都市鉄道の輸送力増強施策が鉄道事業者の収支に与える影響の評価

横山　茂樹[1]・金井　義和[2]・岩倉　成志[3]

[1]非会員　社会システム株式会社　企画開発部（〒152-0013 東京都渋谷区恵比寿一丁目 20-22）
E-mail:s_yokoyama@crp.co..jp

[2]非会員　社会システム株式会社　企画開発部（〒152-0013 東京都渋谷区恵比寿一丁目 20-22）
E-mail:y_kanai@crp.co..jp

[3]正会員　芝浦工業大学教授　工学部土木工学科（〒135-8548 東京都江東区豊洲三丁目 7-5）
E-mail:iwakura@shibaura-it.ac.jp

日本では,都市鉄道の混雑緩和は鉄道事業者が取り組むべき課題と考える傾向にある．一方で鉄道事業者にとって混雑緩和は利益につながりにくいと言われるが，定量的な根拠が示されていない．本研究では，東急電鉄田園都市線を対象とし，交通政策審議会答申第 198 号に基づく鉄道利用者の実行動データを反映した交通行動モデルを用いて，朝ピーク時間帯の運行本数増加による輸送力増強を行った場合の鉄道需要および運賃収入を推計した．また，運行本数増加に伴う人件費・経費の増加を試算し，収入と支出の変化を示した．運行本数を 30%増加させた場合に収入は約 6.6 億円／年，支出は約 7.9 億円／年増加し，収支では約 1.3 億円／年の減益となった．鉄道事業者にさらなる混雑緩和を求める場合，何かしらの支援が必要である．

Key Words: *urban railway, crowding, travel behavior analysis, profit and loss forecast, benefit*

1. はじめに

東京圏の都市鉄道は，新線整備や複々線化といった輸送力増強の取組により，次第に混雑緩和が実現されつつある．しかし covid-19 の感染拡大前である 2019 年の主要 31 区間の平均混雑率は 163%であり [1]，運輸政策審議会答申第 18 号（2000 年）以降の目標である主要区間の平均混雑率 150%は達成されていなかった．その後 covid-19 の感染拡大を契機としてリモートワークやフレックス勤務等の柔軟な働き方が普及した結果，2022 年の平均混雑率は 123%にまで低下しているが [2]，一部の路線の混雑率は 140～150%程度であり，依然として混雑を感じる利用者がいると考えられる．また，混雑率が 150%未満でも不快に感じる利用者が多いという調査結果もある [3]．その背景には，感染症への不安とともに，携帯電話の使用，大きな背負い鞄やスーツケースの携行等により，利用者一人の占有面積が大きくなっていることもあると考えられる [4]．

経済学的には，交通の混雑は交通市場の外部不経済と見なされ，交通事業者ではなく混雑の発生源が費用を負担することで，最適な交通量を達成することが妥当とされる [5]．その例として，シンガポールやロンドン等のロードプライシングが有名であるが，都市鉄道でもワシントンやロンドンでピーク時間帯の運賃を高く設定している．都市鉄道の混雑の発生源としては，鉄道利用者はもとより，都心に事業所を設けて、始業時刻を固定化し混雑した鉄道で通勤することを従業員に求めている企業，都心の事業用地を開発する事業者，事業所立地を可能にする都市計画を定める地方自治体が該当する．混雑緩和施策を実現するためには，これらの主体と鉄道事業者が各々の受益の範囲内で費用を負担する制度の検討が必要である．ここで，鉄道事業者については「必ずしも増収につながりにくい」という定性的な主張 [6] がなされているのみで，鉄道事業者の受益と負担を定量化した研究は見られない．そこで本研究は，混雑緩和施策を行った場合の鉄道事業者の運賃収入および費用の変化を推計することで，前述の費用負担等を議論していく端緒とすることを目的とする．

以降，まず 2 章では本研究に関連する政策と既往研究をレビューし，本研究の位置づけを明らかにする．3 章では評価の方法と前提条件を整理する．4 章では試算結果を示し，5 章で結果について考察する．最後にまとめ

