

# 東京都市圏における 都市鉄道の路線別の効率性に関する研究 — 収支率と混雑率のトレードオフの観点から —

岡 南波<sup>1</sup>・楽 奕平<sup>2</sup>・加藤 浩徳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 芝浦工業大学 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)  
ah17027@shibaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 芝浦工業大学准教授 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)  
leyp@shibaura-it.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京大学教授 工学系研究科 (〒160-0004 東京都文京区本郷7-3-1)  
kato@civil.t.u-tokyo.ac.jp

本研究は、鉄道路線別の効率性を実証的に分析するものである。まず、関東大手民鉄の18路線を対象に、収支率と混雑率の観点から運営実態を把握し、同じ収支率で混雑率の異なる路線と低い混雑率で収支率の異なる路線を抽出した。次に、包絡分析法 (DEA) を用いて抽出された路線の効率性を定量的に分析し寄与要因を特定した。実態分析の結果は、伊勢崎線が最も良い効率性を示した。また、DEA分析より車両キロの増加、人件費の削減、運輸雑収の増加が効率性の向上に寄与する可能性があると示唆した。

**Key Words : 鉄道, 路線, 効率性, 収支率, 混雑率**

## 1. 背景と目的

我が国の大都市圏鉄道は、旅客輸送における役割が極めて大きく、ネットワーク密度・信頼性等において質が高い効率的なサービスが提供されている。その反面、ピーク時に複数の路線で輸送力が欠如し高い混雑率となっている。最新データの令和元年の東京圏主要31区間のピーク時における平均混雑率は163%<sup>1)</sup>となっており、国土交通省が目標としている150%<sup>2)</sup>を上回っている。社会的に混雑緩和が必要とされているが、少子高齢化や人口減少等による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<sup>3)</sup>。加えて、新型コロナウイルスによるテレワークの普及で混雑率は低下し鉄道需要の減少傾向に伴い収益の減少が見込まれる。これは収支率と混雑率がトレードオフの関係にあると言え、混雑率が減少していく中でも都市鉄道の採算性を維持する方策を検討するため、まず収支率と混雑率の観点から鉄道路線の運営実態を把握する必要がある。

以上より本研究は、(1) 関東大手民鉄の18路線を対象に定量的に路線別の収支率と混雑率の観点から運営実態を把握すること、(2) (1)で整理したデータを用いて、同じ収支率で混雑率の異なる路線と、低い混雑率で収支率の異なる路線を抽出する。(3) (2)で抽出された鉄道

路線を、包絡分析法 (DEA) 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、効率性に影響する寄与要因を特定する。

## 2. 鉄道路線の収支率と混雑率の実態把握 (比較路線の抽出)

### (1) 対象とデータの概要

2017年の関東大手民鉄の18路線を対象に、「数字でみる鉄道 (2018年)」より路線別の主要区間の最混雑率<sup>4)</sup>、「鉄道統計年報 (2017年)」より路線別の営業収益<sup>5)</sup>、事業者別の営業費<sup>6)</sup>、路線別の旅客人キロ<sup>7)</sup>等のデータを収集した。

### (2) 収支率と混雑率の算出

始めに路線別の営業収支比率を算出した。営業収支比率とは、料金収入の営業活動から生じる収益で、人件費や燃料費等の営業費をどの程度賄っているのかを表す指標である<sup>8)</sup>。

$$\text{営業収支比率 (\%)} = \frac{\text{営業収益}}{\text{営業費}} \times 100$$

この指標が100%以上となると営業費用を営業収益が

賄えており黒字であることが分かる。一方で、数値が100%未満となる場合は、営業費用を営業収益が賄えていないため赤字であることを示している。

路線別の鉄道事業営業収益は、路線別の旅客運輸収入と路線別の運輸雑収の合計と定義する。旅客運輸収入は旅客運送による運賃・料金を表しており、運輸雑収は車両使用料や広告料、構内営業料等の細かな収入を合計している<sup>7)</sup>。鉄道事業営業費に関しては路線別のデータが公表されていないため、梅原<sup>8)</sup>の算出方法を参考に事業者別の人件費と事業者別の経費を旅客人キロの比を用いて路線別のデータとして定義し、その合計を営業費とする。人件費は給与・手当・厚生福利費等が含まれており、経費は修繕費・動力費・水道光熱費等が合計されている。

