

包絡分析法を用いたバス路線の評価に関する研究

A Study on Evaluation of bus lines by Data Envelopment Analysis

北海道大学大学院工学研究科 ○学 生 員 飯島 昭 (Akira Iijima)
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 劉 志鋼 (Zhigang Liu)
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 岸 邦宏 (Kunihiko Kishi)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 馨一 (Keiichi Satoh)

1. はじめに

札幌市は公共交通を取り巻く環境の変化に対応するため、2001年に市営交通事業の方向性を定めた「交通事業改革プラン」を策定し経営の効率化を計っている。バス事業に関しては2002年の路線バス需給調整規制廃止の影響を考慮し、人件費の高い市営バスでは経営が困難と判断して段階的に民間に移行してきた。2004年3月には民間への移行も完了し、市営バスは完全に廃止された。しかし民間に移行したため、赤字路線からの撤退やサービス水準の低下などが懸念されており、赤字路線への補助金による対応が迫られている。また、2001年に地方バス生活路線維持費補助金制度が設けられ、これまで内部補助により赤字路線を維持してきた事業者が、黒字・赤字事業者に関わらず路線ごとに補助金が支給されるようになった。このようなことから、これまで以上に路線別の評価を行う必要性が高まっている。

そこで本研究では、多入力多出力の事業効率性を評価する手法である包絡分析法(Data Envelopment Analysis ; DEA)を、バス路線の経営過程に沿って段階的に適用し、事業者の視点から見た効率性を評価する。

2. 包絡分析法 (DEA) の基本概念

DEAは多入力・多出力システムにおける相対的な効率性の評価手法である。最も基本的なモデルであるCCRモデルについて、概要を以下に示す。

n 個の事業体 (DMU) があり、 m 個の入力と s 個の出力があるとき、仮想的入力と仮想的出力の比、

$$\frac{\text{仮想的出力}}{\text{仮想的入力}} = \frac{u_1 \text{出力}_1 + u_2 \text{出力}_2 + \dots + u_s \text{出力}_s}{v_1 \text{入力}_1 + v_2 \text{入力}_2 + \dots + v_m \text{入力}_m}$$

によって効率値が表される。ここで入出力値のウェイト (v, u) は各 DMU にとって最も有利になるように付けられる。ただし、効率値は1以下に抑えウェイトは負の値を取らないようにする。

分数計画問題に定式化すると次式のようにになる。

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

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

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

これから求める最適解を (v^*, u^*) とし目的関数を θ^* とするとき

$\theta^* = 1$ ならば DMU_o は効率的

$\theta^* < 1$ ならば DMU_o は非効率的

であるという。

3. 路線別経営効率評価方法

事業経営に求められることは、できるだけ少ない費用を使いできるだけ多い収入を得ることである。この効率性がバス事業者の最終的な評価となり、本研究では経営効率と定義する。経営効率は図1のようにいくつかの段階を経て得られるものであり、本研究では各段階にDEAを適用し評価する。これにより、従来の経営効率評価に用いられてきた営業係数や乗車密度だけではわからなかった、事業のどの段階で他の路線と比較して劣っているのか、また優れているのかを明らかにできる。

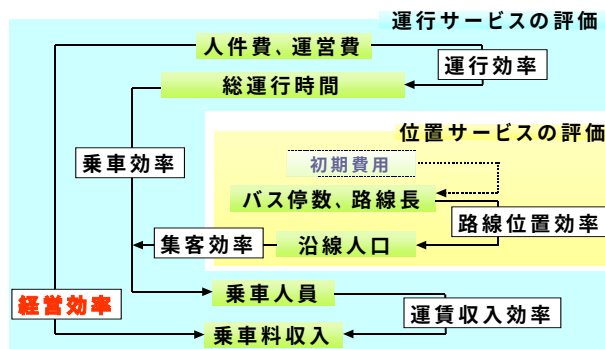


図1 バス事業の効率性

図1に示した経営効率、運行効率、乗車効率、路線位置効率、集客効率、運賃収入効率の6段階でのDEA入出力値の関係を表1に示す。

表1 6効率値のDEA入出力値

	入力値	出力値	効率値の意味
経営効率	人件費、運営費	乗車料収入	費用をかけて、どれだけ効率よく収入を得ているか
運行効率	人件費、運営費	総運行時間	費用をかけて、どれだけ効率よくバスを走行させているか
乗車効率	総運行時間	乗車人員	バスを走行させ、どれだけ効率よく乗車人員を獲得しているか
路線位置効率	バス停数、路線長	沿線人口	路線がどれだけ人口の多い地域を走っているか
集客効率	沿線人口	乗車人員	沿線人口をどれだけ効率よく乗車人員として取り込んでいるか
運賃収入効率	乗車人員	乗車料収入	乗車人員が支払う運賃を、どれだけ効率よく収入として変換しているか

