企業の経営効率分析
— Data Envelopment Analysisの日米電気事業への適用 —

富　田　輝　博

Comparative Analysis of Efficiency of the Firm: Application of Data Envelopment Analysis to US-Japanese Electric Utilities

Teruhiro Tomita

This paper examines the efficiency of electric utilities. Electric utilities are monopolized under regulation. As I think there are any X-inefficiencies in this industry, I tried to measure productive efficiency originally presented by Farrell and expanded as Data Envelopment Analysis by Charnes-Cooper-Rhodes.

Results show that overall efficient, that is, "D efficient" utilities are Tokyo Electric Power Company(TEPCO) and Southern California Edison Company(SCE).

This is my first analysis to the Yardstick Competition of electric utilities by DEA method and I expect that it may make some contribution to decisions of Regulatory Agency and electric utilities of Japan.

1　はじめに
2　DEA法
3　英国電気事業の経営効率の実証分析
4　日米電気事業の経営効率の実証分析
5　まとめ

1　はじめに

企業の経営効率は、新古典派の経済学では、費用最小の仮定に基づく allocative efficiency（資源配分の効率）が問題視される。しかし、ライベンスタインが指摘するように、企業には allocative inefficiency のほかに、X-inefficiency（X非効率）が存在すると考えられる。X非効率は組織におけるスラック、例えば経営者の非合理的行動や労働者の怠慢によって生じる。

このX非効率を含む企業の経営効率を数量的に分析する方法は大別して次の２通りある。第１の方法は、stochastic parametric frontier functionを用いた計量経済学的手法である。第２は、nonparametric frontier functionを用いた数理計画法によるものである。本稿では、生産関数型

に事前の仮定を設けなくともよい後者の方法を用いて我が国電気事業の実証分析を行う。

今、対象とする産業の内、最も効率の良い企業を生産関数から求める方式を、frontier efficiencyと呼ぶ。このアイデアはライベンスタインとファレルによって提案された。

ファレルによる効率性測定の方法は、当該産業で、費用最小行動をとる企業のフロンティアを求めることである。図1は2種類のインプットを用いて、1種類のアウトプットを生産する企業における等生産量曲線を示したものである。[1)]

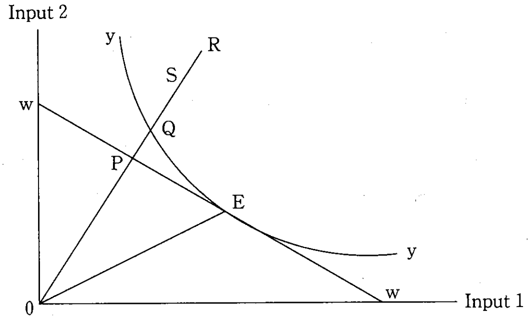

図1　ファレル効率

yyは等生産量を表しており、点E上の企業（以下企業Eと表す）は費用最小の生産プロセスを選択しているので総合効率的（または生産効率的）といえる。ただし、インプットの相対価格はww線によって表されるものとする。企業Qはインプット・ミックスが適正でないので資源配分上非効率である。企業Rは資源配分上非効率であり、かつ、技術的非効率である。ここで、資源配分非効率は、OP／OQ、技術的非効率はOQ／ORで表される。企業Rは企業Qと比べて同じアウトプットを生産するのに、二つのインプットが余分に必要となるからである。等生産量1単位というのは、規模に関して収穫一定を仮定していることを意味する。

しかし、Q点における二つのインプットより多く使用する企業は規模に関して収穫逓増か逓減となるかもしれないので、一般的には、技術効率比OQ／ORは、規模効率OQ／OSと純技術効率OS／ORに分割してもよいだろう。従って、まとめるとつぎのようになる。

総合効率＝資源配分効率×規模効率×純技術効率

OP／OR＝［OP／OQ］×［OQ／OS］×［OS／OR］

配分効率を暫く無視して、技術効率に注目すると、ファレルは観測値にアクティビティ・アナリシスを用いて、等生産量に対する線形近似を行った。図2に示すように、FFフロンティア上の企業は効率的と呼ぶのに対して、FFより上部の企業は相対的に非効率的である。各企業の相対的効率は、原点から当該企業までの距離とフロンティアFF線までの距離との比によって推定することができる。

