

ネットワーク DEA 手法による 地方鉄道の効率性に関する研究

蘆田 泰弘¹・楽 奕平²

¹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)
E-mail: ah19028@shibaura-it.ac.jp

²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)
E-mail: leyp@shibaura-it.ac.jp

本研究はネットワーク DEA 手法を用いて、地方鉄道を効率性の観点から分析を行うものである。地方鉄道事業者 89 社を対象として、ネットワーク DEA を用いて保線部分、運転部門、営業部門の効率値の算出を行った。その後、効率値を輸送密度との傾向の違いの比較、主成分分析による分類結果からの解釈、クラスター分析による分類結果からの解釈という 3 つのアプローチによって考察し、多様な視点からの地方鉄道の評価、分析を行った。分析の結果、地方鉄道の効率性は輸送密度等の現状鉄道の評価に用いられる指標と違う傾向を示すことを確認した。また、効率性は路線規模に大きく影響を受ける可能性があることを示唆した。

Key Words: 地方鉄道, ネットワーク DEA, 多変量解析, 輸送密度, 効率性

1. 研究の背景と目的

近年流行する新型コロナウイルス感染症予防のための措置として、大幅な移動制限が課されたことによって、鉄道事業者の経営状況は悪化の一途をたどっている。中でも地方鉄道はより厳しい状況に置かれており、2020年の第三セクター鉄道 40 社はすべて赤字決算となっている。¹⁾そのような社会情勢を受け、2022 年 7 月に「鉄道事業者と地域の協働による地域モビリティの刷新に関する検討会」が JR 各路線のうち一日 1km あたりの平均乗車数を表す指標(輸送密度)が 1000 人未満の路線を廃止対象として議論を行う意向を示した。²⁾加えて、JR 東日本³⁾、JR 西日本⁴⁾が自社線区の輸送密度と 100 円稼ぐために必要な費用(営業係数)を公開し、地方鉄道の見直しが社会全体の大きな課題となりつつある。

しかし、現在の議論では輸送密度、営業係数といった対象の路線がどの程度利益を上げられるのかを測る指標のみが重視されている。そのため、稼ぐ力のない路線が容易に切り捨てられることが問題である。多様な視点からの分析によって利益が見込めるかどうかとは違う観点から地方鉄道を見つめなおすということがいま求められていると考えられる。

そこで、本研究ではネットワーク DEA 手法によって

効率性の観点から地方鉄道の評価を行い、既存指標である輸送密度等と比較した際にどのような違いが生じるのか、効率性にはどのような傾向が現れるかを考察することを目的とする。

2. 分析対象及び使用データ

本研究では国土交通省の指定する地方鉄道事業者 95 社⁵⁾から鉄道としての営業形態が大幅に異なる軌道事業者を除いた 86 社に地方鉄道としての性格を持つ JR 北海道、JR 四国、JR 九州を加えた合計 89 社を分析対象とする。

また、鉄道事業に関する統計データは直近の 2019 年度鉄道統計年報⁶⁾より収集し、それに合わせ人口等各種データ⁷⁾も同年度のものを使用した。

3. 分析手法

(1) 研究フロー

本研究では、経営評価に用いられるネットワーク DEA を用いて鉄道の効率性を評価する。

DEA(Data Envelopment Analysis)は資源を投入し便益を産出するためのまとまり(DMU)として企業を定義し、その際

の変換効率を 0~1 区間での効率値として相対評価する手法である。資源、便益の項目数に制限なく多入力、多出力の構造を設定できる。

従来の DEA は入力と出力を単一の部門で扱うために企業内部の部門間の生産活動の結びつきを考慮できない。そこで、本研究ではこの問題点を改善したネットワーク DEA を用いる。中でも、刀根・筒井⁸⁾が確立した入力項目の過剰分から効率性の産出を行う NSBM モデルを用いる。DMU 内部の生産部門ごとに入力・出力を設け、さらにある部門での産出を別部門の入力とする中間財というものを設定することで部門ごとの効率値並びに DMU 全体の効率値を算出可能である。

本研究では関口⁹⁾が設定した鉄道事業者の構造モデルを参考に図-1 の構造を仮定し、NSBM モデルを設計した。保線部門は鉄道インフラ部分の建設・維持にあたる部門、運転部門は車両の運転・維持にあたる部門、営業部門は客扱いによって収益を上げる部門と定義した。

