

DEA手法による公営バス事業の効率性分析*

An Efficiency Analysis of Public Bus Services by DEA Method *

平井健二**・小池淳司***・喜多秀行****

By Kenji HIRAI**・Atsushi KOIKE***・Hideyuki KITA****

1. はじめに

昭和 40 年代後半以降、公営バス事業は、モータリゼーションの進展等に伴う道路混雑に起因した輸送効率の低下や定時制の喪失等によって、利用者離れが加速し、現在も極めて厳しい経営状況に置かれている。

また、平成 12 年 5 月に道路運送法が改正され、平成 14 年 2 月に需給調整規制が撤廃されるなど、乗合バス事業の規制緩和が実施されると、自由参入によるクリームスキミングにより、黒字路線を運行するバス事業者の収益悪化や赤字路線における民営バス事業者の減便や廃止によって、地域住民の生活路線確保のための公営バス事業を運営する自治体の負担増など、新たな問題を地方自治体にもたらした。

さらに、少子・高齢化の進展によって、人口が低密な中山間地域においては、地方財政全体が厳しい状況の中、地方自治体が運営する公営バス事業は、地域住民の生活交通の確保という大きな課題を抱えている。

今後、人口減少などさらに厳しい地方財政が懸念される中、地域の公共サービスを維持していくためには、効率的な事業のあり方について、再検討する必要がある。

効率的な事業を行うためには、現状において、「どの部分」が「どの程度」非効率であるかを定量的に把握する必要があり、本研究では、近年、事業体の経営効率性評価手法として注目を集めている、DEA (Data Envelopment Analysis : 包絡分析法) を用いて公営バス事業の効率性を計測し、効率性と様々な経済指標との比較分析を行っていく。

本研究では、各事業主体の効率的事業へのインセンティブを「生産面」「経営面」「サービス水準面」の3つの視点から多角的な評価を行うこととする。

*キーワード：公共交通計画、効率性評価

**正員、工修

復建調査設計(株) 地域経済戦略チーム 研究員
(広島市東区光町2-10-11、TEL082-506-1853、FAX082-506-1893)

***正員、工博

鳥取大学工学部社会開発システム工学科 准教授
(鳥取市湖山町南4-101、TEL0857-31-5313、FAX0857-31-0882)

****正員、工博

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 教授
(神戸市灘区六甲台町1-1、TEL078-803-6008、FAX078-803-6013)

2. DEA手法の概説

DEA は 1978 年に European Journal of Operational Research の中で、テキサス大学の Charnes と Cooper 両教授によって提唱された実用性の高い経営分析手法である¹⁾²⁾。

DEA は最も優れたパフォーマンスを示す事業体 (DMU Decision Making Unit : 意思決定主体) をもとに効率的フロンティアを計測し、このフロンティアを 1 つのベンチマークとして他の DMU を相対的に評価する手法である。

(1) DEA手法の特徴

DEA 手法の特徴として以下の点が挙げられる。

- ①生産関数を特定化する必要がない。
- ②ノン・パラメトリックに生産フロンティアを推計する。
- ③Input・Output のデータのみで効率性を計測することが可能である。
- ④多入力・多出力システムに対応が可能である。
- ⑤事前に重み付けをする必要がなく、可変ウエイトによる分析である。
- ⑥効率値は $(0 \leq \theta \leq 1)$ の範囲で表される。
- ⑦定量的に効率化への改善案の提示が可能である。

(2) 分数計画問題

DEA 手法は、複数の事業体、それぞれについて比率尺度で効率性を測定していく。

任意の事業体 k の効率値は以下の分数計画問題を解くことによって求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta &= \frac{u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} + \dots + u_s y_{sk}}{v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} + \dots + v_m x_{mk}} & (1) \\ \text{s.t. } \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} &\leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

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

ただし、 θ : 目的関数値 (効率値)、 n : 事業体数、 m : 入力項目数、 s : 出力項目数 x_{ik} : 事業体 k の i 番目の入力、 x_{ij} : 事業体 j の i 番目の入力、 v_i : 事業体 k の i 番目の入力ウエイト、 y_{rk} : 事業体 k の r 番目の出力、 y_{rj} : 事業体 j の r 番目の出力、 u_r : 事業体 k の r 番目の出力ウエイト

