加者がプログラムへの参加のために支払うコストが含まれる。このテストで便益/費用(B/C) > 1 の場合に電気事業は DSM を実施する。しかし、電力再編の結果、電気事業が配電サービスのみを提供することになった場合には、電気事業は DSM の便益の多く(燃料や発・送電設備の回避コスト)を享受することはできない。このような場合には、多くの DSM プログラムは配電事業の費用効果テストをパスすることはできないであろう。TRC テストによっても、市場自由化の結果、発電の回避コストが大きく下がれば DSM の費用効果性は著しく減少することになる。PG&E にとって卸売価格は 1991 年の 6.2 セント/kWh から 1994 年の 4.7 セント/kWh へと 25% の下落を記録した。

米国においては、競争市場への移行後における規制当局による DSM に関する政策は現段階では不明確である。電気事業の対応も DSM の

予算削減や延期のほか競争市場における有効な DSM の開発など様々である。

大手の電気事業者は 1995 年に DSM 予算を大幅に削減した(表 1)。

しかしながら、すべての電力会社が DSM に対する支出をカットしているわけではない。ニューイングランド・エレクトリック・システム社(New England Electric System) フロリダ・パワー・アンド・ライト社(Florida Power & Light) は 1995 年に DSM 予算をそれぞれ 10% と 8% 増やした。セントラル・パワー・アンド・ライト社(Central Power & Light)は 1995 年に 55% も増額している(Nadel, Geller & Pye 1995)。

つぎに、米国の代表的な地域について DSM への影響について調査した結果について述べる。

調査では、電力市場自由化の進展度合の違いに応じて DSM へのインパクトの大きさも異なることが示された。米国では、西部の電力会社(Pacific Gas & Electric(PG&E), Southern California Edison (SCE), San Diego Gas and Electric (SDG&E) では競争の導入とそれに対応した電力の再編が着実に進展している。ニューイングランド(メイン、ニューハンプシャー、バーモント、マサチューセッツ、コネチカット、ロードアイランド)でも、電力会社(Boston Edison (BECO), Massachusetts Electric, Northeast Utilities(NU))は競争圧力の下で種々の経営施策の見直しを行って

表 1 最近における米大手電気事業者の DSM 予算

電気事業者	1994-1995 年の 予算の伸び率	1993 年の DSM 支出(100 万ドル)	州
S C E	-58%	\$ 128	カリフォルニア
P G & E	-42%	142	〃
Con Ed	-42%	125	ニューヨーク
Peugeot Sound Power & Light	-37%	60	ワシントン
Niagara Mohawk Power	-29%	47	ニューヨーク
Wisconsin Public Service	-21%	28	ウイスコンシン
New York State Electric & Gas Service	-11%	64	ニューヨーク

いる。

東北部（ニューヨーク、ニュージャージー）の電力会社(Consolidated Edison(Con Ed), Public Service Electric & Gas(PS E&G)もニューイングランドと状況が似ている。これに対して、中西部(CINergy, Consumer Power, Commonwealth Edison(Com Ed), Detroit Edison(Det Ed) Tennessee Valley Authority(TVA))および中東部(Duke Power, Virginia Power, North Carolina Power)では、大きな再編を余儀なくするような競争圧力は生じていない。

これらの再編動向に大きな影響を与えているのが、全国平均と比べた各地域における電気料金水準である。電気料金は、カリフォルニア、ニューイングランド、東北部は高く、中西部、中東部は低い。このような状況が競争導入の圧力の違いとなって現れている。

2.2 DSM 戦略への影響

(1) カリフォルニア

PG&E, SCE および SDG&E の三大電力会社は包括的な DSM プログラムには関心をもっていない。その理由は、①競争市場においては DSM コストや収入減少分の回収が困難となる可能性があること、②価格競争力をつけるためにはコスト低減を図っていく必要があること、③垂直統合が分離されることにより、電気事業が DSM プログラムを実施するインセンティブが削減されることである。

後にみるように、PG&E の 1995 年における DSM プログラムの目的は、これまでに達成した消費節減は維持するものの DSM プログラムへの支出を削減するとともに、DSM によって利益を受ける需要家の参加を増やすことである。これにより、同社は DSM プログラムへの出資金とスタッフを大幅に削減した。SCE も同様の状況にある。

カリフォルニアの電気事業は、第三者が需要家向け DSM プログラムを提供するための競争入札を重視しつつある。社会的に望ましい DSM

は必要とされるであろうが、その提供者や資金調達方法については現時点では明らかになっていない。競争市場への移行につれて、電気事業者や発電事業者(GENCO)は発電設備の最適化やコスト低減という直接利益に結びつく負荷管理(load management)や実時間料金制(real-time pricing)を重視するようになるであろう。

市場の再編を検討している州にとってカリフォルニアの DSM 戦略はベンチ・マークとして考えられている。注目すべきは、DSM 戦略は、州によりまた電気事業によって異なっているという点である。DSM 戦略に大きな影響を与えているのは、電気料金水準、電源のニーズ、市場再編の状況である。

(2) ニューイングランド

ニューイングランドでは、市場の再編が DSM プログラムに及ぼすインパクトを評価しはじめたところである。マサチューセッツの公益事業部(DPU)は DSM の競争入札を求めているが、これに対応して、BECo は予備的な DSM プログラムを開発中である。NU は様子見の姿勢である。ニューイングランドでは、当面電源を必要としていないため、市場の再編が電気事業や GENCO の DSM 戦略に大きな影響を与えることは短期的にはない。

(3) 北東部

Con Ed は、目下 DSM 戦略のリストラの最中である。同社は社会的な観点から望ましい DSM や環境への外部効果の織り込みを中止することを提案している。需要家向け DSM は競争入札を通じエネルギー・サービス会社(ESCO)や第三者により提供される。Con Ed や GENCO はコスト低減効果のある負荷管理や実時間料金制のみをターゲットとすることになる。

PSE&G の現在の DSM プログラムは、コア・プログラムとパフォーマンス・ベースのプログラムに分かれている。前者は、 $B/C < 1$ であるが PUC の現行方針により社会的に望ましいとされ

るプログラムである。また、後者は $B/C \geq 1$ であり、そのパフォーマンスによって正当化されるプログラムである。

ある種のコア・プログラムは PUC の承認の下に存続するであろうが、その際 PSE&G や GENCO は、需要家からのコスト回収を認めることを要求することになろう。また、パフォーマンス・ベースのプログラムは需要家にシフトしていくことになろう。

(4) 中東部

中東部では、電気料金水準が全国平均と比べて高くないため、他の地域と比べ DSM 戦略のリストラの緊急性は低い。デューク・パワーは DSM の競争入札を実施しているが、エネルギー利用効率向上のための需要家に対する金銭的インセンティブの付与を削減しており、また料金影響計測(Rate Impact Measure: RIM)テストをパスした費用効果的なプログラムを重視している。RIM テストとは、料金に及ぼす影響をみるもので、電気事業者に発生する便益(負荷削減による設備・燃料の回避コストおよび負荷増大による収入増)と費用(プログラム費用、参加者に支払うインセンティブ、負荷削減による収入減および負荷増大による供給コストの増大)を比較評価するものである。バージニア・パワーは競争入札のパイロット・プログラムを開始した。同社は、また、負荷管理と実時間料金制を重視しつつある。両社とも需要家に対するエネルギー利用効率向上のための DSM プログラムは競争入札を通じて ESCO または第三者によって提供することになろう。

(5) 中西部

中西部では、DSM 戦略は多様である。ミシガン州公益サービス委員会(Public Service Commission: PSC) はコンシューマー・パワー社に対し、DSM の費用効果性のゆえにその中止を認めた。Det Ed も DSM プログラムの廃止を考えている。

Com Ed は 1995 年までの 5 つの大きな DSM プログラムを実施する予定であるが、市場の再編により電気事業が DSM プログラムとくにエネルギー利用効率向上プログラムにおいて担ってきた役割を需要家にシフトさせることになると認識している。そのさい電気事業は負荷制御におけるその役割は維持することになろう。

コンシューマー・パワーは、エネルギー利用効率向上プログラムを廃止することに積極的である。同社は、PSC に対し同プログラムは B/C が 1 をかなり下回ることを示した。TVA も競争的市場環境では DSM の料金に与える影響を重視せざるを得ない。

要約すれば、市場再編の DSM 戦略への潜在的インパクトは地域によりまた電気事業により異なっている。

しかし、多くの電気事業者にとっての DSM 戦略は、よりコスト効果的なプログラムへの移行、電気事業だけでなく ESCo による DSM サービスの提供、競争入札の導入、需要家によるエネルギー利用効率向上プログラムの実施、電気事業による負荷管理プログラムの維持等を重視している。

2.3 SCE の例

1990 年時点では、カリフォルニアの電気事業は DSM プログラムの展開に関しては米国をリードしていた。1995 年には同州の電気事業は DSM プログラムのリストラで再び米国をリードしている。1994 年 4 月同州公益事業委員会(CPUC)は 2002 年までにすべての需要家に対し小売託送を認める包括的な電力再編計画を提案した。その後、二大電力会社である PG&E と SCE は DSM 予算を大幅にカットするとともに DSM プログラムの見直しを行った。この見直しは、需要家に対するエネルギー効率改善の奨励を続けていくが、料金への直接的影響を小さくしようとするものである。以下、SCE における

DSM プログラム改訂のポイントを紹介する。

SCE

同社は、DSM 予算を 1994 年の 1 億 2730 万ドルから 1995 年の 5,390 万ドルへと 58%削減した (1994 年の実際の支出額は 9,920 万ドル)。

(1) 需要家へのリベートの見直し

SEC は、リベート・ベースのプログラムから情報ベースのプログラムに重点をシフトすることを決めた。ただし、この決定はリベート・プログラムに対し多額の税金がかけられることになるというのが主たる理由といわれている。

住宅部門においては、SEC は「住宅エネルギー管理インセンティブ」、「コンパクト蛍光灯」、「住宅建設」等に対するリベート・プログラムを廃止した。非住宅部門においては、「ビル改築」、「パイロット・エネルギー高効率モーター」、「パイロット・コンパクト蛍光灯」に対するリベート・プログラムを廃止した。

商業、工業および農業部門における主なリベート・プログラムである「エネルギー管理ハードウェア・リベート・プログラム」は 1995 年に 83%も予算が削減された。1994 年においては、このプログラムは、エアコン、ヒートポンプ、室内照明システムの取替え、光電子照明コントロール、窓の改造などの広範囲のエネルギー高効率機器に対して資金的なインセンティブを提供してきた。

SCE は、1995 年においてはこのリベート・プログラムに対するインセンティブを削減することとした。同社は、また住宅以外の新設リベート・プログラムも廃止した。

(2) 情報プログラムへのシフト

リベート・プログラムの大幅カットの代わりに、SCE は需要家のエネルギー効率改善のため技術・情報サービスを拡大した。非住宅部門の情報プログラム予算は 1994 年における 280 万ドルから 1995 年の 760 万ドルに増額された。

(3) 需要家資金から株主資金によるプログラムへのシフト

1993 年 10 月、SCE は株主と需要家双方が出資する ENVEST SCE と呼ばれるエネルギー・サービス・プログラムを 2 年間実施することを承認された。このプログラムを通じて、SEC は商業、工業および政府部門の需要家のニーズを総合的に充足するサービスを提供した。それは、エネルギー分析からエンジニアリングおよびデザイン、設備設置、モニタリング、トレーニング、設備のパフォーマンスの報告等に至るまでのサービスを含むものである。

このプログラムは大口産業需要家や政府機関に非常に好評で、SCE は CPUC に ENVEST SEC を完全に株主資金による新ビジネスとしてスピン・オフすることを申請した。このようにして、SEC は需要家のニーズに逸早く反応できるフレキシビリティを得た。

(4) 双方向通信およびエネルギー管理システムの開発

(Advanced Energy Management System : AEMS)

