

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

| | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------|-------|----------------------|--------|----|--|
| ①研究代表者 | | 氏名 (ふりがな) | | 所属 | | 役職 | |
| | | はと 藤 英 二 | | 東京大学 | | 教授 | |
| ②研究 テーマ | 名称 | マルチスケールな拠点空間計画のための新たな行動モデル研究 | | | | | |
| | 政策 テーマ | [主テーマ] | | 分科会/ 公募タイプ | IV | | |
| | | [副テーマ] | | | | | |
| ③研究経費 (単位:万円) ※端数切り捨て。 | | 令和2年度 | 令和3年度 | 令和4年度 | 総合計 | | |
| | | 5,000 | 4,800 | 4,800 | 14,600 | | |
| ④研究者氏名 | | | | | | | |
| 氏名 | | | | 所属・役職 (※令和5年3月31日現在) | | | |
| 原田 昇 | | | | 中央大学・教授 | | | |
| 原 祐輔 | | | | 東北大学・准教授 | | | |
| 浦田 淳司 | | | | 東京大学・講師 | | | |
| 大山 雄己 | | | | 芝浦工業大学・准教授 | | | |
| 瀬谷 創 | | | | 神戸大学・准教授 | | | |
| 児玉 千絵 | | | | 國學院大學・講師 | | | |
| 小林 里瑛 | | | | 東京大学・助教 | | | |
| 三谷 卓摩 | | | | 愛媛大学・特定講師 | | | |
| 山根 啓典 | | | | 復建調査設計 (株) 部長 | | | |
| 金沢 洋和 | | | | 復建調査設計 (株) 課長 | | | |
| 平井 健二 | | | | 復建調査設計 (株) 課長 | | | |
| 山下 大輔 | | | | 復建調査設計 (株) 課長補佐 | | | |
| 福嶋 浩人 | | | | 復建調査設計 (株) 班長 | | | |
| 福永 晃彦 | | | | 復建調査設計 (株) 班長 | | | |
| 野田 風美 | | | | 復建調査設計 (株) 班長 | | | |
| 中野 友弘 | | | | 復建調査設計 (株) 技師 | | | |
| ⑤研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。) | | | | | | | |
| <p>交通拠点の効果的な設置のために、交通拠点近傍の空間計画と交通拠点設計の立案が求められている。交通拠点近傍の空間計画と交通拠点設計の立案のためには、交通拠点施設内・交通拠点近傍から広域的なスケールまでのマルチスケールな交通需要予測手法が求められる。</p> <p>本研究は、バスタなどを含む地域交通拠点の配置とネットワーク化に向けて、1) 建物内, 2) 1 km四方, 3) 都市圏流動, 4) 全国レベルという4つのスケールにおいて、データを用いた交通需要予測手法を開発することを目的として実施した。</p> | | | | | | | |

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等（外注を実施している場合は、その役割等も含めて）について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

【研究目的の達成状況】

本研究では、交通拠点整備に関する需要予測モデル構築のため、従来の位置情報などの移動に関するデータだけでなく、Twitterのようなテキストビッグデータや土地売買のデータを用いてリアルタイムかつ整備後の開発の効果を示すことが出来るモデルを目指した。

R2年度：基礎データの収集（動向分析・交通行動データの収集・モデル検討）

R3年度：システム開発（データ解析手法の検討・複数センサーによるセンシング検討）

R4年度：システム開発・ガイドライン作成（各モデルの改良や高度化・ベンチマークテスト）

以下、具体的なスケールごとの達成状況を示す。

「**全国レベル（マクロスケール）**」：都市間移動の交通需要予測をソーシャルメディアの1つであるTwitterを通じて収集したテキストビッグデータを用いて実施した。バスタ新宿で撮影したAIカメラによって得られた高速バス乗客数を複数回の因子分析によりトピック化したツイート内容から予測するモデル（VARモデル）を作成した。R3年度までは、性的なモデルとしてその日のデータをその日に予測するという将来予測できないモデルとなっていたが、R4年度に動的モデルとすることで過去の情報を用いて将来を予測するモデルを実現し、予測モデルの精度を大きく向上させることが出来た。

