

# ウィンドー分析法を用いた地下鉄事業の経営効率及び都市機能評価

Assessment of Management Efficiency and City Function of Public Subway by Window Analysis

山平 秀典<sup>\*\*</sup>、岸 邦宏<sup>\*\*\*</sup>、金田一 淳司<sup>\*\*\*\*</sup>、佐藤 馨一<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Hidenori YAMAHIRA<sup>\*\*</sup>, Kunihiko KISHI<sup>\*\*\*</sup>, Junji KINDAICHI<sup>\*\*\*\*</sup>, Keiichi SATOH<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 1. はじめに

わが国における地下鉄事業は、9つの公営事業と1つの営団事業があり、独立採算制を基本として運営している。しかし、ほとんどの事業体では、高額な建設コストを償還するため運賃収入では採算がとれず、一般会計による補助金が投入されている(図1)。この補助金は自治体の財政を大きく圧迫しており、他の公共サービスの質の低下が懸念される。

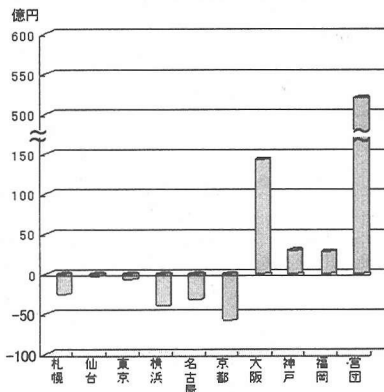


図1 営業損益(支払利息除く)

一般企業の経営パフォーマンスは、主として利益率などの収益性を示す指標によって計測される。しかし、地下鉄を含めた公共交通は都市が持つべき機能の一部であり、赤字であるからといって、それが不要ということにはならない。公共交通事業は様々な角度から評価する必要がある。

本研究では、複数の項目間の効率性を評価できる包絡分析法(Data Envelopment Analysis)を用いたウィ

ドー分析法によって、わが国の地下鉄事業の経営効率を時系列的に評価、考察した。また、特に札幌市営地下鉄について改善のための数値目標を提示する。

## 2. 札幌市営地下鉄の現状<sup>1)</sup>

札幌市の地下鉄は昭和46年12月、全国4番目の地下鉄として誕生した。当初は北24条から真駒内までの南北線12.1kmであったが、その後市勢の発展に伴い、昭和51年に東西線、53年に南北線延長部、57年に東西線延長部、63年に東豊線、平成6年に東豊線延長部、さらに平成11年2月に東西線延長部(琴似~宮の沢間2.8km)が開業した。積雪寒冷地である札幌市において雪に強い地下鉄は公共輸送機関として重要な役割を果たしている。また、本格的なゴムタイヤによる中央案内軌条方式を採用した点も特徴である。

しかし、経営面では乗客減による乗車料収入の伸び悩みや、資本費負担の増大により厳しい経営状況にある(図2)。

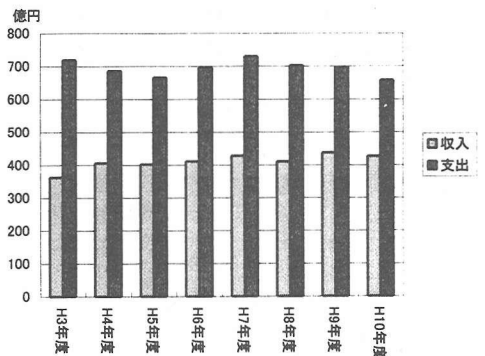


図2 札幌市地下鉄事業の収支推移

札幌市はこれまで、一般会計から100~200億円台を繰り入れてきた。しかし経営の立て直しに向けて、平成12年度から4年間で、さらに255億円を高速電車事業会計への繰入金を上乗せする方針である。平成12

\*キーワード: DEA, ウィンドー分析法, 地下鉄事業, 経営評価

\*\*学生会員、修(工)、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

(札幌市北区北13条西8丁目、TEL:011-706-6217/FAX:011-706-6216)

\*\*\*正会員、博(工)、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

(札幌市北区北13条西8丁目、TEL/FAX:011-706-6216)

\*\*\*\*正会員、日本データサービス㈱

(札幌市東区北16条東19-1-14、TEL:011-780-1121/FAX:011-780-1130)