SCE は、1995 年に少数の家庭用需要家を対象に AEMS のテストを始めた。AEMS は、テレビ画面上にエアコン、冷蔵庫、水泳プール・ポンプなど 5 つの主要機器のエネルギー利用案内やコスト情報を提供する。発展した AEMS では、需要家は電力使用料金を節約するため機器の利用をコントロールするほか、料金徴収や支払い、機器診断分析なども扱うことができる。AEMS プロジェクトは競争環境下において需要家との緊密な関係の構築に役立つ新たなサービスを提供するものと考えられている。

3. 自由化シナリオと DSM

本章では、市場自由化のシナリオと DSM のインセンティブとの関係を整理するとともに、ディス・インセンティブの削除・軽減策の検討を行う。

英国では、プール・システムの導入という市場自由化シナリオを採用したが、そこでは垂直統合が分離されるため、発電サイドと需要サイドのインターフェイスが遮断されることになる。この意味で、垂直統合が分離される発電、送電、配電の各会社は DSM には関心を示さなくなると言える。

発電会社は電力という「商品」を売ることにまず関心をもつ。ただし、負荷率を可能な限り改善させることにはインセンティブを有するが、需要家に影響を及ぼすことに限界がある。送・配電会社も、投資を繰延べできる場合以外は、販売を減少させるインセンティブはもたない。

電気事業(utility)が配電サービスのみを提供する場合、DSM の多くの利益(新規発電・送電および燃料の回避コスト)を享受することはできない。このような場合には、多くの DSM プログラムは電気事業にとっての費用効果テストをパスすることができない。TRC テストも、競争導入により電気料金が引き下げられることによってパスすることが難しくなる。

小売託送が導入される場合、需要家にとって供給事業者の選択は自由になるため、フリーライダーの問題が生じる。

垂直統合が分離されることによる発電サイドと需要サイドのインターフェイスの問題や小売託送導入によるフリーライダーの問題は、発電事業者と需要家とが長期契約を締結することで解決可能である。長期契約により、投下資本の回収が確実になれば、競争環境下におけるコスト削減の重要な手段として DSM は地位づけられることができる。

最も競争条件が整備されているプール市場においても DSM はその機能を発揮することが可能である。まず、短期のスポット市場は重要な DSM の一手段である。次に、発電事業者は競争環境下でのマーケティング手段として差額契約に付加する形で DSM を実施することが考え

られる。プール市場は短期のプライス・シグナルを提供するのみである。そのため、DSM 投資を考えている需要家にとっては、その決定を支援するための5年程度先までの先物市場が必要となる。さらに、新規参入者の中には IPP だけでなく、省エネルギーを「売る」事業者も出現することになろう。また、競争入札に DSM を組み込むことも可能である。

小売託送やプール・システムでは、外部効果を内部化することは難しく、社会的に望ましいプログラムは規制当局の介入なしでは、実施が困難である。これをどのように誰が実施するのかは、現段階では決まっていないが、その費用は配電料金に上乗せしすべての需要家から回収することが考えられる。

4. 今後の展望とまとめ

米国における DSM のリストラ動向をみると、同国における DSM プログラムは将来的に次の4つのタイプに多様化し、実施にさいしては、その費用効果が十分に吟味されることになると考えられる。

- (1) 5～10年の投資期間で費用や投資の削減効果のある負荷管理などの電気事業にとって真に費用効果的なプログラム。このようなプログラムは電気事業によって自主的に採用される。
- (2) 3～5年の投資期間で費用削減や効率向上の効果がある高効率モーターなどの需要家にとって真に費用効果的なプログラム。このようなプログラムは需要家によって採用されることになる。
- (3) 現在は費用効果的ではないが、「市場転換」(“market transformation”)後、すなわち現在の「市場の障壁」(market barrier)が除去されるならば費用効果的となりうるプログラム。高エネルギー効率機器がその例であるが、需要家にとって魅力的な価格となるよう十分な市場を確保するため、補助金や購入保証を必要とする。この種の

プログラムは、税金または料金への上乗せによって継続される可能性がある。具体的なプログラムは政策当局者によって決定されることになる。

(4) 最後に、環境の外部効果を考慮に入れた社会的に望ましい DSM や低所得者層向けプログラムなど社会的価値に基づく DSM も存続することになろう。このような DSM は税金の徴集や電気料金への上乗せによって継続されることになる。しかし、このような社会的に望ましい目標の設定は州により異なり、時とともに変遷するため、対応する社会的な DSM プログラムも多様性をもつとともに変化していくと思われる。

このように、競争の導入とともに米国電気事業はコスト削減努力を行う中で短期的視点が重視され、3~10年に効果の挙がらない省エネルギーや DSM プログラムは削減または廃止対象となっている。しかも、上述の(1),(2)のように電気事業または需要家にとって真に費用効果的なものに限定される傾向にある。(3),(4)のように社会的に望ましい DSM プログラムはなんらかの政策介入なしでは実行困難となる。

すでに指摘したように、DSM プログラムのリストは全米で生じている現象ではなく、州によって、また電気事業者によって、その程度に差がある。一般に、カリフォルニアやニューヨーク州のように電気料金の高い電気事業者は短期的に料金上昇をもたらすことを懸念し、新たな DSM プログラムには消極的であるのに対し、電気料金の安いデューク・パワーやバージニア・パワーでは追加的な DSM プログラムに関心を示している。

一見矛盾するように思われる興味深い現象は、DSM プログラムは多くの電力会社によって需要家を引き留めておく重要なマーケティング（需要家のコスト削減）手段としても用いられていることである。

以上、本稿では電力市場への競争導入が DSM 戦略に大きな影響を及ぼすこと、その一方では競争導入はコスト意識を徹底化させ、新たなビジネス・チャンスも生み出すことを確認した。

市場自由化に伴う電気事業の垂直統合の分離は、電気事業の DSM へのインセンティブを大幅に削減するが、その対応策を講ずることは多くの場合可能である。しかし、環境への外部効果を考慮に入れた社会的に望ましい DSM プログラムは規制当局の介入なしでは存続は困難となる可能性がある。そのための費用は、配電料金に上乗せしてすべての需要家から徴集することが考えられる。

【参考文献】

- [1] California Public Utilities Commission (1993), "Demand-Side Management" OIR/OII Rulemaking No.91-18-003, Decision No.93-11-017
- [2] Hirst, E. and S. Hadley (1995), "Utility DSM Programs From 1989 Through 1998: Continuation or Cross Roads?" Oak Ridge National Laboratory
- [3] Nadel, S., H. Geller and M. Pye (1995), "DSM Under Attack: Are Utilities Overreacting to the Treat of Retail Wheeling?" American Council for an Energy-Efficient Economy
- [4] Southern California Edison(1995), "Annual DSM Report, 1994 Results-1995 Plans"
- [5] 矢島正之(1994), 「電力市場自由化」日本工業新聞社

（やじま まさゆき
電力中央研究所 経済社会研究所）

環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想

A New City Model with Environment Symbiosis and Energy Conservation

キーワード:環境共生、省エネルギー、ネットワーク、新都市構想、首都機能移転

山本 公夫

1. はじめに

地球環境保全、エネルギー・資源制約の時代のなかで、電気事業は需要家サイドを含めたエネルギー利用システムの革新、地域活性化への貢献が求められている。一方、都市は今後高い伸びが予想される民生用エネルギー消費の大きな部分を占めている。そのため、持続可能なエネルギー・資源利用の社会の実現には、世界的にも膨張が続く都市の在り方の追究が必要である。

当研究所は、平成5年度エネルギー未来技術フォーラムにおいて、都市のエネルギーと環境を視점에数万人規模の業務都市・職住近接都市の構想を提案した。しかしながら、環境共生の姿と省エネルギー技術の適用効果について報告したが、都市全体の構想までは言及していなかった。

そこで本研究では、当研究所が研究実績を有する「地域経済、環境共生、エネルギー・資源、交通、都市防災・安全、情報」などの様々な観点から都市の在り方を検討していく。具体的には、21世紀に向けて実現が望まれている数十万人規模の新都市を題材に、エネルギー・資源の循環型を追求した新しい都市像を提案し、環境共生・省エネ策の導入による効果を定量的に明らかにする。これにより、今後の環境共生や省エネルギーを目指した都市政策・計画に資する。

2. 環境共生・省エネ都市の構想

(1) 都市機能の構成

モデル都市の設定においては、国の首都機能移転問題での検討結果を踏まえ、段階的な開発に対応できるような、ある程度自立した小都市（以下、「クラスター」と呼ぶ）群が数万 ha の圏域に分散することを前提とした。各クラスターは、職住近接を図り自立しており、特定の機能で性格付けされた側面を併せ持つ。さらに、その機能がモデル都市全体で有機的に連携するよう計画している。

各クラスターの機能を表1に示す。首都機能関連に関しては、まず国会議事堂や最高裁判所、大使館などを有する立法・司法クラスター、省庁を中心とした行政A・Bクラスターを想定した。さらに、それらのクラスターを支援する政府外郭団体や自治体、マスコミ、民間企業などのオフィスからなる業務A・B・Cクラスターを設定した。

また、首都機能関連クラスターを補完するために、ショッピングセンターや劇場からなる商業クラスター、国際交流を目指した交流クラスター、研修施設やスポーツセンターを有する余暇クラスター、大学や研究機関からなる研究学園クラスター、さらに物流の拠点となる流通クラスターと資源リサイクルのための供給・処理クラスターを設置した。

なお、各クラスターの人口構成や開発面積な

表1 クラスターの機能と人口・開発面積

クラスター	都市機能	主要施設	居住人口(人)	開発面積(ha)
立法・司法	国会、裁判所	国会議事堂、最高裁判所、政党本部	47,368	778
行政A	行政	行政庁舎	47,368	467
行政B	行政	行政庁舎	47,368	454
業務A	準首都	政府外郭団体、自治体事務所、ホテル	47,368	489
業務B	随伴民間	マスコミ、情報通信、ホテル	47,368	466
業務C	業務、商業	民間企業、百貨店	52,632	556
商業	商業、文化	ショッピングセンター、劇場、ホール	78,948	773
交流	国際交流	コンベンションセンター、国際会議場	78,948	901
余暇	余暇、研修	研修施設、スポーツ施設	76,316	1,207
研究学園	研究、大学	国・公立大学、研究機関	76,316	886
流通施設	物流	トラックターミナル、倉庫	0	100
供給・処理	供給、処理	コンポスト工場、RDF工場	0	100

どのフレームについては、その機能構成にもとづく都市計画原単位を参考にしながら表1に示すよう設定した。

(2) クラスターの配置

各クラスター間のアクセスが容易であり、かつ交通の集中が発生しにくい構造となるようクラスターの配置を検討した。その結果、今回提案する環境共生・省エネ都市では、図1に示すダブルリング型構造を採用している。

司法・立法と行政のクラスターは近接させ、報道関係や外郭団体など首都機能と関係の強い業務系クラスターと隣接して配置した。

商業、交流、余暇、研究学園クラスターについては、それぞれ個別の機能を有するものの居住機能が中心となり、首都機能関連クラスターを囲むような形で周辺に配置している。また、交流クラスターは、国際会議の開催など大規模な行事にも対応し得るよう空港からのアクセスに留意している。

なお、物流クラスターは高速道路からアクセスしやすい位置とし、供給・処理クラスターは地形に配慮しながら配置した。

3. 環境共生・省エネ策の導入と効果

3.1 ヒートアイランド現象

(1) ヒートアイランド対策

環境共生で重要な検討項目となるヒートアイランド化は、様々な空間スケールでの現象が重なり合って発生している。そこで、空間スケール毎に対策を検討することが重視される。ここでは、①「クラスターの配置の工夫」と、②「クラスター内の土地利用の工夫と人工排熱量の削減」という二つに着目して、都市のヒートアイランド対策を検討した。

