

包絡分析法を用いた東京都市圏都市鉄道の路線別効率性の分析

芝浦工業大学 学生会員 ○岡 南波
 芝浦工業大学 正会員 楽 奕平
 東京大学 正会員 加藤 浩徳

1. 背景と目的

我が国の大都市圏鉄道では、ピーク時における複数路線での高い混雑率が依然として問題となっている。そのため、社会的に混雑緩和が求められているものの、少子高齢化や人口減少等による都市交通需要の伸び悩みにより設備投資が十分に行われていない¹⁾。加えて、新型コロナウイルスによるテレワークの普及で都市鉄道需要の減少傾向に伴い、収益の減少が見込まれる。このような状況下で、都市鉄道の採算性を維持するための方策の検討が必要となっている。

そこで本研究は、(1) 関東大手民鉄の18路線を対象に包絡分析法により、運営効率性・経営効率性・収益効率性を定量的に分析し運営実態を把握すること、(2) (1)の結果をもとに効率性改善の方向性を考察することを目的とする。

2. 分析手法

包絡分析法(Data Envelopment Analysis: DEA)を用いて、比率尺度により路線別の効率性を相対評価する²⁾。本研究では、「運営効率性」「経営効率性」「収益効率性」を評価する。資源投入から便益等算出という変換過程を「出力/入力」と表す。より少ない投入でより大きな出力を目指すことを通じて、より良い効率性を実現できるものと仮定する。本研究では、収穫規模一定仮定のDEAモデルであるCCRモデルを適用し、各路線 k の効率性 θ を最大化する。ここでは入力値: $x_r(r=1, \dots, m)$, 出力値: $y_i(i=1, \dots, s)$, 入力ウェイト: $v_r(r=1, \dots, m)$, 出力ウェイト: $u_i(i=1, \dots, s)$ を用いて、次の最適化問題として定式化する。

$$\text{Max. } \theta = \frac{u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} + \dots + u_s y_{sk}}{v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} + \dots + v_m x_{mk}}$$

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

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

キーワード 鉄道, 路線, 効率性, サービス水準, 混雑率

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学

最適解を (v^*, u^*) としたとき、 $\theta^* = 1$ ならば効率的、 $\theta^* < 1$ ならば非効率的となる²⁾。

3. 効率性の改善方策について

(1) データの概要

2017年度の関東大手民鉄のうち東武(伊勢崎線・東上本線)、西武(新宿線・池袋線)、京成(本線)、京王(京王線・井の頭線)、小田急(小田原線)、東急(東横線・田園都市線)、京急(本線)、東京メトロ(銀座線・丸ノ内線・日比谷線・東西線・千代田線・有楽町線・半蔵門線)の18路線を分析の対象とする。分析に当たっては、鉄道要覧(2017年)⁴⁾より路線別の営業キロ、国土数値情報ダウンロードページの鉄道(ライン)データ⁵⁾より路線別の駅数、数字でみる鉄道(2018年)⁶⁾より路線別の主要区間の最混雑率、鉄道統計年報(2017年)⁷⁾より路線別の車両キロ・輸送人員数・旅客運輸収入・運輸雑収、事業者別の人件費・経費等のデータをそれぞれ入手した。

(2) 関東大手民鉄の18路線の効率性総合評価

3つの効率性を以下のように定義した。まず、運営効率性は、インフラ入力に対するサービスの出力を表しており、入力項目に営業キロと駅数を、出力項目に車両キロと輸送人員数と1/混雑率を用いる。次に、経営効率性は、支出に対する収入を表しており、入力項目に人件費と経費を、出力項目に旅客運輸収入と運輸雑収を用いる。最後に、収益効率性はサービス供給に対する収入を表し、入力項目に車両キロと輸送人員数を、出力項目に旅客運輸収入と運輸雑収を用いる。各路線について3つの効率性を算定した上で、それらをもとに総合評価を行った。

① 経営効率性が低い路線

3つの効率性の中から経営効率性のみが低い路線と経営効率性の入力指向型改善率を表-1に示す。改善率とは、現状値を効率的にした場合の改善度合い

を指す。また改善率には 2 つのアプローチがあり、入力指向型は現状の出力をできるだけ保証し入力値を減少させる一方で、出力指向型は現状の入力をできるだけ保証し出力値を増加させるものである⁸⁾。入力指向型の改善率より、例えば東横線は現状の人件費を-48%、経費を-41%、運輸雑収を+10%にすることにより、経営効率性を 1.0 にすることが可能になる。これらの路線の改善のためには、人件費と経費を削減することが 1 つの方策と思われる。そのためには、例えば、今後自動化を積極的に進めていき費用削減を目指す必要があると考えられる。

