

Context-dependent DEA による公共交通事業体の経営効率性評価

An efficiency evaluation of public transport corporation based on Context-dependent DEA

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○学生員 矢野宏 (Hiroshi Yano)
北海学園大学工学部社会環境工学科 正会員 鈴木聡士 (Soushi Suzuki)

1. はじめに

近年、公共交通を取り巻く経営環境は厳しさを増している。今後の安定的・継続的な公共交通サービスの提供のために、公共交通事業体においては様々な経営効率性改善のための試みを実施されている。特に札幌市交通局の地下鉄事業においては、人件費の削減や減価償却費の減少などにより、営業収益は平成 14 年度以降 4 期連続の黒字となった。このことから、経営状況は大きく向上しており、かつ経営効率性の改善努力が効果を発揮しつつあると予想される。

そこで本研究は、札幌市を含む 8 都市の交通局と 6 つの JR 旅客鉄道会社を事業体として設定し、DEA (Data Envelopment Analysis) ¹⁾ を用いて、各事業体の経営効率性の評価と、効率性の改善案を提示することを目的とする。また本研究では、市交通局という枠組みにとらわれず、JR 各社と直接的に比較することにより、都市交通局の経営効率性の位置づけを、より広い視点から評価することが可能になると考える。特に本研究では、Context-dependent DEA²⁾ (以降 CD-DEA という) を活用する。この手法は、経営効率性のレベルに応じて複数の効率的フロンティアを生成する手法であることから、仮に極めて高い効率性を有する事業体があった場合、その事業体を除いた次レベルの効率的フロンティアにより、その他の事業体の効率性を逐次分析することができる特徴を有している。この手法により、現実的な効率性の現状評価と効率性改善案の提示が可能となる。

2. 札幌市交通局の経営状況

札幌市交通局は、平成 16 年 3 月 31 日をもって市営バス事業から撤退した。経営状態が良好といわれる路面電車は、平成 16 年度は一般会計補助金等を含めた経常損益で 4 千万円の黒字となっているが、補助金無しには経営が成り立たない状態である。さらに地下鉄事業におい

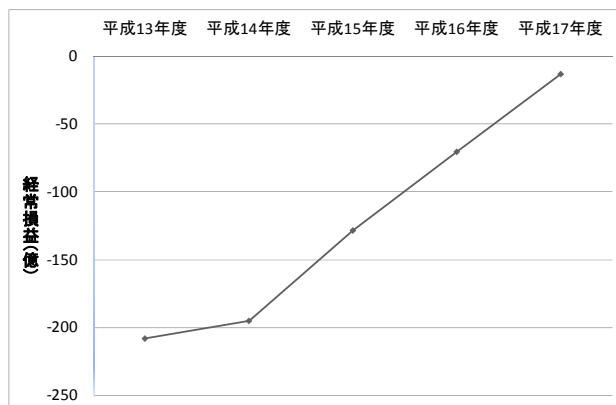


図-1 札幌市交通局の経常損益の経年推移

ては営業収益が黒字ではあるが、営業外費用内の地下鉄建設時などに借り入れた企業債の支払利息の負担が大きく、経常損益はマイナスとなっている。しかし平成 17 年度においては経常損益自体がプラスに近づいている。図-1 に札幌市交通局の平成 13 年度から平成 16 年度における経常損益³⁾を示す。

3. DEA モデルと CD-DEA の概要

3-1 CCR モデルの概要

DEA は、事業体の活動に関する効率性を多出力/多入力 の比を用いて、比率尺度で相対的に測定することが可能な手法であり、様々な分野で活用されている。

この DEA の基本モデルとして、Cooper らによって提案された CCR(Charnes-Cooper-Rhodes)モデル¹⁾がある。このモデルは、規模の経済性に関して収穫一定を仮定したモデルで、一般的に広く活用されており、以下のようなモデルである。

まず、DEA では分析対象 (ex.事業体など) を一般に DMU (Decision Making Unit) という。ここで、n 個の DMU があると仮定し(DMU_j, j=1, ..., n)、対象とする DMU を DMU₀ とする。また、m 個の入力項目と s 個の出力項目があるとき、DMU₀ の入力データを x_{m0}、出力データを y_{s0} とする。各入力項目に関する各ウエイトを v_m(m=1, ..., M)、各出力項目に関する各ウエイトを u_s(s=1, ..., S)として以下のように定式化される。

$$(FP_0) \quad \max_{v,u} \quad \theta = \frac{\sum_s u_s y_{s0}}{\sum_m v_m x_{m0}}$$
$$s.t. \quad \frac{\sum_s u_s y_{sj}}{\sum_m v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (1)$$
$$v_m \geq 0, u_s \geq 0$$

