

鉄道会社の効率性

上田 徹*¹, 中村幸嗣*²

Efficiencies of railway companies

Tohru UEDA *¹, Kouji NAKAMURA *²

ABSTRACT: Firms are being operated over long years. Thus, we should evaluate their efficiencies, based on their historical data. Using historical data of railway companies, expectations and variances of forecasts were derived by Kalman filter. Then, DEA (Data Envelopment Analysis) was applied for their expectations. Sensitivity analysis was done, using their variance. We used not only CCR (Charnes, Cooper and Rhodes) model, but also CCR-AR (Assurance Region) in DEA.

KEYWORDS: Data Envelopment Analysis; Forecasting; Kalman filter; efficiency

(Received June 16, 2003)

1. 概要

経営効率性の評価は、あらゆる事業体にとって重要なテーマであるが、過去の実績だけで評価するだけでなく、これからどうなるかが重要である。そこで、鉄道会社の1987~2000年のデータに基づくカルマンフィルタによる予測値と分散を求めて、企業の効率性を評価する。

2. DEAの概要

2.1 DEAの基本モデル

DEA (Data Envelopment Analysis : 包絡分析法) とは、1入力1出力のシステムの効率性が出力/入力で測れることに着目し、それを複数入力、複数出力に拡張したものである。すなわち、複数入力を適当に重みづけして仮想的入力を作り、さらに複数出力を適当に重みづけして仮想的出力を作り、仮想的出力/仮想的入力で評価しようとするものである。ここでは、システム j の第 i 入力を x_{ij} 、第 r 出力を y_{rj} とすると、

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

の条件下で、評価対象システム O の効率

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} / \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$$

を最大にするように、重み u_r 、 v_i を決定する。すなわち、評価対象システム O にとって最も有利になるように重みを決定させる。それにも拘わらず、効率値が1よりも小さければ非効率的であると判定するわけである。

2.2 DEAで考慮すべき条件

(1) 入出力数における条件

DEAにおいては、入力や出力を追加するごとに効率値が大きくなる。それは、DEAが入力や出力の組み合わせの中から、その事業体にとって有利になるものを選ぶからである。項目を追加すればそれだけ有利なものが現れる可能性が高くなる。よって、むやみに入力項目や出力項目をたくさん採用すると、効率値が1のものが続出することになりかねない。そこで経験則として、入力の項目数を m 、出力の項目数を s 、DMU項目数(本研究では鉄道会社)を n とすると、

$$n \geq \max \{m \times s, 3(m+s)\}$$

*¹ 経営・情報工学科教授 (ueda@is.seikei.ac.jp)

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Information Sciences)

*² 経営・情報工学科学生 [現在: シグマトロン]

とすることが提案されている。

ここでは22の鉄道会社について、2入力、4出力で行ったので、上記条件は満たしている。

(2) 乗数に関する領域限定

領域限定法とは、入出力項目のウエイト（乗数）に対して制約を付加することで、乗数の存在領域を制限する方法である。凸包モデルの解において、効率的な〔企業〕活動の入出力に対する最適乗数の中に0が現れることがある。このことは、その活動にとって、その項目を採用することは不利となるのでその乗数を0としたこと、すなわち、その項目は無かったこととして評価したことを意味する。しかし、選ばれた項目を無視した評価結果は説得力に欠けるという見方もある。また、乗数の間にあまりに大きな差異があることも好ましくないという意見もあり、乗数の相対的な大きさに制限を設けることが提案されている。

例えば、入力の第1項目と第2項目の乗数の比に

$$l_{12} \leq v_1 / v_2 \leq u_{12}$$

といった制約を必要に応じて設定する。 l_{12} は比の下限であり、 u_{12} は比の上限である。このような制限が加われば当然のことながら、効率値は一般に低下し、普通の凸包モデルで効率的と判定されたものが非効率的になることもある。多くの場合、最適解においては乗数の比が上限か下限のどちらかに一致するので、上限値と下限値は慎重に選ばなければならない。

ここでは刀根（1993）の節6.1^[1]に述べられている方法を採用。まず、各項目の平均値を求める。

$$\bar{x}_1 = \sum_{j=1}^n x_{1j} / n, \quad \bar{x}_2 = \sum_{j=1}^n x_{2j} / n \quad (1)$$