図-1は、2017年度の収支率と混雑率の関係図を示す。

国土交通省がピーク時の主要31区間の平均混雑率150%を目標とすることから、150%を混雑率の高低の基準とし点線を引いた。また収支率100%のラインは、100%以上となると営業費用を営業収益が賄えていることを示す。全体的な傾向として、全路線で収支率が100%を超えて黒字である。また、混雑率は路線間で大きなばらつきを確認した。低い混雑率で高い収支率の路線は、伊勢崎線(東武)であることが分かった。図-1から抽出された路線は、同じ収支率で混雑率の異なる田園都市線と京王線の2路線、低い混雑率で収支率の異なる小田原線と井の頭線と伊勢崎線の3路線である。これらの抽出された路線の3つの効率性を分析する。

### 3. 分析手法

#### (1) 包絡分析法 (DEA)

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<sup>9)</sup>。本研究では、運営効率性・経営効率性・収益効率性の3つの効率性を評価する。資源の投入から便益の算出という変換過程を捉え、「産出/投入」を「出力/入力」と表す。より少ない投入でより大きな産出を目指すことで、より良い効率性を算出できる。図-2は比率尺度の例<sup>10)</sup>を示しており、路線Bを最も効率的な路線として基準にし他の路線を相対評価する。

本研究では、収穫規模一定仮定のDEAモデルであるCCRモデルを用いて、各路線 $k$ の効率性 $\theta$ を最大化する。入力項目の値:  $x_r (r = 1, \dots, m)$ , 出力項目の値:  $y_i (i = 1, \dots, s)$ , 入力ウェイト:  $v_r (r = 1, \dots, m)$ , 出力ウェイト:  $u_i (i = 1, \dots, s)$ と定義し、以下に式を示す。

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

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

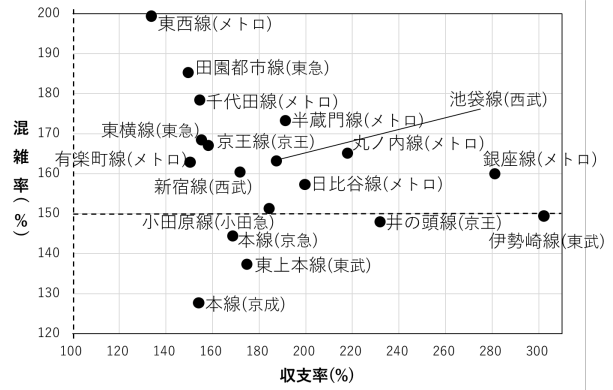


図-1 路線別の収支率と混雑率の関係図(2017年)

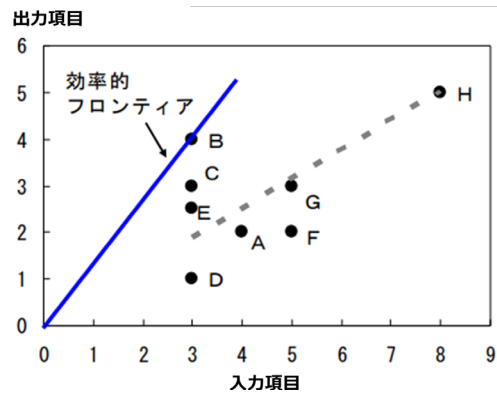


図-2 比率尺度の例<sup>10)</sup>

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

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<sup>9)</sup>。

#### (2) DEAを用いた鉄道事業の効率性分析の既存研究

岸ら<sup>11)</sup>は全国の10地下鉄事業体を対象に、DEAを用いて経営と都市機能の観点から我が国の地下鉄事業の効率性を評価した。また、杉山<sup>12)</sup>はJRと大手私鉄鉄道事業者を対象に、DEAを用いてコスト性、生産性、収益性、企業性の4つの効率性の時系列的な推移を分析した。DEAを用いた既存研究は、事業者の比較を行っている分析が多く、鉄道路線別の比較に着目した点は本研究の新規性である。

### 4. 効率性の寄与要因に関する分析

上記に抽出された比較路線を対象とし、DEAを用いて運営効率性・経営効率性・収益効率性の3つの効率性を分析し、効率性に影響する寄与要因を特定する。

#### (1) データの概要

「鉄道要覧(2017年)」より路線別の営業キロ<sup>13)</sup>、国土数値情報ダウンロードホームページの「鉄道(ライン)データ」より路線別の駅数<sup>14)</sup>、「数字でみる鉄道(2018

年)」より路線別の主要区間の最混雑率<sup>4)</sup>、「鉄道統計年報(2017年)」より路線別の車両キロ<sup>5)</sup>・輸送人員数<sup>5)</sup>・旅客運輸収入<sup>5)</sup>・運輸雑収<sup>5)</sup>、事業者別の人件費<sup>5)</sup>・経費<sup>5)</sup>等のデータを使用して分析を行った。

