

コロナ禍における公共交通の混雑費用の推定と 利用促進策のシミュレーション分析

赤木 大介¹・藤原 章正²・力石 真³・嶋本 寛⁴

¹学生会員 広島大学 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: daisuke.389167@gmail.com

²正会員 広島大学教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp(Corresponding Author)

³正会員 広島大学准教授 先進理工系科学研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

⁴正会員 宮崎大学准教授 工学部工学科土木環境工学プログラム (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1) .

E-mail: shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

COVID-19 の感染拡大による公共交通利用者減少により、公共交通サービスの安定供給が困難な状況にある。COVID-19 禍では、車内混雑による認知上の感染リスクの増大が、着席不可等の既存の混雑コストに加算され、利用者が認知する混雑コストが高い可能性がある。本研究では、(1) COVID-19 前後の混雑コストの差異を捉えるための SP 調査を設計・実施、(2) COVID-19 前後の混雑コストを反映した交通手段選択モデルを構築、(3) 公共交通の容量と料金を変化させた場合に生じる交通手段転換を定量的に評価するシミュレーション分析を行った。結果、COVID-19 禍では、高所得者層は低所得者層より混雑コストがはるかに高い事等が確認された。また、「混雑率は低いが高料金サービス」と「混雑率は高いが高料金安いサービス」の導入による交通手段の変更、総利用者便益・総収益の変化について考察した。

Key Words: COVID-19, public transportation, congestion cost, cognitive risk, income group

1. 背景・目的

近年の我が国では、COVID-19 が猛威を振るっており、公共交通分野でもその影響は大きい。国土交通省¹⁾の調査によると、COVID-19 の影響が大きかった 2020 年 4 月では、新幹線や航空等の都市間交通輸送が対前年(2019) 同月比約 9 割減少、路線バス等の都市内交通輸送が対前年同月比約 6 割減少となっている。また、田中ら(2021)²⁾は、COVID-19 の蔓延に伴う人々の意識への影響を把握するために Web アンケート調査を行った。その結果、「一回、電車やバスやタクシーに乗ることによる感染確率」について、実感染者数を公共交通利用者数で除した数と比較したところ、最も感染が拡大していた時期で約 0.0097%しかないにも関わらず、回答者の平均値は 30.1% と約 3100 倍も過大に評価していることが明らかとなった。これは、「公共交通は、不特定多数の人が集まり危険」というイメージによるものだと考えられる。このように、COVID-19 禍においては、公共交通を利用する際の COVID-19 に対する不安の高さが、公共交通利用者数

の減少に繋がっていると考えられる。

公共交通は、「高齢者や障害者といった社会的弱者の移動確保」といった社会的にも重要な役割を担っており、公共交通の衰退は阻止しなければならない。しかしながら、COVID-19 の影響が長く続くと、減便や運行廃止といった公共交通の衰退が進むと予測される。

この現状に対して行政は、雇用調整補助金等の支援策を行ってきた。しかしながら、これらの支援策について不十分であると述べている論文も見られる。中村ら(2021)³⁾は、全国の上場交通事業者が開示する決算資料を集計し、営業収益や営業利益・損失の推移、雇用調整助成金の受取状況を分析した。結果として、公共交通事業者の危機的状況は加速しており、赤字・減収に対する支援は不十分であることを明らかにした。

公共交通事業者は、「十分な車内換気」、「車内消毒」、「マスク着用」、「車内会話の自粛要請」といった対策を行っている。しかしながら、公共交通利用人数の水準は、COVID-19 以前に比べて良くなっているとはいえないことが現状であり、より公共交通利用者増加を図

ることができる施策の実施が必要であると考えられる。

これらの課題認識から、COVID-19 禍における公共交通維持を目的とし、公共交通利用の感染リスクコスト（＝以下より「認知コスト」と明記）を明らかにした上で、公共交通利用者増加に繋がる施策の提案を行い、シミュレーションによって定量的評価を行う。

2. 交通手段選択モデルにおける混雑指標の扱いに関する既往研究のレビュー

人々は交通手段を選択する際、その交通手段の「移動時間」といったいくつかの指標を基に選択を行っている。公共交通の「不特定多数を乗せる」という性質上、公共交通を含む交通手段選択モデルでは、「混雑」指標も考慮しなければならない。公共交通における混雑を効用式に導入した交通手段選択モデルに関する既往研究について以下に記載する。

Yap ら(2020)⁹⁾は、交通手段選択モデルの効用式に、移動時間との交互作用項として、座席占有率（乗客数と車両の座席定員の比率）を混雑変数として導入した。移動時間を交互作用項とすることで、移動時間が長くなるほど混雑による影響が大きくなるものとしている。

Fehr ら(2021)⁹⁾は、パリ地下鉄利用者を対象とした SP 調査データを基に交通手段選択モデルを推定し、パリ地下鉄の混雑回避のための平均支払意思額を算出した。その結果、平均支払意思額は、利用区間が長くなるほど、また所得が増加するほど大きくなることを明らかとした。