とともに，今後の研究の課題を示す．

2. 本研究の位置づけ

(1) 政策のレビュー

東京圏では交通政策審議会答申第 198 号（2016 年）[7]に基づき，いくつかの新線の建設および計画が進んでいるが，現在の混雑対策の中心はソフト施策に移っている．具体的には，列車別・車両別の混雑や駅構内の混雑の見える化，ポイント付与といった手段による利用分散の促進である．また，交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会鉄道運賃・料金制度のあり方に関する小委員会の中間とりまとめ（2022 年 7 月）[8]に基づき，国土交通省鉄道局が定めた「運賃収入の増加を目的としない運賃の上限の変更に関する処理方針」（2022 年 9 月）のもとで JR 東日本の「オフピーク定期券」が認可され，2023 年 3 月から運用されている [9]．「オフピーク定期券」は各駅で設定されたピーク時間帯以外に入場する場合に限って利用できるかわりに，通常の定期券に比べて 10%程度低い価格で購入できるもので，時間差料金制（時間帯別運賃）の一形態である．日本ではこうしたソフト施策の効果を実証的に分析した例がなく，今後の研究が待たれるところであるが，海外の大都市（北京，香港，シンガポール，メルボルン）の鉄道でオフピーク時に大幅な（25～100%）割引を行った結果，数パーセント程度の混雑緩和がみられたと報告されている [10,11,12,13,14]．したがって，日本で多くの利用者が不快に感じない水準まで抜本的な混雑緩和を行うのであれば，ソフト施策とともにハード整備を伴う輸送力増強が引き続き必要と考えられる．海外ではロンドンの Crossrail やパリの Grand Paris Express のように長大な新線を建設する例があるが，無線式列車制御システム等により移動閉そく化することで列車間隔を詰め，高頻度運転を行うという方法もとられている．海外では移動閉そく化された路線が多数あり，そのうちモスクワ，パリ，サンパウロ，カイロ等では最小運転間隔が 90～100 秒程度という路線がある [15]．日本でも JR 東日本の仙石線あおば通～東塩釜間と埼京線池袋～大宮間が移動閉そく化され [16]，他の鉄道事業者も対応を進めつつあるが，その目的は高頻度運転ではなく，地上設備の削減や遅延回復を容易にすることとされている [17,18]．移動閉そくによる高頻度運転に関しては，吉枝ら [19]の詳細な研究がある．そのほかに日本で行われてきたハード整備としては，乗降に時間がかかりやすい駅の線増，長編成化と駅ホームの延伸，幅広車両の導入等が挙げられる．

上述したようなハード整備は，費用負担が課題となりやすい．日本では都市鉄道の新線建設や大規模改良等の事業に対して，都市鉄道利便増進事業費補助，地下高速鉄道整備事業費補助，空港アクセス鉄道等整備事業費補助といった補助制度がある [20]．このほかに特定都市鉄道整備積立金制度（特々制度）があり，複々線化等の事業で事業者と利用者の負担の平準化に利用されてきたが，租税特別措置法改正による税制優遇廃止のため，この制度で認可された事業は 2005 年が最後となっている [21]．また，2017～2018 年に国土交通省鉄道局が行った「都市鉄道における利用者ニーズの高度化等に対応した施設整備促進に関する検討会」では，鉄道駅バリアフリー料金制度の導入が提言された一方で，混雑・遅延対策等の輸送サービス高質化については具体的な制度の提言に至らなかった [22]．このように日本では既存路線の混雑緩和を目的とした事業を行う場合，主として鉄道事業者が負担する必要があり，費用の大きさをはじめとする理由から事業が実現しにくくなっている．