「**都市圏レベル（メソスケール）**」：都市圏内移動の交通需要予測をMFD-RLというリンクを束ねてセル単位に縮約するモデルを用いて実施した。このモデルによって、マイクロシミュレーションによるモデルと比べて計算負荷を大幅に軽減したモデルを実現し、計算速度の高速化に成功した。

「**1km四方・建物内レベル（ミクロスケール）**」：バスタ周辺の車両の流動、バスタ降車後のバスタ建物内の歩行者の流動の交通需要予測をマイクロシミュレーションモデルによって実施した。予測は、サロゲートモデルによる計算負荷を軽減したモデルで実施した。これにより、バスタ周辺の車列と歩行者のシミュレーションを同時に行うことができ、将来の開発における動線運用や施設配置の整備効果を把握するモデルを実現した。

「**交通-土地利用レベル（交通-土地利用スケール）**」：バスタ降車後の歩行者の回遊行動と交通結節点整備や施設整備といった開発による影響をバスタ整備によるストック効果として考え予測した。このモデルを作成したことで、バスタ整備によるマクロ～ミクロまでの人流の変化だけでなく、周辺の地価変動も推計することが出来た。

「**交通行動データのデータ基盤構築**」：バスタ利用者を想定した人流データの計測を行うためプローブパーソン調査や駅改札及び駅前広場へカメラ及びBluetooth調査機器を設置し、マクロ～ミクロまでといったモデルに利用する交通行動データのデータ基盤構築を行った。

・各研究者の役割・責任分担：当初計画の下図を基本とし、定例会や勉強会を実施しながら意見交換を行い取り組んだ。

・外注の役割：人流調査のモニター募集・調査の実施を行い、モデル構築に必要なデータ基盤作成等の補助を外注した。

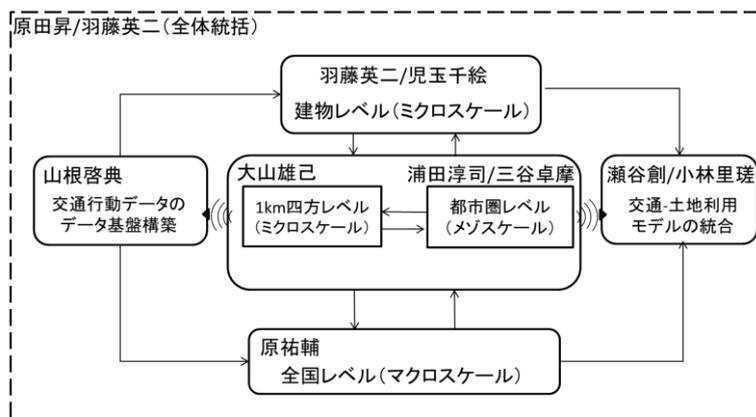


図 研究体制

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間・FS評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

中間評価においては、以下の意見を受けた。

【意見】 マルチスケールの統合的に扱うことの意味について明確化すること。

⇒ (対応) マルチスケールの統合により、各スケールのモデルを一体的に分析することで、従来のバス整備計画で実施していたような各スケールで意思決定を段階的に行う手法ではなく、膨大な組み合わせ計算を行うことが出来る。また、モデルの計算高速化を行うことで、今まででは出来なかった計算速度での実装に成功。

【意見】 全国展開のためのガイドライン作成にあたっては、全国の実務者が利用可能なわかりやすいガイドラインとなることを期待する。

⇒ (対応) ガイドラインでは将来の社会実装に向けて、本モデルで評価可能な施策内容やマルチスケールの考え方を整理した。
また、整理した結果を国・市のバス事業関係者にヒアリングを行い、意見交換を行うことで、実践者側の意見を取り込むことに成功した。

【意見】 交通-土地利用モデルの全体の中での位置づけや活用イメージが不明確であり、モデルの構築及び組み込みにあたって明確化が必要。

⇒ (対応) 交通-土地利用モデルのマルチスケールモデルの中での位置づけは、マクロ～ミクロまで順に推計した需要量を用いて、バスの開発における地価の変動と回遊の効果を計測するものである。