Tian ら(1997)⁹⁾は、交通手段選択モデルにおける公共交通の混雑指標を「Bureau of Public Roads(BPR)型関数」を用いて定量化した。BPR 型関数は、米国道路局より提案された交通量と交通容量から旅行時間を求めるものである。著者らは、交通量を利用者人数、交通容量を車両定員とし、公共交通における混雑コストを求めた。BPR 型関数の特性上、交通量（利用者人数）が増えるにつれ、旅行時間（混雑コスト）が連続数として指数関数的に増加する。結果として、公共交通における混雑コストは、混雑レベルが増えるにつれ、指数関数的に増加することを示している。

Moniruzzaman ら(2021)⁷⁾は、ダッカにおける新規地下鉄利用予定者を対象に、「移動時間」、「料金」、「運行頻度」、「混雑度」という 4 つの指標を用いて SP 調査を行い交通手段選択モデルを推定した。その後、得られた交通手段選択モデルを使用し、「容量」と「料金」に基づくシナリオ分析を行い、利用者均衡フローを推定した。その結果、混雑によるコストは各所得層で異なり、高所得者層で最も高いことが明らかとなった。一方、中・低所得者層は、混雑度にはあまり影響を受けず、料

金に対してより敏感であることが明らかとなった。また、シナリオ分析の結果から、高所得者層は料金が高くても混雑度の低いサービスを好み、低所得者層は混雑度は高くても料金が低いサービスを好むことが明らかとなった。

3. 本研究の位置づけと構成

COVID-19 による公共交通分野への影響は、現在も続いており、公共交通サービス維持のためには、公共交通利用促進策の提案が急務である。COVID-19 禍において、人々の認知リスクを含む混雑コストは過度に高くなっており、混雑コストを含む利用者コストを低下させる施策が効果的であると考えられる。しかしながら現時点では、COVID-19 禍における混雑コストを明らかにした研究は存在せず、COVID-19 禍における混雑コストを考慮した公共交通利用促進策の提案はもちろん行われていない。COVID-19 の収束が見通せない中、このような議論を行うことは非常に重要であるだろう。

既往研究では、交通手段選択モデルの効用式における混雑指標を扱っていたが、本研究でも同様に混雑指標を効用式に導入した交通手段選択モデルの推定を試みる。具体的には、既往研究で示されたように、混雑指標を移動時間との交互作用項とし、BPR 型関数として定量化する。加えて、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前の交通手段選択モデルを推定し、比較する。また、既往研究でも示されているように、混雑コストは所得により異なることが明らかになっているため、所得別の混雑コストを明らかにする。なお本研究における混雑指標は、車内定員に対する車内利用者数の比率とする。

本研究では、COVID-19 禍における所得別の混雑コストを交通手段選択モデルの推定により明らかにし、所得別の公共交通利用者が増加する施策の提案を行う。その後、「容量」と「料金」に基づくシナリオ分析にて仮想ネットワークで施策を表現し、利用者均衡フローを推定し、混雑率と料金が公共交通の利用人数と利用者便益にどの程度影響するのかを把握する。

4. 混雑コストを考慮した交通手段選択行動の分析方法

(1) 分析方法

「移動時間」、「料金」、「混雑率」を交通手段選択における効用の指標として分析を行った。具体的には、SP 調査によって広島県における通勤者に対し、3 つの指標を使用した交通手段選択問題を回答してもらった。そ

の後、得られた SP データを用いて二項ロジットモデルを推定した。最後に、得られた交通手段選択確率を使用し、「混雑率」と「料金」に基づくシナリオ分析を行った。

(2) 交通手段選択に関する SP 調査

a) SP 調査対象者

SP 調査の対象者は以下の通りである。

- ・広島県在住
- ・COVID-19 禍においても、平均週 3 日以上は通勤
- ・公共交通機関または自動車を利用して通勤

b) SP 調査内容

通勤時に、「普段利用している交通手段」と SP シナリオによる「新しい交通手段」のどちらを選択するかという二項選択問題を 1 回答者につき計 6 問出題した。

「COVID-19 禍」及び「COVID-19 以前」における状況を想定しての交通手段選択を回答してもらったため、最終的に 1 回答者につき計 12 問となった。SP シナリオの属性は、「自宅~勤務地までの移動時間」、「片道料金」、「混雑率」の 3 つである。普段利用している交通手段の属性については、普段利用している交通手段の「自宅~勤務地までの移動時間」、「片道料金」、「混雑率」を回答してもらっている。「普段利用している交通手段」が「車」の場合は、「片道料金」が回答者の「自宅~勤務地までの移動時間」によって変動するガソリン料金とし、「混雑率」の値は 0 となり、車と公共交通の交通手段選択を回答してもらう。SP シナリオの「自宅~勤務地までの移動時間」、「片道料金」の値については表-1 に示すように、「普段利用している交通手段」の「自宅~勤務地までの移動時間」、「片道料金」の値に「0.7/1.4/2.1」の値をランダムで乗じた値となっている。SP シナリオの「混雑率」の値については、図-1 に示すように 7 つのレベルの中からランダムな値とした。混雑率については、各レベルに関する物理的状態を表す画像及び、活動の自由度やその他行動の可否について示した。