① クラスター配置の工夫

環境共生・省エネ都市では、機能別にクラスターを分散・配置し、その間に緩衝緑地を設ける。これにより、都市全体の気温低減効果を期

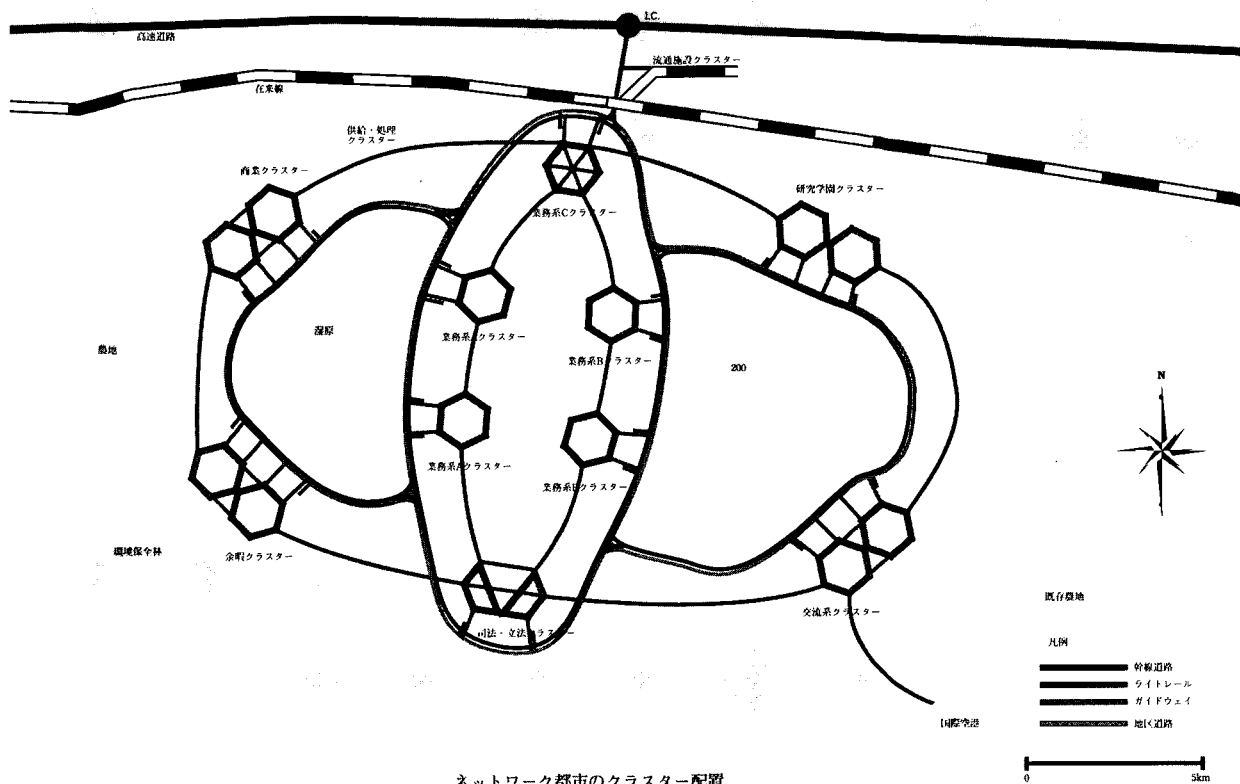


図1 クラスターの配置図

待できる。

また、夏の海岸付近の都市にとって、日中の海風はクーラーのような存在である。これを効果的に活用するようクラスターの配置を工夫し、同様の効果を期待した。

② 土地利用の工夫と人工排熱量の削減

日中に都市内が高温化する原因の一つとして、都市内の建物群が風通しを悪化させ、都市活動が営まれる建物の中に熱が籠りやすくなることが挙げられる。そこで、海風の向きを考慮しつつ、日中の涼しい風を都市クラスター内にうまく誘導させ、気温を低下させるよう、緑地・水辺・建物の配置を工夫する方法が考えられる。

人工排熱量を削減する方法としては、様々な省エネルギー技術を都市内に適用することが有効である。具体的には、交通・輸送手段の改善による運輸エネルギーの削減や、熱電併給システムや情報通信システム等の改善による建物の

省エネルギーが挙げられる。また、こうした直接的な省エネルギー策以外に、屋上緑化や透水性舗装などにより潜熱化を促進して気温を下げ、空調等のエネルギーを削減する方法もある。

(2) ヒートアイランド抑制効果

ヒートアイランド対策の効果を比較検討するために、クラスターを一ヶ所に集めた集中型都市 (case-1)、クラスターを分散させた分散型都市 (case-2)、さらに分散型都市に土地利用の工夫と人工排熱量の削減を図った環境共生・省エネ都市 (case-3) という3つの計算ケースを設定した。各ケースに対して、クラスター内の土地被覆 (建物、道路、森林・緑地の構成率) や人工排熱量 (8月の月平均値) を算定し、真夏日の15時における地上10mでの気温分布と風速分布をシミュレーションした結果が図2である。また、海岸線からの距離を指標として、各ケースにおけるクラスターの平均気温をプロットした

ものが図3である。

この結果から、クラスター配置を分散化することによって、全クラスター平均で約 0.20℃の気温低減効果が見られる。これは値としては大きくないが、これは最初に設定した集中型都市の緑被率を 30%以上にしており、緩衝緑地の効果が相対的に小さくなったためと考えられる。

また、環境共生・省エネ策を導入することによって、全クラスター平均で約 0.15℃の気温低減効果が見られる。その効果は風下側のクラスターほど大きい。これは、クラスター内の気

温低減に加えて、風上側からの効果が風下のクラスターに加算されていくためと推察される。

さらに、各クラスターとも海岸に近いほど気温低減効果は大きく、海風の冷却効果が有効とわかる。また、集中型都市を基準にして評価すると、分散型にした効果と環境・共生省エネ策を導入した効果はほぼ同程度である。つまり、クラスターを分散化させることにより、省エネ策を導入した場合と同程度の気温低減効果を期待できる。

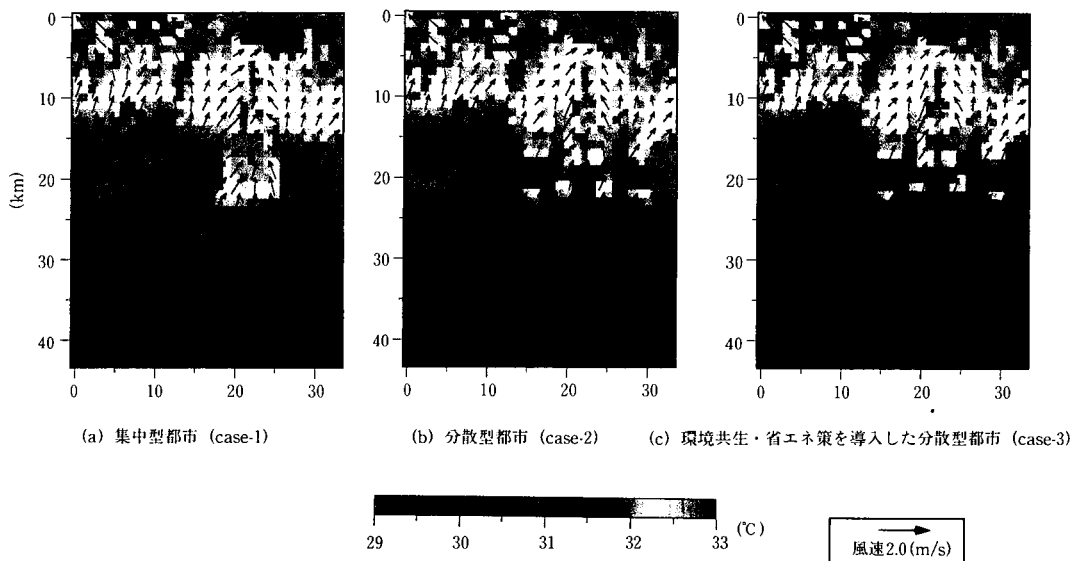


図2 ヒートアイランド現象のシミュレーション結果 (夏日 15時)

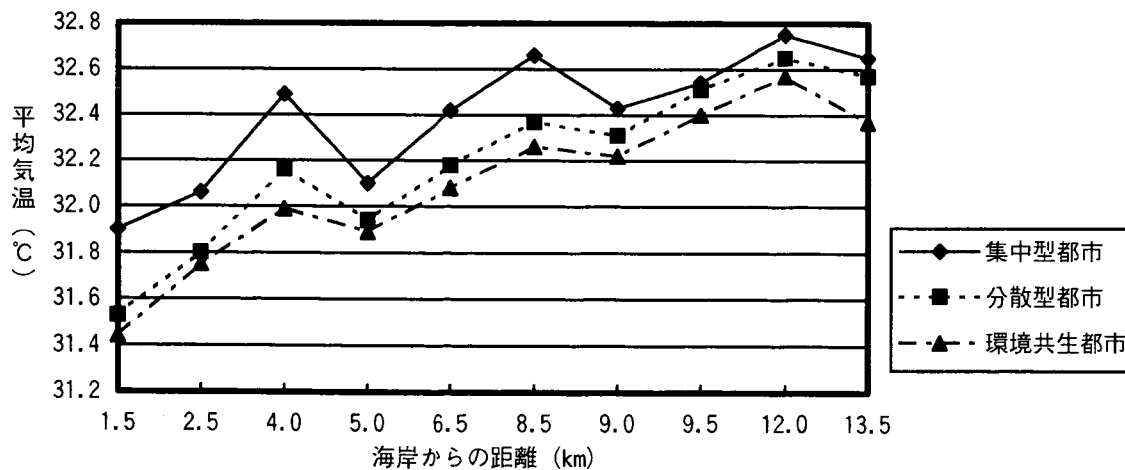


図3 海岸線からの距離と各クラスターの平均気温の関係

3.2 エネルギー供給システム

(1) エネルギー供給システムの導入

環境共生・省エネ都市へのエネルギー供給については、表 2 に示すようなシステムを提案した。

電力負荷については、各種節電機器の普及を想定し、電力需要の削減を図った。さらに、都市内に高効率コージェネレーション・太陽電池の分散型電源を導入し、発電効率の向上、再生可能エネルギーの積極的な利用を行った。

電力の負荷率向上の面からは、地域熱供給システムへの大規模蓄熱の導入、改良型氷蓄熱型ビルマルチエアコン、住棟単位での集合住宅用および戸建住宅用の貯湯式給湯ヒートポンプなどによるピーク低減・夜間電力の活用を図った。

一方、電力供給については、現行の 20kV 級や

6kV 級を用いた電力供給（クラスター内の変電所数は 1~2 カ所）が考えられるが、環境共生・省エネ都市の省エネルギー性、持続可能性を向上させるために、業務用需要についてはコージェネレーションの活用を、家庭用需要家については太陽光発電の設置し、系統電力と分散型電源を協調運用するものとした。

冷暖房および給湯の熱需要については、パッシブソーラー建築手法を適用して、建物の冷暖房負荷を削減した。さらに、前述の高効率コージェネの廃熱活用、下水処理水・河川水等の未利用エネルギーを有効利用するために、地域熱供給を導入した。また、地域熱供給以外の個別空調機器でも高性能ヒートポンプの導入を行った。

表 2 エネルギー供給システムの概要

(1) 電力需要関連	<ul style="list-style-type: none"> ① 電力需要の削減 <ul style="list-style-type: none"> ・各種節電機器（冷蔵庫、照明、OA 機器、ヒートポンプ） ② 高効率発電及び再生可能エネルギーの導入 <ul style="list-style-type: none"> ・MCFC（コージェネレーション） ・太陽光発電 ③ 負荷平準化 <ul style="list-style-type: none"> ・地域熱供給での大規模蓄熱 ・蓄熱式ヒートポンプ ④ 系統電力と分散電源の協調運転 <ul style="list-style-type: none"> ・深夜の低負荷時に MCFC を部分負荷運転
(2) 熱需要関連	<ul style="list-style-type: none"> ① 冷暖房負荷の低減 <ul style="list-style-type: none"> ・パッシブソーラー建築（断熱強化、外気冷房） ② 熱供給システムの高効率化 <ul style="list-style-type: none"> ・MCFC の排熱利用 ・高性能ヒートポンプ ③ 未利用エネルギーの利用 <ul style="list-style-type: none"> ・湖水、河川水などのヒートポンプによる利用