$M(>1)$ を適当に定め、比の下限、上限を

$$l_{12} = (\bar{x}_1 / \bar{x}_2) / M, \quad u_{12} = M(\bar{x}_1 / \bar{x}_2) \quad (2)$$

とする。このようにして、項目の値の大きさまで考慮した上下限の設定ができる。

3. カルマンフィルタ^[3]

時点 n でのトレンドや季節性などに関する状態を表す変数 $\mathbf{x}(n)$ を推定・予測したいものとする。時点 n から時点 $(n+1)$ への状態変化は、雑音 $\mathbf{u}(n)$ を考慮して構造システム)方程式

$$\mathbf{x}(n+1) = F(n)\mathbf{x}(n) + G(n)\mathbf{u}(n) \quad (3)$$

で与えられるものとする [$n=1, 2, \dots, N$]. 時点 n での観

測値 $y(n)$ は、

$$y(n) = H(n)^t \mathbf{x}(n) + w(n) \quad (4)$$

で表される。この式は観測値がトレンド成分 $T(n)$ と周期成分 $S(n)$ と突発成分 $L(n)$ と雑音 $w(n)$ [分散 ω^2]の和になっていることを表すものとする。

このように構造方程式と観測方程式で表現されるモデルを状態空間表現といい、カルマンフィルタは観測値から状態 $\mathbf{x}(n)$ を逐次的に推定するアルゴリズムである。

トレンド成分、周期成分に関しては

$$\nabla^k T(n) = u(n), \quad (5)$$

$$\text{ただし、} \nabla T(n) \equiv T(n) - T(n-1)$$

$$\sum_{i=0}^{s-1} S(n-i) = v(n) \quad (6)$$

が成り立つものとする。ただし、 $u(n)$ 、 $v(n)$ は互いに独立かつ平均0で、それぞれ分散 τ^2 、 σ^2 (未知)の正規性ホワイトノイズと仮定し、周期成分の周期は s とする。 $k=2$ の場合には、 $(s+2)$ 次の状態ベクトルを

$$\mathbf{x}(n) = (T(n), T(n-1), S(n), \dots, S(n-s+2), L(n))^t \quad (7)$$

とおくと式(3)、(4)の $(s+2) \times (s+2)$ の行列 $F(n)$ 、 $(s+2) \times 2$ の行列 $G(n)$ 、 $(s+2)$ 次のベクトル $H(n)$ 、2次のベクトル $\mathbf{u}(n)$ および $\mathbf{u}(n)$ の 2×2 の分散共分散行列 Q は

$$F = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & \cdots & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad H(n) = (1, 0, 1, 0, \dots, d(n))^t \quad (8)$$

$$\mathbf{u}(n) = (u(n), v(n))^t$$

$$Q = \begin{bmatrix} \tau^2 & 0 \\ 0 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

$d(n) = 1$: n が突発時点のとき

$= 0$: n が突発時点でないとき

である。

時点 n までのデータ $y(i) [i=1, 2, \dots, n]$ が得られたときの時点 $(n+k)$ の $x(n+k)$, $y(n+k)$ の予測値をそれぞれ $x(n+k|n)$, $y(n+k|n)$ と表すことにする。そのとき、

$$x(n+k|n) = F^k x(n|n) \quad (9)$$

$$y(n+k|n) = H(n+k)^t x(n+k|n) \quad (10)$$

である。以下では年次データを扱うため周期成分は考慮せず、 $k=2$ のトレンド成分と突発成分のみを考慮する。

4. データの概要

4.1 データ処理

1987～2000年までの鉄道統計年報から得られる各鉄道会社のデータを用いる。

データからカルマンフィルタを用いて予測値とその分散を求める。

DEA法では領域限定法を用いて効率性評価を行った。さらに効率値が1のDMU (Decision Making Unit) に対し標準偏差分だけ入出力項目を変化させる。

4.2 入出力データ

入力を駅職員数 (入力1), 車両数 (入力2) とする。出力を輸送人数 (出力1), 運輸収入 (出力2), 平均通過数量 (出力3), 平均運賃 (出力4) とする。ただし、平均通過数量 (人/日キロ) とは一日当り、キロ当りの旅客の収容数を意味する。平均運賃 (円/人キロ) とは一年間の一人当り、キロ当りの運賃を意味する。