(3) 「混雑」を考慮した交通手段選択モデル

本研究では、SP 調査データを基にした二項ロジットモデルを推定する。

本研究における効用方程式を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 U_{tij} &= V_{tij} + \varepsilon_{tij} \\
 &= asc_j + \beta_{TT} * TT_{tj} + \beta_{TC} * TC_{tj} \\
 &\quad + \gamma \left(\frac{v_{tj}}{K_j} \right)^\rho * TT_{tj} + \varepsilon_{tij} \quad (1a)
 \end{aligned}$$

V_{tij} : SP シナリオ t の下で選択肢 j を選択した場合の個人 i の確定効用

ε_{tij} : ガンベル分布に従った確率項

asc_j : 選択肢 j の定数項

β_{TT} : 移動時間のパラメータ

TT_{tij} : 個人 i の SP シナリオ t の下での選択肢 j の移動時間

β_{TC} : 料金のパラメータ

TC_{tij} : 個人 i の SP シナリオ t の下での選択肢 j の料金

γ, ρ : 混雑のパラメータ

v_{tij} : 個人 i の SP シナリオ t の下での選択肢 j の利用乗客数

K_j : 選択肢 j の容量

各所得層における混雑コストは、公共交通と公共交通の 2 項ロジットモデルの推定結果を使用し、以下の式で算出した。

$$Congestion\ cost = \gamma \left(\frac{v_{tj}}{K_j} \right)^\rho / \beta_{TC} \quad (1b)$$

SP シナリオ t の下で個人 i が選択肢 j を選択する確率式を以下に示す。

$$P_{tij} = \frac{\exp(V_{tij})}{\sum_{j=1}^J \exp(V_{tij})} \quad (1c)$$

なお、各個人について、新規交通手段導入前後で利用可能な交通手段は変化していないと仮定している。つまり、各個人の普段利用の交通手段の回答結果に基づいて、各代替案ごとに利用可能ダミーを生成している。

また、パラメータ (ρ) について、グリッドサーチ法を

表-1 SP シナリオにおける各指標の値

指標	レベル
移動時間 (分)	(普段利用の値) × 0.7 / × 1.4 / × 2.1
料金 (円)	(普段利用の値) × 0.7 / × 1.4 / × 2.1
混雑率	1,2,3,4,5,6,7

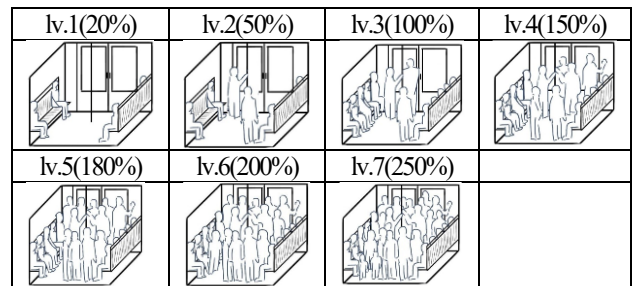


図-1 各レベルにおける混雑率の図

用いて算出した。他のパラメータを推定すると同時に、 ρ の値を0.1刻みで変化させ、尤度比が最も高いものを採用した。

(4) 「料金」と「容量」を変化させたシナリオ分析

「料金」と「容量」を変化させたシナリオ分析を行った。各シナリオについて、「均衡フロー」, 「総消費者余剰」, 「総収益」を算出した。各所得層の均衡フローは、「確率的利用者均衡モデル(SUE)」としてしばしば用いられる「逐次平均法(MSA)」を用いて解いた。

「MSA」は、均衡計算の解法の1つである。特徴として、予め決められた定数列をステップサイズとし、反復するごとにステップサイズが減少していくことが挙げられる⁸⁾。各反復の流れは以下のように示すことができる。以下の式を、均衡フロー値に達するまで反復計算を行う。

$$x_{n,m} = x_{n-1,m} + \frac{1}{n}(y_{n-1,m} - x_{n-1,m}) \quad (1d)$$

$x_{n,m}$: 所得 m における n 番目の反復における利用者数
 $y_{n-1,m}$: $P_{tij}(x_{n-1,m})$ にて得られる更新後の利用者数