(2) エネルギー供給システムの効果

① 一次エネルギー消費量での評価

年間一次エネルギー消費量の比較を図 4 に示す。エネルギー消費構造が同じでも、負荷側の省エネルギー技術により省電力・省熱負荷を行うことにより、従来都市の一次エネルギー消費量 8,251Tcal に対して、一次エネルギー消費量は

6,841Tcal と約 17%の省エネルギーを図ることができる。さらに、高効率地域エネルギー供給およびその他の省エネ技術の導入した省エネ都市では、年間一次エネルギー消費量は 5,598Tcal となり、最終的には約 32%の省エネが実現できる。各種省エネ機器および太陽光による省エネ効果は 462Tcal、高効率地域エネルギー供給システム

による省エネ効果は 782Tcal である。高効率分散型電源を含む高効率地域エネルギー供給システムによる省エネ効果大きい。

② 負荷平準化効果

夏代表日についての従来都市と省エネ都市の日間電力カーブの比較を図5に示す。ピーク電力が従来都市の634MWから452MWと約3割低

減されている。これは、冷房負荷の低減を図るとともに、冷房機器を効率を向上させ、蓄熱式ヒートポンプや高効率地域エネルギー供給システムを導入したことに起因している。特に、空調機器の省エネルギー化が負荷平準化に相当の寄与する点は注目される。

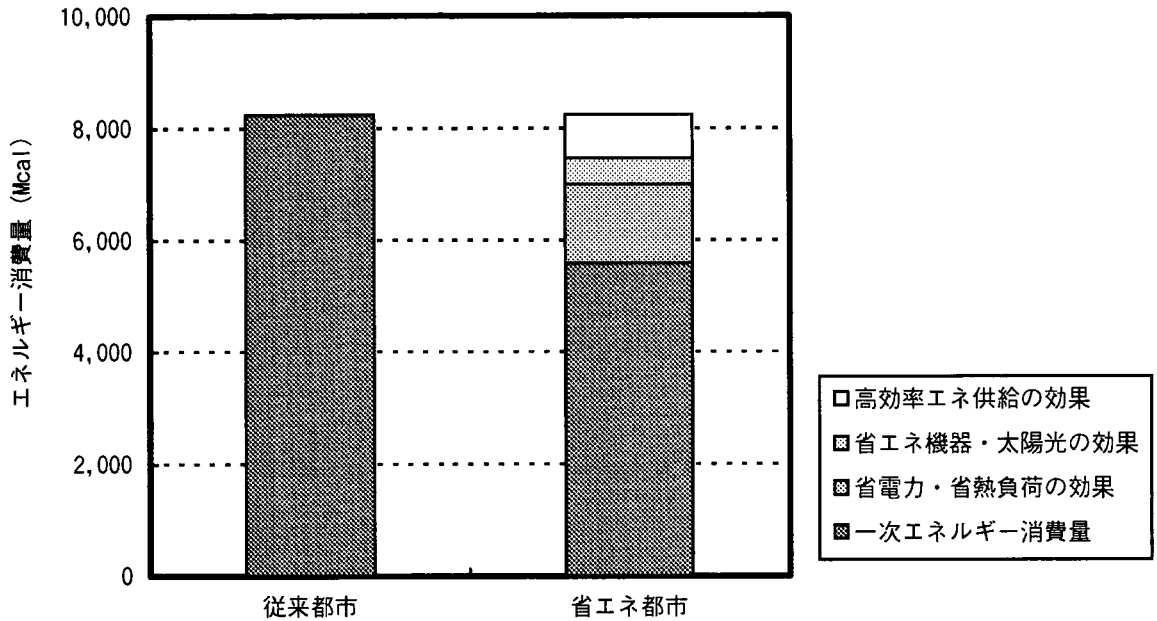


図4 一次エネルギー消費量の削減効果

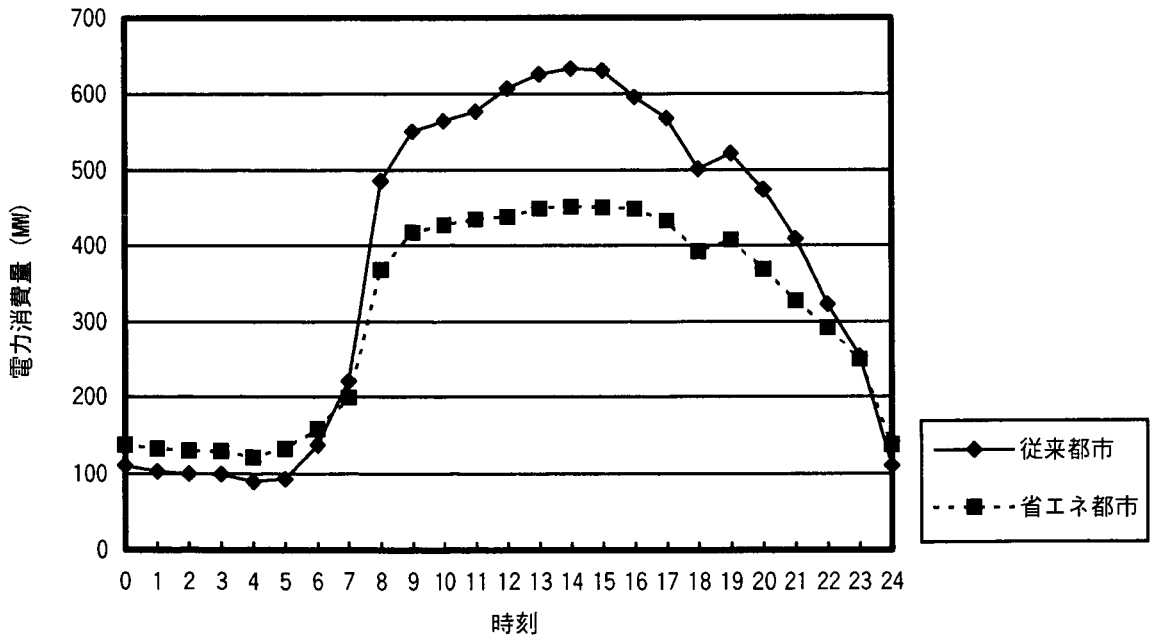


図5 夏季ピーク電力の比較

3.3 交通システム

環境共生・省エネ都市では、旅客交通では短距離移動は徒歩・二輪、中長距離移動は公共輸送機関による移動を前提とした交通基盤を整備し、貨物交通（物流）では物流専用の輸送システムを構築した。

(1) 旅客交通

クラスター間の移動については、公共輸送機関を基本とする。この輸送システムの利用を促進するよう、駅周りは業務地及び高層集合住宅を選択的に立地させることで高度利用を図り、低層住宅等はクラスター周辺への立地とする。また、各クラスターにおいて都市計画と連携し、駅を中心とした土地利用の誘導は当然のこと、クラスター内のあらゆる場所から最寄り駅までの距離をある一定以内に抑えることとする。

また、クラスター内の移動については、短距離移動では、徒歩・二輪を基本にする。各住区間、及び駅までの動線において歩行者専用道路を設け、また集合住宅団地内においては完全な歩車分離を行う。また、クラスター内でも中距離移動の場合、公共輸送機関を積極的に活用することとする。

このなかで、ライトレールを環境共生・省エネ都市の中心的な都市交通機関として位置づけ、その存在感をアピールすると同時に、利用者特にお年寄りや体の不自由な人も抵抗なく利用できるシステムとする。そのため、地上走行を原則とし、乗降施設には階段を使わず、車両にもステップを設けず、車椅子でも容易に乗降できるようにする。また、ライトレールと自転車の利便性を高めるため、自転車の車内持ち込みができるようにする。

(2) 貨物輸送

クラスター間では人と物の輸送の空間的な分離を行う。すなわち、クラスター間に物流専用の輸送システムを構築する。

物流システムを利用する場合には、基本的に

流通センターで共同化して、そこから各クラスターに配送する形をとる。そこで、クラスター間にガイドウェイを設け、デュアルモード車による物流システムを構築する。各クラスターでは、ガイドウェイを降り、そのまま各目的地に向かい配送を行う。これにより、流通センターと発送先あるいは荷受先との間が直行となる。

デュアルモードトラックは、クラスター間ではガイドウェイ上を集電走行し、一般道路上では電気自動車としてバッテリーで走行する。また、商業地域などクラスター内で物流の集中する地域では貨物車優先道路（サービス道路）をクラスター内のその他の地区では一般道路を走行する。

(3) 環境負荷の削減、省エネ効果の算定

これまでに提案した交通計画、輸送システムをもとに、環境共生・省エネ都市の交通部門におけるエネルギー消費量、CO₂排出量、NO_x排出量を算出した。また、省エネ効果を見るため比較対象となる従来都市では、交通需要は環境共生・省エネ都市に等しいと仮定した。

① 旅客交通

これまでの条件をもとに、環境共生・省エネ型都市と従来都市のエネルギー消費量、CO₂、NO_x排出量の算出結果を表3に示す。なお、従来都市の交通手段別比率は全国の平均を用いた。

従来都市に比較して環境共生・省エネ型都市では、エネルギー消費量が約53%、CO₂排出量が約39%、NO_x排出量が約25%になる。特にCO₂排出量、NO_x排出量の削減率が大きいのは、自動車と比較した場合のライトレールや電気自動車のCO₂、NO_x排出原単位が非常に小さいためである。

② 貨物輸送

貨物需要・発生量については、建物用途別の原単位を利用して各クラスター毎に計算した。この環境共生・省エネ都市では製造業に代表さ

表3 交通のエネルギー消費量、CO₂、Nox 発生量の比較

	旅客			貨物		
	エネルギー消費量 (Mcal/日)	CO ₂ 発生量 (kg-C/日)	Nox 発生量 (g/日)	エネルギー消費量 (Mcal/日)	CO ₂ 発生量 (kg-C/日)	Nox 発生量 (g/日)
従来都市	2,563,164	191,273	1,008,177	99,526	12,345	257,759
省エネ都市	1,368,808	74,118	250,815	26,997	1,227	3,131

れる 2 次産業がほとんど存在しないため、需要は小さいものとなっている。基本的に流通施設を経由し、交通手段は物流システムを利用するものとする。また、従来都市の手段別比率は施設種別の比率を用いた。

上記の仮定を基に算出した結果を表3に示す。環境共生・省エネ都市の省エネ効果は、従来都市と比較してエネルギー消費量が約 27%、CO₂ 排出量が約 10%、NO_x 排出量が約 1.2%となる。貨物においても NO_x 排出量の削減比率が最も大きい。これはデュアルモードシステムの NO_x 排出原単位が非常に小さいためである。

4. おわりに

本研究では、人口 60 万人規模の新都市を対象に環境共生と省エネルギーを目指した都市構想を提案し、当研究所が有する環境共生・省エネ策の導入方法とその効果を明らかにした。ただし、これらの結果は新都市開発という比較的制約の少ない条件のもとでの検討であった。

今後は、既存の都市の再開発や活性化に寄与し得るよう提案した環境共生・省エネ策の実用化を図ることが重要な課題である。

なお、本研究成果は当所の研究開発部に設置した「ネットワーク都市研究会（主査：浜松照秀）」によるものである。各専門分野にまたがる研究者の議論を通して環境共生・省エネ都市のあるべき姿について検討を行った。さらに、研究会での検討にあたっては、佐藤工業（株）佐藤総合研究所の木戸口浩之氏、穂山信之氏、金子哲也氏にも多大なご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

