

# 地方都市における地域鉄道利用最適化に関する研究

【2025年度 KR-112】

埼玉工業大学 人間社会学部 情報社会学科 教授  
**村山 要司**

## 1. 調査研究の背景

わが国の地方都市における地域鉄道は、人口減少とモータリゼーションの進行という二重の課題に直面しており、長期的な利用者減少により、現在では地域鉄道の約8割が赤字経営にあるとされている<sup>1)</sup>。輸送人員の減少は事業者の収益を圧迫し、運行本数の削減がさらなる利用者の自家用車移行を招くという負の循環を形成している<sup>2)</sup>。このような状況下で、持続可能な交通体系を構築するためには、鉄道利用の変化を客観的に捉える分析手法の確立が急務となっている。

近年、リモートワークの普及や時差出勤の導入といったライフスタイルの多様化により、従来のピーク時間帯を前提とした需要構造は大きく変化している。また、郊外地域からの鉄道利用を促進する手段として、自家用車と鉄道を組み合わせるパーク＆ライド（P&R）施策の導入が各地で進められている。しかし、これらの社会的要因や政策介入が鉄道利用動態に与える影響を定量的に評価する手法は十分に整備されているとは言い難い。本研究では、こうした課題を都心接続性と郊外拠点の特性を併せ持つJR高崎線の深谷駅・籠原駅を対象に分析を行う。

これまでの交通需要予測に関する研究では、統計的予測手法や利用者の行動パターンを確率過程として捉える動態モデルが有効とされ、特にマルコフ連鎖モデルは、交通流動を状態遷移として捉える枠組みとして利用されてきた<sup>3) 4) 5) 6) 7) 8)</sup>。しかし、従来のモデルでは、観測データのみから状態遷移を推定するため、データ不足や未観測要因の影響を十分に反映できない場合がある。本研究では、従来の数理モデルに生成AIを補助的に組み合わせることで、データの論理的補完と将来シナリオの設定を可能とする枠組みを構築する。なお、生成AIの出力に対しては、

AI特有の不確実性の影響を適切に評価し、客観的な分析基盤としての信頼性の確保を図っている。

## 2. 調査研究の概要

### (1) 鉄道利用動態予測モデルの枠組み

本研究では、マルコフ連鎖モデルを拡張した隠れマルコフモデル（HMM）を用い、生成AIを融合させることで、利用者の移動目的を潜在的な状態として捉えた動的モデルを構築する。本研究の分析枠組みを図1に示した。

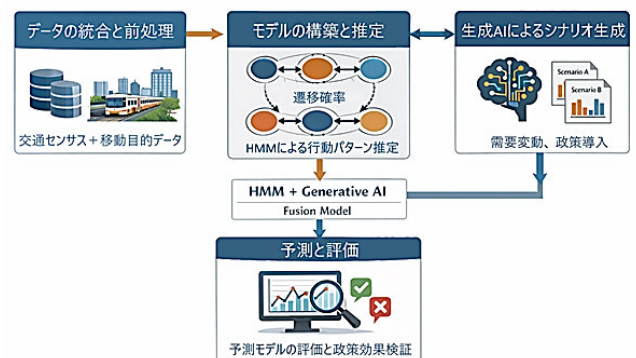


図1 本研究の分析フレームワーク

### (2) 分析対象とデータ構成

本研究では、埼玉県北部と東京都心部を結ぶJR高崎線沿線の深谷駅および籠原駅を主要な分析対象とした。これらの駅は首都圏への長距離通勤需要を担う一方で、地方都市特有の自家用車依存度が高い郊外型交通行動の特性も併せ持っている。分析には、国土交通省の第13回大都市交通センサスから抽出した一件明細データ（1次ODデータ）<sup>9)</sup>を基軸として使用した。このデータは一件ごとの乗降駅や利用時間帯を詳細に記録しているが、定期券利用者の動態が含まれないため、定期券発売実績データ<sup>10)</sup>や

時間帯別初乗り時刻分布<sup>11)</sup>、さらには JR 東日本の移動目的調査データ<sup>12)</sup>を統合することで、通勤・通学および生活移動の実態を反映した包括的なデータセットを構築した。

