

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14260

研究課題名（和文）人間参加型人の流れシミュレーションの構築

研究課題名（英文）Development of Human-in-the-Loop Human Mobility Simulation

研究代表者

Pang Yanbo (Pang, Yanbo)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任助教

研究者番号：60870178

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、シミュレーションモデルと人間の知能を組み合わせ、シミュレーションの再現性と信頼性を向上させました。主な成果は以下の2点です。

1. 全国擬似人流データの作成と提供：エージェントベースモデリングを用いて、全国の典型的な平日の1日の人流を再現するデータセットを作成し提供しました。2. 生成系AIモデル「MobilityGPT」の開発：大規模な移動データを基にした生成系AIモデルを開発し、都市計画や交通管理に貢献しました。これらの成果はデジタルツインやスマートシティの計画に役立ちます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：本研究は、シミュレーションモデルと人間の知能を融合させた新手法により、エージェントベースモデリングと生成系AIモデルの精度向上を実現した。特に、生成系AIモデル「MobilityGPT」は大規模な移動データに基づき、複雑な人間の行動パターンの再現を可能にし、都市情報学や交通工学に新たな知見を提供した。社会的意義：全国擬似人流データの提供により、詳細な移動パターンの情報が得られ、政策の感度分析や商業施設の配置計画、大規模災害時の避難シミュレーションなどの研究や施策に活用可能となった。デジタルツインやスマートシティにも寄与し、社会全体の持続可能性向上に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we combined simulation models and human intelligence to improve the reproducibility and reliability of simulations. The main achievements are as follows: 1. Creation and provision of nationwide pseudo-people mobility data: Using agent-based modeling and multi-source open data, we created and provided a dataset that replicates a typical weekday people flow across Japan. 2. Development of the generative AI model "MobilityGPT": We developed a generative AI model based on large-scale mobility data, contributing to urban planning and traffic management. These achievements aid in the design of efficient transportation networks and quick evacuation planning during disasters.

研究分野：都市情報学

キーワード：人の流れ エージェントシミュレーション データ基盤 人間参加型機械学習 生成系AI 擬似人流

1. 研究開始当初の背景

近年、複雑化する都市空間の中で、大規模な人流を知りたいというニーズが高まっている。一方、スマートフォンの急速な普及により、GPS や基地局ログの膨大な携帯電話データが収集されている。しかし、民間ベースの携帯電話データについては、集計ベースであっても依然高価であることに加え、個々の人の移動を表現する非集計データに至っては、プライバシーの観点から携帯通信会社以外の主体が使用することが基本的には不可能である。

この背景を受け、応募者は擬似人流データの研究を推進してきた。擬似人流データは、オープンな統計データを基に、日本全国の人々の1日の典型的な行動を再現するもので、研究目的であれば無償での利用が可能となっている。しかしながら、オープンデータに基づくこの擬似人流データは、典型的な人間行動の統計的特性は再現できているものの、個人レベルの予測や非日常的な行動の再現には限界がある。

2. 研究の目的

本研究は以下の2つの目的を有している。

目的 1: 人間の参加によるシミュレーションで再現された人流の特徴や現象を網羅的に考察し、都市レベルの大規模な人流の再現性と信頼性を高精度に評価するための検証プロセスを構築する。大規模な人流を評価する際、集計レベルの指標(メッシュ人口やリンク交通量)を利用することは主流であるが、これでは複雑な人の行動の再現性と信頼性を十分に評価できません。一方、コンピュータが理解しにくい人の行動であっても、人間ならばいくつかの特徴や現象を確認することで、人の動きの正しさを判断できる場合がある。そこで、本研究では、既存の評価基準に人間の判断を加え、マクロレベルの指標だけでなく、個人レベルの再現性と合理性を評価基準に融合する。これにより、非集計データを入手できなくても、シミュレーション結果を高次元で評価することが可能となる。この中では、既存の Explainable AI などの技術を活用することにより、非専門家でも理解できる形にエージェントモデルの構造を可視化し、多数の人が参加できるバイアスのない人間参加型シミュレーションの仕組みを開発する。従来、専門家しかできない検証プロセスを、一般市民との連携によって効率化するとともに、様々な視点や知見を考慮することが期待できる点で、極めて創造性が高い研究と考えられる。

目的 2: 人間とシミュレーションモデルの知能を組み合わせ、観測データが入手できない場合でも人流を生成できることを明らかにする。目的 1 を達成した成果として、再現性が低いサンプルを人間が抽出し、エージェントモデルへフィードバックとすることができる。人間による「良い」と判断されるサンプルは、人間の実際の動きとほぼ同じ「正解」データとして扱うことができる。そこで、本研究では、この正解データに基づき、エージェントモデルを再学習して洗練させるとともに、新しい人流データとして蓄積する。本課題の最終目標は、シミュレーションとフィードバックのループによって、回を重ねるごとにシミュレーションの結果を向上させ、非集計な携帯電話データを使用する場合と同等の精度を達成すること。また、データが入手できない場合や未曾有の事件に対して、日常的な人流データに基づいてエージェントモデルが予測できないイレギュラーな行動を人間の知識によって訂正することで、仮定の「正解データ」を蓄積しつつエージェントモデルを進化させることを目指す。現時点では未曾有の事件における人流データがほとんど整備されていないため、本手法によりイレギュラーな場面における人流データの生成が実現されれば、防災・都市計画・交通などの分野に貴重な情報を提供できることから、極めて学術的独自性が高いと考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、人間参加型のシミュレーション検証プロセスを構築し、エージェントモデルの精度向上を図ります。まず、観測値に基づく集計レベルとモビリティ分析に基づく非集計レベルの評価指標を選定し、正確な再現性と信頼性を示すための検証手順を作成します。次に、Explainable AI (XAI) 技術を活用し、非専門家でも理解できるシミュレーション結果の可視化方法を開発する。実際の人流データと模擬人流データを比較し、実データを識別する正確率を用いて検証プロセスと可視化手法の有用性を評価し、必要に応じて改善を行う。