(2) 既往研究のレビュー

都市鉄道の混雑については，主としてプロジェクト評価を目的として混雑費用の計測手法の開発が進められてきた．家田ら [23]は，混雑不効用をモデル化してパラメーター推定を行い，東京圏と近畿圏の実路線の混雑費用を初めて定量化した．その研究を踏まえて志田ら [24]は，東京圏と近畿圏の複数の路線について混雑不効用関数のパラメーター推定を行い，混雑不効用関数の他路線への適用可能性を検証した．屋井ら [25,26,27,28]は東京圏の高密な鉄道ネットワークにおける経路選択に対応するため，混雑抵抗等の説明変数を含む構造化プロビットモデルにより需要と便益を推計する方法を提案した．この方法は実務的に，運輸政策審議会答申第 15 号，交通政策審議会答申第 198 号のプロジェクト評価で用いられた．近年では今岡ら [29]が，利用者の混雑に対する感じ方の変化を踏まえて，構造化プロビットモデルに代わるモデルを東京圏の鉄道路線に適用し，混雑不効用関数のべき乗パラメータの見直しを提案した．田中ら [30]は，利用者が混雑に慣れている影響を加味して混雑不効用の正確な評価を行うべきだとして，仮想的市場評価法を用いて不効用を評価した．混雑の習慣化により，混雑不効用が 35%程度過小評価されている可能性を示した．山鹿ら [31]は都市鉄道の混雑が不動産市場に影響を与えているとするアプローチから， JR 中央線沿線地域を対象に家賃関数を推定し，通勤時間と混雑疲労の費用を求めた．また混雑の外部不経済を求め，最適混雑料金を計測した．山鹿 [32]は，東京圏の複数の鉄道路線沿線地域を対象に，混雑率を説明変数に含む家賃関数を推定し，混雑費用を求めた．また円山ら [33]は，鉄道と道路の利用行動を一体的に説明する統合モデルを用いて，最適混雑料金を算出するモデルを開発し，東京圏の道路・鉄道ネットワークを対象に混雑料金を試算した．さらに円山ら [34]は，統合

モデルを用いて鉄道運賃の変更による居住地分布の最適化方法を検討し，東京圏を対象に試算した．

混雑の社会的費用を定量化する研究に比べて，鉄道事業者に関する研究は少ない．岡村ら [35] は，利用者と社会からサービス改善と運賃抑制という要求がある状況下で，民鉄事業者の設備投資水準の決定行動をモデル化し，設備投資実績データを用いて検証した．この研究では設備投資費用を事業者が負担するものとし，利用者や社会による負担は考慮されていなかった．柏谷ら [36] は，近畿圏の鉄道を対象に，混雑が利用者の路線選択行動に与える影響を分析した．結果として，混雑率は路線選択に有意に影響するものの，混雑率に対する需要の弾性値は小さく，混雑緩和による大幅な利用者増加は期待できない可能性を示した．

(3) 本研究の位置付け

上述のように，鉄道の混雑緩和と鉄道事業者の関係を論じた研究はほとんどない．特に，鉄道の混雑緩和に伴う鉄道事業者の収益に関する研究は皆無である．本研究は今後さらなる混雑緩和を目指す場合に，その費用負担に関する議論を促すことを目的として，混雑緩和施策によって鉄道事業者が運賃収入および費用の面でどのような影響を受けるのか，初めて定量的に明らかにするものである．

3. 評価方法

(1) 評価の基本的考え方

東急電鉄田園都市線を対象とし，交通行動モデルを用いて，朝ピーク時間帯の運行本数増加による輸送力増強を行った場合の鉄道需要および運賃収入を推計し，人件費・経費の増加を試算し，収入と支出の変化を示す．

評価の対象年は covid-19 感染拡大前の 2018 年とし，2018 年の朝ピーク時間帯の 1 時間あたりの運行本数に対して，運行本数を 30%増加させる．これは，現行の朝ピーク時間 27 本の輸送力が，移動閉そく化によって 35 本の輸送力になる状況を仮定した．

表-1 運行本数の仮定

	現行：2018 年	輸送力増強後
朝ピーク時間帯の運行本数	27 本／時	35 本／時

(2) 交通行動モデル

本研究では，交通政策審議会答申第 198 号の交通需要推計の考え方をもとにした四段階推計法による交通行動モデルより，鉄道需要と運賃収入の推計を行う．交通政策審議会答申第 198 号の需要予測モデル [37] は，東京都市圏パーソントリップ調査での調査圏域（東京圏：東京都，神奈川県，埼玉県，千葉県，茨城県南部）内における居住者の日常交通である通勤，通学，私事，業務，帰宅の移動目的の交通流動を対象とし，これらの交通流動のうち，朝ピーク時間の 1 時間あたりの交通サービスを適用して需要推計を行うのが通勤，通学目的となる．