上述の均衡フロー値を使用して、「総利用者便益」と「総収益」を計算する。

以下に各シナリオの「総利用者便益」の式を示す。

$$CS_{total} = \frac{1}{\beta_{TC}} \left[\sum_{i=1}^I \ln \left(\sum_{j \in \{\text{施策導入後のBus,Car}\}} \exp(V_{ij,m}) \right) - \sum_{i=1}^I \ln \left(\sum_{j \in \{\text{施策導入前のBus,Car}\}} \exp(V_{ij,m}) \right) \right] \quad (1e)$$

CS_{total} : 所得層 m の総利用者便益

以下に各シナリオの「総収益」の式を示す。

$$Revenue = \sum_{m=1}^M \hat{x}_m \times fare_{bus,m} \quad (1f)$$

\hat{x}_m : 所得層 m の均衡フロー

$fare_{bus,m}$: 所得層 m のバス料金

5. 混雑コストを考慮した交通手段選択行動の分析結果

(1) 「混雑」を考慮した交通手段選択モデル

各所得層の二項ロジットモデルは、式(1a)を使用し、各二項選択問題の同時推定を行った。本研究では、世帯年収が 300 万円以下を「低所得者層」、301 万円以上を「高所得者層」とした。

COVID-19 禍における二項ロジットモデルの結果を表-2に示す。高所得者層、低所得者層共に、「移動時間」、「料金」、「混雑率」が有意な結果となっている。「移動時間」、「料金」、「混雑率」が上昇すれば「選択確率」が低下するという結果となっており、一般的知見との中している。「料金」について着目すると、「低所得者層」の方が「高所得者層」よりもパラメータ値が高く、「低所得者層」は「高所得者層」よりも「料金」に対して敏感であることが示唆される。「高所得者層」は、金銭面で「低所得者層」よりも余裕があると考えられることから、「低所得者層」より「料金」に対する感度が低くなったと考えられる。一方で、「低所得者層」は、「高所得者層」に比べ、金銭面にあまり余裕がないことが予想されるため、「高所得者層」より「料金」に対する感度が高くなったと考えられる。

COVID-19 禍及びCOVID-19 禍以前の「混雑コスト」を表すグラフを図-2に示す。グラフから分かるように、混

表-2 コロナ禍における二項ロジットモデル推定結果

	高所得者層		低所得者層		全体	
	301万円~		~300万円		-	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
定数(新しい公共交通)	-0.67	-7.52	-0.79	-3.97	-0.69	-8.60
定数(車)	0.98	4.55	0.92	1.41	1.00	5.08
移動時間	-0.010	-3.27	-0.015	-1.94	-0.011	-3.78
料金	-0.0010	-3.65	-0.0034	-3.10	-0.0012	-4.27
γ (混雑率)	-0.0042	-4.86	-0.00033	-3.44	-0.0025	-5.48
ρ (混雑率)	1.6		5.4		2.3	
初期尤度	-927.431		-181.605		-1109.035	
最終尤度	-612.212		-104.536		-724.652	
調整済み尤度比	0.334		0.397		0.342	
回答者数	1338		262		1600	

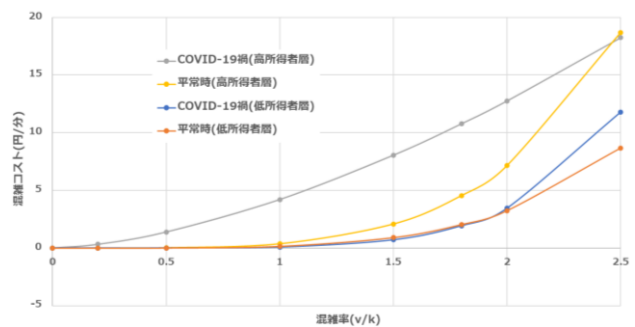


図-2 所得別の混雑コスト

雑コストは、低所得者層よりも高所得者層の方が高い。このことから、高所得者層は、低所得者層よりも、混雑に対して敏感であることが示唆される。この結果から、高所得者層は、低所得者層よりも、混雑を避けるための支払意思額が高いことが予想される。加えて、高所得者層は、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前で混雑コストの差が大きいが、低所得者層は、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前で混雑コストの差が小さいことが分かる。この結果より、コロナ禍において、高所得者層の混雑コストが大きくなっており、これが「公共交通利用者減少」の1つの要因となっていると考えられる。つまり COVID-19 禍においては、高所得者層の混雑コストを減らす施策が、「公共交通利用者増加」につながると考えられる。具体的には、「対人距離を確保するサービス（＝新幹線指定席のような形）」や「混雑料金による需要分散」等の施策をとることが効果的だと考えられる。一方で、低所得者層の混雑コストは、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前でほとんど変わっていない。つまり、COVID-19 禍における車内混雑が「公共交通利用者減少」の要因になっているとは言い難い。しかしながら、低所得者層は高所得者層よりも料金に対して敏感であるということが本研究の結果から示唆されている。そこで、低所得者層に対しては、「混雑はしているが料金が安いサービス（新幹線自由席のような形）」を行うことで「公共交通利用者増加」につながることが示唆される。一方で、高所得者層、低所得者層の両方に言えることとして、「混雑率 2.5」までいくと、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前変わらずに、混雑コストが過剰に上昇することが明らかとなった。この結果から、高所得者層、低所得者層ともに、COVID-19 禍と COVID-19 禍以前の両時期において、「混雑率 2.5」は避けるべきだと考えられる。具体的には、混雑料金等で需要を分散させる方法が考えられる。