② 収益効率性が低い路線

3 つの効率性のうち、収益効率性のみが低い路線と収益効率性の入力指向型改善率とを表-2 に示す。今後鉄道需要の減少傾向が見込まれることから、将来的に入力項目の車両キロと輸送人員数とが減少すると考えられる。そのため、これらの路線では、事業者の努力により路線別に運輸雑収を増加させることで収益効率性を改善できる可能性があると考えられる。ただし、運輸雑収の改善率が非常に大きな数値となっているため、実現可能性についてはさらなる検討が必要である。

③ 運営・経営・収益効率性が低い路線

3 つの効率性がいずれも低い路線を表-3 に示す。これらの路線では、改善方策として低コストの需要喚起策が必要である。これには、人件費や経費を抑えて旅客運輸収入や運輸雑収、輸送人員数等を増加させることが含まれる。

④ 経営・収益効率性が低い路線

3 つの効率性のうち、経営・収益効率性が低い路線を表-4 に示す。改善方策として①と②で述べたように、人件費と経費の削減や運輸雑収の増加に取り組むことが必要だと考えられる。

⑤ 高い採算性を持つ路線

最後に、高い採算性を持つ路線を表-5 に示す。ここに示される 2 路線を比較すると、伊勢崎線の方が銀座線より車両キロは大きいが混雑率は小さいことが読み取れる。これは、銀座線は伊勢崎線より需要が多いためである。伊勢崎線では、運営効率性が 0.6 と低いものの、経営・収益効率性の数値が共に 1.0 と高く算出されている。これより、今後鉄道需要が減少して、銀座線から伊勢崎線のように運営効率性が低い

表-1 経営効率性が低い路線

		効率性			経営効率性の改善率(入力指向型)			
		運営	経営	収益	人件費	経費	旅客運輸収入	運輸雑収
東急	東横線	0.9	0.6	0.9	-48%	-41%	0%	10%
	田園都市線	0.8	0.6	0.8	-50%	-43%	0%	22%
メトロ	丸ノ内線	0.7	0.8	1.0	-22%	-22%	0%	5%
	日比谷線	0.9	0.7	1.0	-26%	-26%	0%	44%
	東西線	1.0	0.5	0.8	-52%	-52%	0%	22%
	千代田線	0.8	0.6	0.9	-44%	-44%	0%	32%
	有楽町線	0.8	0.6	0.8	-45%	-45%	0%	49%
	半蔵門線	1.0	0.7	0.8	-32%	-32%	0%	2%

表-2 収益効率性が低い路線

		効率性			収益効率性の改善率(入力指向型)			
		運営	経営	収益	車両キロ	輸送人員数	旅客運輸収入	運輸雑収
西武	新宿線	0.9	0.8	0.6	-38%	-38%	0%	420%
	池袋線	0.9	0.8	0.6	-36%	-36%	0%	91%
京王	井の頭線	1.0	0.9	0.8	-17%	-17%	0%	587%
小田急	小田原線	1.0	0.8	0.7	-27%	-27%	0%	234%

表-3 運営・経営・収益効率性が低い路線

		運営効率性	経営効率性	収益効率性
京成	本線	0.6	0.6	0.7
京急	本線	0.6	0.6	0.7

表-4 経営・収益効率性が低い路線

		運営効率性	経営効率性	収益効率性
東武	東上本線	0.8	0.6	0.7
京王	京王線	1.0	0.6	0.6

表-5 高い採算性を持つ路線

		効率性			現状値		
		運営	経営	収益	車両キロ(千キロ)	輸送人員数(人)	混雑率(%)
東武	伊勢崎線	0.6	1.0	1.0	97,851	387,079	149
メトロ	銀座線	1.0	1.0	1.0	21,802	415,577	160

状態に変化したとしても、高い採算性を維持することは可能であることが示唆される。

4. まとめ

本研究は、DEA を用いて路線別の効率性を定量的に分析することにより、路線の特性に応じた効率性改善方策を検討した。また、運営効率性が低く経営・収益効率性が高い伊勢崎線のような路線でも、高い採算性を持つことが可能であることも示した。今後の課題は、より細かい入出力項目を用いて分析することで、実現可能性や具体的な方策を検討することである。

参考文献

1) 黒川康久, 高瀬達夫, 小山健: CVM を用いた地方鉄道上田交通別所線の価値評価に関する研究, 研究マネジメント研究論文集 Vol.12, 2005.

2) 「基礎 OR/OR 演習」第 4 回包絡分析法(DEA), 早稲田大学創造理工学部経営システム工学科

3) 包絡分析法(DEA)について, 中国電力(株) エネルギア総合研究所, エネルギア地域経済レポート, No.458, 2012.

4) 国土交通省鉄道局: 鉄道要覧, 2017.

5) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロード「鉄道(ライン)」, 2017.

6) 一般財団法人, 運輸総合研究所: 数字でみる鉄道, 2018.

7) 国土交通省鉄道局: 鉄道統計年報, 2017.

8) 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, 2001.