

人流シミュレーションモデルを活用した 人流予測・可視化システムの構築

小宮 粹史*¹ 一瀬 恭平*¹ 豊田 正史*² 花房 比佐友*¹ 堀口 良太*¹
所属*¹ 株式会社 アイ・トランスポート・ラボ
所属*² 東京大学 生産技術研究所

本研究は、滞在人口情報の活用を前提とした人流再現・予測手法および再現状況を可視化システムの開発を目的とする。人流の再現においては、滞在人口予測情報を基に対象地域の歩行者需要を調整し、人流シミュレーションモデルを活用して歩行空間における人流状況を生成する。本稿では、開発した予測手法を紹介し、リアルタイム運用を想定したシステム構成について論じる。また、神奈川県藤沢市を対象としたデモサイトの構築を行った結果を報告し、今後の方向性について議論する。

Development of Crowd Flow Nowcasting and Forecasting with Visualization System using Crowd Simulation Model

Tadashi Komiya*¹ Kyohei Ichinose*¹ Masashi Toyoda*² Hisatomo Hanabusa*¹ Ryota Horiguchi*¹
i-Transport Lab Co., Ltd.*¹
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo.*²

The purpose of this research is to develop a method for reproducing and forecasting human flow and a visualization system for reproducing the situation based on the use of information on the population staying in the area. In the reproduction of human flow, pedestrian demand in the target area is adjusted based on the forecast information of the resident population, and a human flow simulation model is used to generate the human flow situation in the pedestrian space. This paper introduces the developed forecasting method and discusses the system configuration for real-time operation. The paper also reports the results of the construction of a demonstration site for Fujisawa City, Kanagawa Prefecture, and discusses future directions.

Keyword: Crowd flow, Nowcast, Forecast

1. はじめに

都市環境/生活そして情報環境における「サステイナビリティ」の実現が求められる。物理空間における都市生活においては、交通、ビジネス、行政サービスをはじめとする様々なセクターにおいて、大量

生産/大量消費、fast-fashion, fast-food といった言葉に代表される 20 世紀型モデルから脱却し、サステイナブルモデルへの移行が急務である。同時にサイバー空間においてもサステイナビリティは問題である。ICT/AI 関連分野での消費電力増加は続いている。

る。安易に大量の情報を生産し消費する「fast-data」からの脱却は急務であり、ここでは「高速化」「大容量」へ「省電力性」を単純に尺度として加えるのではなく、「有限な資源を用いて、どれだけ人々の便益/行動変容に資する情報を創出できるか」といった「情報の質」が問われる。

物理空間における都市生活における課題のひとつとして、オーバーツーリズムは、地元住民の生活環境の悪化、混雑によるサービスの質の低下など様々な課題を引き起こす要因となることが多く、特に過度の混雑が観光地やその周辺地域に与える負担は、環境的、社会的、経済的な面への負の影響があり適切な対処が必要である。

観光客の受け入れと住民の生活の質の確保を両立しつつ、持続可能な観光地域づくりを実現するためには、観光地での混雑を予測し、訪問者にリアルタイムでその情報を提供する手段が求められるようになっていきます。このような情報提供は、観光客の体験を向上させるだけでなく、地域資源の持続可能な利用を促進するためにも重要である。

オーバーツーリズム対策として、デジタルツイン (Digital Twin) 技術を用いることで、観光地の交通流、観光客の動き、インフラの負荷をリアルタイムでモニタリングし予測することで、混雑しているエリアや公共交通機関の空き状況、最適な移動経路などを提供することで、観光客が混雑を避ける選択が可能となり、訪問場所や時間帯の選択に際し意思決定のサポートとなり、混雑のピークの時空間的な最適化が考えられる。