上述のように、所得別により「料金」や「混雑」に対する感度が異なることが分かった。この結果から、これまで、利用者をひとまとめとして考えていた施策から、「所得別」を考慮した施策を考える必要があることが言えるだろう。具体的には、高所得者層は、「混雑が少ないサービス」、低所得者層は、「料金が安いサービス」が効果的であることが示唆された。

(2) 「料金」と「容量」を変化させたシナリオ分析

a) シナリオ詳細及び前提条件

シナリオ分析では、上述の「低所得者層は料金の影響を受けやすく、高所得者層は混雑の影響を受けやすい」という結果から、現行の同一料金の場合と、バスルート料金の高いルートと低いルートに分けた場合とで、「料金」と「容量」を変動させてシミュレーションした。シミュレーションにおける仮想ネットワークを図-3

に、シナリオの詳細と前提条件を表-3に示す。施策導入前においては、仮想ネットワークを「バスライン」と「車ライン」の2本とした。施策導入後においては、バスラインを「LineI（低料金）」と「LineII（高料金）」と「車ライン」の3本とした。加えて、LineI（低料金）と「LineII（高料金）」の容量については、施策導入前の容量を2で割った値とした。混雑率は、各バスラインの利用者人数を容量で割った値となる。車の料金は、ガソリン代と駐車代を足した400円とした。車移動時間は、車の均衡フローによって変化するBPR型関数で算出する。BPR関数パラメータについては、研究者により様々なものが提案されているが、本研究では $\alpha=0.96$ 、 $\beta=1.2$ を採用した⁹⁾。各所得層の人数について広島県によると、広島県における世帯年収が「300万円以下」の割合が38%で、「301万円以上」の割合が62%という統計結果¹⁰⁾がある。本研究のシミュレーションは、

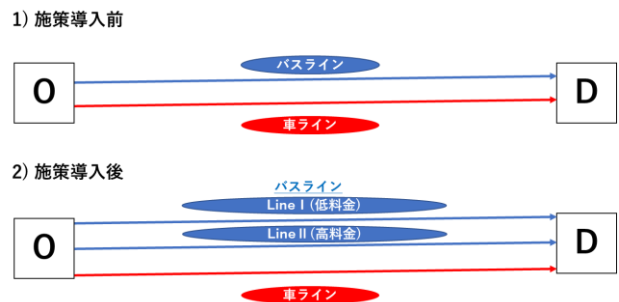


図-3 仮想ネットワーク

表-3 前提条件

項目	値
バス移動時間 (分)	15
バス料金 (円)	1) 施策導入前 200 2) 施策導入後 LineI (低料金): 0,50,100,150 LineII (高料金): 400
バス容量 (人/時間)	1) 施策導入前 337.5 or 2700 2) 施策導入後 LineI (低料金) : 168.8, 1350 LineII (高料金) : 168.8, 1350
車移動時間 (分)	$= t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\}$ $= 13 \left\{ 1 + 0.96 \left(\frac{x_a}{800} \right)^{1.2} \right\}$
車料金 (円)	400
1時間当たりのOD人数 (人/時)	1400
所得別人数 (人/時)	低所得者層 (38%) : 532 高所得者層 (62%) : 868

広島県を想定しているため（SP 調査も広島県民を対象としている）、この値を基に各所得層の人数を決めた。

b) 施策導入による利用者数変化（容量：2700人/時）

施策導入前のバス容量が 2700(人時)のケースでシミュレーションを行った。LineIと LineIIの容量は、それぞれ 1350(人時)である。

図-4、図-5、図-6、図-7は、施策導入前と施策導入後で「バス利用者」と「車利用者」がどの程度変化したかを表すグラフである。グラフをみると、全シナリオで、高所得者と低所得者共にバス利用者が増加し、車利用者が減少していることが分かる。これは、バスラインを低料金ラインと高料金ラインに分けることが、COVID-19 禍において「公共交通利用者増加」を図ることができる施策であることが示唆される。また、低所得者層のバス利用者の割合は、どの料金帯においても「LineI（低料金）」の利用者の方が多い。一方で高所得者層は、どの