\*\*\*\*\*フェロー、工博、北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

(札幌市北区北13条西8丁目、TEL:011-706-6209/FAX:011-706-6216)

年度予算案にて 41 億円を計上したことで当面の赤字は圧縮されるが、抜本的な経営改善には、地下鉄離れに歯止めをかける需要対策や一層のコスト削減が求められる。

### 3. 包絡分析法 (DEA) の基本概念

包絡分析法 (Data Envelopment Analysis ;DEA)<sup>2)3)</sup>は多入力・多出力系システムにおける相対的な効率性を評価する手法であり、主に経営工学の分野で用いられてきた。

包絡分析法の最も基本的なモデルとして、CCR モデルがある。概要は以下の通りである。

$n$  個の DMU (Decision Making Unit ;意志決定者) があり、 $m$  個の入力と  $s$  個の出力があるとき、仮想的入力、仮想的出力をそれぞれ

仮想的入力

$$= v_1 \times \text{入力}_1 + v_2 \times \text{入力}_2 + \dots + v_m \times \text{入力}_m$$

仮想的出力

$$= u_1 \times \text{出力}_1 + u_2 \times \text{出力}_2 + \dots + u_s \times \text{出力}_s$$

とし、各 DMU に有利になるように入力、出力にウェイト ( $v, u$ ) を付ける。ただし、効率は仮想的出力/仮想的入力で表し、最大で 1 になるようにする。ウェイトは負の値を取らないようにする。

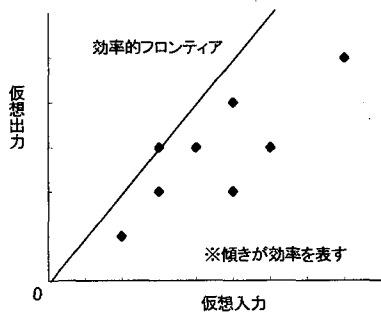


図3 DEA 概念図

分数計画問題として定式化すると式(1)-(4)となる。

$$\text{目的関数 } \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \quad (1)$$

$$\text{制約式 } \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 (j=1, \dots, n) \quad (2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (3)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (4)$$

これから求まる最適解を ( $v^*, u^*$ ) とし目的関数を  $\theta^*$  とするとき、

$\theta^* = 1$  ならば DMU<sub>o</sub> は効率的

$\theta^* < 1$  ならば DMU<sub>o</sub> は非効率的

であるという。

### 4. ウィンドー分析法

CCR モデルによって求められる効率値の経年変化を考察するため、本研究ではウィンドー分析法 (Window Analysis)<sup>2)3)</sup>を用いる。ウィンドー分析法は DEA を用いた時系列分析法であり、同じ DMU でも期が異なると、それぞれを「異なる」DMU として扱い、さらに年度間における効率値の連続性を考慮するために、2 期間、3 期間と全ての組み合わせにおいての効率値を求め、その平均値の推移で時系列評価を行なうものである (表 1)。

表1 ウィンドー分析法

社・期				1			平均
	1	2	3	2	3	3	
A1	$\theta_{A1,1}$			$\theta_{A1,12}$	$\theta_{A1,13}$		$\theta_{A1,123}$
A2		$\theta_{A2,2}$		$\theta_{A2,12}$		$\theta_{A2,23}$	$\theta_{A2,123}$
A3			$\theta_{A3,3}$		$\theta_{A3,13}$	$\theta_{A3,23}$	$\theta_{A3,123}$
B1	$\theta_{B1,1}$			$\theta_{B1,12}$	$\theta_{B1,13}$		$\theta_{B1,123}$
B2		$\theta_{B2,2}$		$\theta_{B2,12}$		$\theta_{B2,23}$	$\theta_{B2,123}$
B3			$\theta_{B3,3}$		$\theta_{B3,13}$	$\theta_{B3,23}$	$\theta_{B3,123}$
C1	$\theta_{C1,1}$			$\theta_{C1,12}$	$\theta_{C1,13}$		$\theta_{C1,123}$
C2		$\theta_{C2,2}$		$\theta_{C2,12}$		$\theta_{C2,23}$	$\theta_{C2,123}$
C3			$\theta_{C3,3}$		$\theta_{C3,13}$	$\theta_{C3,23}$	$\theta_{C3,123}$
D1	$\theta_{D1,1}$			$\theta_{D1,12}$	$\theta_{D1,13}$		$\theta_{D1,123}$
D2		$\theta_{D2,2}$		$\theta_{D2,12}$		$\theta_{D2,23}$	$\theta_{D2,123}$
D3			$\theta_{D3,3}$		$\theta_{D3,13}$	$\theta_{D3,23}$	$\theta_{D3,123}$