四段階推計法の推計フローのうち，交通手段別交通量の推計と鉄道経路別交通量の推計で輸送力増強により交通行動の変化が反映される．具体的には，代表交通手段別交通量の推計で用いる交通手段選択モデルと，鉄道経路別交通量の推計で用いる鉄道経路選択モデルの説明変数には平均列車待ち時間を採用しており，平均列車待ち時間は 60 分÷運行本数の半分の時間と定義し，運行本数が増えれば平均待ち時間は減少することになる．さらに，鉄道経路選択モデルには，列車混雑指標の説明変数が導入されており，鉄道経路別交通量の推計では列車混雑指標を更新させて繰り返し計算を行っている．1 回目の推計では大都市交通センサスのピーク 1 時間あたりの駅間輸送人員とピーク 1 時間あたりの輸送力から算出した列車混雑指標を用いており，2 回目以降は，推計結果におけるピーク 1 時間あたりの駅間輸送人員に更新した列車混雑指標を用いて推計を行い，列車混雑指標が収束条件を満たした場合に推計終了としている．このように輸送力の増減に伴う列車混雑指標の違いが路線選択率に反映される．

交通政策審議会答申第 198 号は 2010 年時点の基礎データをもとにしたモデルであり，本研究では評価の対象年を 2018 年としているため，交通行動モデルの基礎データをそれにあわせ更新を行った．具体的には，2015 年国勢調査，2015 年大都市交通センサス，2018 年東京都市圏パーソントリップ調査のデータに更新している．

(3) 人件費・経費の算出方法

列車の運行本数を増やすと，表-2 に示すような運営費（人件費・経費）の増加や，車両，車両基地，変電所等の増備費用が必要になる．増備費用は路線環境によって大幅に異なると想定されるため，本研究では運営費（人件費・経費）の費用増分を評価の対象とした．また，運行本数が増加する時間帯を午前 6 時～10 時とし，どの時間帯の運行本数も現行の 1.3 倍に増加すると仮定した．

人件費・経費は，列車の運行本数の増加により変化する作業量（列車キロ，車両キロ）に応じて変化すると仮定する．人件費は 1 人当たりの人件費と作業量をもとにした必要人員を乗じて設定する．1 人当たり人件費は，鉄道統計年報（2018 年度）の東急電鉄の人件費単価を用いる．必要人員は鉄道統計年報（2018 年度）の東急電鉄の運行実績と要員数から作業量あたりの要員数原単位を算出し，運行本数に伴って増加する業務に応じた要

員数を得る．経費は，単位当たりの経費原単位に作業量を乗じることで求める．経費原単位は，人件費同様に鉄道統計年報（2018 年）の東急電鉄の実績から設定する．

列車キロ・車両キロは，現行ダイヤの午前 6 時～10 時の運行区間ごとの運行本数に営業キロ・車両数を乗じて列車キロ・車両キロを算出し，さらに平日のみ運行本数を増やすと仮定して，平日 240 日倍により年間列車キロ・車両キロを算出し，現行の運行本数と増強後の運行本数による列車キロ・車両キロの差から増加分を算出する．

表-2 輸送力増強に伴い発生する費用と本研究での評価対象

費用	評価対象の有無
増発に伴う運営費：人件費・経費	○
増発に伴う車両増備	－
車両基地の増備	－
変電所の増備	－
地上設備：アンテナ・各種機器・運行管理システム改修　等	－
車上設備：アンテナ・車上機器・艤装工事・現車試験等	－

4. 試算結果

(1) 輸送力増強の需要推計結果

以降では，現行の運行本数における需要推計をケース 1，30%増加させた需要推計をケース 2 とする．

a) 鉄道需要：代表交通手段別交通量の推計結果

ケース 1 とケース 2 の東京圏全体の全移動目的の代表交通手段別交通量の推計結果は表-3 の通りである．

東急田園都市線の輸送力増強に伴い鉄道サービスが向上することで，鉄道需要が約 1.5 千人／日増加する．1 日あたりの鉄道需要に対して単純に 365 日を乗じて年間値に換算すると約 50 万人／年の増加となる．鉄道への転換もとの交通手段としては自動車が最も多い．