【関連報告書】

- [1] ネットワーク都市研究会（1996）、「環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想」、電力中央研究所総合報告：Y02

（やまもと きみお
電力中央研究所 経済社会研究所）

米国アウトソーシング事情

蟻 生 俊 夫

米国においては、カリフォルニアやニューヨーク州を筆頭に規制緩和が急速に進展している。そうした改革に直面しながら、各電力会社では、競争を意識した経営効率化を追求している。その中で、最近、アウトソーシング（経営資源の外部活用）を導入する企業が増えている。ここでは、ヒトや情報のアウトソーシングを中心に、代表的な米国電力会社の動向を紹介してみよう。

PECO Energy Company（ペンシルバニア州）

1990年に50歳以上の者を対象に早期退職、1994年には全従業員対象に自主退職の呼びかけを行った。また、秘書などの定型的業務は、ヒトのアウトソーシングと見なせる派遣社員にできるかぎり任せるようにした。派遣会社への支払額は1年間で約5億円以上となり、これは業界でもトップクラス。その結果、従業員は11,000人から現在8,000人近くにまで減少している。

人事に関連し、以前と比べると、社外重役や女性管理職の登用が大幅に増えている。掲示板を利用した社内異動の円滑化にも努めている。なお、これらに伴った従業員の志気低下を防ぐため、毎日、発電電力量や株主配当などの経営情報を掲載したニュースを配付している。

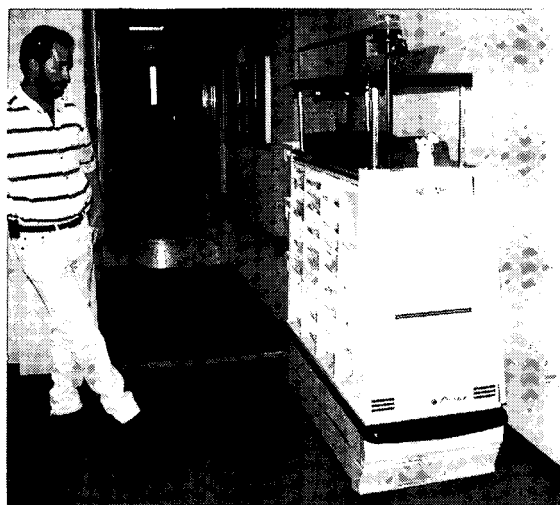
情報部門のアウトソーシングでは、1994年、施設設備の管理・維持やソフト開発などについて、IBMの子会社であるISSCと10年間で500億円に達する契約を締結した。これにより150億円以上の経費削減を見込んでいる。

New York State Electric & Gas Corporation

組織改革では、規制緩和によって配電以外は

非規制部門となるのを想定して対応を行っている。電子メールの利用や情報の共有化、派遣社員の活用などを徹底し、間接部門のスリム化を図った。従業員数は全社規模で4,800人から4,000人まで減少している。一方、外部から優秀な人材のスカウトにも積極的である。

情報部門では、1985年より、パソコンのメンテナンスにアウトソーシングを活用してきた。さらなる導入を検討したが、他社における大規模なアウトソーシングでは、期待したような経費削減まで結びついてないケースも散見されるのが実情とわかった。また、顧客ニーズへの柔軟な対応が難しい、管理権限を失うなどの問題点も懸念された。そこで、新たに1995年から1996年にかけて、採算性のみが重視されるデータセンターやヘルプデスク（苦情処理）、ネットワーク管理の部分に限定してアウトソーシングを採用入れることにした。資源・データ・コストの管理や企画、設計の部分については、情報部門のコアと位置づけられ、アウトソーシングには不適切と判断している。



ある電力会社では、社内における資料の配付、運搬は写真にあるマシンが担当。これも一種のアウトソーシング。

Consolidated Edison Co of New York Inc

数年間、コスト削減を経営戦略上の重点施策に掲げ、人員削減に積極的に取り組んできた。アウトソーシングである派遣社員を活用しながら早期退職や自主退職、採用抑制を行い、現在の従業員数は、ピーク時の3分の2近くまでになっている。米国の場合、人材の流動性が高く、これらは比較的スムーズに実施できた。

他方、情報部門では、既にかかなりの社内投資を行っており、良好なシステムを保有している。そのため、当面、大規模なアウトソーシングは考えていない。ただし、システム開発については、2000年頃を目途に安価な海外プログラマーとの契約を計画中である。

現在、持株会社の設立に向けて準備を進めている段階。これより、電気やガス事業を営む会社の他に、電気関係のサービスを行う会社や、IPPとして電力供給を行う会社、ベンチャー事業としてインフラ建設を手掛ける会社が誕生する予定。今後のアウトソーシングについては、新しい組織の下、それぞれの会社が独自に導入を判断していくようになろう。

Arizona Public Service Company

サザンカリフォルニアエディソン(SCE)やパシフィック、ネバダパワーなど、数多くの電力会社と供給エリアを隣接し、競争に対する意識は非常に強い。1991年から1994年にかけて、外部のコンサルタントを活用してリエンジニアリングに取り組んできた。これは、経営ノウハウのアウトソーシングと見なせる。人員削減や組織改革を実施し、1988年時点で9,000人以上いた従業員は、今では6,000人程までに減少している。

現在は改革の第二段階。ここでは、2000年までの経営戦略計画を策定した。エネルギーサービス産業として成功を目指し、ベンチマーキン

グ手法を採用している。次表のような客観的な経営指標と理想とする実例を設定し、電気事業として経営体質の強化を目指す。単に料金や財務指標だけでなく、社会的責任や安全性まで視野に入れている。これら実例は、電力会社のみならず、我々にも馴染みの深いコカ・コーラやフェデックスといった一般企業にも及んでいる。

表 Arizona Public Services Company
におけるベンチマーキングの例

経営指標	理想とする実例 (BEST PRACTICE)
顧客満足： 全体としての満足 ブランド力 停電の頻度 定刻サービス 料金	デュークパワー、ミシシッピパワー、PP&L キャテラック、コカコーラ、フォーシーズンホテル デトロイトエジソン、デュークパワー、SCE AT&Tユニバーサルカード、ジョージアパワー アイダホパワー、パシフィック
従業員： 競争的文化 競争的成果 忠誠度	フェデックス、GE、ウォルマート、サウスウェストアライン 〃 〃
財務指標： 平均料金単価 年間売上高 総資本収益率	アイダホパワー、パシフィック ジョージアパワー、パシフィック、ユティリティコープ デュークパワー、TECOエナジー
発電所能力： 石炭換算稼働率 原子力設備利用率	アラバマパワー、NYSEG ノースステーツパワー、SCE
社会・環境責任： 社会的責任 一般社会 リーダーシップ 環境責任 一般社会 リーダーシップ 従業員	デュークパワー、FP&L、ウイソコンシエレクトリック アメリカウエスト、ファーストインターステートバンク デュークパワー、PG&E、ササノカンパニーサービス デュークパワー、PG&E、ウイソコンシエレクトリック (内部評価)
安全性： 事故・病気発生数 安全管理	ナイガラモホーク、バージニアパワー、キャロライナP&L (内部評価)

以上のように、各電力会社におけるアウトソーシングへの取り組みは、その程度や方法などにかかなりバラツキがあるものの、規制緩和の中、いずれも真剣に検討されている。ただし、これら効果の評価には、もうしばらく時間を要するといえそうだ。今後もその動向が注目される。

(ありう としお
電力中央研究所 経済社会研究所)

APEC 地域の電力分野における民間支援の可能性

-太平洋経済協力会議の参加報告-

上之 蘭 博 岡 田 健 司

1. はじめに

1995年11月大阪で開催されたAPEC首脳会議において、エネルギー分野の共通政策理念に基づく大阪行動指針が承認され、行動計画が採択された。各国の具体的な行動を促すために第1回エネルギー大臣会合が1996年8月28日～29日に開催され、これと連動する形で、太平洋経済協力会議（Pacific Economic Cooperation Council: PECC）主催の「鉱物・エネルギーフォーラム（Minerals and Energy Forum, Special Group Meeting on Energy Policy）」（8月26日～27日）が開催された。2日に渡り6セッションが設けられ、APEC諸国から150名以上が参加し、APEC地域のエネルギー問題の現状、電力産業の再編成、エネルギー資源の動向、エネルギー効率と環境特性を改善するための市場対応なども考慮した持続可能なエネルギー戦略、エネルギー部門での貿易と投資に関する基本原則や民間セクターからの資本投資や財務環境の整備などの話題について、議論が行われた。特に、APEC域内の電力需要は、2010年までに、年平均5%で成長するという見通しもあるほど、急激に増加する。アジア開発銀行の予測によれば、アジア地域のエネルギー部門で、年間1,000億ドルの設備投資が必要で、電力設備の増強とその資本調達が必要課題となる。また、これらの設備投資の資本源は、世界銀行やアジア開発銀行等の公的部門だけでは足りず、APEC地域のエネルギー問題の解決のためにも、民間資本や外資の導入は不可欠である。

本稿は、会議で論議された今後のAPEC地域

での電力部門での民間支援の問題点を中心に紹介する。

2. 電力産業改革のねらい

APEC諸国でも、電力産業の効率化を図り電力をより低い価格で安定に供給するために、電力産業の改革に着手している。この改革のねらいには、①政府財政資金への要請をできるだけ減らすこと、②競争の導入により効率を図ること、③資金調達コストの上昇要因である「リスク」を減らすことである。

これまでに、電源開発における外資導入の形式には、BOT形式による卸売発電、IPP（独立発電事業者）による卸売発電所の建設や合弁発電など、各種の工夫がされている。今後3年間でアジア太平洋諸国で計画されている電源開発のうちの約65%が、IPP関連であるとの予測がされている。例えば、タイ電力庁（EGAT）では、1996年から2011年の間に、新規発電設備の約62%に当たる24,000MWのIPPを導入する計画を立てている。このように、電源開発におけるIPPに依存度は増加する傾向にある。ただし、IPP等のプロジェクトを進める上で、① Construction/Reserve Risk、② Operation Risk、③ Credit Risk、④ Financial Risk、⑤ Legal Risk、⑥ Political Riskといった種類の「リスク」を考慮しなければならないことも、本会議において指摘された。

さらに、電力産業の改革のもう一つのねらいは、より巨大な資金の調達を可能とするように変えてゆくことである。資本市場から電力向け資金をよりよく調達するための対応策は各国共

通性があるので、規制体制の変更にも多国籍間の「共通性」があってもよいはずであると発表があった。その共通の対応 (Collective Actions) とは、①規制変更に関する情報がシェア、②規制政策当局間の情報交換と規制される側同士の情報交換、③電力規制の枠組みの改革である。特に、規制の本質と構造が互いに理解されれば、規制に伴う投資リスクが軽減でき、電力投資を活性化させることができる。そのためには、電力規制の枠組みの改革が重要であることが指摘された。

しかし、現状では、投資コストと現地の電力料金の格差が大きく、法制面や税制面でのリスクも少なくない。電力分野でのインフラ投資増のための公的・民間両部門における共通の理解と協力を強化するためにも、電力投資政策の許認可プロセスの標準化、インフラ投資の認可に関する規制構造とプロセスの透明性、電力規制プロセスが民官の協議により計画されることなどが重要である。

3. 「3E」から「4E」への展開

Mr. Russel Higgins (Chairman, APEC Energy Working Group) は、域内のエネルギー需要増とともに、エネルギー供給環境における制約要因が存在し、これらの諸問題を解決するためには、エネルギー市場の透明性を改善すること、経済成長、エネルギー・セキュリティと環境の「3つのE」が同時達成されることが重要であると指摘をした。この「3つのE」の考え方は、従来から良く言われることであるが、今回、Mr. Robert C Moeller (Vice President, Booz Allen Hamilton, USA) は、この「3つのE」から「4つのE」といった考え方も必要ではないかという提案をしている。ここでいう、「4E」とは、① *Excellent* (効率改善や環境対策の促進)、② *Exciting* (民間部門からの資本の導入促進と自由市場の創設)、③ *Expectable* (進出する企業へ