5. 分析結果

5.1 CCRモデルを用いた結果

予測値に対してCCR (Charnes-Cooper-Rhodes)モデルを用いて評価をした結果を表1に示す。効率値が1であった東急急行電鉄, 相模鉄道, 京福電気鉄道, JR東海の最速乗数 $V(i)$, $U(i)$ の中に表1に示すように0やそれに近い値が現れた。これは当該の鉄道会社にとってその項目を考慮することが不利と判断され、その項目が無視された

ことになるが、無視することには批判がある。そこで無視しないように乗数の相対的な大きさに制限を設けることとし、領域限定法を用いることにする。

5.2 領域限定法を用いた結果

入力の乗数の比と出力の乗数の比に上下限を設定する領域限定法を用いる。上下限の設定法は節2.2の項(2)に従う。なお、ここでは

$$0.11 \leq V(1)/V(2) \leq 0.44$$

$$0.11 \leq U(1)/U(3) \leq 4$$

$$1.2 \leq U(1)/U(4) \leq 19.2$$

$$1 \leq U(2)/U(3) \leq 4$$

$$7 \leq U(2)/U(4) \leq 28$$

である。

領域限定法における効率値と乗数を表2に示す。

5.3 感度解析

カルマンフィルタから求められた標準偏差を用いて、入出力値を変化させる。

相模鉄道の入出力の値を以下のように、入力は標準偏差分だけ増加させ、出力は標準偏差分だけ減少させた。

駅職員数 : 11.16 → 12.87

車両数 : 4.47 → 5.61

輸送人数 : 22.84 → 20.41

運輸収入 : 31.46 → 28.57

平均通過数量 : 299.15 → 290.24

平均運賃 : 12.19 → 10.39

ここでも領域限定法を用いて評価を行った。効率値が1のDMUの入出力を変化させることで、変化させる前よりも不利になった状態で評価をすることになる。その結果、相模鉄道は効率値1を維持し、東急が0.988、京王帝都が0.900と1に近い効率値を示した。

表1 CCRモデルにおける効率値と乗数

No.	DMU	効率値	V(1)	V(2)	U(1)	U(2)	U(3)	U(4)
1	東武鉄道	0.566	0.000	0.051	0.004	0.001	0.000	0.000
2	西武鉄道	0.672	0.030	0.000	0.002	0.006	0.000	0.001
3	京成電鉄	0.719	0.000	0.197	0.012	0.006	0.001	0.001
4	京王帝都電鉄	0.873	0.044	0.000	0.002	0.008	0.001	0.000
5	東京急行電鉄	1.000	0.033	0.000	0.010	0.000	0.000	0.001
6	小田急電鉄	0.852	0.000	0.096	0.006	0.003	0.001	0.000
7	京浜急行電鉄	0.797	0.044	0.000	0.002	0.008	0.001	0.001
8	相模鉄道	1.000	0.089	0.001	0.004	0.017	0.001	0.002
9	名古屋鉄道	0.423	0.024	0.000	0.002	0.004	0.000	0.001
10	近畿日本鉄道	0.491	0.000	0.048	0.004	0.001	0.000	0.000
11	南海電気鉄道	0.516	0.000	0.139	0.009	0.004	0.001	0.001
12	京阪電気鉄道	0.623	0.045	0.000	0.002	0.008	0.001	0.001
13	阪急電鉄	0.806	0.034	0.000	0.002	0.007	0.000	0.001
14	阪神電気鉄道	0.827	0.000	0.318	0.020	0.009	0.002	0.001
15	神戸電気鉄道	0.550	0.164	0.000	0.007	0.031	0.002	0.004
16	山陽電気鉄道	0.566	0.000	0.448	0.028	0.013	0.003	0.002
17	京福電気鉄道	1.000	0.001	3.328	0.372	0.000	0.002	0.018
18	広島電鉄	0.304	0.000	0.413	0.039	0.000	0.003	0.002
19	西日本鉄道	0.558	0.099	0.000	0.004	0.019	0.001	0.003
20	JR東日本	0.765	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000
21	JR東海	1.000	0.000	0.030	0.002	0.001	0.000	0.000
22	JR西日本	0.569	0.000	0.016	0.001	0.000	0.000	0.000