4. 札幌市営バスの効率評価

4.1 DEA 入出力データ

本研究では表1に示した効率性について、平成12年の時点で市営バスとして運行していた48路線のうち、

平成16年の時点において運行している38路線を対象にDEAによる相対評価を行う。本研究に用いる路線別乗車人員のデータには、平成12年度札幌市営バス路線別特性カルテ（以下、バス路線カルテ）を用いる。バス路線カルテは、平成12年の市営バス48路線全てについて、一日の、バス停別・時間別・目的別の乗降者人員を調べたデータである。また沿線人口のデータには、GISを用いてバス停勢力圏を作成し、その中における夜間人口と従業者数と学校生徒数を集計し重複路線数で除した値を路線別に集計した値を用いることとする。バス停勢力圏は、バス停中心からボロノイ図と半径300mの円を発生させた時に二つの領域を同時に含む範囲と定義した。

4.2 経営効率評価

経営効率値は入力値に人件費と経費を、出力値に乗車料収入を用いたDEAにより表される。研究対象38路線についての入出力値と、効率値となるための改善案を表2に示す。改善案では、マイナスは余剰、プラスは不足を表している。

表2 入出力値と経営効率値

路線名	経営効率値 (効率値)	入出力値			効率値となるための改善案		
		人件費	経費	乗車料収入	入力指向型		出力指向型
					人件費	経費	乗車料収入
西44工業団地	0.47	233,781	66,334	173,600	-124,898	-35,441	199,135
西48,49新川発寒	0.49	578,304	155,362	447,200	-297,819	-80,010	474,835
西51,71北桑園	0.63	384,619	94,975	381,800	-141,268	-34,884	221,638
西66新道西	0.33	171,636	43,047	89,000	-115,107	-28,869	181,228
北73新琴似2条	0.74	834,036	216,079	984,600	-213,299	-55,261	338,330
東3苗穂	0.52	283,625	70,866	231,000	-136,779	-34,175	215,165
東6札苗	0.67	461,367	134,101	492,390	-152,538	-44,345	243,203
東61丘珠	0.48	338,852	102,055	256,800	-177,786	-53,551	283,459
東62本町	0.42	293,581	67,047	192,400	-168,853	-38,562	260,466
東63苗穂北口	0.55	384,685	87,633	326,800	-172,717	-39,346	266,286
東67伏古	0.44	257,934	66,945	180,800	-143,997	-37,374	228,501
東68伏古札苗	0.58	550,299	149,405	509,400	-230,801	-62,664	367,985
東69,79北札苗	0.54	758,126	249,847	652,350	-348,970	-115,032	556,391
東70元町	0.88	522,693	125,910	713,800	-65,227	-15,712	101,776
東78札幌新道	0.47	416,830	98,279	305,200	-220,316	-51,946	342,167
西11西25丁目	0.70	174,170	39,532	189,000	-51,488	-11,686	79,320
西12ロープウェイ	0.83	222,485	58,811	294,200	-37,878	-10,013	60,364
西13旭山公園	0.64	101,567	22,570	98,200	-37,005	-8,223	56,284
西14荒井山	1.00	208,608	55,249	332,600	0	0	0
西15動物園	1.00	224,310	50,375	344,800	0	0	0
環20山の手環状	0.80	397,425	100,351	501,200	-79,574	-20,093	125,475
西21山の手	0.95	399,277	99,074	594,600	-20,703	-5,137	32,517
西29琴似西野	0.42	174,721	46,622	117,400	-101,087	-26,974	161,171
西32北24条	0.61	132,953	30,066	124,800	-51,881	-11,732	79,865
西39,40琴似発寒	0.69	539,315	124,874	572,600	-169,192	-39,175	261,750
西41西野福井	0.80	637,148	173,868	815,600	-125,600	-34,279	200,254
西42西野平和	0.93	717,427	194,019	1,062,600	-50,960	-13,785	81,250
西33,43西野第二	0.88	751,737	195,499	1,048,800	-91,110	-23,694	144,644
西52桑園発寒	0.35	295,052	78,425	165,000	-191,563	-50,918	305,425
西53啓明	0.61	307,797	70,633	289,400	-120,377	-27,624	185,876
西58北5条	0.67	237,260	46,551	213,800	-78,057	-15,315	104,826
北46新琴似	0.73	420,230	95,373	474,800	-112,025	-25,425	172,579
南95藻岩	0.23	1,349,893	373,151	495,140	-1,039,339	-287,308	1,657,100
環56,南56平岸	0.49	515,074	151,468	405,000	-261,056	-76,777	416,223
南65中の島	0.65	188,805	44,805	189,800	-66,767	-15,844	103,839
南90中の沢	0.64	141,345	38,770	143,200	-51,530	-14,135	82,157
南97北の沢	0.57	333,022	96,326	301,000	-144,233	-41,724	229,963
南98藻岩山手	0.61	237,978	61,099	229,000	-93,303	-23,955	147,686