⑧研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

本研究課題では、バスタ整備時におけるマルチスケールな影響を把握することが出来る行動モデルの作成を目指し、**「全国レベル(マクロスケール)」「都市圏レベル(メゾスケール)」「1km四方・建物内レベル(ミクロスケール)」「交通-土地利用レベル(交通-土地利用スケール)」**といったように移動のスケールを細分化する形でモデル作成に取り組んだ。また、**「交通行動データのデータ基盤構築」**として、各スケールのモデル構築を進めやすいようなデータの整理を行った。結果として、当初想定していた各スケールにおいて精度を担保する形でモデル作成を行うことが出来た。

「全国レベル(マクロスケール)」では、都市間移動の交通需要予測をソーシャルメディアの1つであるTwitterを通じて収集したテキストビッグデータを用いて実施した。具体的には、バスタ新宿に設置してあるAIカメラデータによる高速バス乗客数を真値として考え、地名を含んだつぶやきデータをもとに機械学習モデルを作成した。学習モデルに利用するつぶやきデータは形態素解析を通じて頻出単語を把握することでデータクリーニングを行った。また、モデルの改良のためR3年度までは主成分分析によるデータ抽出を行っていたが、R4年度はトピックモデルを用いることでモデルの精度を向上させた。

「都市圏レベル(メゾスケール)」では、都市圏内移動の交通需要予測をMFD-RLというセル単位にすることで計算負荷を軽減したアクティビティモデルを用いて実施した。具体的には、バスタ整備を想定した地域のプローブパーソン調査データをもとにセル単位の流動量を把握した。

「1km四方・建物内レベル(ミクロスケール)」では、バスタ周辺の車両の流動、バスタ降車後のバスタ建物内の歩行者の流動の両方を予測した。予測は、サロゲートモデルによる計算負荷を軽減したモデルで実施した。モデルへ適用するデータとしては、既存の交通結節点周辺において実施したプローブパーソン調査の結果やBluetoothデータより得られた人流データを用いた。このモデルによって、バスタ周辺の車列と歩行者のシミュレーションを同時に行うことができ、将来のバスタ開発における導線運用の変化や施設配置の整備効果を検証することが出来るモデルを構築することに成功した。

「交通-土地利用レベル(交通-土地利用スケール)」では、バスタ降車後の歩行者の回遊行動と交通結節点整備や施設整備といった開発による影響をバスタ整備によるストック効果として考え予測した。モデル作成にあたり、開発による影響を考慮するため、土地取引データ(土地売買情報)や流動データとしてプローブパーソン調査データを用いた。このモデルを作成したことで、バスタ整備によるマクロ～ミクロまでの人流の変化だけでなく、周辺の地価変動も推計することが出来た。

「交通行動データのデータ基盤構築」：バスタ利用者を想定した人流データの計測を行うため、プローブパーソン調査を実施するとともに、駅改札及び駅前広場へカメラ及び

Bluetooth調査機器を設置し、マクロ～ミクロまでといったモデルに利用する交通行動データのデータ基盤構築を行った。取得したデータは単一の調査結果として取り扱うのではなく、複数のセンサー（マルチセンサー）を組み合わせることでデータの補正を行うことで、データ補間を行った。

⑨研究成果の発表状況

（本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書（教科書、学会抄録、講演要旨は除く）、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。）