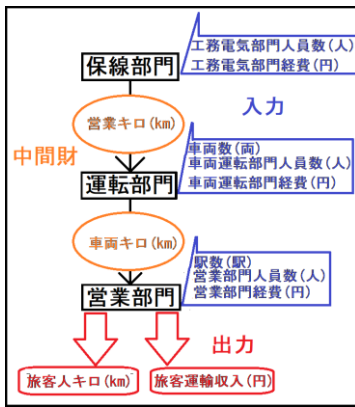


図-1 鉄道事業者の垂直構造モデル

NSBM モデルは分数計画法による最適化問題を解くことで効率値の算出が可能であり、一般式を以下に表す。入力項目を x 、出力項目を y 、中間財を z 、スラック変数を s, s^+ と表現し、導出する効率値を θ^* と表現する。K 個の部門を持ち、各部門の重要性を w^k 、部門内部の入力数を m_k 各項目の係数ベクトルを λ として表現するとき、

目的式

$$\theta_o = \min \sum_{k=1}^K w^k \left\{ 1 - \frac{1}{m_k} \left(\sum_{m=1}^{m_k} \frac{S_{mo}^{k-}}{x_{ro}^k} \right) \right\}$$

制約式

$$\begin{aligned} x_o^k &= X^k \lambda^k + s^{k-} \\ y_o^k &= Y^k \lambda^k + s^{k+} \\ \lambda^k &\geq 0, s^{k-} \geq 0, s^{k+} \geq 0 \end{aligned}$$

$$z^{(k, h)} \lambda^h = z^{(k, h)} \lambda^k$$

$$e \lambda^k = 1$$

と表わされる。

算出された効率値の解釈を行うために、他分析手法と組み合わせた分析を行う。

まずは、輸送密度と効率値の関係性を把握するため、散布図を描き、考察する。

次に主成分分析を行う。駅から 1.5km 圏内の沿線人口、営業キロ、平均駅間距離、人口 30 万人以上の都市通過ダミー変数、他社乗入ダミー変数の 5 変数によって行い、象限ごとの効率値との関係を考察する。

最後にクラスター分析を行う。算出した NSBM 効率値をウォード法によって分類し、クラスターごとの効率値との関係性を考察する。

鉄道路線の統計データによって分類した後効率値を比較する主成分分析と効率値によって分類した後統計データを比較するクラスター分析をそれぞれ行い比較することでより詳細な効率値の考察を行える。

(2) ネットワーク DEA を用いた既往研究

関口⁹⁾はネットワーク DEA を用いて鉄道の研究を行い、部門ごとの効率性を比較し、鉄道事業者の運営形態ごとの違いの考察を行った。

より個別の鉄道事業者の傾向を把握することを目的としていることが本研究の新規性である。

4. 分析結果

(1) 効率値と輸送密度の散布図より

NSBMによって算出された効率値と輸送密度との散布図を図-2 に示す。

輸送密度と NSBM 効率値の相関係数は 0.327 と弱い正の相関がある。赤枠で示す範囲の路線では輸送密度が低いものの効率値が高く、二つの指標が大きく乖離している。これらの路線は輸送密度だけで評価することが難しいと考えられる。