## (2) 3つの効率性

### (2-1) 運営効率性

運営効率性は、インフラ投入に対するサービスの算出を表している。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混雑率を用いる。表-1は、2017年の運営効率性と現状値と出力指向型の改善率を示す。改善率とは、効率値に対する現状値の改善度合いを表している。改善率のプラスは不足が生じているため増加しなくてはならないこと、マイナスは余剰で減らさなければならぬことを示す<sup>15)</sup>。

$$\text{改善率 (\%)} = \frac{\text{効率値} - \text{現状値}}{\text{現状値}} \times 100$$

出力指向型は現状の入力を出来るだけ保証し出力値を増加させるもので、入力指向型は現状の出力を出来るだけ保証し入力値を減少させるという2つの改善案がある<sup>14)</sup>。運営効率性においては、入力項目の営業キロと駅数は現状を維持すると考えたため、出力指向型を選択した。同じ収支率で混雑率の異なる2路線に着目すると、京王線の効率性が1.00で効率的となり、田園都市線が0.84となった。改善率より、田園都市線は現状値から車両キロを+20%、輸送人員数を+20%、混雑率を-51%にすることにより、京王線と同じ運営効率性に改善できると言える。京王線は効率的であるため改善率は全ての項目で0%となった。

2路線の現状値を比較すると、営業キロと駅数と輸送人員数が近い数値であり、車両キロが大きく異なっていると分かる。また(1/混雑率)の現状値や図-1の混雑率を見ると、田園都市線は京王線より20%近く数値が高い。運営効率性に着目すると京王線が優位であることから、京王線は車両キロを増加させ効率化を図っていると考えられる。

### (2-2) 経営効率性

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。表-2は、2017年の経営効率性と現状値と入力指向型の改善率を示す。入力指向型を選択したのは、混雑率が減少していく中でも都市鉄道の採算性を維持する必要があるためである。

低い混雑率で収支率の異なる3路線に着目すると、伊勢崎線の効率性が1.00で効率的となり、井の頭線が0.95、小田原線が0.85となった。改善率より、井の頭線は現状

表-1 運営効率性と改善率(出力指向型)

	運営効率性		入力項目		出力項目		
			営業キロ (キロ)	駅数 (駅)	車両キロ (千キロ)	輸送人員数 (千人/年)	1/混雑率 (%)
京王線 (京王)	1.00	現状値	37.9	34	111,566	527,443	0.0060
		改善率	0%	0%	0%	0%	0%
田園都市線 (東急)	0.84	現状値	31.5	27	64,010	465,194	0.0054
		改善率	0%	0%	20%	20%	38%

表-2 経営効率性と改善率(入力指向型)

	経営効率性		入力項目		出力項目	
			人件費 (100万円)	経費 (100万円)	旅客運輸収入 (100万円)	運輸雑収 (100万円)
伊勢崎線 (東武)	1.00	現状値	11,037	22,293	90,372	10,262
		改善率	0%	0%	0%	0%
井の頭線 (京王)	0.95	現状値	3,213	4,168	16,891	290
		改善率	-14%	-5%	0%	593%
小田原線 (小田急)	0.85	現状値	32,680	31,433	114,276	3,896
		改善率	-43%	-15%	0%	249%

値から人件費を-14%、経費を-5%、運輸雑収を+593%にすることにより、伊勢崎線と同じ経営効率性に改善できると言える。同様に、小田原線も現状値から人件費を-43%、経費を-15%、運輸雑収を+249%にすることにより効率的となる。

経営効率性は支出に対する収入を表しているため、図-1で示した収支率と高低の関係が一致した。また人件費の改善率に着目すると、3路線の中で小田原線の数値が大きいことが分かる。これは営業キロがある程度長く沿線全体が栄えているため、人件費がかかっていると考えられる。人件費の削減については、今後自動化が進められていくにあたり現実的になるのではないかと考えられる。ただ、実現可能性については今後の研究において詳細な検討が必要である。

### (2-3) 収益効率性

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。表-3は、2017年の収益効率性と現状値と入力指向型の改善率を示す。入力指向型を選択したのは、経営効率性と同様に都市鉄道の採算性を維持する必要があるためである。

低い混雑率で収支率の異なる3路線に着目すると、伊勢崎線が1.00で効率的となり、井の頭線は0.83、小田原線は0.73となった。改善率より、井の頭線は仮に伊勢崎線と同じ収益効率性ならば、車両キロを-17%、輸送人員数を-17%となっても、運輸雑収を+587%にすることが出来れば現在の収入を維持できると言える。同様に、小田原線が仮に伊勢崎線と同じ収益効率性ならば、車両キロを-27%、輸送人員数を-27%となっても、運輸雑収を+234%にすることが出来れば現在の収入を維持できる。