本稿では、神奈川県藤沢市江の島地域を対象に、交通環境デジタルツインの構築に必要なデータを継続的に取得する仕組みの構築と、江の島地域における交通環境指標の可視化を可能とする交通環境デジタルツインを開発する。仮想空間上での行動データ解析で得られる人の行動メカニズムを交通環境デジタルツインに取り込み、想定されるイベントや各種交通施策が実施されたときの交通環境を予測するナウキャスト、フォアキャスト技術を開発し、将来的なユーザーとしての地域自治体の意向を踏まえた想定サービスを提供するプロトタイプを構築する。

2. 既往の研究

東京都デジタルツイン実現プロジェクトでは、地下の混雑度を含む、日常時/発災時のリアルタイム情報提供サービスを構築して、その有用性の検証を行っている¹⁾。リアルタイム人流予測データや IoT セ

ンサーを用いて、地上および地下の今の混雑度を可視化することで、混雑回避を促すことができるか、発災時において、通信が制限されている状況でも、官民の災害時対応情報を活用し、人々の効率的な避難を促すことができるか検証するものであった。

地上だけでなく地下を含んだリアルタイム人流予測データ等を活用し日常時の混雑を避けた経路と発災時に安全な経路を、Web アプリを介してユーザーに適した形で提供し、Web アプリ利用者の 65%が混雑回避ルートを選択し、34%が混雑を回避できたとアンケート調査をまとめている。

京都市観光協会²⁾では、京都市内主要7エリアにおいて、時間帯別観光快適度予測を HP 上で一般観光客が参照可能なシステムを公開している。観光快適度とは、KDDI 株式会社と技研商事インターナショナル株式会社が共同開発した位置情報ビッグデータ分析ツール (KDDI Location Analyzer) の情報をもとに、天気や曜日などの条件を考慮し、Facebook 社が開発した予測手法「Prophet」を活用して予測しているとしている。この予測値は1カ月に1回更新し、最大2箇月先までの値を参照可能となっている。

1) においては、対象エリアに設置したリアルタイム人流計測機器の計測データを用いての1時間程度先までの情報提供、2) においては、1ヶ月に1度の予測値更新であり、突発的なイベント等には対応していないものと考えられる。本研究では、スマートフォンGPSに基づく人口統計データとX(前Twitter)のポストを用いた街レベルのトラフィック予測モデルによる3) 人口予測データを用いて1週間先までの時系列予測と、歩行者マイクロエージェントシミュレーション「Smart Crowd」を組み合わせ、街区内の通路上の混雑状況を可視化するシステムとすることで大規模な観測システムを不要とし、かつ数日先までの混雑状況の情報提供を可能とした。

3. 歩行者マイクロエージェントシミュレーション

「SmartCrowd」

SmartCrowd は Unity をベースに、歩行空間ネットワークと歩行者行動のモデリング、シミュレーション計算、分析・可視化ツールが統合された歩行者マイクロエージェントシミュレーションパッケージである³⁾。当初は建物からの退出・避難のような単純な目的での移動をターゲットとして開発されていたが、我々を含む共同研究グループで、多様で自由な移動や滞留を表現できるよう、モデルの拡張に取り組んでいる。

SmartCrowd において各歩行者はそれぞれの出発地、目的地を持ったエージェントとして表現され、各エージェントは歩行空間として定義された複数の Room をノード、各 Room が持つ Gate をリンクとして形成された経路探索ネットワークにより、図 1 に示すように目的地までの Room 単位の大まかな経路を決定（グローバルガイダンス）し目的地まで移動する。Room 内においては柱などの障害物に設定されている歩行空間上のポテンシャル値（目的地や距離に応じた斥力・引力に関わるコスト）、ほかの歩行者との位置関係を基に進行方向や次の Room への歩行経路を逐次決定（ローカルガイダンス）している。