最も経営効率値の低い南95藻岩については、人件費を1,039,339円/日(23%)減少させ運営費を287,308円/日(23%)減少させる、もしくは乗車料収入を1,657,100円/日(435%)増加させることで効率となる。この値は改善案としての一例として提案できるが、実際に人件費や経費を事業のどの段階で削減し、乗車料収入をどの段階で向上させるべきかまではわからない。多入力多出力を

扱うDEAでは、すべての費用とサービスを同時に入力値として評価することで、各入力値に対する改善策を検討する方法も考えられる。しかし、費用とサービスの互いに入出力関係にあるものを同時に入力値として扱うことは望ましくないと考えられる。そこで経営効率の各段階を分解し、それぞれにDEAを適用し効率値を算出した。

4.3 各効率値の比較

本研究の分析では札幌市営バスが運行していた路線のみを扱っているため、運賃体系に違いがなく運賃収入効率に差がない。そこで経営効率値、運行効率値、乗車効率値、路線位置効率値、集客効率値の5効率値による比較を行った。ここでは経営効率値が0.4以下の3路線に対して、具体的にどの段階から改善すべきかを検討した(図2)。

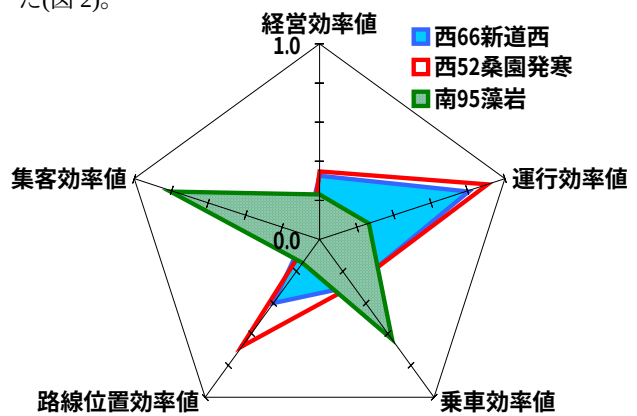


図2 各効率値の比較

西66、西52では乗車効率値と集客効率値は低いが運行効率値が高くなっている。ここから西66、西52の経営効率が低い理由は、運行効率ではなく乗車効率や集客効率といった、利用者にサービスを提供する段階に課題があるためと言える。また経営効率値の最も低い南95では、運行効率値、路線位置効率値は低い値であるが、乗車効率値や集客効率値は高い値を示している。このことから南95では、運行効率や路線位置効率の段階に課題があると言える。このように事業の各段階での効率値を比較することで、対策の必要な段階を明らかにすることができる。

4.4 効率値による路線の分類

路線位置効率により都心部中心の路線か郊外部中心の路線かを分類でき、集客効率によりバス路線への依存性の大きさを分類できる。さらに、運行効率と乗車効率の関係より走行コストの効率重視か運行回数の効率重視かを分類できる。図2の3路線については、西66、西52は都心運行効率路線、西95は郊外乗車効率路線というように分類可能である。

参考文献

刀根薫：「経営効率性の測定と改善一包絡分析法 DEAによる一」，日科技連，1993