表2 領域限定法における効率値と乗数

No.	DMU	効率値	V(1)	V(2)	U(1)	U(2)	U(3)	U(4)
1	東武鉄道	0.328	0.01291	0.00568	0.00131	0.00131	0.00033	0.00007
2	西武鉄道	0.487	0.02594	0.01142	0.00263	0.00263	0.00066	0.00014
3	京成電鉄	0.445	0.04470	0.01967	0.00449	0.00449	0.00112	0.00064
4	京王帝都電鉄	0.725	0.03799	0.01672	0.00384	0.00384	0.00096	0.00020
5	東京急行電鉄	0.796	0.02884	0.01269	0.00292	0.00292	0.00073	0.00015
6	小田急電鉄	0.602	0.02552	0.01123	0.00258	0.00258	0.00065	0.00013
7	京浜急行電鉄	0.625	0.03822	0.01682	0.00387	0.00387	0.00097	0.00020
8	相模鉄道	1	0.08582	0.00944	0.00560	0.00817	0.00204	0.00029
9	名古屋鉄道	0.257	0.02098	0.00923	0.00211	0.00211	0.00053	0.00030
10	近畿日本鉄道	0.254	0.00989	0.00435	0.00100	0.00100	0.00025	0.00005
11	南海電気鉄道	0.285	0.02783	0.01224	0.00279	0.00279	0.00070	0.00040
12	京阪電気鉄道	0.478	0.03873	0.01704	0.00389	0.00389	0.00097	0.00056
13	阪急電鉄	0.598	0.03264	0.00359	0.00293	0.00293	0.00073	0.00015
14	阪神電気鉄道	0.529	0.07462	0.03283	0.00749	0.00749	0.00187	0.00107
15	神戸電気鉄道	0.380	0.14531	0.06393	0.01458	0.01458	0.00364	0.00208
16	山陽電気鉄道	0.390	0.11247	0.04949	0.01128	0.01128	0.00282	0.00161
17	京福電気鉄道	0.679	0.67024	0.29491	0.01348	0.07862	0.01966	0.01123
18	広島電鉄	0.152	0.08861	0.03899	0.00889	0.00889	0.00222	0.00127
19	西日本鉄道	0.394	0.08556	0.03765	0.00859	0.00859	0.00215	0.00123
20	JR東日本	0.354	0.00154	0.00068	0.00016	0.00016	0.00004	0.00001
21	JR東海	0.597	0.00454	0.00200	0.00002	0.00055	0.00014	0.00002
22	JR西日本	0.246	0.00254	0.00112	0.00026	0.00026	0.00006	0.00001

5.4 予測値の変換

図1からも分かるように、京福電気鉄道の平均運賃は他の鉄道会社よりも極端に値が大きいことがわかる。脱線事故や衝突事故から経営状況が良くないと言われている京福電気鉄道が良い評価を得ているのは疑問があると考え、他の鉄道会社と相対的に評価できるように各鉄道会社の平均運賃の値 a を以下のように変化させてもう一度CCRモデルを用いて評価を行った。

$$(\max - a) / (\max - \min) + 1$$

ただし、 \max は平均運賃の最大値、 \min は最小値とする。この式を用いることで最大を2、最小を1として評価することができる。

この場合の効率値を表3に示す。ただし、{AR: Assurance Region 領域限定}である。CCRモデルでは、この変換が意味を持たない(京福電気鉄道の平均運賃は最小のまま)のに対し、領域限定法では大きな変化が得られた。