(3) CCRモデル

CCR モデルは、すべての事業体の生産規模を同一と見なして評価を行う。つまり、規模に関して収穫一定の仮定を置き、技術と規模の複合的な効率値を計測する。

図-1において、A から F の点は事業体の生産活動の結果を示す。ここでは C 点と原点を結ぶ直線の勾配が最も大きく、事業体 C は効率的となる。この直線が効率的フロンティアであり、効率的フロンティアより下側の領域を生産可能集合と呼ぶ。生産可能集合内の事業体はすべて非効率となる。

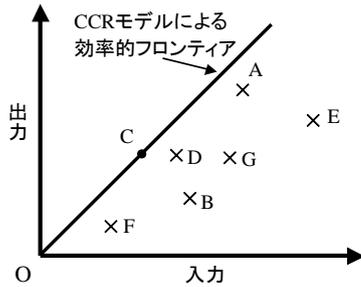


図-1 CCRモデルによる効率的フロンティア

CCR モデルは、先に示した分数計画問題を線形計画問題に展開し、以下のように定式化される。式(2)は Charnes, Cooper, Rhodes の3人によって考案された DEA の基礎モデルである。

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^m d_i^x + \sum_{r=1}^s d_r^y \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = \theta^x x_{ik} \quad (i=1,2,\dots,m) \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - d_r^y = y_{rk} \quad (r=1,2,\dots,s) \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n), \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1,2,\dots,m) \\
 & d_r^y \geq 0 \quad (r=1,2,\dots,s)
 \end{aligned} \tag{2}$$

ただし、 d_i^x : i 番目の入力に対する余剰、 d_r^y : r 番目の出力に対する不足

(4) BCCモデル

BCC モデルは、各事業体の生産規模に応じて評価を行う。つまり、規模に関して収穫可変の仮定を置く。そのため、純粋に技術の効率値が計測される。図-2において効率的な事業体として A, C, F の3点がクローズアップされ、これらの点を結ぶ折れ線が効率的フロンティアとなる。効率的フロンティアより下側の領域は生産可能集合と呼ばれ、この中にある事業体はすべて非効率と見なされる。D 点は C 点の存在によって非効率となっており、C 点を D 点の参照集合と呼ぶ。

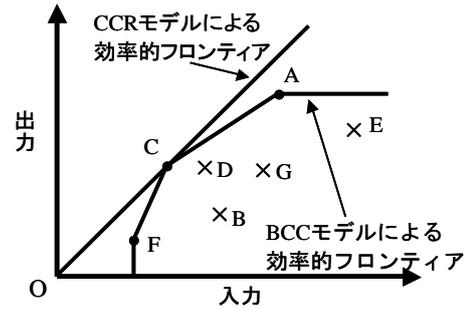


図-2 BCCモデルによる効率的フロンティア

BCC モデルは、Banker, Charnes, Cooper の3人によって考案されたモデルである。

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + \sigma \\
 \text{s.t.} \quad & - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sigma \leq 0 \quad (j=1,2,\dots,n) \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
 & v_i \geq 0 \quad (i=1,2,\dots,m), \quad u_r \geq 0 \quad (r=1,2,\dots,s) \\
 & \sigma: \text{制約なし}
 \end{aligned} \tag{3}$$

以上、DEA の効率値について表-1にまとめる。

表-1 各モデルと効率性の概要

モデル	仮定	概説
CCR モデル	規模に関して収穫一定 (生産規模に関係なく評価)	技術+規模の効率性 (TSE: Technical and Scale Efficiency)
BCC モデル	規模に関して収穫可変 (生産規模に応じて評価)	技術的効率性 (TE: Technical Efficiency)
規模の効率値	(CCR 値)/(BCC 値)	生産規模の効率性 (PSE: Production-based Scale Efficiency)