のリスク軽減)、④ *Education* (専門家の育成) である。若干、内容についての議論はあるであろうが、このような新しい捉え方は、今後、APEC 諸国内での新しい協力体制を形成、とりわけ電力インフラの外資導入において、キーワードになるかもしれない。

4. おわりに

本会議での議論の焦点が、APEC への報告書として取りまとめられ、本会議の最終日の午後で開催された PECC Energy Business Forum にて発表された。さらに、同時期に開かれた APEC エネルギー大臣会合では、域内の 2010 年に向けたエネルギー需給見通しの作成、省エネ・新エネ開発のデータ相互利用、電力インフラ投資の促進の3点が合意された。

今回の PECC 会議では、主に APEC 各国が抱えている問題の発掘に主眼が置かれ、具体的な対応策については、今後の検討課題として指摘されるにとどまっている。今回は、アジア地域での原子力発電の導入に伴う諸問題、域内の経済構造の変貌や政治情勢の変革がエネルギー・電力分野にもたらす影響については議論されなかった。

今後、APEC に設置された官民の協議機構「アドホック・ビジネス・フォーラム」が来夏をめどに電力インフラ投資の指針が勧告される予定である。将来は、発電事業だけではなく、配電事業にも日本の企業が進出する可能性は高くなると思われる。

(かみのそのひろし
電力中央研究所
おかだけんじ
電力中央研究所 経済社会研究所)

気候変動枠組条約第2回締約国会議 (COP-2)

東 一 郎 明 日 香 壽 川

1. はじめに

1996年7月8日より19日にかけて、ジュネーブの国連欧州本部でCOP-2という奇妙な名前の会議が開かれた。COPは、Conference of the Partiesの略で警官のことではない。日本語では、気候変動枠組条約締約国会議、あるいは単に締約国会議と訳される。その目的は、気候変動枠組条約(FCCC、以後気候条約と略)に基づき、温暖化緩和策を実施することにある。気候条約では、先進国はCO₂等の排出量を2000年までに1990年水準に抑制することとなっている。但し2000年以降の目標については定めておらず、法的な拘束力もない。1995年2月に第1回会議(COP-1)がベルリンで開催され、現状の気候条約の内容では、温暖化緩和に不十分でより強い対策が必要とするベルリン・マンデートを採択した。今回のCOP-2の役割は、この宿題の具体的な解決の手順を決めることであり、世界161か国の政府代表約1000人と135団体(国連機関及びNGO、日本の経済団体連合会も参加)から約650人が参加した。

2. COP-2の結論

採択された閣僚宣言(ジュネーブ宣言)の要点は、次の通りである。

・1996年12月に公表されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)第2次報告書の科学的な検討結果を認め、特に先進諸国における緊急な温暖化緩和策の基礎と考える。IPCC報告書では、人間活動が気候に影響を与えていると信ずべき根拠があり、このままいくと、2100年までに約2℃の温暖化と50cmの海面上昇がおきると警告している。

・温暖化を緩和するため、COP-3において、法的拘束力のある議定書又は他の法的施策の採択を目指す。議定書等には、例えば2005年、2010年又は、2020年のような期限を定め数量化されたCO₂等の排出量削減目標が設定され、先進国に適用される。

・COP-3は、日本の招請に応じ、京都で開催(1997年12月1~12日)する。

3. 様々な各国の立場

議長の開会挨拶によれば、様々な各国の立場の中での、議事進行は悪夢にも似ていた由。冗談として言っていたが半分は本音であろう。主なグループを次に示す。

(1) AOSIS (島嶼国連邦)

サモアなどの島嶼国は、海面上昇により国土水没、ハリケーン等の危機にさらされるため、最も強い温暖化緩和措置(先進国のCO₂等の排出量を1990年の水準から20%減らす)を主張。半島であるバングラディッシュも、国土の17.5%が水没の可能性があるととしてこれに同調。

(2) EU

ドイツ、英国などのEUは、予防保全的な立場から、各国一律規制でCO₂等の大気中濃度を産業革命以前の約2倍で押さえ込むことを積極的に主張。但し、フランスは、国毎の異なる事情を考慮することを主張した。EU内も完全な一枚岩ではない。

(3) JUSCANZ

日本、米国、カナダ、豪州、ニュージーランドの略で、および腰の先進国グループというニュアンスでCOP-1の時につけられたニックネーム。議定書等の策定には消極的と見られていたが、今回、日米が代表演説で、ともにその策定を支

持する方針を明言し、大きな変化と受けとめられた。両国とも国毎の異なる事情を考慮した柔軟な抑制目標を主張している。カナダもこれに同調。

(4) G77 and China

途上国 77 カ国及び中国。先進国の大半が、排出量を 2000 年までに 1990 年水準に抑制するとの現在の気候条約上の約束を達成できない見込みであることを強く批判し、先進国に限定した早急な措置を主張。アジアとアフリカ諸国の大部分がこれに同調。

(5) OPEC

産油国は、IPCC 報告書の限界（気候モデルによる予測結果の不確実性、気候に危険を及ぼす CO2 等の大気中濃度が示されていない、費用効果の検討が不十分）と温暖化緩和策の悪影響（石油輸出の減少、先進国からの輸入製品の価格上昇の可能性、先進国経済停滞による途上国への影響）を強く主張し、早急な緩和策の実施に反対。ロシアもこれに同調。

4. 共同実施の今後

共同実施 (JI) は、国際協調により地球規模での CO2 等の排出量削減を図る方策であり、先進国と途上国間の JI が最も費用効果的な対策とされている。COP-1 以降に開始された試験的な JI、すなわち共同実施活動 (AII) については、米国の電力会社等がスポンサーになり、既に 32 件が実施、または計画中であることが会場で報告された。しかし、排出抑制目標は、当面、途上国には適用されないため、先進国にとり排出権取引的な意味でのメリット（炭素クレジット）は期待できない。本格的な JI に移行するための方策は今後の課題として残された。

5. 京都 COP-3 に向けて

法的拘束力のある議定書等の採択を COP-3 で目指すことで一致した点が COP-2 の最大の成果である。具体的な CO2 等の数量的な排出抑制目

標の決め方は、1996 年 12 月の第 5 回 AGBM (ベルリン・マニフェストに関する特別グループ) 会合に各国が提案を持ち寄り議論する。日本は、国毎に異なる状況を考慮できるように、1 人当たり排出量規制と総排出量規制の二者選択制を提案する。この AGBM の結果が議定書等の素案となり、京都に向けてコンセンサスの形成が図られる。

COP-3 の場で、費用効果、公平性、透明性の気候条約の 3 原則を満たした実効性ある議定書等 (KYOTO protocol?) を議長国と目される日本がどうまとめあげられるか、手腕の見せ所である。しかし、CO2 問題は、各国のエネルギー消費と経済成長に密接に関係するだけに、楽観的な見通しは出来ない。将来の排出量の大幅な増加が確実と思われる中国などアジア各国の協力をどう得ていくかも大きな課題である。地球規模での排出抑制を実効的にしようとするれば、ラベリングや関税といった国際貿易・市場管理に結びつく可能性もある。COP における交渉は、環境問題を越えて冷戦後の国際的な社会・経済の枠組み再構成のコンテクストの中で見ることでもある。

IPCC 報告書にあるように、温暖化問題に単一で最良の解決策は存在しない。大事なものは、智慧を出し合うことである。幸いにも COP においては、NGO にもブースやワークショップの形で発表の機会が与えられる。COP-2 でも、環境 NGO のみならず EEI (エジソン電気協会) や E7 (世界電力首脳有志の会議)、WBCSD (持続的発展の為の世界ビジネスカウンシル) が活発に産業界の自発的な排出抑制努力をアピールした。京都 COP-3 は、日本の産業界にとっても、世界にメッセージを発信する絶好のチャンスである。

（ひがし いちろう
あすか じゅせん
電力中央研究所 経済社会研究所）

原子力損害賠償に関するウィーン条約改正について

田 辺 朋 行

1. ウィーン条約とは

原子力の開発利用にあたっては、事故等に伴う損害発生を未然に防止するとともに、万が一のために、被害者救済の制度を確立しておくことが、国家的あるいは国際的な見地から必要とされる。殊に、原子力損害は地域的に広範囲にわたり、あるいは国境を越えて広がり得る可能性を有しているため、そこでは、こうした越境損害を救済するための国際的な対策を講じておくことが極めて重要な課題となる。

現在、原子力の越境損害については、原子力船に因る場合等を除いて、二つの条約体制(レジーム)が存する。両条約は、被害者救済のために、①原子力施設運転者に厳しい内容の損害賠償責任(無過失責任・責任集中)を負わせること、②その際、責任限度額を設け(有限責任)、その額までは保険等の措置(損害賠償措置)を講じさせることによって賠償の支払いを確保させること、③単一の裁判管轄権と準拠法とを明示すること、等の仕組みを共に備えている。

第一の条約レジームは、当時の欧州経済協力機構(現在のOECD)を中心として1960年に採択されたパリ条約(「原子力の分野における第三者に対する責任に関するパリ条約」)を軸とする体制である。なお、1963年にはパリ条約における被害者救済を拡充する目的で、同条約を補足する「ブラッセル補足条約」が採択されている。現在パリ条約には14の加盟国(うち11カ国がブラッセル補足条約にも加盟)があるが、その殆どは地理的に相互に国境を接している西欧諸国である。したがって、このパリ=ブラッセル条約体制は一種の地域条約レジームと見ることもできる。

そして第二のレジームは、国際原子力機関(IAEA)を中心として1963年に採択されたウィーン条約(「原子力損害の賠償に関する民事責任に関するウィーン条約」)を軸とする体制である。同条約は、全世界をカバーする、パリ条約に類似の条約として企図されたが、その賠償水準の低さ等から、欧米の原子力先進国の参加を得ることができず、現在までのところ26の途上国の参加を得るにとどまっている。

2. 条約改正の背景と動向

1986年のチェルノブイリ事故は、多くの国々に対して、原子力越境損害に係る実効性のある国際的な救済レジームを確立することの重要性をあらためて強く認識させるとともに、現行条約レジームの問題点をも露呈させた。その問題点とは、①各条約レジームが特定の国・地域しかカバーしないこと、②救済の対象となる損害の定義が狭いこと、③賠償水準が低いこと、殊に、ウィーン条約の場合には、支払いが保証される賠償の最低ライン(最低責任限度額)がわずか500万米ドルであること、等である。

これを背景に、IAEAは、より多くの原子力利用国の参加が期待できるような、実効性のある世界規模での救済レジームの確立を企図して、1989年よりウィーン条約改正の具体的作業に着手した。IAEAは、翌90年2月の理事会で条約改正等の審議をすすめるための「原子力損害賠償常任委員会」の設置を決定し、同常任委員会は現在(96年11月)までに16回開催されている。

3. 条約改正に向けての論点

損害賠償常任委員会における条約改正の議

論は多岐にわたったが、要点は次の5点。すなわち、①条約の地理的適用範囲の拡大、②条約の対象となる「原子力損害」の定義の拡充(環境損害及び損害拡大の予防的措置費用を加える)、③責任限度額の引き上げ(500万米ドルから3億SDR^[1]へ)と無限責任制度採用国への配慮規定の創設(4節参照)、④被害者側からの生命及び身体に係る損害賠償請求権の期間制限(除斥期間)の延長(原則10年間から30年間へ)、⑤賠償資金拡充のための補完基金条約の別途策定、である。

このうち①～④の諸点については議論がほぼ収斂しているが、⑤については、条約参加の条件や補完的基金の資金調達方法等を巡って、今なお活発な議論が展開されている。

4. わが国の対応

現在、わが国はウィーン条約(及びパリ条約)に加盟していない。不加盟の最大の理由は、原子力施設運転者の賠償責任に責任限度額を設けている(有限責任制度を採用している)ウィーン条約とそれを設けていない(無限責任体系となっている)わが国原子力損害賠償法(「原子力損害の賠償に関する法律」)との間に法的整合性がとれていないことに因る、と言われている。