料金帯においても「LineII（高料金）」の方が利用者は多い。このことから、低所得者層は、料金の低い

「LineI(低料金)」に多く流れ、高所得者層は、料金が高く混雑率が低い「LineII(高料金)」に多く流れたことが分かる。低所得者層は「安さ」を求め「LineI(低料金)」に多く流れ、高所得者層は「混雑」を避けるため、低所得者層の利用者数が少ない「LineII(高料金)」に多く流れたと考えられる。これは、施策導入によって、低所得者層の「混雑してもいいから料金が安いサービスが良い」という需要と、高所得者層の「料金は高くてもいいから混雑していないサービスが良い」という需要を満たし、結果的にバス利用者数が増加したことが考えられる。

c) 施策導入による利用者数変化（容量：337.5人/時）

施策導入前のバス容量が 337.5(人時)のケースでシミュレーションを行った。LineIと LineIIの容量は、それぞれ 168.8(人時)である。

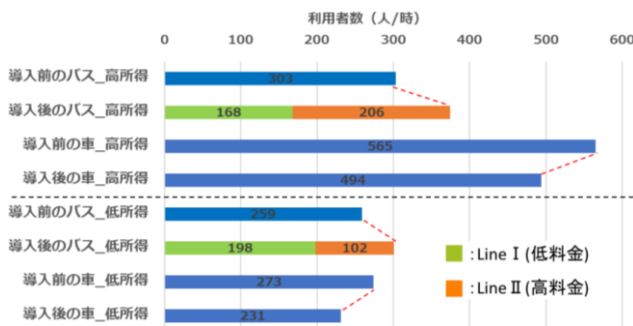


図-4 各所得層における施策導入前後の利用者数
【Line I (0円) Line II (400円)】

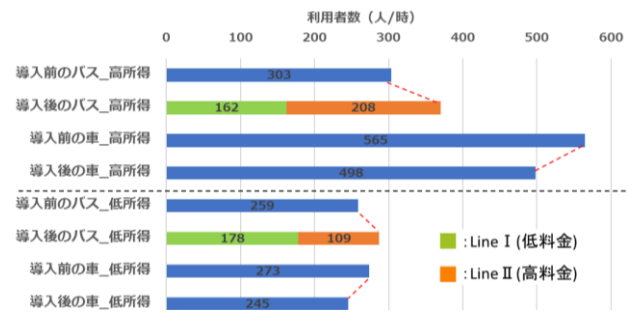


図-5 各所得層における施策導入前後の利用者数
【Line I (50円) Line II (400円)】

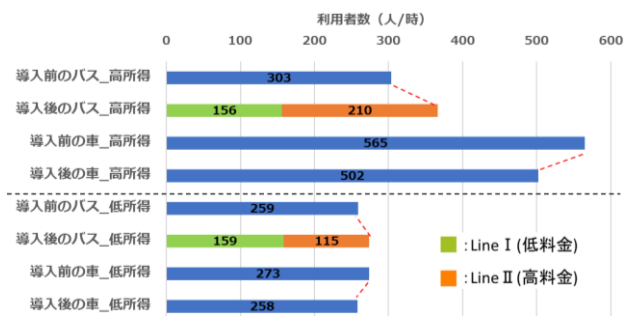


図-6 各所得層における施策導入前後の利用者数
【Line I (100円) Line II (400円)】

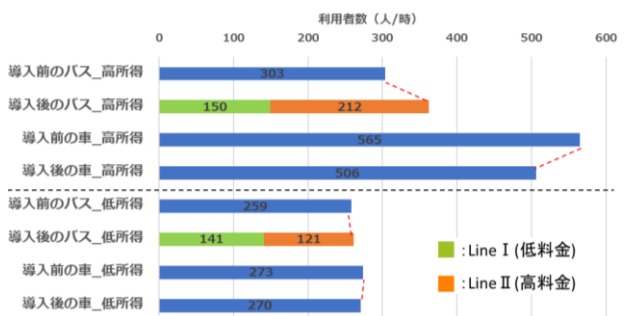


図-7 各所得層における施策導入前後の利用者数
【Line I (150円) Line II (400円)】

図-8, 図-9, 図-10, 図-11 は, 施策導入前と施策導入後で「バス利用者」と「車利用者」がどの程度変化したかを表すグラフである。

「容量 2700(人/時)ケース」に比べて, 施策後のバス増加割合・車減少割合はあまり変化していない。このことから, 容量の大小に関わらず, バスラインを「LineI (低料金)」と「LineII (高料金)」に分けることは効果的であることが示唆される。一方で, 「LineI(低料金)」の料金が 150 円で低所得者層のバス利用者が施策前に比べて減少している。これは, 容量が下がり「混雑コスト」が上昇し, 低所得者層のバス利用者減少が「容量 2700(人/時)ケース」に比べて早く始まったと予想される。これより, バス利用者増加のためには, 容量の減少に伴い, 料金の値下げを行う必要があることが言えるだろう。また, 「容量 2700(人/時)ケース」同様に, 低所得者層の「LineI (低料金)」を占める割合が高く, 高所得者層の「LineII (高料金)」を占める割合が高い。これより, 容量の大小に関わらず施策の導入が, 低所得者層と高所得者層の需要を満たしたと考えられる。