3. 実証分析

(1) 本分析におけるDEA手法の応用

公営バス事業の効率性評価の研究事例としては、宮良・福重³⁾が挙げられる。宮良・福重の研究においては、バス事業の技術的な効率性と採算性を重視し、インプットのデータに、人口一人当たりの総費用、面積あたりの営業キロ数を与え、アウトプットに、人口一人当たりの年間総輸送人員、人口一人当たりの輸送収入を与えている。各変数を人口当たり・面積当たりとしている理由は、各市町村の規模の違いを考慮したためである。

効率性の定義は極めて不明確であり、DEA では選んだデータによって結果が左右される可能性を持つ。そこで本研究では公営バス事業の効率性を「生産面」「経営面」「サービス水準」の3つの視点から捉える。多角的な指標による事業主体の評価を行うことで、データ選択によって左右される結果に対する批判を排除するとともに

に、本方法の公営バス事業の適用の有効性を確認する。

また、分析には生産規模に応じて評価を行う BCC モデルを採用することとした。

(2) 公営バス事業の現状及び分析対象

公営バス事業の状況を走行キロ当たり輸送人員、車両1台当たり輸送人員の推移でみると、輸送効率の減少傾向が確認される。

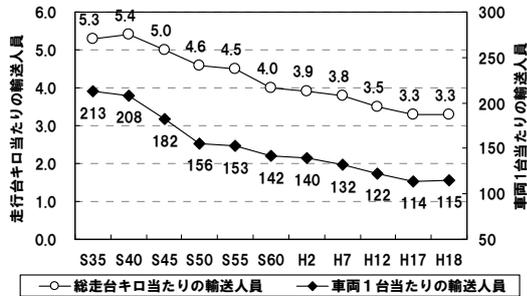


図-3 公営バスの輸送人員の推移⁴⁾

現在、公営バス事業者数は、39事業者（乗合・貸切）存在する。本研究では、全国39事業者のうち、乗合バス事業を展開する事業者37事業者を対象とする。

表-2 本研究の分析対象

分類	事業者	事業者数
都道府県	東京都・長崎県	1都1県
政令市	横浜市・仙台市・川崎市・名古屋市 京都市・大阪市・神戸市・北九州市	8政令市
市町村	苫小牧市・青森市・八戸市・ 南アルプス市・高槻市・姫路市 尼崎市・明石市・伊丹市・松江市 呉市・三原市・尾道市・宇部市 岩国市・徳島市・鳴門市・小松島市 佐賀市・佐世保市・松浦市・熊本市 鹿児島市・薩摩川内市・三宅村 八丈町	24市1町1村
企業団	沖永良部バス企業団	1企業団
合計		37事業者

(3) 使用したデータ

分析に使用したデータの概要を表-3に示す。使用したデータはすべて地方公営企業経営研究会編、『地方公営企業年鑑第54集・平成18年度版』⁴⁾から得ている。従業員数には、損益勘定所属職員数と資本勘定所属職員の合計。中間投入には、動力費又は燃料油脂費、光熱水費、通信運搬費、修繕費、委託料、その他の合計額を用いた。

表-3 使用したデータの概要

指標	Input		Output
生産面の効率性	従業員数 (労働)	車両台数 (資本)	年間延べキロ
経営面の効率性			営業収入
サービス水準			福祉車両台数
データの出典	地方公営企業年鑑第54集 平成18年度版		

(4) 分析結果

1) 生産面の効率性

生産面の効率性の結果を以下に示す。効率的な事業者は8事業者であった。都道府県及び政令市の平均効率値は0.93、その他市町村の平均値は0.68であった。

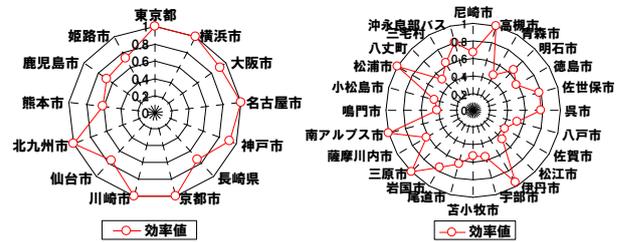


図-4 生産面の効率値 (左:人口50万人以上 右:人口50万人以下)

