

通信事業におけるDEA法の適用事例

矢田 健, 中山 竜起, 井上 正之

1. はじめに

DEA法 [1] の特長は、多入力多出力システムの相対的評価が可能で、効率的フロンティアが求められ、非効率的と判定された事業体は効率的となるための改善目標値を定量的に把握することができることの2点にある。

DEA法の実務面への適用にあたっては、評価・改善目標の設定だけでなく、

- 改善目標に向けた具体的な実現計画の立案
- 期待される改善効果の定量的な推定

が重要な課題となる。本課題は、DEA法により得られる評価結果を実問題へ展開していく上で避けて通ることのできないものであり、DEA法の応用可能性の試金石ともなる。本論文では、電気通信事業における設備効率性に関してDEA法の各モデルの適用やクラスタ分析の利用を検討し、[2]で提案した、DEA法により得られる改善目標の具体的な実現方策を重回帰分析により与える手法の適用を試みる。更に、それによる改善効果の定量的推定法について述べる。なお、電気通信事業にDEA法を適用したものとしては[3]などがあるが、本論文では支店経営という視点に立ち、費用の削減を達成するような設備構築に関して考察を行なっている点に特徴がある。

2. 支店の経営効率性評価

本章では、通信事業体の支店効率性をDEA法のいくつかのモデルを用いて評価する。

やだ たけし NTT 通信網研究所
なかやま たつき NTT 通信網研究所
いのうえ まさゆき NTT 通信網研究所
〒180 武蔵野市緑町 3-9-11
受付：95.9.4 採択：95.10.14

2.1 モデルと入出力データ

NTTの支店をとりあげ、その効率性の比較・評価を試みる。多種多様かつ高度な通信設備を広範に必要とする電気通信事業の場合、これらの設備を維持運営するために設備保全費がかかる。また資産額も膨大であるため減価償却費も大きくなる。一方、現在の電気通信事業者の収入源の多くは電話収入である。そこで、入力としては設備保全費と減価償却費、出力としては収入（ダイヤル通話料と基本料の合計）を用いた2入力1出力モデルにより分析を行なう。なお、ここでは設備保全費および減価償却費は通信線路設備（以下、線路）と交換設備（以下、機械）の合計を用いる。

図1に支店間評価に用いる入出力データの一部を示す。ここで、データは各項目の平均値が1となるように変換してある。したがって、データの値自身 $(x_{i,j})$ が平均 (x_i) に対する相対値 $(x_{i,j}/x_i)$ であり、金額としての意味がないので解釈に注意を要する。またここでは、簡単のため支店名を通し番号で表示している。

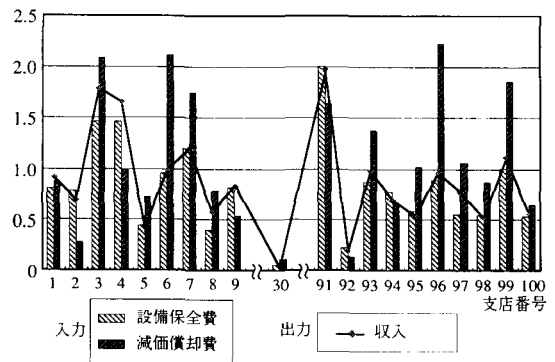


図1 入出力データ

2.2 DEA法による各支店の効率分析

図1のデータを用い、DEA法により得られたD効率値を表1にまとめる。ここでは、CCR、BCC、IRS（規模の収穫増大型 [4]）、DRS（規模の収穫減少型 [4]）の4

表 1: DEA 法による支店間評価結果 (D 効率値)

支店 No.	CCR	BCC	IRS	DRS
1	0.899	0.913	0.913	0.899
2	0.941	1.000	1.000	0.941
3	0.911	0.927	0.911	0.927
4	1.000	1.000	1.000	1.000
5	0.677	0.707	0.707	0.677
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	0.453	1.000	1.000	0.453
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
96	0.705	0.708	0.705	0.708
97	0.967	0.972	0.967	0.972
98	0.683	0.700	0.700	0.683
99	0.777	0.783	0.777	0.783
100	0.809	0.840	0.840	0.809

表 2: CCR による改善目標 (全支店)