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が減少すると考えられ

る。このことから、事業者の努力で運輸雑収を増加させて収益を保つ必要があると考えられる。運輸雑収について、井の頭線が約29億円、小田原線が約39億円に対して、伊勢崎線が約103億円であり、運輸雑収が高いことから効率的との結果になった。伊勢線はスカイツリーが開業されたことで運輸雑収が大幅に増加したことが高い効率性に寄与したと考えられる。運輸雑収の改善率に着目すると、井の頭線が+587%と最も大きな数値となっている。これは営業キロが短く、沿線に大規模な観光地がないため運輸雑収で収入を得るのが困難と考えられる。

## 5. まとめ

本研究は、路線間別の収支率と混雑率を定量的に比較し、低い混雑率で高い収支率の路線は伊勢崎線（東武）であることが分かった。そして、DEAを用いて路線別の効率性を定量的に分析し寄与要因を特定した。同じ収支率で混雑率が異なる2路線の比較することで、運営効率性の改善には車両キロを増加させる度合いを定量的に提示した。また、低い混雑率で収支率の異なる3路線の比較することで、経営効率性の改善には人件費の減少、収益効率性の改善には運輸雑収の増加が、効率性の向上に寄与すると分かった。今後の課題は実現可能性についての検討や、より細かい入出力項目で分析することで、新たな寄与要因を特定できる可能性がある。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました。特に岩倉教授から鉄道の運営実態についてご指導いただき、心から御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省:三大都市圏の平均混雑率は横ばい~都市鉄道の混雑率調査結果を公表(令和元年度実績)~, 2020.

表-3 収益効率性と改善率(入力指向型)

	収益効率性		入力項目		出力項目	
			車両キロ (千キロ)	輸送人員数 (千人/年)	旅客運輸収入 (100万円)	運輸雑収 (100万円)
伊勢崎線 (東武)	1.00	現状値	97,851	387,079	90,372	10,262
		改善率	0%	0%	0%	0%
井の頭線 (京王)	0.83	現状値	13,841	207,772	16,891	290
		改善率	-17%	-17%	0%	587%
小田原線 (小田急)	0.73	現状値	164,782	743,236	114,276	3,896
		改善率	-27%	-27%	0%	234%

- 2) 国土交通省:東京圏で混雑率 180%超の路線が 12 路線から 11 路線へ~都市鉄道の混雑率調査結果を公表します~、2018.
- 3) 黒川康久,高瀬達夫,小山健:CYM 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.
- 4) 一般財団法人,運輸総合研究所:数字でみる鉄道,2018.
- 5) 国土交通省鉄道局:鉄道統計年報,2017.
- 6) 総務省:経営指標の概要(交通事業(自動車運送事業))
- 7) 鉄道事業会計規則 e-GOV
- 8) 梅原敦:大手私鉄で「最も儲かっていない」路線は？各社の収支を基に「営業係数」を独自試算,東洋経済オンライン,2016.
- 9) 「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
- 10) 包絡分析法(DEA)について,中国電力(株)エネルギー総合研究所,エネルギー地域経済レポート,No.458,2012.
- 11) 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.
- 12) 杉山学:データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較- 国鉄の分割・民営化後 19 年間の JR 旅客各社の推移に対するグラフ化表現を用いた時系列評価 -,群馬大学社会情報学部研究論集,第 24 巻,,33-53 頁,2017.
- 13) 国土交通省鉄道局:鉄道要覧,2017.
- 14) 国土交通省:国土数値情報ダウンロード「鉄道(ライン)」,2017.
- 15) 杉山学:経営効率分析のための DEA と inverted DEA 基礎概念と方法論から、主観的な判断を加味できる応用モデルまで,ITSC 静岡学術出版事業部,2010.

(?受付)

## Efficiency of Urban Railway Lines Incorporating Trade-off between Financial Performance and In-vehicle Congestion: Evidence from the Tokyo Metropolitan Area

Minami OKA, Yiping LE and Hironori KATO

This paper reviewed the operations of 18 lines of major rail companies in the Tokyo Metropolitan Area and evaluated empirically their efficiencies. First, financial balance rate and in-vehicle congestion rate were estimated from statistical data and they were compared among the lines. Then, the line efficiencies were analyzed using the Data Envelopment Analysis (DEA). The results of comparative analysis showed that the Isesaki line has the best efficiency while the results of DEA suggested that the reduction of personnel cost could improve the operational efficiency while the increase of non-operational revenue could enhance the financial efficiency.