モデル(1)の最適解を(v_m^{*}, u_s^{*})とし、最適目的関数値を θ^{*}とする。この各 DMU に関する θ^{*}の値が効率性の評価値となる。このとき、θ^{*}=1 ならば DMU₀ は効率的であり、θ^{*}<1 ならば DMU₀ は非効率的である。

さらに、CCR モデルにおける効率性改善案(x̂₀, ŷ₀)は(2),(3)式のとおりである。

$$\hat{x}_0 = \theta^* x_{m0} - s^- \quad (2)$$

$$\hat{y}_0 = y_{s0} + s^+ \quad (3)$$

ここで、 s^{-*} は入力之余剰、 s^{+*} は出力の不足である。

式(2),(3)の効率性改善案創出モデルのイメージ（入力空間）を図-2に示す。

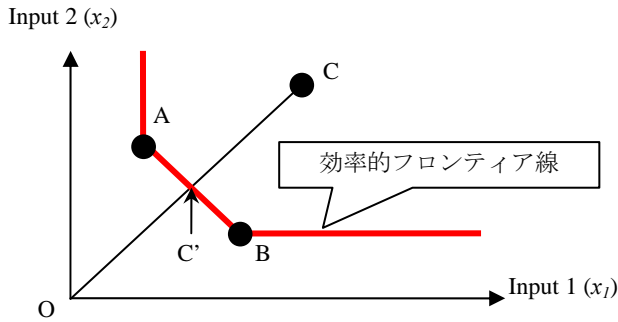


図-2 効率性改善案創出モデルのイメージ

図-2において、点A,B,CはDMUであり、AとBは効率的、Cは非効率的である。さらに、Cの効率性評価値は $\theta^* = OC'/OC < 1.000$ となる。またCCRモデルによるCの効率性改善案は、式(2)のとおり入力値 x の一律 θ^* 倍の縮小（点C'への移動）として表される。

3-2 CD-DEAモデルの概要

CCRモデルは、全DMUを含む評価のフレームワークであることから、仮に極めて高い効率性を有するDMUが存在した場合、そのDMUのみが効率的となり、他のDMUは全て非効率と評価される。さらに、この場合の効率性改善案は、すべてこの極めて高い効率性を有するDMUと同水準の改善案であることから、その実現は現実的に困難となる。

ここで、Seifordら²⁾は、CD-DEAを提案している。このモデルは、効率的と評価されたDMUを除いて、逐次的に効率的フロンティアを生成して分析する手法であり、以下に示す方法である。

まず、

$$J^1 = \{DMU_j, j = 1, \dots, n\} \quad (4)$$

は n 個の全DMU集合である。そして、次レベルのDMU集合を

$$J^{l+1} = J^l - E^l \quad (5)$$

と定義する。ここで、

$$E^l = \{DMU_k \in J^l | \theta^*(l, k) = 1\} \quad (6)$$

であり、効率性スコア θ^* は、(1)式より得られる。

これらに基づき、以下に示すStepで逐次的に効率的フロンティアを生成する。

Step1: $l=1$ を設定する。この時の J^1 を用いて(1)式を解く。

これにより、第1レベル効率的DMU集合 E^1 (第1レベル効率的フロンティア)を得る。

Step2: $J^{l+1} = J^l - E^l$ として、次レベルのDMU集合を得る。もし、 $J^{l+1} = \emptyset$ の場合、終了する。

Step3: J^{l+1} のDMU集合を用いて、(1)式により新たな効率的DMU集合 E^{l+1} を得る。

Step4: $l = l + 1$ とし、Step2へ。

終了条件: $J^{l+1} = \emptyset$ でアルゴリズム終了。

このように、CD-DEAは逐次的なStepにより図-3に示すような、多段階レベルの効率的フロンティアを生成し、評価する手法である。

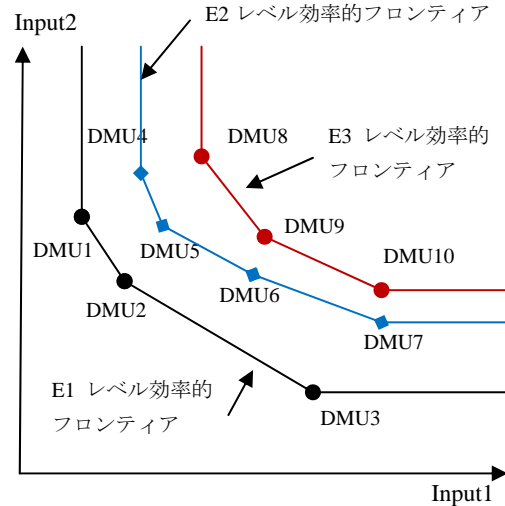


図-3 CD-DEAのイメージ

4. DMUと入力・出力項目の設定

本研究では各都市の交通局（札幌市、仙台市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、福岡市）とJR旅客鉄道（北海道、東日本、東海、西日本、四国、九州）の14の事業体の効率性を比較・評価する。