支店 No.	改善目標	
	設備保全費	減価償却費
1	0.724 (-0.082)	0.785 (-0.089)
2	0.740 (-0.047)	0.264 (-0.017)
3	1.333 (-0.130)	1.902 (-0.186)
4	1.461	0.985
5	0.301 (-0.143)	0.494 (-0.236)
6	0.665 (-0.295)	1.466 (-0.649)
⋮	⋮	⋮
30	0.026 (-0.031)	0.049 (-0.059)
⋮	⋮	⋮
99	0.781 (-0.225)	1.439 (-0.414)
100	0.431 (-0.102)	0.519 (-0.123)

(括弧内は現状値との差)

モデルによる分析を行なった。最も基本的モデルである CCR モデルの他に、規模のリターン (収穫) を考慮するモデルを用いた分析を行なった。これは公共性の高い電気通信事業を運営する各支店の設備効率性を評価する際に、「規模の収穫が一定」とすることは必ずしも妥当な仮定とはいえないと考えたためである。表 2 には CCR において出力項目の収入が一定であると仮定して、入力項目として用いた設備保全費と減価償却費の各支店における改善目標と現状値 (入力値) との差を示してある。この改善目標は現状の収入を維持し、設備保全費と減価償却費を同じ割合で削減しようという方策に対応している。分析の結果、CCR では D 効率的な支店は支店番号 4, 8, 39, 46, 65, 77, 90 の 7 つで、他はすべて D 非効率的となった。このように、DEA 法を用いることにより、客観的かつ定量的な支店の効率評価が可能となった。

表 1 より、BCC、IRS、DRS の D 効率値は CCR と同じか大きい値となっており、傾向も概ね同じであるが、比較的規模の小さい支店である支店 30 では、CCR、DRS の D 効率値が非常に小さいのに対して、BCC、IRS では D 効率的となっており、規模の考慮が効いている。また電気通信事業の場合、一概に規模の収穫が増加型であるか減少型であるかを判断することは困難であり、支店の「規模」という概念を DEA 法の入出力項目のみで規定できるかという疑問も生じる。そこで、次節ではクラスタ分析 [5] を行ない、類似支店にグループ分けしてからその中で DEA 法を適用することを考える。

2.3 支店のクラスタリングと評価

まず、各支店のもつ特性をより多くの要因で説明し、それぞれの支店がもつ性質にしたがってグループ分けを行なう。各支店の特性を表わす変数として、面積・加入者数 (事務用住宅用別)・設備取得資産 (機械、線路、土木)・線路設備の総距離などの 10 個を考える。これらの変数に対して、主成分分析をかけると、第 2 主成分までで累積寄与率 80% 以上となる。そこで、第 2 主成分までを用いて Ward 法によるクラスタ分析を行なう。その結果、図 2 に示すように 6 つのクラスタに分けられる。支店 30 が入るクラスタは 21 個の支店により構成され、いずれもエリア面積が小さいという特徴をもつ。これらの支店に対して改めて DEA 法を適用する。支店 30 が含まれるクラスタについて CCR を適用した結果、得

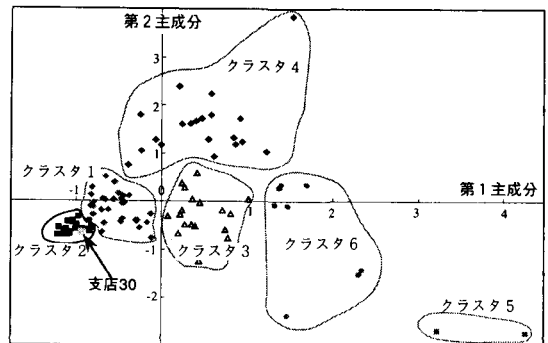


図 2 支店のクラスタリング結果

られた D 効率値を表 3 に示す。クラスタ内で全支店での

する。

表 3: クラスタ内での CCR による D 効率値

支店 No.	クラスタ		全支店	
	CCR	IRS	CCR	IRS
2	1.000	1.000	0.941	1.000
14	0.883	0.888	0.823	0.874
16	0.791	0.841	0.737	0.834
24	0.736	0.797	0.632	0.751
30	0.573	1.000	0.453	1.000
32	0.892	1.000	0.820	1.000
37	0.990	1.000	0.923	1.000
47	0.695	0.751	0.643	0.751
49	0.730	0.771	0.642	0.741
54	1.000	1.000	0.941	0.999
58	0.771	0.789	0.687	0.755
60	0.986	0.997	0.919	0.985
61	0.872	0.912	0.762	0.864
67	0.750	0.756	0.687	0.736
68	0.583	0.633	0.428	0.547
70	0.734	0.798	0.687	0.798
71	0.676	0.750	0.630	0.750
72	0.728	0.729	0.656	0.695
79	0.756	0.864	0.689	0.864
92	0.840	1.000	0.782	1.000
100	0.925	0.925	0.809	0.840