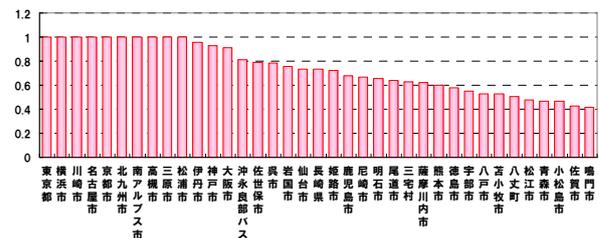


図-5 生産面の効率値の順位

2) 経営面の効率性

経営面の効率性の結果を以下に示す。効率的な事業者は10事業者であった。都道府県及び政令市の平均効率値は0.89、その他市町村の平均値は0.72であった。

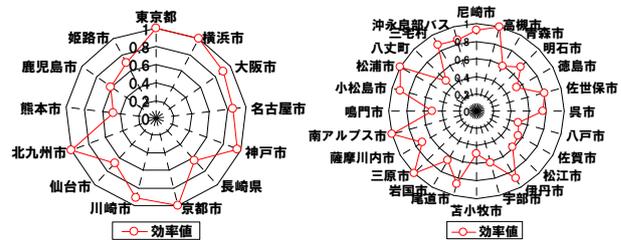


図-6 経営面の効率値 (左:人口50万人以上 右:人口50万人以下)

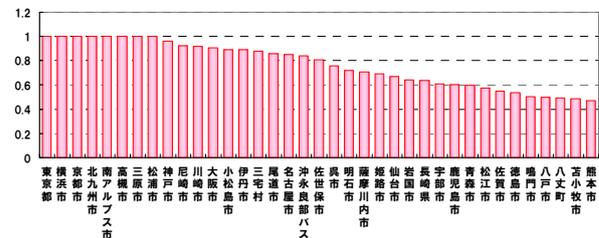


図-7 経営面の効率値の順位

3) サービス水準の効率性

サービス水準の結果を以下に示す。効率的な事業者は6事業者であった。都道府県及び政令市の平均効率値は0.88、その他市町村の平均値は0.59であった。

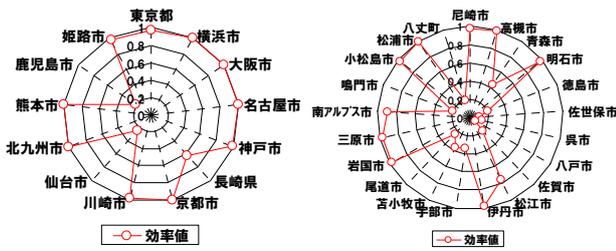


図-8 サービス水準の効率値
(左：人口50万人以上 右：人口50万人以下)

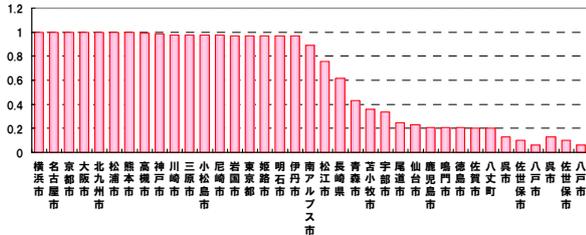


図-9 サービス水準の効率値の順位

下表に指標別に効率的な事業者を整理した。3指標すべての面で効率的となった事業者は、横浜市・京都市・北九州市・松浦市の4事業者であった。これらは、利用者と収益性の確保を図りつつ、バリアフリーにも配慮した事業が効率的に行われていると評価できる。

異なるアウトプットで指標別に評価することは、評価者の恣意性を排除する上でも重要である。意思決定主体間の合意のもと、複数の指標を設定し、多角的な視点で分析を行うことは有用であるといえる。ただし、DEA手法は、相対評価であるため、指標間で効率値を比較することはできないため留意が必要である。