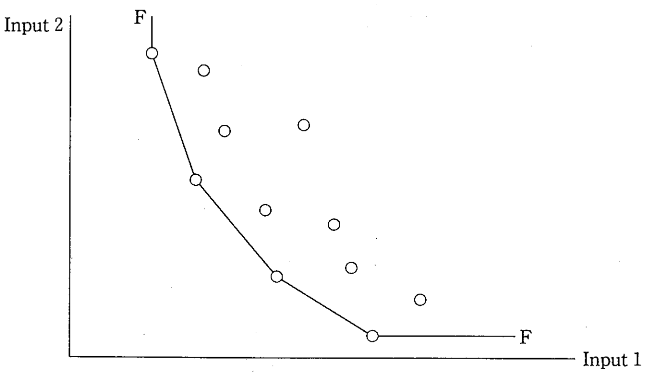

図２　ファレル効率の推定

2　DEA法

2．1　基本モデル

いま、n個のdecision-making unit（活動単位、以下DMUと略す）があるとする。本稿では、DMUとして企業を考えるが、活動単位ならば、個人でも、国でもかまわない。ファレル効率はアウトプット対インプット比によって測定される。複数のインプットと複数のアウトプットの場合、アウトプットの加重和をインプットの加重和で割ることによって効率指標が求められる。

ある特定企業を添字0と書き、効率問題を数理計画法で表現すると、ファレル効率を最大化するには、インプットとアウトプットにどのようなウエイトをつければよいかという問題に帰着する。式で表すと、

$$\max \theta_0 = \sum_r u_r y_{r0} / \sum_i v_i x_{i0}$$

制約条件

$$\sum_r u_r y_{r0} / \sum v_i x_{i0} \leqq 1 \qquad (1)$$

$$u_r \geqq 0$$

$$v_i \geqq 0$$

ここで、

y_{rj}＝企業jのr番目のアウトプット

x_{ij}＝企業jのi番目のインプット

u_r＝θ_0を最大にするr番目のアウトプットの係数

v_i＝θ_0を最大にするi番目のインプットの係数

$j = 1,\ 2,\ ...,\ n$

$i = 1,\ 2,\ ...,\ m$

$r = 1,\ 2,\ ...,\ s$

である。

（1）式は非線形（分数計画）であり、このままでは解くのは困難である。そこで、チャーン

ズ・クーパー・ローデスは、（1）式をn個の線形計画問題に変換できることを証明し、Data Envelopment Analysis（DEA）法と名付けた[2]。

DEA問題はアウトプット最大化またはインプット最小化問題に定式化されるが、各DEA問題は双対モデルを持っている。

チャーンズらによれば、（1）の分数計画モデルは、次の線形計画モデルと同値である。

$$\max \theta_0 = \sum_r u_r y_{r0}$$

制約式 $\sum_i v_i x_{i0} = 1$

$$\sum_r u_r y_{rj} \leqq \sum_i v_i x_{ij} \qquad (j = 1, 2, ..., n) \qquad (2)$$

$$u_r \geqq 0$$

$$v_i \geqq 0$$

上の線形計画問題の最適解を（v^*、u^*）とし目的関数値をθ^*とする。そのとき、$\theta^* = 1$ならばDMU$_0$はD効率的であるという。$\theta^* < 1$ならばDMU$_0$はD非効率的であるという。

いま、DMU$_0$がD非効率のときを考察する。そのとき、制約式の中にはウエイト（v、u）に対して等式が成立しているjが必ず存在するはずである。そのようなjの集合を

$$E_0 = \{ j : \sum_r u_r y_{rj} = \sum_i v_i x_{ij}, \quad j = 1, ..., n)$$

とする。E_0に属する活動はDMU$_0$をD非効率と判定させる基になっている活動である。その意味でDMU$_0$に対する優位集合という。優位集合E_0の活動の張る凸集合を効率的フロンティア（efficient frontier）と呼ぶ。

（2）式の問題の双対モデルは次のとおりである。

$$\min \theta$$

制約条件 $\theta x_0 \geqq \sum_i \lambda_i x_i$

$$y_0 \leqq \sum_i \lambda_i y_i \qquad (3)$$

$$\lambda_i \geqq 0 \qquad i = 1, ..., n$$

ここで、θは線形モデルの最適解であり、企業の効率性の指標である。効率的フロンティア上の企業、つまりD効率企業のθの値は1となる。

2．2　規模の効率性

バンカー・チャーンズ・クーパーによれば、規模の効率を求めるモデルは次のようになる。

$$\max \quad \sum_r u_r y_{r0} - u_0$$

制約条件

$$\sum_i v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} - u_0 \leqq 0 \qquad (4)$$