表-3 代表交通手段別交通量の変化

（東京圏全体，全移動目的）

代表交通手段	ケース 1 千人/日	ケース 2 千人/日	差分 千人/日	比率
鉄道	23,107	23,108	1.5	1.00
自動車	21,771	21,770	-1.2	1.00
バス	2,358	2,357	-0.3	1.00
その他	25,671	25,671	0.0	1.00
計	72,908	72,908	0.0	1.00

b) 年間輸送人員：鉄道経路別交通量の推計結果

ケース 1 とケース 2 の東急電鉄の年間輸送人員の推計結果は表-4 の通りである．

東急電鉄全体の年間輸送人員は，5.8 百万人／年の増加と試算された．田園都市線に限って見ると，8.7 百万人／年の増加，一方，田園都市線と並行・接続する東横線・大井町線では 1.7～2.1 百万人／年の減少となっており，このことから自社路線間での利用者の取り合いが生じていると言える．

表-4 東急電鉄路線別輸送人員の変化

路線	ケース 1 百万人/年	ケース 2 百万人/年	差分 百万人/年	比率
東横線	457.2	455.1	-2.1	1.00
田園都市線	483.4	492.1	8.7	1.02
大井町線	173.4	171.7	-1.7	0.99
多摩川線	57.1	57.1	0.0	1.00
池上線	91.4	91.3	-0.1	1.00
世田谷線	26.4	26.2	-0.2	0.99
目黒線	149.0	148.2	-0.8	0.99
こどもの国	2.9	2.9	0.0	1.01
東急電鉄計	1,234.2	1,239.9	5.8	1.00

c) 年間運賃収入：鉄道経路別交通量の推計結果

ケース 1 とケース 2 の東急電鉄の年間運賃収入の推計結果は表-5 の通りである．

東急電鉄全体の年間運賃収入は 663 百万円／年の増収と試算された．

表-5 東急電鉄路線別運賃輸入の変化（税抜き）

路線	ケース 1 百万円/年	ケース 2 百万円/年	差分 百万円/年	比率
東横線	51,336	51,136	-201	1.00
田園都市線	54,509	55,549	1,040	1.02
大井町線	10,550	10,438	-111	0.99
多摩川線	3,554	3,554	-0	1.00
池上線	7,767	7,765	-2	1.00
世田谷線	2,396	2,385	-12	1.00
目黒線	12,051	11,998	-52	1.00
こどもの国	249	251	2	1.01
東急電鉄計	142,413	143,076	663	1.00

(2) 輸送力増強の人件費・経費

a) 輸送力増強に伴う列車キロ・車両キロの増分

表-6 にケース 1，ケース 2 の列車種別・運行区間ごとの 6 時～10 時の 1 日あたりの運行本数，年間列車キロ・車両キロを示す．

現行に対する輸送力増強の年間列車キロの増分は 329 千 km／年，年間車両キロが 3,294 千 km／年となる．

表-6 輸送力増強に伴う列車キロ・車両キロの変化

列車種別	運行区間	営業キロ (km)	車両	ケース 1			ケース 2			ケース 2−ケース 1		
				本数 (本/日) 往復	列車キロ (千km/年)	車両キロ (千km/年)	本数 (本/日) 往復	列車キロ (千km/年)	車両キロ (千km/年)	本数 (本/日) 往復	列車キロ (千km/年)	車両キロ (千km/年)
各停	渋谷−中央林間	31.5	10	70	529	5,292	91	688	6,880	21	159	1,588
	渋谷−長津田	25.6	10	19	117	1,167	25	154	1,536	6	37	369
	渋谷−鷺沼	15.7	10	6	23	226	8	30	301	2	8	75
	鷺沼−中央林間	15.8	10	5	19	190	7	27	265	2	8	76
	長津田−中央林間	5.9	10	2	3	28	3	4	42	1	1	14
急行	渋谷−中央林間	31.5	10	19	144	1,436	25	189	1,890	6	45	454
	渋谷−長津田	25.6	10	9	55	553	12	74	737	3	18	184
準急	渋谷−中央林間	31.5	10	11	83	832	14	106	1,058	3	23	227
	渋谷−長津田	25.6	10	17	104	1,044	22	135	1,352	5	31	307
計				158	1,077	10,769	207	1,406	14,062	49	329	3,294

b) 列車キロ・車両キロの増加に伴う人件費増

鉄道統計年報（2018 年度）の東急電鉄の運行実績と要員数から作業量あたりの要員数原単位を算出し，列車キロ・車両キロの増加に応じた要員数を算出した結果を表-7 に示す．ここで，輸送力増加に応じて必要となる要員は「運転」・「車両」・「本社」に限定した．