また本研究では、事業体の「経営効率性」の視点から分析を行う。ここで岸ら⁴⁾は、この視点における入出力項目として、入力項目に人件費と営業費、出力項目に営業収益とする2入力1出力によるDEA分析で経営効率を評価している。

本研究では、これと同様の項目を用いる。平成17年度におけるデータ⁵⁾を表-1に示す通り設定した。また、経営状況の参考指標として、{(O:営業収益)-(I1:営業費)-(I2:人件費)}（以降、O-I1-I2という）を示した。

表-1 平成17年度における各DMUの入出力データ

	(O)営業収益	(I1)人件費	(I2)営業費 (人件費除く)	(O-I1-I2)
札幌市	40,425,804	7,530,565	26,713,577	6,181,662
仙台市	12,318,048	3,563,042	5,993,446	2,761,560
横浜市	30,930,134	7,098,261	19,693,395	4,138,478
名古屋市	76,160,933	20,781,475	43,771,661	11,607,797
京都市	21,017,520	4,396,004	25,220,779	-8,599,263
大阪市	151,654,122	47,475,556	71,345,008	32,833,558
神戸市	19,098,907	4,739,849	14,944,978	-585,920
福岡市	22,464,960	4,449,129	19,485,605	-1,469,774
JR北海道	85,562,374	49,529,737	66,033,223	-30,000,586
JR東日本	1,836,636,960	397,225,288	1,122,323,771	317,087,901
JR東海	1,191,496,731	153,893,666	657,502,307	380,100,758
JR西日本	833,165,708	204,227,277	531,321,158	97,617,273
JR四国	30,254,660	17,331,745	22,545,499	-9,622,584
JR九州	139,967,761	42,759,489	102,948,000	-5,739,728

単位:千円

5. DEA による分析結果とその考察

5-1 CCR モデルによる分析結果

CCR モデルによって分析した経営効率性スコアを図-4 に示す。なお、本研究では入力指向型のモデルを活用している。図-4 の結果は、各 DMU の効率性を表わしており、1.000 となっているものが効率的な DMU であり、JR 東海と大阪市であった。これは{O-I1-I2}の観点から考察しても妥当であり、大きくプラスである。それに比べ JR 北海道は{O-I1-I2}がマイナスであり、CCR のスコアも 0.610 と低いスコアであることがわかる。

札幌市は、7 番目の効率性スコアであり、スコアは 0.819 と全体の中で中程度の効率性の位置づけとなっている。

ここで、公共交通機関は単に経営効率性の視点のみではなく、例えば JR 北海道は人口密度が低く、かつ広大な面積をカバーする必要があるなど、公共的役割と地域特性等を考慮する必要があることを念頭に置いておく必要がある。

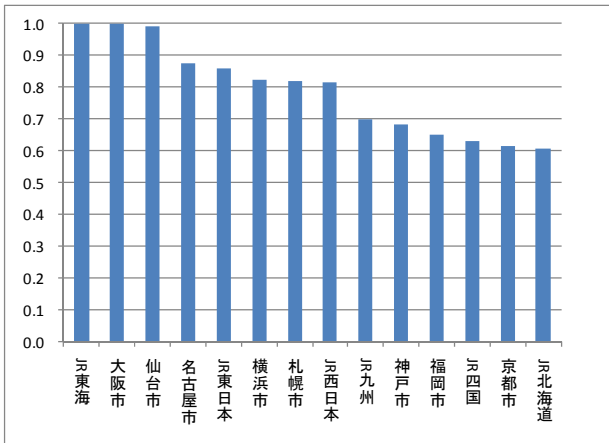


図-4 CCR モデルによる経営効率性スコア

5-2 CD-DEA による分析結果

次に CD-DEA による分析結果を表-2 に示す。この中の E レベル (E1~E8) とは、どのレベルの効率的 DMU 集合に属しているのかを示すものである。また、図-5 は表-2 で得られた結果をグラフにしたものである。