論文・学会発表等：

- 小川 大智, 羽藤 英二：離散コサイン変換に基づく交通流理論の量子化表現，第66回土木計画学研究発表会(秋大会)，2022.
- 小林 里瑛, 羽藤 英二：Gale-Shapleyアルゴリズムによる微視的土地取引メカニズムのモデル化と実証，第66回土木計画学研究発表会(秋大会)，2022.
- Oyama, Y. A prism-constrained recursive logit model to analyze positive utilities in pedestrian route choice behavior. The 16th International Conference on Travel Behaviour research (IATBR), Santiago, Chile, 2022.
- 原祐輔, 羽藤英二：“ソーシャルメディアとAIカメラを用いた都市間交通需要の把握。”第64回土木計画学研究発表会，2021.
- 小川瑞貴, 羽藤英二, 石井健太：“起終点交通量を潜在変数とする多様体学習とネットワークデザインのための代理モデルの構築。”都市計画論文集 Vol. 56. 3 pp. 1351-1358. 2021.
- 小林里瑛, 羽藤英二：“都市整備に伴う回遊選択の変化に応答的な土地の両面市場モデル。”都市計画論文集 Vol. 56. 3, 524-531. 2021.
- 月田光, 羽藤英二：駅まち回遊における正規化 RL モデルの空間移転性，交通工学論文集, Vol18 (2) , pp194-202, 2022.
- 小林里瑛, 羽藤英二：再帰的意思決定を考慮した動学的土地所有形態選択モデル，都市計画論文集, Vol. 55, No. 3, pp. 674-681, 2020.
- SHEN, B. and Hato, E., Model pedestrian route choice in 3D space using discounted recursive logit model in time-structured network, 第41回交通工学研究発表会, CDROM, 2021.
- Ogawa, M. & Hato, E., Manifold Learning with OD matrix as latent variables for pedestrian network design with surrogate model, TRB Annual meeting, 2022.
- Kobayashi, R. and Hato, E., Microscopic Interaction model between Land Ownership-Pedestrian Trip Chains with Integrated Structure Estimation Algorithm, 16th IATBR, 2022.
- Masuda, S., Iizuka, T. and Hato, E., A dynamic activity scheduling model for

correcting fatalities’ non-response bias in tsunami evacuation, 16th IATBR” presented and proposed a new estimation method that complements the missing behavioral data of those who died in the tsunami.

- Masuhashi, K. and Hato, E., Causal inference of pedestrian behavior with-without Covid-19 in high density Shibuya urban spaces, 16th IATBR, 2022.
- Kobayashi, R. and Hato, E., Dynamic Landholding Pattern Choice Model with Recursive Structure, 26th HKSTS, 2022. presented in Hong Kong.
- Muhammad ZEESHAN, Junji URATA and Eiji HATO, Bus Lane Network Design Considering Travel Time Reliability in Multi-modal Transport Networks, 26th HKSTS, 2022.
- Mayuzumi, F., Hayakawa, K. and Hato, E., A Dynamic Scheduling Algorithm based on Marginal Contribution in Mixed Passenger-and-Freight Delivery Networks, IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2022.
- Murahashi, T. and Hato, E., Sequential optimization for spatiotemporal edge auctions based on complete enumeration using ZDD, IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2022.
- Masuda, S. & Hato, E., Macroscopic network design for dynamic evacuation scheduling with MFD-based assignment using the recursive logit model, TRISTAN XI.

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

本研究の成果のまとめを以下の公開オンラインイベントで公表した。

日時：令和5年3月1日 9:00～17:00

タイトル：モビリティハブが地域社会を変える (2023.3.1@呉森沢ホテル)

案内URL：<https://www.ykandalab.net/research-themes/seminar/>

このイベントは、藤原章正氏(広島大学)、高山雄貴氏(金沢大学)と共同で、本研究課題であるバスタの計画がある広島県呉市で開催した。

また上記メンバーに井上圭介氏(国土交通省道路局企画課評価室長)、神田佑亮氏(呉高専)、小林里瑛氏(東京大学)を加えパネルディスカッションを行い、バスタに関する活発な議論を行うことが出来た。参加者数はオンライン約80名・会場約50名の参加となり、国交省職員に加え、地元自治体や民間コンサルタント、学生といったように幅広いステークホルダーに参加いただいた。

オンラインイベントにおける本研究グループの発表内容

R., Kobayashi., Interaction mechanism between pedestrians and land transactions with stock effect.

S., Masuda. and **E., Hato.**, Proactive dynamics control of vertical and horizontal evacuation during disasters utilizing mobility hubs.