一例をあげれば、ウィーン条約は責任限度額までの賠償金の支払いを確保するために、賠償措置がこれに達しない場合には、国による差額分の支払い(埋め合わせ)を義務としている(第Ⅶ条第1項)が、このことは、理論的には、責任限度額を設けていない(無限責任)加盟国に対して、国による無限の支払いの保証(埋め合わせ)を要請することに繋がる。わが国では原子力事業者に1サイトあたり原則として300億円の賠償措置を講じさせ、これを超える損害が生じた場合には、国が「援助」することとされているが、この「援助」は法律上の義務とはされていない(原子力損害賠償法第16条)。

こうした点について、ウィーン条約改正案で

は、無限責任を採用する国についても条約の定める責任限度額(3億SDR)までの支払いの保証で良いとする配慮規定が設けられたため、わが国が本条約に加盟するにあたっての最大の懸案事項が解決されることとなった。このため、条約改正がなされた際にわが国として条約に加盟すべきかどうかの議論が、現実的な政策課題として改めて浮かび上がった。

以下は私見だが、わが国が改正条約に加盟すべきかどうか、の判断に際しては、わが国一国としての加盟によるメリット・デメリットを勘案することは当然として、それ以上に、わが国の加盟が国際的な原子力開発・利用の推進にどのように寄与し得るか、という視点も必要ではないか、と考える。

国際的な原子力損害賠償レジームの確立は、万が一のときの被害者の救済に資することは当然として、国際間の損害賠償処理に係る不確実性を除去することにより、原子力の国際協力や技術移転の推進に大きく寄与することにも繋がる。なぜならば、国際ルール確立による不確実性の除去は、国際的な原子力開発協力・投資に携わる者のリスク計算を可能にし、各者間の取引を促進するからである。また、わが国の改正条約への加盟は、近年原子力開発が著しいアジア近隣諸国を条約に加盟させ、同諸国への原子力開発協力を促進する一つの契機にもなり得る。

わが国の条約加盟の問題は、こうした視点からも十分検討されて良いと思われる。

[1] 国際通貨基金の特別引出権のこと。米ドル、英ポンド、日本円等の主要通貨の価値を基準にして、国際的な通貨基準として設定される。今日では、国際条約などにおける国際的な通貨基準として用いられることも多い。3億SDRは約450億円。

(たなべ ともゆき
電力中央研究所 経済社会研究所)

電力卸供給入札

丸 山 真 弘

1. はじめに

発電部門への新規参入者の導入促進は 1995 年の電気事業法改正の大きな柱の一つであった。このため、発電事業への参入に対する許可制が原則として不要とされた(「卸供給事業者」制度の導入=第 2 条)ことや卸託送の活性化(第 24 条の 3)と合わせて、一般電気事業者の新規電源調達に対して入札制度が導入された。

この制度に基づき、1996 年度には、北海道・東北・東京・中部・関西・九州の 6 つの電力会社が入札を実施し、10 月末には落札候補者の発表が行われた。

2. 入札の制度

2.1 入札制度の導入目的

今回、卸供給に対する入札制度が導入されることになった背景には、分散型電源の導入可能性の拡大による新規事業者の参入促進の動きがあった。新規事業者の参入を促進するためには、参入の障壁であった事業許可制を撤廃するとともに、電気事業者側が公平性・透明性のある形で新規事業者から電力を購入することが求められた。そこで、入札制度の導入により、新規事業者に対して適切な参入機会を確保することになった。

これと同時に、入札制度には、発電部門に競争原理を導入することにより、結果として電気事業者の供給コスト削減が図られるという効果も期待されている。

以上のような背景から、今回の入札制度では以下のような原則を採用している。

①電力会社は透明性のある回避可能価格を入

札の上限価格として提示し、安価な電源の調達を図るとともに、電気事業者の効率向上努力を促す。

②応札案件の判定方法や判定基準は原則公開とし、入札の透明性を確保する。

2.2 長期的な電源開発との調和

日本は、入札制度が既に導入されている米国などとは異なり、資源が乏しい上に、今後も着実な需要の伸びが予想されている。このため、入札制度は電気事業者による長期的な電源開発との調和を保つことが求められる。このため、今回の入札制度は以下のような特徴を持っている。

③入札の対象は、開発期間が短く、入札に馴染むような新規の電源(概ね、開発期間が 7 年以内の火力電源)とする。これ以外の大規模な電源や、長期の開発期間が必要な電源は電気事業者が開発を担当する。

④入札で調達する電源は、電気事業者が開発する電源の代替として位置づけられる。そのため、契約は長期のものとし、工程や資金といった計画の確実性についても判断する。

2.3 法令上の入札制度の枠組み

これらの原則を受け、電気事業法では入札制度について以下のような規定を設けている。

①広域的運営の規定で「卸供給事業者の能力を適正に活用」する旨が規定される(第 28 条)。

②一般電気事業者が通商産業大臣に対して毎年度提出する供給計画に、今後 10 年以内に受給を開始することになる入札による電源調達について、上限価格などの概要を記載することが求められる(第 29 条)。

③供給計画に記載した上、公平性と透明性を

確保するための一定の手続(電気事業法施行規則第30条)を踏んで行われた入札の結果である供給条件に基づく卸供給については、通商産業大臣の許可は不要とされる(第22条第1項但書)。

3. 1996年の卸供給入札

入札の制度が整ったことを受けて、1996年4月に前述した6社がそれぞれ、1998年から2002年に受給を開始する、入札による募集を行う旨を発表した。これら6社の募集量の合計は265.5万kWとなるが、これは2002年時点の6社の供給力の約1.5%を占めている。

この募集に対して、8月の締め切り時点で単純合計で100件、1081.3万kWの応札があった。この応札量を単純に募集量で割った倍率は4.07倍であった。

各社は応札案件を評価した上で、10月末までに落札候補者として20件、304.69万kWが発表された。落札候補者となった案件の規模としては、通商産業省の省議決定(「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境影響審査の強化について」昭和52年7月4日決定)に基づく国の環境アセスメントが設備規模15万kW以上の場合にのみ求められることから、候補者の内18件がこの制限にかからない15万kW未満で応札していることが注目される。また、産業別では鉄鋼(8件、149.1万kW)や石油精製(3件、73.3万kW)といった業種が多数を占めている。これは、燃料費の安さ(海外炭や残渣油の使用)や遊休地の活用、さらには自家発電の経験によるノウハウや人材の蓄積といった点が有利にはたらいたものと考えられる。

4. 入札制度の今後の課題

入札制度については、今回初めて実施されたものであり、制度の詳細な検討については落札候補者と電気事業者との間で卸供給契約が締結され、初めて今回の入札の過程が一段落するこ

とになる。ここでは、現時点まで判明した状況をもとに、今後の課題となるいくつかの点について指摘を行う。

4.1 環境特性への配慮

今回の入札では、各社とも応札案件の環境特性(再生資源の利用等)については、価格面で差が出なかった場合の追加的な要素として取り入れているに過ぎない。環境との調和を重視するという観点からは何らかの評価基準を価格要素の中に組み込んでいくことも将来的には生じてくると考えられる。しかし、そのためには評価の方法をどうするかという難しい点を解決する必要がある。

4.2 契約の期間

現在の入札制度では、入札電源は自社の電源の代替として位置づけられており、長期(原則15年)の契約期間が設定されている。これについては、応札者の側も長期的な供給先を確保できるという点でその利点を見いだしているようである。

しかし、燃料費の変動などを視野に入れた電源構成のベストミックスという点から、契約の期間についてある程度の柔軟性を取り入れるという動きが米国では一部見られるようになってきている。応札者の側も、将来の経済情勢の変化に柔軟に対応する可能性を確保するという点からは契約期間の柔軟化に利点を見いだすものと考えられる。

ただし、契約期間の柔軟化は供給の安定性という点からはマイナス要素となる。安定性と柔軟性を両立させるような仕組みをいかに卸供給契約の中に組み込んでいくかという点が今後の課題となるといえる。

(まるやま まさひろ)

電力中央研究所 経済社会研究所

「英国電力の実験：民営化の成果、課題、教訓」

“The British Electricity Experiment: Privatization, the record, the issues, the lessons,”

edited by John Surry, Earthscan, 1996

鈴木 達治郎

はじめに

英国における電力産業の民営化が決定されてから5年以上たった。民営化の成果ははたしてどう評価されているのか。ここに紹介する本は、英国サセックス大学科学研究ユニット（SPRU）が、英国経済社会研究評議会（ESRC）の支援を得て、英国民営化の成果と教訓を客観的に分析・評価したものである。

重要な「中立・客観」的立場からの評価

まず紹介しておきたいのが、評価を行ったSPRUと言う研究グループである。SPRUは60年代に科学技術政策を客観的な立場から分析評価する研究グループとして発足。30年以上もの実績を持つ、英国のみならず世界でもユニークな研究グループである。研究分野も、エネルギー環境、技術革新、研究開発政策、通信、安全保障・軍縮と幅広く、国際政治学者からエコノミストまで多彩なスタッフをそろえている。今回の研究プロジェクトのリーダーで、この本の編著者であるJ・サリー教授は、英国電力公社（CEGB）に一時勤め、政府の諮問委員としても活躍している、英国でもトップの専門家の一人である。

本研究の特徴としてまず上げておかねばならない点は、「民営化に対し賛成・反対どちらの立場もとらない」（序文より）ことを大前提としていることだ。「客観性を確保するため、ど

のような政策でも常に批判的な目で見なければならぬ」（同じく序文より）との立場を強調している。こういった客観的・中立的な視点からの評価・分析を行い、かつその成果がこのような形で公表されることが、官主導の政策論議をよりオープンで公正なものとしているのである。これは、わが国にも今最も求められているものではないだろうか。そういった観点から、この本をじっくりと読んでいただくのも、非常に参考になると思う。

経済論議の枠を超えた包括的評価

この本の第2の特徴は、規制緩和（ここでは民営化）の評価を、経済性論議の枠を超えて、政治、技術、環境、社会等と幅広く行っている点である。そのため、前述したように、著者達のバックグラウンドもきわめて多彩である。

規制緩和を議論する際、料金や効率といった「経済効果」に議論が集中しがちである。しかし、規制緩和の影響は単に経済面にとどまるだけでなく、雇用、信頼性、環境、産業構造など多くの分野に及ぶのである。したがって、その評価軸ももっと幅広いものが要求されるべきである。

また、規制緩和の評価を行う上で、その「結果」だけでなく「プロセス」を評価することの重要性も強調されるべきだろう。そもそもの発端から、規制緩和がどのように進展してきたか。そのプロセスと背景を十分に理解することが、今後の政策論議を進める上で非常に重要である

ことが、この本を読んでよくわかる。

そういった特徴が最もよく出ているところが、「公営から私有への転換」と題する第1章である。ここでは、英国における電力産業の歴史、公営化された理由、それが民営化へシフトする英国80年代の政治の流れ、などを詳細に分析し、その結果、「電気事業の民営化は、そもそもサッチャー政権の目指す小さな政府の実現の一環として始まった。国が電力会社の所有を手放して民間に移管する、ということが大きな目的だったのである。しかし、その後の画期的な産業構造の変化については、政府自らの程度考慮していたか、まったく明らかではない。また、その後の政策についても論理的な根拠が明確にあったとも思えない」と結論づけている。言い替えれば、当初政府が考えていた「民営化」は、おそらくもっと単純であったが、実際の変化は政府が予想していた以上のものであり、かつそのスピードもきわめて速かった、といえるのである。「規制緩和は、いざ始まれば現実が机上の理論を超えていく」という指摘は、わが国の規制緩和を考える意味でもきわめて重要だと思う。