CCR と IRS の D 効率値を比較すると IRS の方が全て大きくなっており、全支店間でも IRS では規模の小さな支店に対する考慮がなされている。D 効率的な支店も 5 つあり、この類似支店の中で目標となる支店が出てくることから、改善目標に現実性が出てくる。一方、クラスタ内での CCR では、予めクラスタリングにより類似支店を集めることで支店規模を考慮し、その中で CCR を適用することで、規模に対する過剰な配慮を回避した評価ができる。ここでもクラスタ内の目標となる支店を知ることができる。この改善目標が実現可能であるかはさらに詳細な調査・分析が求められるが、比較的エリア面積の小さい支店を集めたクラスタ内での評価においても、他支店と比べると D 効率値が小さい支店については効率性の低さを指摘できる。

3. 改善案の具体化と定量的評価法

本章では、DEA 法適用により支店評価結果とともに得られた改善目標を達成するため、入力項目に影響を与えている要因抽出と改善のための具体的施策とを関連づけ、期待される改善効果を定量的に推定する方法を提案

3.1 改善目標と改善案

2 入力 1 出力モデルに CCR を適用した場合には出力値で入力値を正規化することにより、効率的フロンティアを容易に検出することができる。効率的フロンティア上にある点は全て効率的であるという性質をもつことから、D 非効率的な支店を効率的フロンティア上にもってくるように改善すれば D 効率的となる。横軸に設備保全費/収入を、縦軸に減価償却費/収入をとって表 3 のクラスタの各支店を打点したものを図 3 に示す。一般に改善目標は図 3 中の各支店のプロットと原点を結んだ線分と効率的フロンティアとの交点に対応する。前述のこと

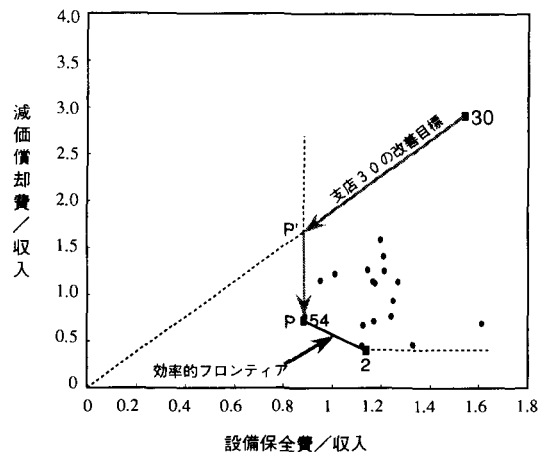


図 3 効率的フロンティアと改善目標

から、非効率的な支店を効率的にするには、効率的フロンティア上の点へ移すように入力を改善（削減）すればよい。なお、効率的フロンティア上の点ならば全て D 効率的であることから、実現可能な目標を効率的フロンティア上で探すのも実用上重要である。支店 30 の場合は原点に引いた線分は、支店 54 (点 P) を通る垂線と点 P' で交わるが効率的フロンティアとの交点はない。この場合は線分 PP' は減価償却費の余剰（スラック）分と解釈できるため、支店 30 の改善目標は点 P となる。実問題における評価結果の活用のためには、ここで与えた改善目標を達成するために、各支店がとるべき具体的施策を示すことが必要不可欠である。そこで次に支店評価における改善目標達成のための改善案の具体化と期待される改善効果の推定法を提案する。