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

マルチセンサー・機械学習・組み合わせ最適化が今後の交通拠点の需要予測では重要

言語データから高速バスの需要予測を実現することに成功した。BluetoothとAIカメラを組み合わせた分析による相互のデータ補正を可能にした。

今後の需要予測では、非RNN（非時系列）分析は意味をもたない可能性が高く、最大流率で評価するためにも静的関数/学習から脱却することが必要となる。

MPDとマイクロシミュレーションの最適組み合わせが拠点開発協議に有効

ハブ拠点の水平/垂直避難の効果検証を本研究で実施しており、今後の拠点開発協議に有効であると思われる。

回遊エリアマネジメントによるストック効果は土地取引レベルで評価実施が期待できる

土地取引を非集計で予測することを実現したことは、新規性の高い取り組みであり、回遊エリアマネジメントによるストック効果の評価実施が期待できる。

需要予測手法は脱4段階推計法へと発展

物理モデル+機械学習という形態が主流となる。また、データ計測もマルチセンサーを配置し、センサー間で補正することで1つのデータでは満足に計測できない場合も補間しあうことが出来る。

非定常時の解析技術の開発が重要

最大交通量に対する挙動/感度の解析（脱平均交通量）を行うことで、災害などの突発的な需要変動への対応を行うことが出来る。

⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究は、以下の3つの視点で道路政策の質の向上へ貢献できたといえる。

マルチセンサーを用いた人流データの取得と深層学習モデルを用いたデータの補正

バス停整備の際の交通需要予測を行うためには、実際の交通拠点における各スケールの移動に合わせた人流データを取得する必要があるが、一般に広く提供されている人流データでは、駅周辺のミクロな空間の移動実態を把握することは困難であった。そこで、新たにBluetoothとカメラといったマルチセンサーを組み合わせることで人流データを取得した。片方のデータのみでは、データの取得が満足でなかった点もマルチセンサーを使って取得したデータを深層学習モデルにより補正することで、駅周辺のミクロな空間の人流を断面及び経路単位で把握することが出来た。

マルチスケールで分析することによる施策の組み合わせ最適化の評価

従来のバス停整備計画では、バス停の整備箇所や施策について、1つずつ評価した結果を次の与条件とし、積み上げる形で評価するものであった。この手法では、すべての整備箇所や施策の組み合わせを評価することは難しく、評価の中で最適案を取りこぼしてしまう恐れがあった。そこで、マルチスケールで都市間～駅周辺といったマクロ～ミクロまでの移動を一体的に評価することによって、バス停整備の多岐にわたる施策の組み合わせを計算し、バス停整備計画の最適化の評価を行うことが出来た。

整備計画を評価できるガイドラインの作成

組み合わせ最適化の評価については、バス停整備を検討する担当者が本研究成果を活用しやすいように各スケールのモデルで収集が必要なデータ及びモデルの概要、評価できる施策を整理し、ガイドラインとしてとりまとめた。



図 バス停整備計画評価のガイドライン(表紙・目次)

⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

(1) 研究目的の達成度と研究成果

マルチスケールにおける各スケールのモデル構築を担当した研究者によって、当初目的どおりに遂行することが出来た。これにより、本研究開発に関連する成果を18編報告した。以上より、学術的にも一定水準以上の研究成果を挙げることが出来たと自己評価している。

(2) 今後の展望と道路政策への寄与

一連の研究開発によって、各スケールを対象としたモデルの高度化や作成したモデルを活用した交通拠点整備に関するガイドラインを作成した。

作成したガイドラインは今後整備を予定しているバスターミナルの整備計画の立案などに寄与することが出来る。

(3) 研究の投資価値

学術的には、信頼度の高い各スケールの交通需要予測モデルの構築、さらにはそれらの成果の学術論文としての刊行など、十分な投資価値があったと考えられる。

本研究で作成した交通需要予測モデルやガイドラインは今後のバスタ整備計画へ適用できる非常に汎用的なものであり、今後の実務展開へ期待が出来るものとなったと自己評価している。