また、鉄道利用の時間帯特性、空間構造を踏まえ、利用時刻を表 1 に示す 5 つの時間帯に分類し、目的地を表 2 に示す 7 つのエリア（状態）に集約した。

表 1 時間帯区分

区分	時間帯	想定される動態と役割
Early_Morning	4:00-5:59	移動数は少ないが通勤利用が中心
Morning_Peak	6:00-7:59	都心への長距離通勤・通学のコア時間帯
Shoulder	8:00-9:59	時差通勤施策の受け皿となる時間帯
Off_Peak	10:00-16:59	買い物・私用など多様な生活移動が中心
Other	その他	上記以外の時間帯

表 2 分析に用いる状態空間（目的地エリア）

状態コード	エリア名	概要
SF_Fukaya	深谷	本研究の分析対象地域の中心駅であり、地域内移動の基点となる。
SK_Kagohara	籠原	高崎線の重要駅であり、始発列車も多く都心通勤の拠点となる。
SKu_Kumagaya	熊谷	埼玉県北部の主要都市であり、新幹線接続を持つ広域交通拠点。
SO_Omiya	大宮	首都圏北部の最大ターミナルであり、東京方面への乗換拠点。
SS_SaitamaHubs	県内拠点	浦和・さいたま新都心・赤羽など埼玉県内の主要都市拠点。
ST_TokyoArea	東京エリア	上野・東京・新宿・池袋など首都圏中心部の主要ターミナル。
SE_Others	その他	上記に分類されない駅および遠距離移動先。

### (3) 隠れマルコフモデル (HMM) と生成 AI の融合枠組み

利用者の行動を「移動目的（通勤・通学・その他）」という直接観測できない潜在状態と、「目的地」という観測事象からなる HMM として定式化した。目的地分布  $P$ 、移動目的の構成比  $\pi$ 、目的別の目的地到達確率  $Q$  の関係を  $P = \pi Q$  という行列演算で表現し、観測データから未知の行動パターン  $Q$  を推定する逆問題としてモデルを構築した。ここで、デー

タの不足や論理的整合性を補完するため、生成 AI (LLM) を活用して土地利用特性に基づく事前知識 (Prior) を導入した。AI は「通勤目的であればオフィス街への到達確率が高まる」といったドメイン知識に基づき、事前分布行列  $W$  を生成する。最終的な到達確率  $Q$  の推定には、観測データへの適合度と事前知識への準拠度を同時に最適化する正則化付き最小二乗法を採用した。具体的には、次の目的関数を最小化することで  $Q$  を推定する。

$$\min_Q \|P - \pi Q\|^2 + \lambda \|Q - W\|^2 \quad (1)$$

この式において、第 1 項は観測データへの適合度（誤差）を、第 2 項は生成 AI による事前知識への準拠度（Prior との乖離）を表す。なお、 $\lambda$  は、次節で説明する正則化係数である。

### (4) モデルの最適化と妥当性の検証

正則化係数  $\lambda$  はモデルが観測データと事前知識 (Prior) のどちらをどの程度重視するかを制御するハイパーパラメータであり、モデルの精度を左右する。そこで、 $\lambda = 0$  から 10 までの広範な感度分析を実施した。分析の結果、 $\lambda = 0.03$  の地点において、データへの過適合を抑制しつつ、都市構造に基づいた解釈可能な行動パターンを最も安定して抽出できることが確認されたため、これを最適値として決定した。また、設定した事前知識の重みが推定結果に与える影響を検証するため、事前知識に対して  $\pm 10\%$  のランダムな摂動を加えた頑健性テストを実施した。50 回の独立試行における相対誤差は極めて狭い範囲に収束しており、本モデルが特定の主観的設定に依存せず、一定の安定性を有することが確認された。