次に，必要要員数 35 人に東急電鉄の 1 人あたり人件費である 11.1 百万円／人を乗じると，列車キロ・車両キロの増加に伴う人件費増分は 389 百万円／年となる．

表-7 列車キロ・車両キロ増加に伴う必要要員数

	原単位	要員数
運転要員	0.065 人/千列車キロ	21.6
駅務要員	10.784 人/駅	−
工務要員	0.906 人/営業キロ	−
電気要員	1.640 人/営業キロ	−
車両要員	0.002 人/千車両キロ	5.1
本社要員	0.281 人/現業人	7.5
計		35.0

c) 列車キロ・車両キロの増加に伴う経費増

鉄道統計年報（2018 年度）の東急電鉄の運行実績と経費から作業量あたりの経費原単位を算出し，列車キロ・車両キロの増加に応じた経費増分を算出した．

その結果，表-8 に示す通り，列車キロ・車両キロの増加に伴う経費増分は 400 百万円／年となる．

(3) 東急電鉄の収支に与える影響

東急電鉄の田園都市線のピーク時間帯の運行本数を 30%増加させた場合に東急電鉄全体の収入は約 663 百万円／年，支出は約 789 百万円／年増加し，収支では約 126 百万円／年の減益となった．

表-8 列車キロ・車両キロ増加に伴う経費増分

	原単位	経費増分 百万円
運輸費	199.203 千円/駅	0.0
運転費	2.576 円/車両キロ	8.5
動力費	44.918 円/車両キロ	147.9
線路保存費	23.908 円/車両キロ	78.7
電路保存費	9.590 円/車両キロ	31.6
車両保存費	22.027 円/車両キロ	72.5
保守管理費	11.915 円/車両キロ	39.2
輸送管理費	6.608 円/車両キロ	21.8
計		400.3

表-9 東急電鉄の収支

運賃収入増分		663 百万円／年
費用増分	人件費	389 百万円／年
	経費	400 百万円／年
	計	789 百万円／年
収支		▲126 百万円／年

5. 試算結果に対する考察

東急電鉄の田園都市線のピーク時間帯の運行本数を 30%増加させた場合，東急電鉄の収支は減収と試算された．これは，需要推計による収入増加が大きく見込めない結果となったためと考えられる．

田園都市線の輸送人員が増加したのは，自社線も含んだ並行する鉄道路線からの転換がほとんどであり，他の交通手段からの転換は少ない．他の交通手段からの転換が少ない要因として，今回のケースでは，交通手段選択モデルの選択行動に変化を与える説明変数は列車待ち時間の短縮のみであることが挙げられる．ピーク時間帯の運行本数が現行の 27 本/時から 35 本/時になった場合に，平均列車待ち時間は 1.11 分から 0.86 分となり，約 0.3 分

しか短縮されない．田園都市線は現行でも輸送力が比較的高い路線であり，時間短縮による効果は小さいため，他の交通手段からの転換が生じにくいと考えられる．

6. まとめ

本研究は東急電鉄田園都市線を対象とし，交通政策審議会答申第 198 号の交通需要推計手法に基づく鉄道利用者の実行動データを反映した交通行動モデルを用いて，朝ピーク時間帯の運行本数増加による輸送力増強が鉄道事業者の収支に与える影響を評価した．朝ピーク時間帯の運行本数を 30%増加させた場合，田園都市線の輸送人員は 8.7 百万人/年増加するが，これは主として自社線を含む他の鉄道路線からの転換によるもので，他の交通手段からの転換は限定的である．東急電鉄の運賃収入は 663 百万円/年増加するが，運行本数増加に伴い人件費・経費が 789 百万円/年増加するため，収支では 126 百万円/年の減益と試算された．このように本研究は，輸送力増強施策による混雑緩和は鉄道事業者の収益を悪化させることを，初めて定量的に示した．もし今後，鉄道事業者にさらなる混雑緩和を求めていくのであれば，このような収益悪化を防ぐための支援が必要と考えられる．