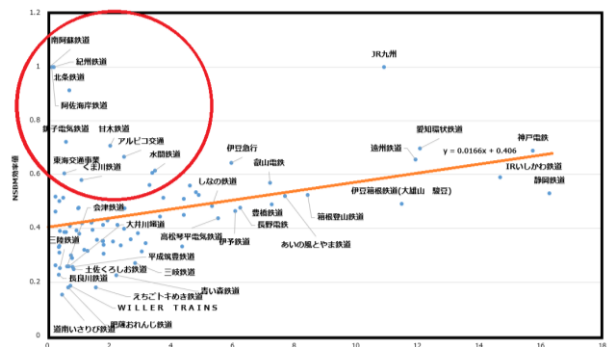


図-2 NSBM 効率値-輸送密度散布図

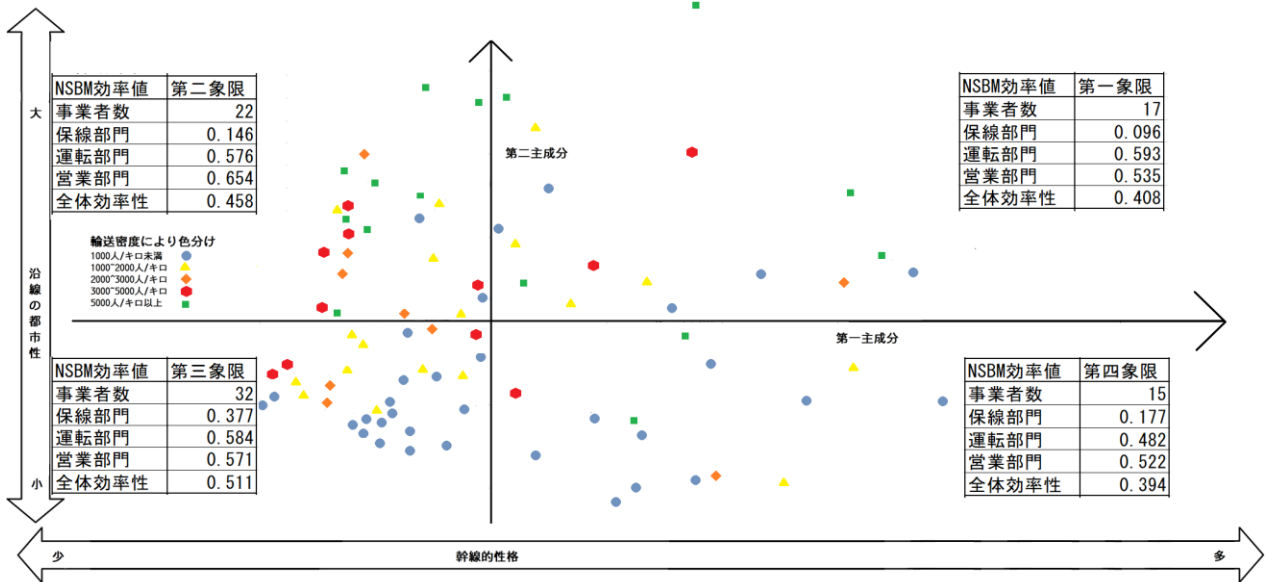


図-3 地方鉄道事業者 86 社の主成分得点散布図及び象限ごとの NSBM 効率値

(2) 効率値と主成分分析結果の関係性

主成分分析の分類とそれぞれの効率値の分析結果を記載する。第二主成分までの累積寄与率が 73.5% となったため第二主成分までを採用することとした。パラメータの正負及び負荷量より第一主成分を鉄道路線の幹線性、第二主成分を鉄道沿線の都市性と定義し、4 つの象限ごとに NSBM 効率値をまとめたものが図-3 である。

保線部門の最高効率性は幹線性・都市性が負である第三象限であった。収益が見込めない分保線部門を効率的に運営していると考えられる。運転部門の最高効率性は幹線性・都市性が正である第一象限であった。路線の長大さを活かし効率的な運転を行っていると考えられる。営業部門の最高効率性は幹線性が負、都市性が正となる第二象限であった。旺盛な需要により収益を上げていることが分かる。幹線性が正、都市性が負となる第四象限はすべての部門の効率性が最低を示した。需要が少ない区間で長大な路線を維持している鉄道の効率性の低さを明らかにしているグループである。

第一・四象限の営業効率性の低さから規模の大きな路線は効率的に利益を上げることが困難であるということが考えられる。

(3) 効率値とクラスター分析結果の関係性

効率値によってクラスター分析を行った結果、7 つのクラスターに分類することができた。紙面の関係上、特徴的であった 2 つに絞って掲載する。

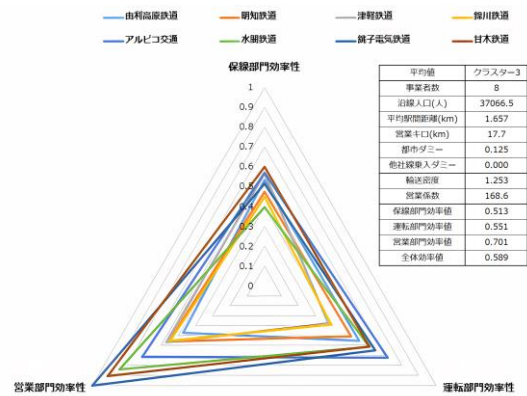


図-4 クラスター-3 需要希薄型路線群

保線部門の効率性が 2 番目に良いグループである。輸送密度、営業係数ともにあまりよくない値となっていることから需要希薄型路線と位置付けられる。稼ぐことが難しい路線が保線という直接収益にかかわらない部門を効率的に運営することで鉄道維持に努めていることが考えられる。