### (5) 将来シナリオの設計

生成 AI を用いて、将来の社会変化や政策導入を想定した 5 つのシナリオを設定した。具体的なシナリオの内容を表 3 に示す。これらのシナリオは、単なる利用者数の増減ではなく、モデル内のパラメータ ( $\pi$ ,  $Q$ ) の変化として記述することで、利用者の行動変容を直接的に表現している。なお、これらの変化率は、厳密な将来予測ではなく、社会変化や政策導入が鉄道利用構造に与える影響を比較検証するための仮想的な値である。

表3 将来シミュレーション・シナリオの定義

シナリオ	概要
A：人口減少	少子化による通学需要の減退
B：リモートワーク	働き方の変化による通勤需要の減少
C：P & R	政策による鉄道利用促進
D：複合シナリオ	人口減少とP & R 施策の組み合わせ
E：時差出勤	ピークシフトによる平滑化

### 3. 考察

#### (1) 社会変化シナリオにおける行動変容の分析

構築したモデルを用い、人口減少、リモートワーク、P&R、時差出勤といった社会変化を想定した5つの将来シナリオ分析を行った。図2、図3のように、少子化による通学需要の30%減少を想定したシナリオAでは、地域内の主要拠点である熊谷への到達確率が著しく低下した一方で、東京エリアへの確率が相対的に上昇する「見かけ上の強化」が確認された。これは流動の母数が縮小する中で、駅が持つ広域拠点としての性格が逆説的に強調される構造を示している。また、リモートワークの進展を想定したシナリオBでは、都心流入が大幅に減衰する一方、地域内拠点への依存度が高まる可能性が示されており、鉄道の役割が広域輸送から地域内ネットワークの維持へとシフトしていくことが想定される。

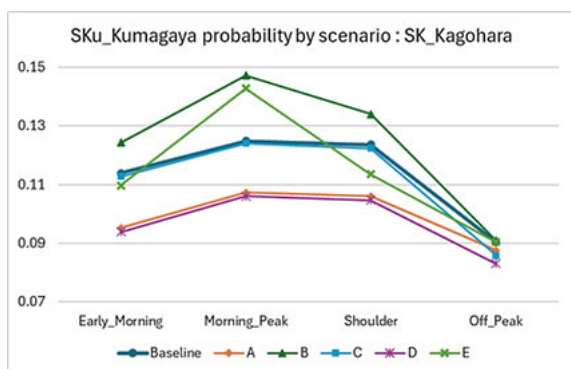


図2 熊谷への到達確率比較（籠原駅起点）

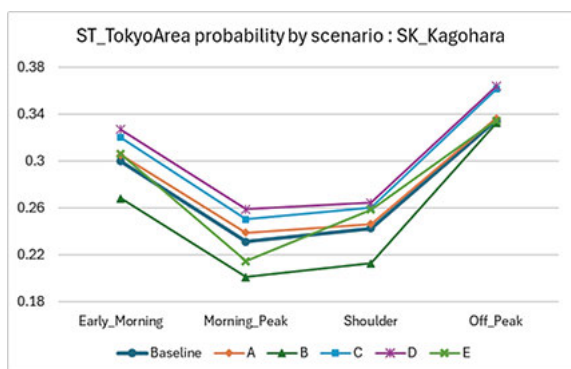


図3 東京エリアへの到達確率比較（籠原駅起点）

#### (2) 政策介入による需要相殺と時間軸の平滑化

政策的な介入については、P&R 施策を導入したシナリオCにおいて、東京エリアや県内拠点への到達確率が明確に向上し、潜在的な広域移動需要を顕在化させる効果が示された。特に、人口減少とP&Rを組み合わせた複合シナリオDにおいては、通学需要の減少という負の影響を、アクセシビリティ向上による広域流動の維持によって一定程度相殺できる可能性が確認された。これは、地方都市の駅が単なる乗降場所ではなく、広域ネットワークへの戦略的なゲートウェイとして機能し続けるための有効な方策を示唆している。さらに、時差出勤を想定したシナリオEでは、朝ピーク時の負荷が前後時間帯へ適切に分散され、時間軸上での流動の平滑化が確認された。オフピーク時間帯における駅の多機能化を促進する有効な手段となり得ることが期待できる。