最後に今後の研究課題を示す．輸送力増強に際しては本来，車両，車両基地，変電所等の増備費用も必要であるが，こうした費用は路線環境によって大幅に異なるため，本研究では評価対象外とした．これらの増備費用も含めると，鉄道事業者の支出は本研究の試算結果よりも大きくなる．したがって今後の研究では，具体的な輸送力増強施策のケースについて費用を積算し，鉄道事業者の負担をより正確に示すことが考えられる．

参考文献

1) 国土交通省鉄道局：報道発表資料 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.
2) 国土交通省鉄道局：報道発表資料 三大都市圏の平均混雑率が増加～都市鉄道の混雑率調査結果を公表(令和 4 年度実績)～，2023.
3) 国土交通省鉄道局：鉄道の混雑緩和に資する情報提供のあり方に関する勉強会 第 2 回資料 4，2021.
4) 一般社団法人日本民営鉄道協会：2022 年度 駅と電車内の迷惑行為ランキング，2022.
5) 例えば，山内弘隆，竹内健蔵：混雑税理論の展望－経済学の視点，土木学会論文集，No.449/IV-17，pp.17-26，1992.
6) 例えば，国土交通省鉄道局：都市鉄道における利用者ニーズの高度化等に対応した施設整備促進に関する検討会 第 8 回議事概要，2018.
7) 国土交通省：東京圏における今後の都市鉄道のあり方について，2016.
8) 国土交通省：鉄道運賃・料金制度のあり方に関する小委員会 第 8 回配付資料，2022.
9) 東日本旅客鉄道株式会社：オフピーク定期券登場！，https://www.jreast.co.jp/offpeak_teiki/ （ 2023.9.19 閲覧）
10) Anupriya, Graham, D. J., Hörcher, D., Anderson, R. J., and Bansal, P.: Quantifying the ex-post causal impact of differential pricing on commuter trip scheduling in Hong Kong, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 141, pp.16-34, 2020.
11) Zou, Q., Yao, X., Zhao, P., Wang, Z., and Yang, T.: Measuring Retiming Responses of Passengers to a Pre-peak Discount Fare by Tracing Smart Card Data: A Practical Experiment in the Beijing Subway, *Journal of Advanced Transportation*, Volume 2019, 2019.
12) Halvorsen, A., Koutsopoulos, H. N., Lau, S., Au, T., and Zhao, J.: Reducing Subway Crowding: Analysis of an Off-Peak Discount Experiment in Hong Kong, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2544, Issue 1, pp.38–46，2016.
13) Pluntke, C., and Prabhakar, B.: INSINC: A Platform for Managing Peak Demand in Public Transit, *JOURNEYS*, pp.31-39, 2013.
14) Currie, G.: Quick and Effective Solution to Rail Overcrowding: Free Early Bird Ticket Experience in Melbourne, Australia, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2146, Issue 1, pp.35-42, 2010.
15) 一般社団法人日本地下鉄協会：完全版 世界の地下鉄，ぎょうせい，2020.
16) 東日本旅客鉄道株式会社：埼京線への無線式列車制御システム（ATACS）の使用開始について，2017.
17) 東京地下鉄株式会社：11 月から丸ノ内線の一部区間において無線式列車制御システム（CBTC システム）の走行試験を開始しました，2022.
18) 東急電鉄株式会社，東京地下鉄株式会社：相互直通運転を行っている東急田園都市線・東京メトロ半蔵門線の信号保安システムを 2028 年度に同一の無線式列車制御システムに更新します～列車の遅延をより早く解消し、運行の安定性向上に取り組みます～，2023.
19) 吉枝春樹，小林渉，岩倉成志：移動閉そく信号制御による都市鉄道の超高頻度運転の可能性－田園都市線と半蔵門線のケーススタディー，土木学会論文集 D3（土木計画学）Vol.76，No.2，pp.43-62，2020.
20) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：鉄道助成ガイドブック 令和 5 年度，2023.
21) 一般社団法人日本民営鉄道協会：鉄道用語辞典 特定都市鉄道整備積立金制度，https://www.mintetsu.or.jp/knowledge/term/16437.html（2023.9.19 閲覧）
22) 国土交通省鉄道局：都市鉄道における利用者ニーズの高度化等に対応した施設整備促進に関する検討会報告書，2018.
23) 家田仁，赤松隆，高木淳，畠中秀人：利用者均衡配分法による通勤列車運行計画の利用者便益評価，土木計画学研究・論文集，No.6，pp.177-184，1988.
24) 志田州弘，古川敦，赤松隆，家田仁：通勤鉄道利用者の不効用関数パラメーターの移転性に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.12，pp.519-525，1989.