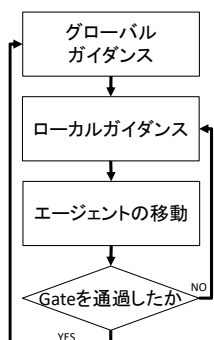


図 1 SmartCrowd でのエージェント経路選択行動

本シミュレーションの実行により、各エージェントの時空間軌跡が得られる。これを集計することで、歩行空間内の混雑レベルや、それに応じた地点間の移動速度、歩行空間の利用率といった指標が解析可能である。

4. 江の島エリアの歩行空間ネットワーク構築

江の島エリアで取得した人流データをナウキャスト、フォアキャストで利用するため、「Smart Crowd」上に江の島エリアの歩行空間ネットワーク構築を行った。ネットワーク構築では、国土地理院数値地図から、歩行者可能空間となる道路境界線データを使用した。図 2 に構築した江ノ島エリアのネットワークを示す。ネットワークの範囲は、湘南江の島駅、江ノ島駅、片瀬江ノ島駅、江の島大橋、片瀬西浜および東浜が範囲内に含まれる形で構築を行った。さらに、作成したネットワークにエージェントを動かせるようにエージェントの発生するエリアを選定した。今回は図中 6 カ所に加えて片瀬西浜から東浜に抜ける国道 134 号沿いの端点も含めて計 8 か所のエージェント発生地点とした。

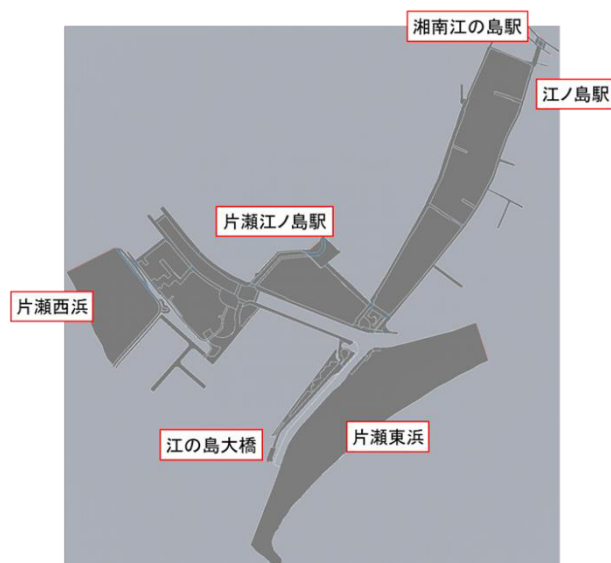


図 2 SmartCrowd でのエージェント経路選択行動

5. ナウキャスト、フォアキャスト環境の構築

構築した「Smart Crowd」による江の島エリアモデルを利用して、ナウキャスト、フォアキャストを行う手法を検討し、そのプロトタイプを作成した。フォアキャストにおいては、江の島エリアにおける利用可能な観測データおよび予測データとして、モバイルデバイスなどから収集される人の移動を集計した滞在人口データ（観測人口データ）や OD 交通量データ（観測 OD 交通量データ）、東京大学豊田研究室が開発した混雑予測モデルによる予測された滞在人口データ（予測人口データ）を想定した。図 3 にナウキャスト、フォアキャスト手法を示す。

混雑予測モデルにおいては、メッシュ単位での滞在人口を 1 週間先まで予測することができる。このことから、ナウキャストにおいては、Smart Crowd に人流状況を生成する重要な入力データである OD 交通量を観測 OD 交通量データから作成し、シミュレーション上で再現された滞在人口と観測人口データを比較して Smart Crowd の OD 交通量の補正を行うロジックとした。また将来の状況予測であるフォアキャストにおいては、ナウキャストで再現された状況（滞在人口）と、混雑予測モデルで予測された予測人口データを比較し、その増減割合で将来の OD 交通量を調整して Smart Crowd に入力し、人流を生成する手法を考案した。図 4 にすなば通りを対象としたナウキャスト実験におけるシミュレーションの様子を示す。過去の観測 OD 交通量データから平日、休日の平均的な状況を再現するためのプロトタイプ