### 4. まとめ

本研究では、鉄道利用を状態遷移として捉える数理モデルを構築し、移動目的を潜在状態とするHMMに、生成AIを補助的に組み合わせることで、社会変化や政策介入が鉄道利用構造に与える影響を分析した。また、生成AIの出力に伴う不確実性については、感度分析および頑健性検証を通じてその影響を評価し、分析結果の信頼性を確保した。

事例分析の結果、人口減少や働き方の変化、パーク&ライド施策の導入といった要因は、単なる需要量の増減ではなく、利用目的の構成や時間帯別分布といった利用構造の変化として現れることが確認された。特に、人口減少は駅の機能を相対的に広域志向へと変化させる一方で、アクセス改善施策はその変化を補完し、リモートワークや時差出勤は地域内移動の重要性を高めることが明らかになった。こうした変化に応じて、駅の役割の戦略的再編が求められる。今後は、本モデルを異なる地域や路線へ展開して汎用性を検証するとともに、環境負荷低減や地域経済への波及効果といった多面的な評価指標を組み込むことで、より包括的な交通政策の検討に資するツールへと発展させていくことが期待される。□

## 謝辞

本研究は一般社団法人研友社から「鉄道技術等に関する調査研究の助成事業」である「2025年度調査研究課題」として助成を受けたものである。ここに深く謝意を表する。

## 参考文献・引用文献

- 1) 国土交通省：地域公共交通の現状, URL : <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001898150.pdf>, 参照日：2026年3月17日
- 2) 国土交通省：補足説明資料, URL : [https://www.gender.go.jp/kaigi/senmon/kansi\\_senmon/28/pdf/shiryo\\_09.pdf](https://www.gender.go.jp/kaigi/senmon/kansi_senmon/28/pdf/shiryo_09.pdf), 参照日：2026年3月17日
- 3) 佐佐木綱：吸収マルコフ過程による交通量配分理論, 土木学会論文集, Vol.121, pp.28 – 32, 1965
- 4) 米谷栄二, 佐佐木綱, 西藤立雄：マルコフ連鎖によるOD交通量の推定, 土木学会論文集, Vol.129, pp.15 – 22, 1966
- 5) T. Spaninger, B. Büchel, F. Corman : Train Delay Predictions Using Markov Chains Based on Process Time Deviations and Elastic State Boundaries, Mathematics 2023, MDPI, Vol.11(4), pp.1 – 23, 2023
- 6) Xiang Li : Study on the Application of Markov Chains in Transportation, Theoretical and Natural Science, Vol. 100(1), pp.172 – 179, 2025
- 7) S. Wang, X. Zhang, F. Li, Philip S. Yu, Z. Huang : Efficient traffic estimation with multi-sourced data by parallel coupled hidden Markov model, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.20, Issue 8 Journal Article, 2019
- 8) Hassan S.M., Sheng-YU C., Schmöcker J.-D., Kurauchi F., Fukuda. D : Passengers' Hyperpath Choice Behavior Observation on Transit Network Using Smartcard Data, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 2011
- 9) 政府統計の総合窓口 (e-Stat) : 都市交通センサ第13回大都市交通センサ一件明細調査1次OD表, URL : <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00600020&tstat=000001103355&cycle=0&tclass1=000001203341&tclass2=000001203350&tclass3=000001203820&tclass4val=0>, 参照日：2026年3月17日
- 10) 政府統計の総合窓口 (e-Stat) : 大都市交通センサ第13回大都市交通センサ定期券調査, URL : <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00600020&tstat=000001103355&cycle=0&tclass1=000001203341&tclass2=000001203351&tclass3val=0>, 参照日：2026年3月17日
- 11) 政府統計の総合窓口 (e-Stat) : 平成29年度大都市交通センサ分析調査報告書, p.46, URL : <https://www.mlit.go.jp/common/001259111.pdf>, 参照日：2026年3月17日
- 12) 前川幸子, 高梨宏一, 江上節子 : 駅を中心とする移動と消費に関する調査研究, JR EAST Technical Review, No.4, pp.46-53, 2003