図-6 クラスター-7 転換第三セクター型路線群

このクラスターは三部門の効率値が全クラスター中最低であった。輸送密度は全体の平均程度である一方、営

業キロが全クラスター中最大であった。鉄道路線の規模が効率的な運営の妨げになっていると考えられる。

この二つのクラスターは輸送密度が同程度であり、100 円を稼ぐためにいくらか費用が掛かるかを示す営業係数も近い値となっており、営業成績という点では似た傾向を示している。しかし、効率値が大きく異なっている。営業キロにおいてクラスター7がクラスター3の5倍の値を示していることから、規模の大きさが効率的な鉄道事業運営の妨げとなる可能性を示唆している。

5. まとめ

本研究ではネットワーク DEA 手法を用いて算出された効率性を3つのアプローチにより解釈を加え、効率性が高くとも輸送密度が低い路線の存在を確認するとともに、路線規模の大きな鉄道で鉄道の効率性が低くなっているという2点を確認することができた。

輸送密度が低くなっている鉄道事業者であっても保線部門や運転部門といった直接利益への関与が少ない部門の効率性が高いものを確認することができ、輸送密度だけで鉄道事業者を評価しきれないことを示すことができた。

今後の課題として、輸送密度と効率性の乖離が生じている事業者は具体的にどのような違いがあるのか、個別の事例分析を行うことでより詳細な効率性を用いた鉄道分析が行うことができるものと考えられる。

参考文献および使用データ

- 1) コロナで大打撃 2020 年度の三セク鉄道は 40 社すべてが赤字 ローカル鉄道の存在意義を考える【コラム】2021/9/11
- 2) 地方鉄道“JR 輸送密度 1000 人未満区間バス転換含め協議を” NHK NEWS 2022/7/26
- 3) JR 東日本, 地方 35 路線の赤字 693 億円 収支初公表 日本経済新聞 2022/7/28
- 4) JR 西日本の路線別収支 中国地方の苦境が鮮明に 日本経済新聞 2022/4/11
- 5) 地域鉄道事業者一覧 95 社【R4. 4. 1 現在】国土交通省 2022/4/1
- 6) 2019 年度鉄道統計年報 国土交通省 2022/12/9
- 7) 都道府県, 男女別人口及び人口性比—総人口, 日本人人口(2019 年 10 月 1 日現在) e-stat 政府統計の総合窓口 2020/4/14
- 8) Kaoru Tone, Miki Tsutsui: Network DEA: A slacks-based measure approach, *European Journal of Operational research*, Volume 197, Issue 1, page 243-352, 16 August 2009
- 9) 関口吉男: ネットワーク DEA を用いた第三セクター都市鉄道の効率性分析, *交通学研究*, 52 巻, p101-110, 2009 年
- 10) 那須野 育大: 地域鉄道活性化方策の提案 事業者の収益改善に資する要因分析, *戦略研究ジャーナル*, 9 巻 1 号 p.39-58, 2021 年
- 11) 小熊 仁: ネットワーク DEA を用いた空港運営の効率性評価と要因分析, *交通学研究*, 60 巻, p63-70, 2017 年
- 12) 倉本宣史・広田啓朗: 第三セクター鉄道における効率性と要因分析, *大阪大学経済学*, 57 巻 4 号 p296-309, 2008 年

A Study on the Efficiency of Regional Railways using Network Data Envelopment Analysis (DEA) Methodology

Yasuhiro ASHIDA, Yiping LE

This study uses the Network DEA method to analyze regional railways from an efficiency perspective. First, A calculation of efficiency values was conducted for the maintenance, operation, and business departments of 89 regional railway operators using the network DEA methodology. The evaluation and analysis of regional railways were conducted from various perspectives using three approaches, which included a comparison of efficiency values with differences in transportation density trends, interpretations of classification results using principal component analysis, and interpretations of classification results using cluster analysis. As a result, the efficiency of local railways shows a different trend from the indicators used to evaluate the current state of railways, such as transportation density. While, it suggests that efficiency may be significantly affected by route size.