$$u_r \geqq 0、\quad v_i \geqq 0$$

（2）式と比べると、（4）式には、u_0という変数が導入されている。このu_0が規模に関する収穫を表す変数である。いま、最適解u_0^*に関して

$u_0^* < 0$ならば規模に関して収穫逓増

$u_0^* = 0$ならば規模に関して収穫一定

$u_0^* > 0$ならば規模に関して収穫逓減

である。

この式の双対モデルは、

$$\min \theta_0 - [\sum_i s_i + \sum_r s_r]$$

制約条件

$$\theta_0 x_{i0} - \sum_j x_{ij} \lambda_j - s_i = 0 \qquad (5)$$

$$\sum_j y_{rj} \lambda_j - s_r = y_{r0}$$

$$\sum_i \lambda_j = 1$$

$\lambda_j \geqq 0$、s_i、s_j for $i = 1, ..., m$, $r = 1, ..., s$; $i = 1, ..., n$

となる。

インプットの中には人口のように企業にとって、制御不能な変数も含まれる。そこで、インプットを企業にとって制御可能な変数xと制御不能な変数zに分割した場合を考慮する。そうすると、上の双対問題に次の制約式を追加すればよい。

$$z = \sum_i \lambda_i Z_{ij}$$

3　英国配電会社の経営効率の実証分析

英国配電事業は1989年民営化されたが、国営化時代の12のArea Boards（地区配電局）をそのまま踏襲して12の配電会社から構成される。なお、発電事業は、CEGB（中央発電庁）がNational Power社、Powergen社およびNuclear Electric社の3社に分割された。送電事業はCEGBから分割されたNational Grid社が1社で運営している。規制機関としては、従来あったElectricity Council（電気会議）を廃止し、代りにOffice of Electricity Regulation、通称OFFER（電気事業規制局）が新たに設置され、経済学者のリトルチャイルド教授が局長に就任している。[3)]

以下では、ワイマン・ジョーンズが英国配電会社の経営効率の比較分析にＤＥＡ法を用いている例をとりあげる。[4)]

ケースA

インプット	アウトプット
①従業員数	①家庭用販売電力量（kWh）
②配電設備規模	②商業用販売電力量（kWh）
③変圧器数	③産業用販売電力量（kWh）
	④最大電力（kW）

サンプル数

12の配電会社の1970－1年から1988－9年の20年間240個

ケースAの結果

240個中効率的フロンティア数は45である。ケースAに関しては注目すべき点がふたつある。第１に、各配電会社の効率性の最小値は0.734から0.910まで、平均値は0.838から0.966までとなっている。つまり、民営化までは配電会社にかなりの非効率が存在した。特に、数社に関して当該期間中、20％以上の非効率が存在していたことを示している。第２に、景気循環と効率性との間に相関が見られることである。12の配電会社の内、10社について５％の有意水準で効率と地域の景気循環との間に正の相関関係が見られる。従って、規制当局は異なる配電会社を比較するときはこの一致性に注目して審査する必要がある。

ケースB　環境変数を用いた場合

インプット	環境変数
①従業員数	①配電設備規模
	②変圧器数
アウトプット	③総販売電力量（kWh）
①需要家数	④最大電力（kW）
	⑤需要密度
	⑥産業用電力シェア

ケースBの結果

ケースBでは、サンプルを２つのグループに分けて計測している。第１グループは、1972、1977、1982、1987年の４期である。第２グループは、1977、1982、1987、1989年の４期である。1989年に民営化が行われたので、第１グループは民営化以前、第２グループは民営化を含む期間ということになる。

計測の結果、環境変数に関するコントロールの下で、第１グループは第２と比べて、ファレル効率が平均値、最小値とも低く、分散も大きい。このことから、民営化に伴うヤードスティック競争によって、英国配電会社の経営効率は改善されていると考えられる。

4　日米電気事業の経営効率の実証分析

本節では、我が国９電力会社と米国 Southern California Edison（SCE）社の10社の経営効率をDEAモデルによって計測し、比較することにする。[5)]

インプット、アウトプット変数はつぎのように選ぶ。

モデル１では２インプット、１アウトプットとする。モデル２では２インプット、２アウトプットとする。

モデル１

インプット	アウトプット
①従業員数（人）	①販売電力量（10億kWh）
②電気事業総資産（10億円）	

表1　モデル1の計測結果

	θ	$u\times10^5$	$v_1\times10^5$	$v_2\times10^5$
北海道	0.713	3.20	11.33	20.69
東　北	0.811	1.41	4.98	9.09
東　京	1.0	0.43	1.53	2.79
中　部	0.950	0.92	3.26	5.96
北　陸	0.755	3.49	12.36	22.57
関　西	0.929	0.75	2.66	4.87
中　国	0.833	1.83	6.47	11.82
四　国	0.627	3.02	10.67	19.48
九　州	0.807	1.36	4.79	8.75
SCE	1.0	1.36	0	44.09