さらに、生成系 AI と最近進化した大規模言語モデル (LLM) を使用して、これまでに開発したオープン統計データに基づくエージェントモデルは、空間的粒度が低く、個人レベルでの精度が不足していた。この課題を克服するため、異なる都市から収集した大規模な GPS データを活用し、Generative Pre-trained Transformer (GPT) をベースとして日常行動の空間的・時間的パターンの事前学習を実施する。また、LLM による人間のフィードバックを代替として、生成した人流データを「良い」と判断されたサンプルを基にエージェントモデルを再学習する。基盤モデルだけでは対応が難しい場面で、少量のデータを効果的に活用する few-shot 学習のアプローチを採用し、評価データを作成してモデルにフィードバックすることで、仮想環境におけるシミュレーションデータを作成する。現実のイレギュラーな人流を基に、仮想人流データの精度評価を行い、防災、都市計画、交通管理などの分野に貴重な情報を提供する。

4. 研究成果

本研究では、シミュレーションモデルと人間の知能を組み合わせることでシミュレーションの再現性と信頼性を向上させる仕組みを提案しました。具体的には、人間の評価をエージェントモデルにフィードバックすることで、シミュレーション精度の向上を図り、非集計な携帯電話データを使用した場合と同等の精度を達成することを目標としました。最終年度に実施した研究の成果として、以下の2点が挙げられます：

1. 全国擬似人流データの作成と提供：これまでに構築したエージェントベースモデリングとシミュレーション手法を用いて、全国の人口に対して安定した精度を持つ「全国擬似人流データ」を作成し提供しました。このデータセットは、オープンな調査データと低廉な価格で入手可能な商業データを活用しており、全国の典型的な平日の1日中の擬似人流を再現しています。これにより、断片的な位置情報だけでなく、どのような人々が、どのような目的で、いつ、どのような交通手段で、どこからどこへ移動するかといった情報を提供することが可能となりました。

2. 生成系 AI モデル「MobilityGPT」の開発：都市の情報基盤における人々の移動行動の正確な予測と対応を目的として、大規模な移動データを基盤にした生成系 AI モデル「MobilityGPT」を開発しました。このモデル (Generative Pre-trained Transformer, GPT) は、ディープラーニングや自然言語処理 (NLP) の領域で顕著な可能性を示しており、複雑な人間の行動パターンの再現も期待されています。

新しい全国擬似人流データの提供により、詳細な移動パターンの情報が得られ、政策の感度分析や商業施設の配置計画、大規模災害時の避難シミュレーションなどの研究や施策に活用可能となりました。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Pang Yanbo, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 -
2. 論文標題 Deep Learning for Destination Choice Modeling: A Fundamental Approach for National Level People Flow Reconstruction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData55660.2022.10020165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Cai Mingfei, Pang Yanbo, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatial Attention Based Grid Representation Learning For Predicting Origin?Destination Flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData55660.2022.10021023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tewari Aayush, Pang Yanbo, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 -
2. 論文標題 Uncertainty of Traffic Congestion Estimation Using Nationwide Pseudo Trip Data and Agent-Based Simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData55660.2022.10020749	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Cai Mingfei, Pang Yanbo, Kashiya Takehiro, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 -
2. 論文標題 Simulating Human Mobility with Agent-based Modeling and Particle Filter Following Mobile Spatial Statistics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 29th International Conference on Advances in Geographic Information Systems	6. 最初と最後の頁 411-414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3474717.3484203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yanbo Pang, 樫山武浩, 関本義秀,
2. 発表標題 全国擬似人流データの提供と評価
3. 学会等名 第31回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笠原有貴, Yanbo Pang, 樫山武浩, 関本義秀, 瀬崎薫
2. 発表標題 擬似人流データにおける時刻表を考慮した自治体全域の交通手段の推計 静岡県裾野市を対象に
3. 学会等名 第31回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澁谷 遊野, Yanbo Pang, 関本 義秀
2. 発表標題 シナリオに基づく擬似人流生成のためのシミュレーション基盤の構築
3. 学会等名 第31回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Pang Yanbo, Kashiyama Takehiro, Sekimoto Yoshihide
2. 発表標題 Development of a Reinforcement Learning based Agent Model and People Flow Data to Mega Metropolitan Area
3. 学会等名 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhang Kunyi、Pang Yanbo、Sekimoto Yoshihide
2. 発表標題 Deep Learning Approach to Logistics Trips Generation: Enhancing Pseudo People Flow with Agent-based Modeling
3. 学会等名 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yanbo Pang, Pierre Ferry, Kunyi Zhang
2. 発表標題 Synthetic Network Traffic Data Generation using Deep Generative Models
3. 学会等名 NetMob 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yurong ZHANG, Kunyi ZHANG, Yanbo PANG, Yoshihide SEKIMOTO
2. 発表標題 Towards Pseudo People Flow: Developing a Deep Generative Model based on PT Data to Reproduce Large-Scale Daily People Activity Profiles
3. 学会等名 第32回地理情報システム学会学術研究発表大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------