3.2 重回帰分析による改善案の具体化と定量的評価法

これまでの分析により、支店間の効率性の評価値と非効率な支店の改善目標が得られた。一般に、具体的な計画を立てるにはさまざまな要因の中から入力項目に影響を与えるものを抽出した上、これらを変化させることにより入力項目がいかに改善されるかを知る必要がある。そこで本節では「どの設備をどれだけ他の設備に更改すれば、費用を削減できるか」を探ることとする。多入力多出力システムを扱う DEA 法の立場からみると、関連する各種設備の量や保全費などを全て入力項目としてモデル化し、DEA 法の適用によって設備量の削減すべき目標量や設備保全費の改善目標を求めるという方法が考えられる。しかし、DEA 法は入出力数を増やすと改善の差が見えにくくなる欠点があり、特に設備量と設備保全費のような相関の高い項目を別の入出力として使うのは望ましくない。そのため入出力を主成分分析などで変換する方法も試みられている [6] が、変換によって改善目標の解釈が難しくなる欠点がある。さらにここで扱っている問題の場合、設備保全費がある程度、各種設備量により決まるという関係がある。これらの理由により、本論文では入出力の数を 2 入力 1 出力に絞った上で、実際の改善案を考える段階ではこの関係を利用して入出力をさらに詳細分析するという手順を用いる。すなわち、

1. 入力項目とした設備コストに関わる変数とそれに影響を与える各種設備量との関係の要因抽出を重回帰分析 [5] により行ない、
2. 改善目標達成のための改善案として設備構築に関する考察を行なう。

これにより、D 非効率となった支店に対して、どのように現有設備を変えれば入力項目が削減され、改善目標の値になるのかを重回帰モデルを通して探ることが可能になる。なお、減価償却費は個々の資産状況に依存し、キャッシュフローに関する改善は時間の経過を考慮しなければならず、簡単のためここでは設備保全費についてのみ検討を行なう。線路と機械の設備保全費の和を入力として用いたが、設備に応じた個別の改善案が必要であることから、ここでは線路と機械のそれぞれの設備保全費を目的変数とした個別の分析を行なう。

[線路設備保全費]

線路設備保全費と設備量との関係について、さまざまな変数を説明変数に用いてモデルの良さを決定係数などにより比較検討してみた結果、次のような 4 つの説明変数をもつ重回帰モデルが与えられた。

$$\begin{aligned} (\text{線路設備保全費}) &= 0.040 \\ &+ 0.071 \cdot (\text{地上線路媒体 1 の総延長距離の平方根}) \\ &+ 0.040 \cdot (\text{地上線路媒体 2 の総延長距離の平方根}) \\ &+ 0.954 \cdot (\text{地下線路媒体 1 の総延長距離}) \\ &+ 0.516 \cdot (\text{地下線路媒体 2 の総延長距離}) \quad (1) \end{aligned}$$

すなわち、地上の線路設備保全費は線路媒体の総延長距離の平方根に比例し、地下の線路設備保全費は線路媒体の総延長距離に比例する。なお、目的変数の線路設備保全費は全て平均が 1 となるように変換している。説明変数の取捨選択などモデル構築にはなお課題が多く残ってはいるものの、決定係数は 0.893 と比較的高い値であり、十分な精度をもっている。ここで、偏回帰係数の値に注目してみる。説明変数の単位は 100km であることから、地下線路媒体 1 の距離を 100km 増やせば、線路設備保全費は 0.954 だけ増えることになる。したがって、偏回帰係数から各線路設備が保全費（の相対値）に与える影響を知ることができ、さらに媒体 2 への更改による線路設備費の変化も定量的に与えられる。同様の議論は地上線路についても成立し、地下、地上ともに媒体 2 へ更改することによって線路設備保全費の削減が期待できることがわかる。線路媒体 1 と線路媒体 2 の収容能力に差があることなども考慮すると線路媒体 2 への更改が有利になると思われる。

[機械設備保全費]

機械設備保全費を目的変数に、交換機種別の端子数を説明変数として次のような重回帰モデルをつくった。

$$\begin{aligned} (\text{機械設備保全費}) &= 0.280 \cdot (\text{機種 1 端子数}) \\ &+ 0.572 \cdot (\text{機種 2 端子数}) + 84.833 \quad (2) \end{aligned}$$

ただし、データはそれぞれ線形変換してある。決定係数は 0.991 と非常に高い値であった。線路設備と同様、偏回帰係数により考察を行なうと、機種 1 が 1 端子増えると保全費が 0.280 だけ増え、機種 2 が 1 端子増えると 0.572 だけ増える。したがって、機種 2 から機種 1 へ交換機を変えることによる 1 端子あたりの保全費が 0.292 だけ削減されると推定できる。