推定の結果、D効率企業は東京、SCEの2社で、これよりやや劣るのが中部、関西の2社である。その他のD非効率な企業のうち、北海道、北陸、九州、東北、中国が0.8前後で効率企業と比べて約2割落ち、四国は4割弱非効率的である。

モデル2

インプット
①従業員数（人）
②電気事業総資産（10億円）

アウトプット
①販売電力量（10億kWh）
②電気料金単価（円／kWh）[6)]

表2　モデル2の計測結果

	θ	$u_1\times10^5$	$u_2\times10^5$	$v_1\times10^5$	$v_2\times10^5$
北海道	0.867	0.77	4445.50	0.0	76.05
東　北	0.852	1.30	584.22	6.03	4.53
東　京	1.0	0.41	212.15	2.38	0.0
中　部	0.973	0.87	391.24	4.04	3.04
北　陸	1.0	0.72	4193.57	0.0	71.74
関　西	0.929	0.75	0.0	2.66	4.87
中　国	0.903	1.67	751.40	7.76	5.83
四　国	0.870	0.71	4108.11	0.0	70.27
九　州	0.864	1.28	576.34	5.95	4.47
SCE	1.0	0.44	2577.53	0.0	44.09

D効率企業は東京電力、SCEに加えて、北陸が入っている。これは北陸の電気料金が安いのが貢献しているためである。D非効率な企業については、最低の東北でも0.85と、モデル1と比べ

ていずれも高くなっている。これは、DEA法ではアウトプットを追加してそのうちどれか一つでも効率的フロンティアに乗るか近づけば、θは増加する仕組みとなっているからである。関西電力のように、モデル1と比べて全く変化がない（効率の増加がない）のは、u_2（電気料金）の係数が0のためである。モデル2の計測結果は英国配電会社の効率値と類似の結果を示しているのは興味深い。

5　まとめ

電気事業審議会は最近、新しい電気料金制度の導入を決定した。本制度は、主要な費用項目について、電力会社間で比較して査定に差をつけることにより、ヤードスティック競争を生じさせ、経営効率化をはかろうとするねらいを持ったものである。[8]　ヤードスティック競争はインセンティブ規制の一種であり、米国ではすでにいくつかの州で実施されている。我が国でも、鉄道などの運輸事業で取り入れられている。

今回のDEAによるD効率値の計測結果から直ちに、D非効率企業はその分x非効率と断言するのは早計であろう。例えば、需要密度の高い中央3社の効率が高く、過疎地の多い地方の電力会社の効率は低い値となっている。また、効率の最も高い東京電力は供給区域内に原子力発電設備を一ヶ所も持たず、原発はすべて効率の最も低い東北電力管内に依存する。つまり、東京電力にとっては送電設備の遠隔化によるコスト増を上回る発電設備のコスト減があるので、これが同社の効率に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

そこで今後の課題として、次の3点を挙げておこう。

①インプット、アウトプット変数の選択がどのように、企業効率の評価に影響を及ぼすか、環境変数も加えて更に検討する。

②時系列的な経営効率の変化を実証する。

③最近時点の電気事業に関して規模の経済性が存在するか否かについて検証を行う。

付録

LINGO MODEL PROGRAM[7]

```
MODEL:
!  Data Envelopment Analysis of Electric Utilities ;
 SETS:
   DMU/A B C D E F G H I J/: ! 10 electric utilities;
                  EFFICIENCY; ! Each decision making unit has an;
                            ! efficiency to be computed;
   FACTOR/X1 X2 Y1 Y2/;
!  There is a set of factors, input & output;
   DXF( DMU, FACTOR):   F; ! F( I, J) = Jth factor of DMU I;
 ENDSETS
 DATA:
```

```
!  Inputs are employees and total assets;
!  Outputs are consumption and prices;
   NINPUTS = 2;   ! The first NINPUTS factors are inputs;
!        The inputs,       the outputs;
 F= @IMPORT(DEN1.WK4,F);
 ENDDATA
!---------------------------------------;
!  The Model;
 SETS:
   DXFXD(DMU,FACTOR) : W; ! Weights used to compute DMU I's efficiency;
 ENDSETS
!  Try to make every utility's efficiency as high as possible;
   MAX = @SUM( DMU: EFFICIENCY);
!  The LP for each DMU to get its efficiency;
   @FOR( DMU( I):
     EFFICIENCY( I) = @SUM( FACTOR(J)|J #GT# NINPUTS: F(I, J)* W(I, J));
!  Sum of inputs(denominator) = 1;
   @SUM( FACTOR( J)| J #LE# NINPUTS: F( I, J)* W( I, J)) = 1;
!  Using DMU I's weights, no DMU can efficiency better than 1;
   @FOR( DMU( K):
     @SUM( FACTOR( J)| J #GT# NINPUTS: F( K, J) * W( I, J))
     <= @SUM( FACTOR( J)| J #LE# NINPUTS: F( K, J) * W( I, J));
   ););
!  The weights must be greater than zero;
   @FOR( DXFXD( I, J): @BND( .00001, X, 100000));
 END
```