興味深い民営化の意外な成果

第2章は「民営化の成果：1990-96年」と題して、「競争市場の発展」「規制の変化」「化石燃料需要への影響」「原子力の再評価」「再生可能エネルギー：サクセスストーリー？」「これまでの勝者と敗者」と各項目ごとに、詳細な分析が豊富なデータとともに示されている。これらの分析結果は、各々予想されたもの、予想以上のもの、規制緩和がなくても実現したと思われるもの、などとわかりやすく説明されており、この本の核をなす部分である。

詳細は省くが、もっとも注目したいのが、勝者と敗者の分析である。どんな政策も勝者と敗者を生む。規制緩和の場合、「期待された勝者」

は「消費者」であるはずだが、現実はその単純ではない。料金は確かに下がったが、その恩恵に授かったのは大口産業需要家だけであり、小口民生用需要家にとってのメリットはそれほど大きくなかった。また、民間の投資家（新たな株主）や重役が思わぬ経済的利益を享受した点も注目されている。

燃料別に見ると、天然ガスが最大の勝者で、石炭が明らかな敗者となったが、これはある程度予想されたことであった。意外なのは、「発電コストで最も安いといわれていた原子力」と「逆に最も高いといわれていた再生可能エネルギー」の明暗である。原子力支援のために導入した「非化石燃料割り当て規制」が再生可能エネルギーの意外な伸びにつながった一方、「民営化によるデータ公開で原子力経済性の神話が崩れた」という分析は、非常に興味深い。

将来への課題

第3章と結論部分は、将来への課題に焦点を当てているが、そのなかで、「エネルギー安全保障」「研究開発への影響」「将来の安定供給」といった、わが国にとって非常に重要なテーマについての分析がやや弱いのが、この本の唯一の物足りない点といえる。

最後に、編著者自らが強調しているように、ここに上げられている評価は「あくまでも英国のケースである」という認識が重要だ。規制緩和論議では、各々の国情をよく踏まえた上での議論を、という著者グループの忠告をよく認識した上で読んでいただければ、今後のわが国の政策論議にもきっと参考となるであろう。

（すずき たつじろう
電力中央研究所 経済社会研究所）

「経済システムの比較制度分析」

青木昌彦・奥野正寛 編著 (東京大学出版会)

服 部 徹

本書は、最近の経済学における新分野として注目を集めている「比較制度分析」を初めて体系的に解説したテキストである。同書は、比較制度分析とは何か、という序章に続き、企業の内部システム、企業を取り巻く制度的補完の構造、経済システムの多様性と進化、という3つの部から構成されており、その各章において、主に現代の日本の経済システムを対象とした分析の成果がまとめられている。ここでは各章の内容を要約して紹介するのではなく、「比較制度分析」とはどのようなアプローチなのか、という点について本書の説明を借りながら紹介し、その特色や将来的な可能性などを筆者なりにまとめてみたい。

「比較制度分析」は、経済システムを制度の集まりと捉え、その多様性とダイナミズムを分析する研究分野である。ここに言う多様性とは、基本的に同じ資本主義経済システムに属する社会であっても、国や地域によって様々な経済システムが存在している、ということの意味している。比較制度分析はそのような異なるシステム間の優劣を論じるものではなく、その多様性を積極的に認める立場をとる。つまり、様々な経済システムはそれぞれが合理性を持つ安定した存在であると主張するのである。それは、システムを構成する個々の制度それ自身が、自己拘束的な制約として定着していると考えられるからである。すなわち、社会の中の大部分が従っている「取り決め」なり「仕組み」に対しては、各個人にとってもそれに従う方が有利になっている

ということであり、この概念は制度の持つ「戦略的補完性」と呼ばれている。さらに一つのシステム内の様々な制度は相互に補完的な関係にあって、システム全体が合理的な存在として強化されていると考えられる。この概念は「制度的補完性」と呼ばれている。

こうした経済システムにおける制度は、一度実現すると、その自己拘束的な性質のために慣性が働き、容易には変更されにくい。このため現状の制度体系のかなりの部分は、その経済の歴史的要因により規定されてしまうと考えられる。この性質は制度の「歴史的経路依存性」と呼ばれるが、こうした考え方の背景には、現実の経済活動の複雑性を重視する経済観がある。無数の経済活動が複雑な相互作用を繰り返す現実の経済社会では、人間は伝統的経済学が前提としてきたような完全に合理的な存在ではなく、むしろ合理的であろうとするが、認知能力や計算能力の限界から「限定合理的」な存在にすぎないとされる。社会慣習や組織、法制度などの社会的な制度は、そのような限定合理的な人間の複雑な環境での意思決定を助けるために、いわば「必然的に」生まれた「仕組み」なのである。こうした意味合いを持つ制度は、環境の変化に応じて、より望ましいものが発見され、また残っていくという「適応的進化」のプロセスを経て現状に至ると考えられる。比較制度分析では、この適応的進化に基づく制度のダイナミズムを生物学から導入された進化ゲーム理論を応用して分析するのである。

以上のような視点から本書は、従来、「特殊」あるいは「異質」と見られてきた日本の経営や日本の経済システムの理論的な解明を念頭に置いて、終身雇用や年功賃金などの雇用システムや株式持ち合い、メインバンク制度などを分析対象として取り上げている。しかし、それは単に日本の経済システムがそれなりの合理性を持つことを主張するためだけではない。著者達の一連の研究の背景には、現代の日本の経済システムの改革という問題意識がある。事実、高齢化や国際化、情報化など経済社会の環境変化が日本の経済システムのパフォーマンスを低下させているという可能性が指摘されている。本書は、具体的な改革案は提示していないが、様々な制度の補完構造と経済システムの内部に存在するダイナミズムとを解明することが制度改革を考える上で重要である、と主張している。なぜなら、ある一部の制度だけを改革しようとしても、制度間の補完性や慣性が作用するために、改革が不可能となったり不十分となったりするからである。そこで、本書が示唆する一つの方法は、その経済システムの中で最も影響力の大きい制度的「仕組み」を特定し、まずそれを変革することである。そうすれば、制度間の補完性を逆に利用して、周辺の諸制度もスムーズに改革していくことができるからである。

本格的な比較制度分析による研究は、量としてはまだ少なく、今後は分析対象を広げていく必要があるだろう。料金規制をはじめ様々な制度によって影響を受けている公益事業などは、その分析対象となることで明らかにされる点が多いものと考えられる。先進各国で現在進行中の電気事業の規制緩和を例にとっても、国によってその形態や進み具合は違っており、そのパターンがいくつかに分類されているが、なぜ同一産業において複数の

規制方式が存在するのか、といった制度の多様性を解明する上で比較制度分析は大きく貢献するだろう。また規制緩和の展開を制度のダイナミズムとして捉えれば、比較制度分析の視点から規制緩和の今後の展望について示唆に富む議論が期待できる。特に電気事業については、内外の制度に関する多くの調査研究の成果が蓄積されており、現実の制度に関する情報を重視する比較制度分析ではそれらを有効に生かすことができるのではないだろうか。

また、これまでの電気事業に対する経済学からのアプローチを振り返ると、電気事業の生産技術（投入産出関係）に生産関数や費用関数を仮定して、その生産性や効率性を分析することが中心だったが、比較制度分析に反映されている考え方によれば企業内部の情報のコordiネーションの仕方によっても生産性が左右される可能性が大きい。したがって今後は、電力会社の内部組織に関する理論的な分析も検討する価値があるだろう。

比較制度分析は未だ発展途上の段階で、理論面でも実証面でも残されている課題は多いが、「制度」およびその理論的解明の重要性を認識させるという点で、成功しているといっていよう。実際、最近ではかなりの経済学者達が「制度」の分析に注目している。また、この新しく興味深いアプローチの入門書として本書が貢献していることも明らかである。制度の理論的分析に興味を持つ人はもちろん、経済学の最近の展開に関心のある人に一読を薦めたい。

（はっとり とおる
電力中央研究所 経済社会研究所）

「電力経済研究」投稿・執筆規定について

「電力経済研究」編集委員会

1. 「電力経済研究」への投稿原稿は、電気事業を取り巻く経済、経営、エネルギー、環境等に関連した内容を持ち、当該分野の研究活動に有益と認められ、ひいては電気事業の発展に寄与するものとします。
2. 投稿原稿は次の3種類です。
 - a. 研究論文
主題、内容、手法等に新規性があり、内容が時宜を得て有用である等の理由によって当該分野の発展に貢献すると思われる研究成果。
 - b. 調査論文
特定の主題に関する一連の事象を実態調査を通して、あるいは特定の主題に関する一連の研究およびその周辺領域の発展を著者の見解に従って、総括的かつ系統的に報告したもの。
 - c. 研究ノート
総合的な研究報告までに至らないが、その研究途上で得られた有用な分析手法に関して研究速報として記録にとどめておく価値があると認められたものでテクニカル的なもの。
また、次の種類については、原則として編集委員会が原稿作成を依頼します。
 - d. 解説
 - e. 文献紹介
 - f. 電力中央研究所経済社会研究所の研究紹介
 - g. その他
なお、原稿は未発表で他誌へ二重投稿していないものに限りします。
3. 投稿される原稿には、原稿の種類に応じてそれぞれの枚数制限にしたがって下さい。
 - a. 研究論文・調査論文 400字詰め原稿用紙48枚以内（仕上がり12ページ程度）
 - b. 研究ノート “ 32枚以内（ “ 8ページ程度）上記の枚数制限は、図表を含めた本文、表題、英文表題、キーワード、著者名、要旨（600～700字程度）参考文献の総計で適用されます。
4. 投稿された原稿は、編集委員会が選定・依頼した査読者の審査を経て、掲載の可否を決めます。
5. 掲載された原稿の著作権は当所に帰属します。したがって、他の出版物に掲載する場合には、当所の承諾を得て下さい。
6. 原稿はオリジナルの他、コピー1部（計2部）を提出して下さい。詳しくは執筆要項を参照して下さい。
7. 投稿希望者には執筆要項を送付いたします。下記にご連絡下さい。

電力中央研究所 経済社会研究所事務課

TEL 03-3201-6601（代表）

FAX 03-3287-2864

電力経済研究 No.37

1996年12月25日 印刷発行

発行者 財団法人 電力中央研究所

経済社会研究所

所長 荒井 泰 男

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

大手町ビル

電話 東京 (03)3201-6601

印刷：藤本総合印刷株式会社

目 次

巻 頭 言	1
〈研究論文〉	
DEAによる日米電気事業の経営効率性計測と比較分析	北村 美香…… 3 筒井 美樹
わが国電力需要の推移とその構造：時系列分析による検討	加藤 久和……15
東京は過大か—集積の経済と都市規模の経済分析—	金本 良嗣……29 大河原 透
原子力発電新技術のライフサイクル分析	内山 洋司……43 横山 速一
〈調査論文〉	
DSMプログラムの効果評価手法	浅野 浩志……49
〈研究ノート〉	
技術代替を考慮した一般均衡の計算法	西村 一彦……59
〈研究紹介〉	
オープン・アクセスにおける財産権の保障	丸山 真弘……67
電力市場自由化の環境・省エネルギーに及ぼす影響とその対応策	矢島 正之……73 —米国の例から見た考察—
環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想	山本 公夫……81
〔海外動向〕	
米国アウトソーシング事情	蟻生 俊夫……89
APEC地域の電力分野における民間支援の可能性	上之蘭 博……91 —太平洋経済協力会議の参加報告— 岡田 健司
気候変動枠組条約第2回締約国会議(COP-2)	東 一郎 明日香壽川……93
〔解 説〕	
原子力損害賠償に関するウィーン条約改正について	田辺 朋行……95
電力卸供給入札	丸山 真弘……97
〔文献紹介〕	
「英国電力の実験：民営化の成果、課題、教訓」	鈴木達治郎……99
経済システムの比較制度分析	服部 徹……101