表-2 CD-DEA による効率性スコアと E レベル

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
JR東海	1.000						
大阪市	1.000						
札幌市	0.819	1.000					
仙台市	0.991	1.000					
名古屋市	0.876	0.942	1.000				
福岡市	0.652	0.941	1.000				
JR東日本	0.862	0.999	1.000				
横浜市	0.825	0.952	0.956	1.000			
京都市	0.618	0.891	0.947	1.000			
JR西日本	0.816	0.927	0.943	0.998	1.000		
神戸市	0.682	0.812	0.855	0.913	0.988	1.000	
JR九州	0.699	0.779	0.805	0.866	0.867	1.000	
JR四国	0.631	0.653	0.771	0.854	0.856	0.987	1.000
JR北海道	0.610	0.630	0.745	0.825	0.826	0.953	0.990

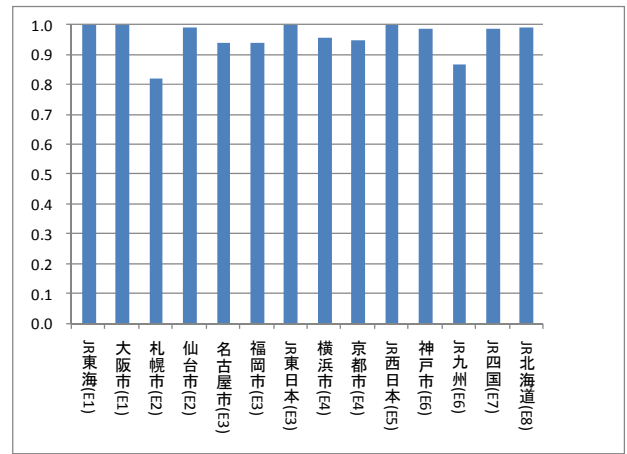


図-5 CD-DEA による効率性スコア

表-2 から、E1 レベルに JR 東海・大阪市、E2 レベルに札幌市・仙台市、E3 レベルに名古屋市・福岡市・JR 東日本、E4 レベルに横浜市・京都市、E5 レベルに JR 西日本、E6 レベルに神戸市・JR 九州、E7 レベルに JR 四国、E8 レベルに JR 北海道がそれぞれ設定された。CCR モデルでは 7 番目の効率性であった札幌市交通局が、CD-DEA で分析した場合、E2 のレベルで効率的な DMU となっている。このことから、最も効率的な E1 の DMU (JR 東海、大阪市) を除いた場合には、札幌市交通局の経営効率性は高い状況が明らかとなった。

5-3 参照集合一覧

参照集合とは非効率な DMU にとっての優位集合であり、効率性の改善を考える際のベンチマークとなるものである。表-3 に、CCR モデルと CD-DEA による参照集合一覧を示す。表-3 より、CCR モデルでは E1 レベルにある参照集合のみの提示となるが、CD-DEA では、直近上位 E レベルの参照集合が提示されるので、より現実的なベンチマークが提示されるメリットがあり、示唆に富むものであると考えられる。

表-3 参照集合一覧

		CCR	CD-DEA
E1	大阪市		
	JR東海		
E2	札幌市	大阪市	大阪市
	仙台市	大阪市	大阪市
E3	名古屋市	大阪市	札幌市、仙台市
	福岡市	JR東海	札幌市
	JR東日本	大阪市	札幌市、仙台市
E4	横浜市	大阪市	名古屋市、JR東日本
	京都市	JR東海	福岡市
E5	JR西日本	大阪市	横浜市
E6	神戸市	大阪市	JR西日本
	JR九州	大阪市	JR西日本
E7	JR四国	大阪市	JR九州
E8	JR北海道	大阪市	JR四国