注

1 ファレル効率に関しては、Farrell (1957) ,Leibenstein-Mital (1992) 参照。

2 DEAに関する基本的文献は、Charnes-Cooper-Rhodes (1978)、Banker-Charnes-Cooper (1984) である。最近の展開に関する論文はSeiford-Thrall (1991) がよい。DEAに関するまとまった本はこれまで数冊しかなかったが、最近Kluwer社から相次いで出版された。我が国については刀根 (1993) がある。フォーチュン誌でもマネジャーのための経済学というタイトルの中でDEAが紹介されている (Fortune, 1994.10.31)。インターネットではAndersonによるホームページがある。URLアドレスは、http://www.gatech.edu/mhrc/personnel/tra/dea/homedea.html。

3 英国電気事業の民営化後の評価に関しては、Littlechild (1994) がまとまっている。

4 電気事業の経営効率に関する実証分析については、Weyman-Jones (1995)、Hilt (1985) 参照。

電気通信事業については、末吉(1992)参照。

5 我が国9社については、電気事業便覧（平成6年版）の1993年度の数値を用いた。SEC社については、インターネットのURLアドレス、http://www.sce.com上にあるannual reportから1993年の値を拾いだした。SCE社は、カリフォルニア州を供給地域に持つ全米有数の電力会社である。販売電力量から日本の電力会社と規模を比較すると、中央3社に次ぐ大きさである。なお、1ドルは125.3円で換算した。

6 料金単価のように小さいほど好ましい変数の場合、アウトプット最大では逆になってしまうので工夫が必要である。ここでは、次のように変換した変数を用いた。いま元の変数をy、その平均値をy*とすると、変換した変数y'は、y' = 2y* − yとなる。なお、刀根(1993)120頁参照。

7 新料金制度における査定の指標は次の3つの原価、①発電所の資産額／kWh、②送・配・変電設備の資産額／kWh、③人件費など一般経費／kWhから構成されている。これらの原価をもとに効率の良しあしを得点化し、電力10社（沖縄電力を含む）を3グループに分ける。効率の悪いグループほど、政府が厳しく査定して原価を値切り、申請より料金を低めに設定する、という仕組みである。

8 LINGOモデルによるプログラムの作成法については、Lindo(1995)参照。

参考文献

Banker, R., A. Charnes and W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science,* September (1984)

Charnes,A.,W. Cooper and E.Rhodes,"Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research* 2,(1978)

Farrell,M.,"The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society,* Series A (General),120 (1957)

Hilt,R.,"Measuring Managerial Efficiency in Electric Utilities," Doctoral Dissertation presented to the Graduate Faculty of the University of Pennsylvania (1985)

Leibenstein, H. and S. Maital,"Empirical Estimation and Partitioning of X-Inefficiency: A Data-Envelopment Approach," *American Economic Review,* Vol.82 No.2 (1992)

Lindo Systems, *LINGO User's Guide,* Lindo Systems Inc. (1995)

Littlechild, S.,"Competition,Monopoly, and Regulation in the Electricity Industry", in Einhorn,M. (ed.), *From Regulation to Competition:New Frontiers in Electricity Markets,* Kluwer Academic Press, (1994)

Seiford,L and R.Thrall, "Recent Developments in DEA:The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis," *Jornal of Econometrics,* Vol.46, No.1/2(1990)

Weyman-Jones, T., "Problems of Yardstick Regulation in Electricity Distribution", in M. Bishop, J. Kay and C. Mayer(eds.), *The Regulatory Challange,* Oxford University Press,(1995)

末吉俊幸「DEA／WINDOW分析法による電気通信事業体の経営効率と規模の経済性の比較、検討」　オペレーションズ・リサーチ　(1992.5)

刀根薫『経営効率性の測定と改善』日科技連、(1993)