表-4 指標別の効率的事業者の整理

都道府県	事業者	人口規模(H17)	効率的な事業者		
			生産面	経営面	サービス水準
東京都			●	●	●
神奈川県	横浜市	3,579,628	●	●	●
京都府	京都市	1,474,811	●	●	●
川崎市	川崎市	1,327,011	●	●	●
山梨県	南アルプス市	72,055	●	●	●
愛知県	名古屋	2,215,062	●	●	●
大阪府	大阪市	2,628,811	●	●	●
大阪府	高槻市	351,826	●	●	●
広島県	三原市	104,196	●	●	●
福岡県	北九州市	993,525	●	●	●
長崎県	松浦市	26,993	●	●	●

(5) 非効率要因の分析

ここでは、任意に呉市を対象とし、経営面の指標について、理論上の改善案を示すとともに呉市の参照集合と比較し、非効率と判断された要因について分析を行った。

表-5 呉市の入力改善案

事業主体	効率値	優位集合	入力項目	職員数(人)	車両台数(両)	中間投入(百万円)
呉市	0.755	横浜市・三原市	(1)現在の入力	299	168	1,129,648
			(2)入力余剰	1,435	0	229,665
			(3)効率化した入力	224	127	623,228

ただし、 $[\text{効率化した入力}] = \theta^* \times [\text{現在の入力}] - [\text{入力の余剰}]$

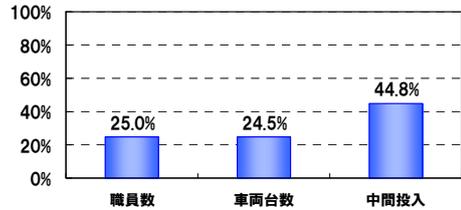


図-10 効率性算出結果

呉市は、中間投入に過剰な投入があった。そこで、呉市の参照集合である横浜市・三原市と中間投入の内訳を比較した。呉市は効率的な事業者と比較し「その他」の費用が占める割合が高く、「委託料」にも違いがみられた。ただし、本稿においては、統計データのみの比較であり、「その他」がどのような費用に用いられているのか把握することは困難であったため、ヒアリング等による現実的なアプローチが必要である。

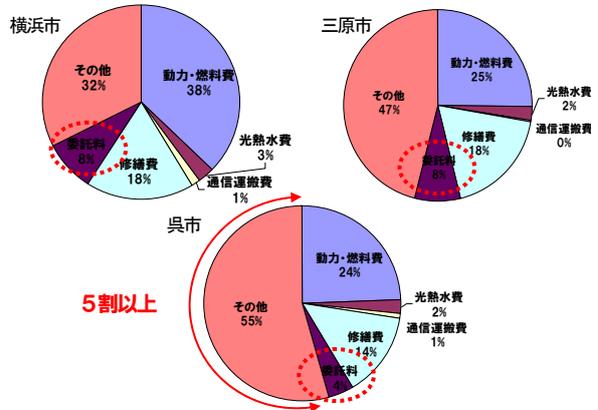


図-11 中間投入の内訳(左：横浜市 右：三原市 下：呉市)

4. おわりに

本稿では、DEA手法を活用し、評価者の恣意性を排除するために指標別に多角的な視点から公営バス事業者の評価を行った。DEA手法を用いる最大のメリットは、定量的な評価を1つの判断材料として、意思決定者が改善に向けた現実的な議論を行う際のきっかけを与えることが可能である点である。その際、DEAによる客観的な改善案は、非効率な要因がどこにあるのかを検証する手がかりとして有用であると考えられる。

今後は、実社会への適用事例を蓄積し、DEA手法を活用した公営バス事業やその他公営企業の評価システムの構築を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 末吉俊幸：「DEA-経営効率性分析法」, 朝倉書店, 2001.
- 3) 宮良いずみ・福重元嗣, 公営バス事業の効率性評価, 会計検査研究, Vol.26, pp.25-43, 2003.
- 4) 財団法人 地方財務協会, 地方公営企業年鑑(平成18年4月1日~平成19年3月31日)