表-4 CCR モデルと CD-DEA による効率性改善案一覧

Eレベル	DMU I/O	Date	CCR	CD-DEA	Eレベル	DMU I/O	Date	CCR	CD-DEA
E1	大阪市	Score	1.000		E4	横浜市	Score	0.825	0.956
	人件費	47,475,556	0.00%	0.00%		人件費	7,098,261	-17.51%	-4.35%
	営業費	71,345,008	0.00%	0.00%		営業費	19,693,395	-17.51%	-4.35%
	営業収益	151,654,122	0.00%	0.00%		営業収益	30,930,134	0.00%	0.00%
	JR東海	Score	1.000			京都市	Score	0.618	0.947
	人件費	153,893,666	0.00%	0.00%		人件費	4,396,004	-38.25%	-5.31%
	営業費	657,502,307	0.00%	0.00%		営業費	25,220,779	-54.01%	-27.72%
E2	営業収益	1,191,496,731	0.00%	0.00%	営業収益	21,017,520	0.00%	0.00%	
	札幌市	Score	0.819	0.819	JR西日本	Score	0.816	0.988	
	人件費	7,530,565	-18.06%	-18.06%	人件費	204,227,277	-18.39%	-6.38%	
	営業費	26,713,577	-18.06%	-18.06%	営業費	531,321,158	-18.39%	-0.16%	
	営業収益	40,425,804	0.00%	0.00%	営業収益	833,165,708	0.00%	0.00%	
	仙台市	Score	0.991	0.991	E6	神戸市	Score	0.682	0.988
	人件費	3,563,042	-0.91%	-0.91%		人件費	4,739,849	-31.75%	-1.23%
営業費	5,993,446	-0.91%	-0.91%	営業費		14,944,978	-31.75%	-18.50%	
営業収益	12,318,048	0.00%	0.00%	営業収益		19,098,907	0.00%	0.00%	
E3	名古屋市	Score	0.876	0.942		JR九州	Score	0.699	0.867
	人件費	20,781,475	-12.44%	-5.83%		人件費	42,759,489	-30.06%	-19.76%
	営業費	43,771,661	-12.44%	-5.83%		営業費	102,948,000	-30.06%	-13.30%
	営業収益	76,160,933	0.00%	0.00%	営業収益	139,967,761	0.00%	0.00%	
	福岡市	Score	0.652	0.941	JR四国	Score	0.631	0.987	
	人件費	4,449,129	-34.78%	-5.94%	人件費	17,331,745	-45.35%	-46.67%	
	営業費	19,485,605	-36.38%	-23.82%	営業費	22,545,499	-36.87%	-1.30%	
営業収益	22,464,960	0.00%	0.00%	営業収益	30,254,660	0.00%	0.00%		
JR東日本	Score	0.862	0.999	JR北海道	Score	0.610	0.990		
人件費	397,225,288	-13.84%	-0.11%	人件費	49,529,737	-45.92%	-1.04%		
営業費	1,122,323,771	-13.84%	-0.11%	営業費	66,033,223	-39.04%	-3.44%		
営業収益	1,836,636,960	0.00%	0.00%	営業収益	85,562,374	0.00%	0.00%		

5-4 CCR モデルと CD-DEA による効率性改善案の提示

DEA では非効率的な事業体を効率的にするための改善案を数量的に提示することができる。CCR モデルと CD-DEA による効率性改善案を表-4 に示す。

ここで、E2 レベルの札幌市について、人件費と営業費を一律 18.06%縮小させれば、E1 レベルの効率的フロンティアに到達することを意味している。

また、JR 北海道は人件費を 45.92%、営業費を 39.04%縮小させれば、E1 レベルの効率的フロンティアに到達することを意味している。しかし、この実現は非現実的な水準にあると考えられる。

そこで CD-DEA によって、JR 北海道にとっての直近上位 E レベルである E7 レベルの効率的フロンティアに到達するための方策として、人件費を 1.04%、営業費を 3.44%縮小させる案が提示される。このように、CD-DEA は、その DMU の現状の位置づけと、それに応じた現実的な改善案の提示が可能になる。

6. おわりに

本研究は DEA における CCR モデルと CD-DEA を活用し、8 都市の交通局と 6 つの JR 旅客鉄道会社の経営効率性を評価した。

E1 レベルとなった大阪市と JR 東海においては{O-II-I2}の数値が大きく、効率性も妥当であることがわかる。しかし、JR 東日本は{O-II-I2}が大きいにもかかわらず、効率性の観点からは、E3 レベルにあることがわかった。

また、札幌市と福岡市のように CCR モデルにおいては効率的 DMU とはいえないが、CD-DEA を用いると

それぞれ E2、E3 と上位の E レベルとなることが明らかとなった。また、CD-DEA の活用により、より現実的な改善案の提示が可能となった。

今後の課題は、より広い観点から交通事業体の効率性を分析することである。

参考文献

- 1)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
- 2)Lawrence M.Seiford, Joe Zhu :Context-dependent data envelopment analysis-Measuring attractiveness and progress, The International Journal of Management Science (OMEGA)31, pp.397-408, 2003
- 3)札幌市交通局ホームページ
<http://www.city.sapporo.jp/st/>
- 4)岸 邦宏、山平 秀典、佐藤 馨一：ウィンドー分析法による地下鉄事業の経営および利用効率評価、土木計画学研究・論文集 vol.18、no.1、pp.115-121、2001.9
- 5)国土交通省鉄道局監修：鉄道統計年報、平成 17 年度版