このようにD非効率的と評価された支店では交換機種2を機種1へ、また線路媒体1を媒体2に更改することにより保全費が削減されることがわかり、さらに設備更改によって期待される保全費削減額も定量的に推定することができる。表3のクラスタのうちで支店14を例にとり、地下線路媒体1を媒体2へ更改することによるD効率値の変化を調べる。ただし、他の設備状況は不変とし、減価償却費も同じと仮定する。全地下線路のうち媒体2の占める割合 r とクラスタ内でCCRモデルを適用し、得られたD効率値の関係を示したのが図4である。支店14では地下線路設備を媒体1から媒体2へ更改

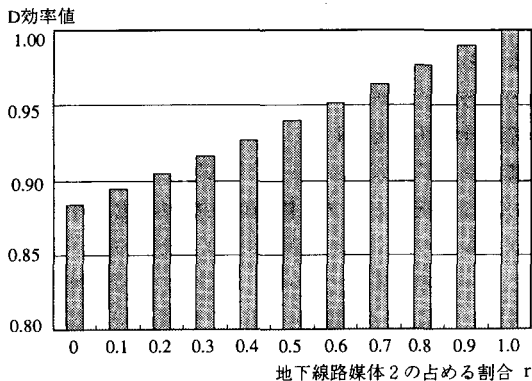


図4 支店14の地下線路設備更改とD効率値の変化

していくにつれて効率的になっていく様子がわかる。媒体2の収容能力の優位性を考慮すれば、この値はより小さく考えられる。実際の改善案は機械設備や地上線路設備の更改との組み合わせであり、より複雑であるが同様に具体的なかつ定量的な改善案の評価をすることができる。また厳密には設備更改に伴い、減価償却費も変わることも考えなければならないが、今後の課題としたい。

4. おわりに

本論文ではまずDEA法を用いた支店間の相対的効率性評価と改善目標の設定について論じた。DEA法により非効率的と判定された支店については、まず効率的フロンティアまで入出力を改善する努力が必要となるが、そのために具体的にどうすればよいかまではDEA法だけではわからない。本論文では支店評価を通じて、これまであまり検討されていない、その具体化案を提案した。まずDEA法の適用において、全支店を一斉に評価すると極端にD効率値が小さくなる支店が生じ、改善目標値自体が現実的でないことがあるため、本検討では事

前にクラスタリングを行ない、類似支店にグループ分けしてから、その中でDEA法を適用することで、全支店による分析に比べ現実的な改善目標を与える方法を示した。つぎに非効率的と判断された支店について設備保全費の削減を目的として、重回帰分析により改善案の具体化とそれによる改善効果の定量的推定法を示した。DEA法の入出力項目や重回帰モデルの説明変数などに対してさらに検討を行なうことによりモデルの高度化をはかれる可能性がある。なお、減価償却費などの扱いや改善すべき支店の優先順位づけ、時間的に徐々に効率性向上を計る場合の改善案の具体化などが問題として残されている。

DEA法は今後、多様な分野における評価手法として発展していく可能性が見込まれており[7]、それに伴いそれぞれの問題に応じた適切な使い方を考えていく必要がある。中でも、電気通信事業は将来のマルチメディア時代に向けて新たな展開をしている段階であり、このような手法の応用や分析の方法論を確立することの意味はきわめて重要なものであると考えられる。文献[3]や本論文の検討はその可能性の一端を示すものであり、今後も更に様々な視点からの検討が期待される。

参考文献

- [1] A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes: "Measuring Efficiency of Decision Making Units," *Eur. J. of Oper. Res.*, 2, pp.429-444,(1978).
- [2] 矢田, 中山, 上田: DEA法を用いた支店間の効率評価, *NTT R&D*, Vol.44, No.7, (1995).
- [3] T. Sueyoshi: "Stochastic Frontier Production Analysis: Measuring Performance of Public Telecommunications in 24 OECD Countries," *Eur. J. of Oper. Res.*, 74, pp.466-478,(1994).
- [4] 刀根薫: 経営効率性の測定と改善 —包絡分析法DEAによる—, 1993, 日科技連出版社, 東京.
- [5] 奥野, 芳賀, 久米, 吉澤: 多変量解析法, 1972, 日科技連出版社, 東京.
- [6] 上田徹: 多変量解析法を用いたDEA法入出力変換法の検討, 1994年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 2-E-4.
- [7] W. W. Cooper, 刀根, 高森, 末吉: DEAの解釈と展望(1) — (3), *オペレーションズ・リサーチ* (1994年8月号から10月号まで連載), 38,1994.