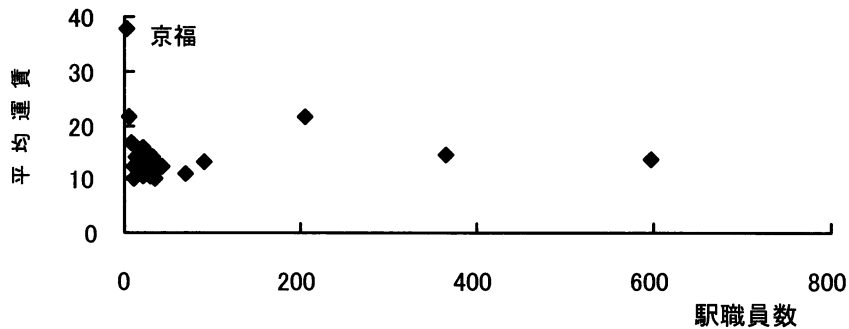


図1 駅職員数と平均運賃

表3 平均運賃の値を変えた場合の効率値

DMU	CCR 順位	効 率 値		AR 順位
		CCR	AR	
相模鉄道	1	1	1	1
東京急行	1	1	0.804	2
京福電気	1	1	0.350	16
JR東海	1	1	0.624	5
京王帝都	5	0.889	0.731	3
阪神電気	6	0.874	0.550	8
小田急	7	0.855	0.622	6
阪急電鉄	8	0.827	0.600	7
京浜急行	9	0.819	0.638	4
JR東日本	10	0.765	0.378	14
京成電鉄	11	0.750	0.465	11
神戸電気	12	0.698	0.370	15
西武鉄道	13	0.694	0.492	9
西日本	14	0.691	0.400	12
山陽電気	15	0.673	0.396	13
京阪電気	16	0.647	0.484	
JR西日本	17	0.569	0.266	21
東武鉄道	18	0.568	0.341	17
南海電気	19	0.541	0.301	18
近畿日本	20	0.495	0.269	19
名古屋	21	0.448	0.266	20
広島電鉄	22	0.445	0.165	22

表4 正準相関の乗数の値

	通常	非負制約
駅 職 員	-1.728	0
車 両 数	2.685	1
輸 送 人 数	1.389	0.580
運 輸 収 入	-0.507	0.457
平均通過数量	-0.064	0
平均輸送キロ	0.317	0
相 関 係 数	0.993	0.987

表6 1入力2出力時の効率値

東 武	0.566	京 阪	0.525
西 武	0.603	阪 急	0.603
京 成	0.666	阪 神	0.673
京 王	0.805	神 戸	0.434
東 急	1.000	山 陽	0.499
小 田 急	0.800	京 福	0.349
京 浜 急 行	0.699	広 島	0.282
相 模	0.608	西 日 本	0.422
名 古 屋	0.401	JR東日本	0.765
近 鉄	0.490	JR東海	1.000
南 海	0.504	JR西日本	0.569

表5 入出力変量間の相関係数

	駅職員	車両数	輸送人数	運輸収入	通過数量	輸送キロ
駅職員	1.000	0.991	0.919	0.956	-0.261	0.378
車両数	0.991	1.000	0.959	0.941	-0.211	0.311
輸送人数	0.919	0.959	1.000	0.857	-0.090	0.110
運輸収入	0.956	0.941	0.857	1.000	-0.220	0.582
通過数量	-0.261	-0.211	-0.090	-0.220	1.000	-0.123
輸送キロ	0.378	0.311	0.110	0.582	-0.123	1.000

表7 1入力2出力時の乗数の値

DMU	V(1)	U(1)	U(2)
東武鉄道	1.403	0.500	0.598
西武鉄道	2.233	0.796	0.951
京成電鉄	5.408	1.927	2.304
京王帝都	3.260	1.162	1.389
東京急行	2.502	0.893	1.061
小田急	2.639	0.940	1.124
京浜急行	3.608	1.286	1.537
相模鉄道	6.134	2.186	2.613
名古屋鉄道	2.236	0.797	0.953
近畿日本	1.326	0.472	0.565
南海電鉄	3.798	1.353	1.618
京阪	3.556	1.267	1.515
阪急電鉄	2.083	0.742	0.888
阪神	8.732	3.112	3.720
神戸電鉄	15.232	5.428	6.490
山陽電鉄	12.295	4.382	5.239
京福電鉄	91.395	32.570	38.940
広島電鉄	11.330	5.740	0.000
西日本鉄道	7.553	2.692	3.218
JR東日本	0.223	0.079	0.095
JR東海	0.815	0.291	0.347
JR西日本	0.432	0.154	0.184

6. 正準相関分析を利用する方法

文献[4]で正準相関分析法を用いた乗数制約導入法を提案し、それが入出力の削除に利用できる可能性を示唆した。そこで、本鉄道会社の例に対して、正準相関分析法の適用の可能性を検討してみる。