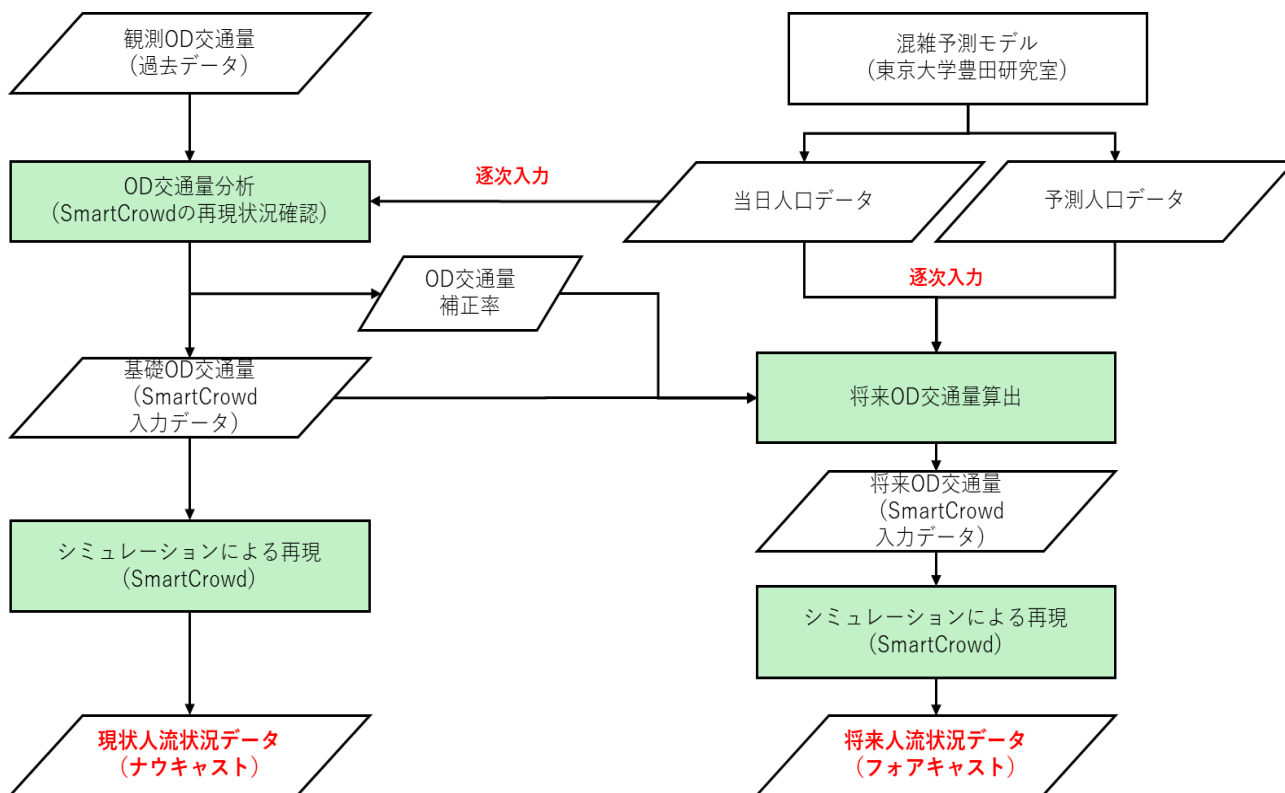
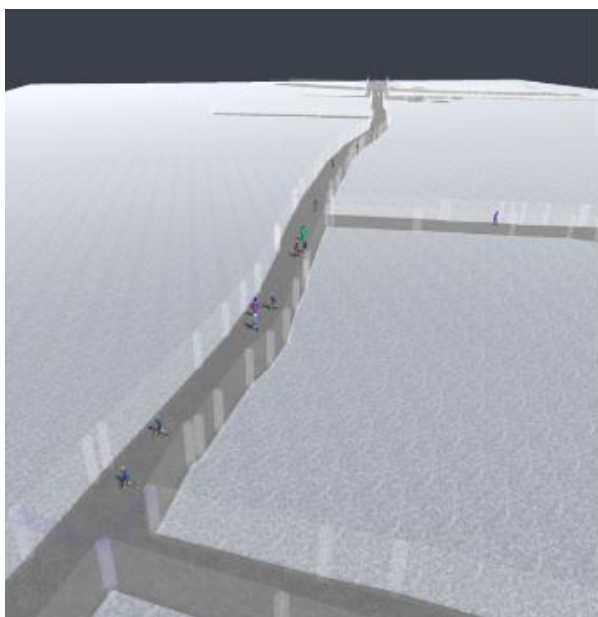
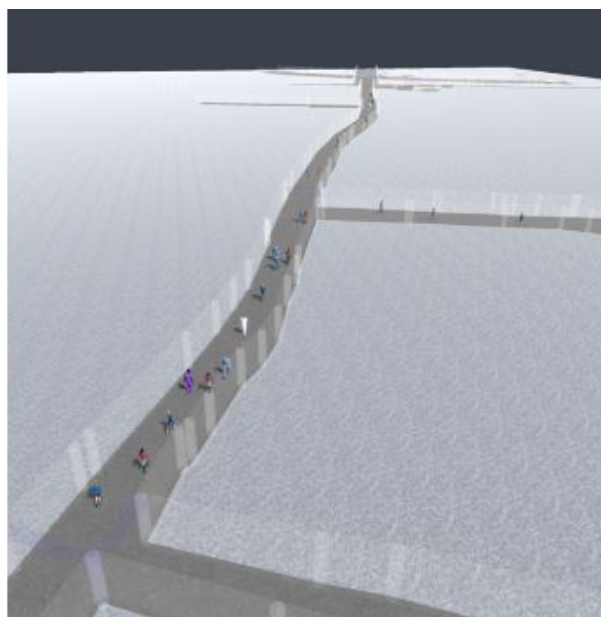