25) 屋井鉄雄，岩倉成志，伊東誠：鉄道ネットワークの需要と余剰の推計法について，土木計画学研究・論文集，No.11，pp.81-88，1993.
26) 屋井鉄雄，中川隆広：構造化プロビットモデルの発展性，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.563-570，1996.
27) Yai, T., Iwakura, S., and Morichi, S.: Multinomial Probit Model with Structured Covariance Matrix for Route Choice Behavior, *Transportation Research B*, Vol.31, Issue 3, pp.195-207, 1997.
28) 屋井鉄雄，中川隆広，石塚順一：シミュレーション法による構造化プロビットモデルの推定特性，土木学会論文集，No.604/IV-41，pp.11-21，1998.
29) 今岡将大，福田大輔：列車内混雑と経路重複を考慮した鉄道経路選択・乗客配分モデルに関する研究：首都圏鉄道網におけるケーススタディ，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.74，No.5，pp.I_847-I_857，2018.
30) 田中皓介，福井智也，柳沼秀樹，寺部慎太郎：習慣解凍の影響を考慮した CVM による首都圏満員電車の不効用評価，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.78，No.6，pp.II_760-II_770，2022.
31) 山鹿久木，八田達夫：通勤の疲労コストと最適混雑料金の測定，日本経済研究，No.41，pp.100-131，2000.
32) 山鹿久木：通勤混雑外部性の定量化の試み，経済学論究，第 63 巻，第 3 号，pp.601-619，2009.
33) 円山琢也，原田昇，太田勝敏：Nested Logit 型確率的利用者均衡条件下での最適混雑料金，土木計画学研究・論文集，Vol.20，No.3，pp.555-562，2003.
34) 円山琢也，原田昇：鉄道通勤利用者の最適居住地分布とその実証研究，土木計画学研究・講演集，Vol.27，CD-ROM(30)，2003.
35) 岡村敏之，家田仁，千葉信宏：大都市圏民営通勤鉄道の既設線改良における事業者の投資行動に関する理論的考察とその検証，土木計画学研究・論文集，No.14，pp.817-826，1997.
36) 柏谷増男，朝倉康夫，細川透：通勤鉄道の混雑率低下による乗客数への影響，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.659-665，1999.
37) 交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会 東京圏における今後の都市鉄道のあり方に関する小委員会 需要評価・分析・推計手法ワーキング・グループ：鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート，2016.

(2023. 10. ?? 受付)

THE IMPACT OF EXPANDING URBAN RAIL TRANSIT CAPACITY ON RAILROAD OPERATORS' PROFITS: A CASE STUDY IN THE TOKYO METROPOLITAN AREA

Shigeki YOKOYAMA, Yoshikazu KANAI and Seiji IWAKURA

In Japan, people often believe urban railroad operators should solve crowding at their expense. While it is said that the reduction of crowding is unlikely to lead to railroad operators' profits, little quantitative evidence has been provided. In this study, ridership and fare revenues for the Tokyu Den-en-toshi Line were estimated by using a traffic behavior model that reflects actual passenger data based on the Council for Transport Policy Report No. 198, assuming the capacity expansion with more trains during the morning peak hours. The authors also estimated the increase in operational expenses associated with increased trains and showed the changes in profit. A 30% increase in the number of trains would increase annual fare revenues and expenditures by approximately 663 and 789 million yen, respectively, resulting in a decrease in annual profit of approximately 126 million yen. If railroad operators are asked to further reduce congestion, some form of support is necessary.