### 5. 地下鉄事業の効率性分析

#### (1) 入出力データ<sup>4)</sup>

本研究では全国の地下鉄 10 事業体をとりあげ、平成 5~9 年度の効率性の時系列評価を行なう。ここで地下鉄事業を事業者側、つまり経営面から評価すれば、入力項目に「人件費」、「営業経費」、出力項目に「運輸収入」とする金額評価が適していると考えられる。そこで、この 2 入力 1 出力による DEA 分析によって地下鉄事業の経営効率を評価する。例として平成 9 年度の入出力データを表 2 に示す。しかし、これはあくま

で経営面での効率評価であり、非効率であるからといって地下鉄事業が否定されるものではない。公共交通は都市設備の一部であることを考慮に入れる必要があ

る。交通インフラとしての評価を考えると、利用者が払う金額に対してどれだけの人がどれだけ乗車できるかが1つの基準として考えられる。そこで都市機能としての評価は、入力項目に「平均運賃」、出力項目に「平均通過数量」、「平均輸送キロ」を採用し(表3)、1入力2出力によるDEA評価を行う。

表2 平成9年度入出力データ(経営としての効率性)

	入力		出力
	人件費 (千円)	経費 (千円)	運輸収入 (千円)
札幌	12,820,613	11,387,849	36,556,682
仙台	2,993,506	3,301,887	11,116,151
東京	37,886,594	16,474,294	78,476,469
横浜	9,527,954	4,536,201	21,675,849
名古屋	33,638,332	11,942,223	61,857,077
京都	5,811,186	7,334,145	15,641,564
大阪	80,691,579	26,271,918	153,772,466
神戸	6,196,217	4,018,522	17,091,857
福岡	4,730,563	5,129,916	20,516,516
営団	101,585,127	67,592,370	260,611,272

(2) DEA 分析結果

平成5~9年度における経営面の効率性はウィンドー分析法により表4のような結果が得られた。都市機能における効率値に関しても同様に求められ、これらから効率値の推移は図4、図5のようになる。

都市機能評価では、平成7年度から神戸の評価が高くなっている。これは平成7年1月17日に起きた阪神・淡路大震災時に自家用車利用の規制、他の公共交通機関が不通という状態であったのに対し、地下鉄は比較的早く復旧したことによって、それ以後も利用者からの評価が高まったと考えられる。経営評価をみると、都市機能では評価が高かった神戸において、低くなっている。また京都の評価が大きく低下したのは、平成9年度に開通した東西線によって経費が倍増したことに加え、それに見合う収入が上げられなかったことが原因と考えられる。

また、経営、都市機能、双方の観点から比較するために2つの効率値を軸にとり、各事業体を平面上にプ

表3 平成9年度入出力データ(都市機能としての効率性)

	入力		出力	
	平均運賃 (円/人キロ)	平均通過数量 (人/日キロ)	平均輸送キロ (キロ/人)	
札幌	29.92	74,062	4.7	
仙台	37.58	54,758	5.1	
東京	20.70	146,978	6.8	
横浜	21.56	83,485	8.1	
名古屋	25.84	85,712	6.3	
京都	36.16	61,730	4.6	
大阪	26.49	139,579	6.1	
神戸	18.32	112,607	9.3	
福岡	35.81	88,168	4.9	
営団	16.43	255,065	7.6	

表4 ウィンドー分析法による効率値の推移(経営としての効率性)

	1995年度					1996年度					1997年度					1998年度					1999年度				
	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999	1995	1996	1997	1998	1999
札幌	0.79	0.79	0.77	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78
仙台	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
東京	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
横浜	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
名古屋	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
京都	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
大阪	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
神戸	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
福岡	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79
営団	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79	0.78	0.79	0.77	0.79