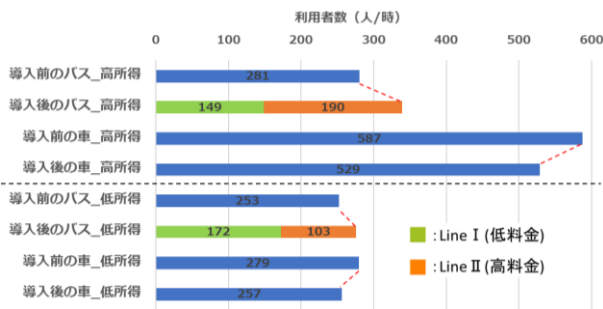


図-8 施策前後の利用者数【Line I (0円) LineII (400円)】

d) 施策導入による総利用者便益

図-12 は, 施策導入による「利用者便益」の合計である。「総利用者便益」は, 式(1e)で算出した。上述の「容量 2700(人/時)ケース」及び「容量 337.5(人/時)ケース」において, 「LineI(低料金)」の料金を変動させた際の「総利用者便益」を表している。このグラフから施策を導入することにより, 総利用者便益が増加していることが分かる。また, 料金が低いときに, 容量については, 容量が大きい時に総利用者便益が増加している。

e) 施策導入による総収益

図-13 は, 施策導入による「収益」の合計である。「総収益」は式(1f)で算出した。上述の「容量 2700(人/時)ケース」及び「容量 337.5(人/時)ケース」において, 「LineI(低料金)」の料金を変動させた際の「総収益」を表している。総収益については, 施策後の総収益から施策前の総収益を引いた値となる。このグラフより, 施策を導入することにより, 「総収益」が増加していることが分かる。また, 料金が低いときに, 容量については, 容量が大きい時に総収益が増加している。

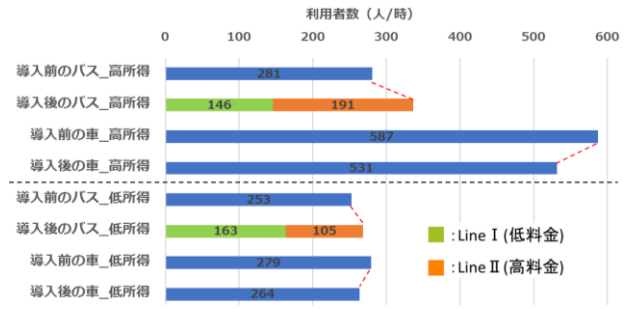


図-9 施策前後の利用者数【Line I (50円) LineII (400円)】

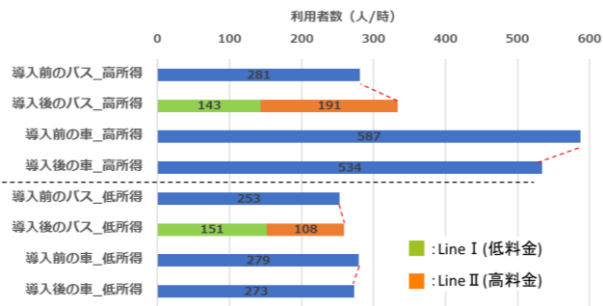


図-10 施策前後の利用者数【Line I (100円) LineII (400円)】

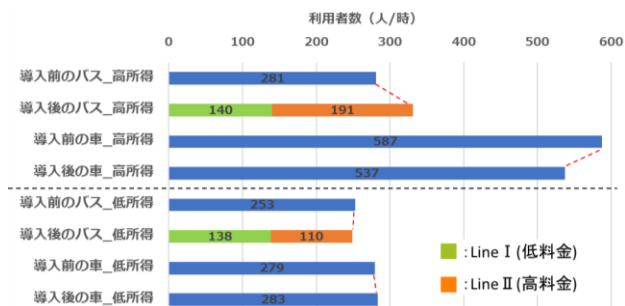


図-11 施策前後の利用者数【Line I (150円) LineII (400円)】

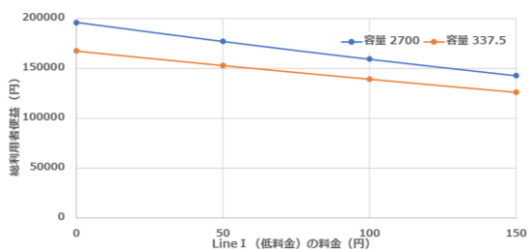


図-12 総利用者便益

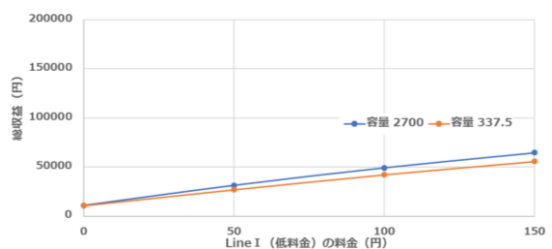


図-12 総収益 (施策導入後の収益-施策導入前の収益)