通常正準相関分析では

$$\sum_{i,j} v_i S_{ij} v_j = 1, \sum_{i,j} u_i T_{ij} u_j = 1$$

の条件下で第1正準相関の最大化、すなわち、

$$\max_{i,j} \sum v_i R_{ij} u_j \text{の最大化}$$

を行うこととし、解(乗数)は固有値問題を解くことにより求めている。ただし、 S_{ij} は入力変数 x_i と x_j の相関係数、 T_{ij} は出力変数 y_i と y_j の相関係数、 R_{ij} は入力変数 x_i と出力変数 y_j の相関係数である。

ここでは、DEAでの使用を考慮して通常と異なり、乗数に非負制約を課した。その結果、表4に示すように通常正準相関分析では負の乗数が多く出現しているのに対し、非負制約を課すことでもちろん負の乗数は出ないばかりでなく、第1正準相関(正準変量間の相関係数)の低下もさほどでない。

表5を見ると、駅職員と車両数の相関は0.991と非常に高く、2変数を用いることの無駄さが浮き彫りになっており、一方、入力と平均通過数量、平均輸送キロとの相関は非常に小さく、平均通過数量とでは負の相関にさえなっている。

入力と出力の関係を考えると、入力を増やせば出力も増える関係を捉えるべきであり、その関係の中で、入力の割には出力が小さいと非効率的と判断すべきである。また、平均通過数量、平均輸送キロについては規模と関わり大きい量で割り算しているため、基本的に規模の大きい鉄道会社には不利な項目である。このような考え方をとれば、評価する際に「駅職員、平均通過数量、平均輸送キロを削除すべき」との非負制約時の正準相関の

結果は尤もであると考えられる。

車両数を入力、輸送人数・運輸収入を出力としてCCRモデルを適用した場合の効率値を表6に示す。これまで悩んできた京福の効率値も低く、CCRモデルで効率的であった東急、JR東海は効率値1を維持しており、こちらの方が無理のない評価ではないかと考えている。

なお、元データを標準偏差で割った1入力2出力の値に対してCCRモデルを適用したときの乗数〔表7〕で極端な値となったのは広島電鉄だけであり、ある項目を無視しても広島電鉄の効率値は低かったため、乗数の領域制約は試みなかった〔京福の乗数値が大きいのは元データが非常に小さいからである〕。

7. まとめ

領域限定法を用いることでウェイトに制約が加えられ、値を総合的に評価することができた。効率値がおかしいと思われるところも改善できた。標準偏差を用いて入出力の値を変動させても相模鉄道の効率性は1のままであった。これは他のDMUよりも相模鉄道が際立って優れていることを表していると考えられる。

広島電鉄や名古屋鉄道や近畿日本鉄道は規模にあった運輸収入が得られていないことから良い値を得ることができなかつたと考えられる。予測値を変換させてもCCRモデルでは京福電気鉄道は効率値が1のままであったが、領域限定法を用いた結果では0.350とかなり低い効率値になった。これは平均運賃が極端に大きかったため京福電気鉄道は効率値1を得ていたと考えられる。

相模鉄道は標準偏差程度の入出力値の悪化では効率値1を保持した。相模鉄道は平均通過数量では1位であったが、他の出力項目では下位（15～16位）であった。しかし、入力項目では上位（6～7位）であり、規模の割には良好な出力は達成したといえる。しかし、平均通過数量の単位は（人／日キロ）であり、平均運賃の単位は（円／人キロ）なので、分母の単位にキロという「規模に関わる」要素がもともと入っているため、2重に規模を考慮したような形になっている。

このように、入出力項目の選定は検討が不十分であった。そこで、取りあえず、節6で正準相関分析を利用した効率性評価も行って見た。結果は著者の意図通りであったが、さらなる検討が必要と考えている。

結果が鉄道人の常識に反するとすれば項目選定の再検討が必要ということであろう。

【参考文献】

- [1] 刀根 薫 (1993) 「経営効率性の測定と改善」日科連出版社
- [2] 国土交通省 「鉄道統計年報1987～2000年」
- [3] 上田 徹 (1994) : 「予測手法(1)」, オペレーションズ・リサーチ
- [4] 上田 徹 (1994) : 「包絡分析法(DEA)における乗数に関する客観的制約」, 成蹊大学工学研究報告, Vol. 37, No. 1