ロットすると図6のようになる。ここでは事業体として経営効率を上げていくとともに、都市機能としての効率を維持していく右上に向かう改善が求められる。

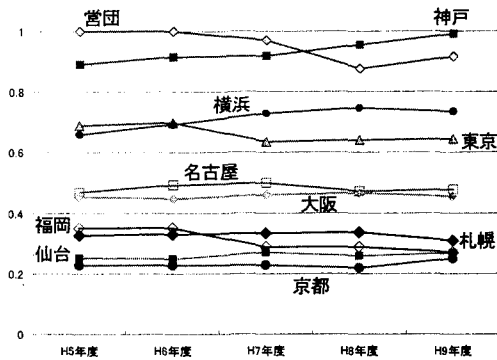


図4 都市機能としての効率値の推移

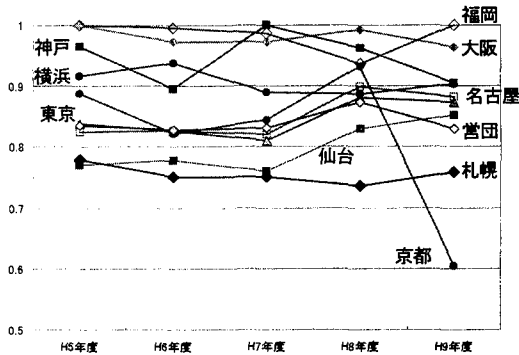


図5 経営としての効率値の推移

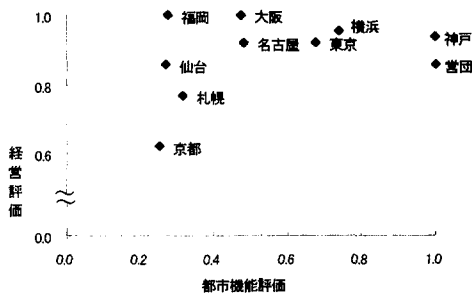


図6 地下鉄事業効率評価

さらに、2軸で表現されている評価を主成分分析によって、総合評価得点を求めた。寄与率は0.881と高い値であることから、第1主成分をもって総合得点とする。表5に示されるように、神戸、営団についての評価は高く、札幌、仙台、京都の評価は非常に低い。

表5 平成9年度の総合得点

順位	事業体	総合得点
1	神戸	1.612
2	営団	1.506
3	横浜	0.744
4	東京	0.477
5	大阪	-0.096
6	名古屋	-0.174
7	福岡	-0.775
8	札幌	-0.947
9	仙台	-0.994
10	京都	-1.353

## 6. 地下鉄事業体の効率化のための改善案

DEAによる評価におけるもう1つの目的は非効率的事业体を効率的フロンティアに投影することである。そのために入力指向型、つまり現状の出力レベルを最低限保証しながら入力を出るだけ縮小するものと、出力指向型、つまり現状の入力レベルで出来るだけ出力を増加させるという2種類の改善案が存在する。

表6は10事業体における入力指向型、出力指向型の改善案を表している。マイナスは余剰、プラスは不足を示す。札幌市は、人件費、経費を共に23%減少させるか、運輸収入を30%増加させることが効率的な経営への改善案となる。しかし入力のみ、出力のみの改善は最も極端な改善案と言えるので、現実問題としては経費削減と増収の両面からの改善が求められる。

表6 経営改善案

	入力志向型		出力志向型
	人件費 (千円)	経費 (千円)	運輸収入 (千円)
札幌	-2,962,980	-2,631,853	+12,114,141
仙台	-430,417	-522,423	+1,507,024
東京	-3,096,509	-1,346,460	+9,557,196
横浜	-450,657	-214,555	+1,780,476
名古屋	-2,709,621	-961,965	+5,744,335
京都	-2,204,657	-3,423,154	+9,934,084
大阪	0	0	0
神戸	-383,561	-248,756	+173,234
福岡	0	0	0
営団	-14,551,850	-9,682,461	+30,583,514

### 参考文献

- 1) 札幌市交通局ホームページ (<http://www.city.sapporo.jp/st/>)
- 2) 刀根薫:「経営効率性の測定と改善—包絡分析法DEAによる—」, 日科技連, 1993
- 3) 刀根薫, 上田徹 監訳:「経営効率評価ハンドブック—包絡分析法の理論と応用—」, 朝倉書店, 2000
- 4) 運輸省鉄道局監修:「平成9年度 鉄道統計年報」, 政府資料等普及研究会, 1999