6. 分析のまとめと結論

本研究では、COVID-19 禍における所得別の混雑の影響を加味した上で、公共交通利用促進策の提案を行った。

初めに、広島県在住者を対象に SP 調査を行い、移動時間、料金、混雑率の 3 つの属性を用いて、交通手段選択モデルを推定した。その後、SUE を用い、料金、容量を変化させたシナリオ分析を行った。シナリオ分析の結果から均衡フロー、総利用者便益、総収益を算出した。

本研究において得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 高所得者層は低所得者層に比べて「混雑」の影響を受けやすい
- 2) 低所得者層は高所得者層に比べて「料金」の影響を受けやすい
- 3) バスラインを「低料金ライン」と「高料金ライン」に分けることで利用者数が増加する
- 4) 施策導入により「利用者便益」及び「収益」が増加
- 5) 容量減少に伴い料金を下げることが必要

本研究結果として、バスラインを高所得者向けの「料金の高いライン」と、低所得者向けの「料金の低いライン」に分けることで、利用者便益及び収益が増加し、COVID-19 禍における公共交通利用者を増加させる手段になりうることを示唆させた。また、容量が小さければ、料金も下げる必要があることが示唆された。

本施策を実ネットワークで適用する際には「料金は高いが、コロナ感染対策を万全に行ったサービス」が高所得者層にとってより満足度が上がるサービスとなり得ることが考えられる。感染対策の例として、ワクチン接種証明や PCR 陰性結果の提示等が挙げられる。近年では、公共交通においても QR 決済等のデジタル化が進んでおり、ワクチン接種証明等の提示は難しくはないであろう。一方で、「混雑はするが、料金は安いサービス」が低所得者層にとってより満足度が上がるサービスとなり得ることが考えられる。このように、公共交通のオプション

を増やすことが、利用者の満足度向上に繋がり、公共交通利用者増加に繋がると考えられる。また、混雑レベルによって料金の影響が異なってくるため、混雑している時間帯は料金を下げるといったことを行う必要がある。一方、施策導入により、「公平性の欠如」及び「感染リスクの増大」といった問題が発生し、「社会的余剰の増加」とこれらの課題とのトレードオフが重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省：新型コロナウイルス感染症による関係業界の影響について，2021.
- 2) 田中皓介：COVID-19 緊急事態宣言下における意識・行動の基礎的調査，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.77, No.2, pp.129-140, 2021.
- 3) 中村陸哉，神田佑亮：上場公共交通事業者の決算短信による COVID-19 が公共交通事業経営に与えた影響分析，JCOMM モビリティ・セミナー「アフター宣言解除：まちと暮らしのひらき方 Vol.2」，2021.
- 4) Yap, M., Cats, O., van Arem, B.: Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data, *Transp. A Transp. Sci.* 16, 23–42, 2020.
- 5) Fehr, A., Prud'homme, R., Koning, M., Lenormand, L.: Public transport congestion costs: The case of the Paris subwa, *Transport Policy*, Vol. 21, pp. 101-109, 2012.
- 6) Tian, Z., Yang, H., Lam, W.H.K.: Transit assignment under crowded conditions, *J. Adv. Transp.* 31, 19-38, 1997.
- 7) Moniruzzaman, M., Chikaraishi M.: Maximizing Environmental Sustainability or Equity in Welfare? Analysing Passenger Flows for a Mass Rapid Transit System with Heterogeneous Demand, 2021.
- 8) 赤松寛：交通ネットワークの均衡配分—最新の理論と解法—，pp.181-185，土木学会，1998.
- 9) 溝上章志，松井寛，可知隆：日交通量配分に用いる走行時間関数のパラメータ推定と影響分析，土木計画学研究・講演集，No.14(1)，pp.314-322，1989.
- 10) 広島県：平成 30 年住宅・土地統計調査，2018.

(Received ?)
(Accepted ?)

PROPOSAL AND QUANTITATIVE EVALUATION OF PUBLIC TRANSPORTATION PROMOTION MEASURES CONSIDERING INCOME GROUPS UNDER THE COVID-19

Daisuke AKAGI, Akimasa FUJIWARA, Makoto CHIKARAISHI
and Hiroshi SHIMAMOTO

The stable supply of public transportation services is difficult to maintain due to the decrease in public transportation use caused by COVID-19. The cognitive risk due to in-car congestion is added to the cost of congestion. It is necessary to propose measures to reduce user costs. In this study, a transportation mode choice model was estimated under the COVID-19 and under normal conditions, and simulations were performed with varying capacity and fare. The results showed that the congestion cost was much higher for the higher-income group. The simulation results also indicated that the introduction of "high fare but low congestion service" and "high congestion but cheap service" would be effective.