図 3 SmartCrowd でのエージェント経路選択行動



平日の現況再現 (すばな通り)



休日の現況再現 (すばな通り)

図 4 ナウキャスト実験におけるシミュレーション状況

を構築したが、実験を通じて、今後オンラインで逐次データが入手できる状況を想定した仕組みを検討も行き、技術的課題や解決方法を実装する。

6. 交通環境デジタルツインの構築

図 5 に示したシステム構成で、歩行者流動状態可視化システムのプロトタイプを構築した。

シミュレーションによって再現された各エージェント移動履歴を 3D 空間上へ展開して可視化する機能のプロトタイプを作成し、メタバース上への投影手法の構築のための実験を行った。図 6 に 3D 空間上への可視化実験の様子を示す。エージェントの歩行履歴データを Cesium⁴⁾ の 3D 空間上に展開し、アニメーションとして歩行する状況を再現するためのデータ生成機能を作成し、Cesium 上で可視化した様子を示す。この実験を通じて、シミュレーション上で再現した交通環境をメタバース上へ展開できる基礎機能を構築できることを確認できた。

江の島エリアにおいて、1 週間先までの人口予測データを毎日取得し、WEB ページ⁵⁾上に地図上でのメッシュ表示と 1 週間先までの人口予測データの時系列変動のグラフ表示を行い可視化した。図 7 に可視化 WEB ページのキャプチャを示す。さらに、江の島エリアの主要地点（江の島島内、弁天橋、すばな通り、片瀬江ノ島駅入口交差点）での、SmartCrowd の歩行者多・通常・少ケースの実行画面を動画化し、当日のピーク予測人口に応じて地図内のマークから表示可能とし、人口予測データから歩行空間の混雑レベルが直感的に把握可能とした。

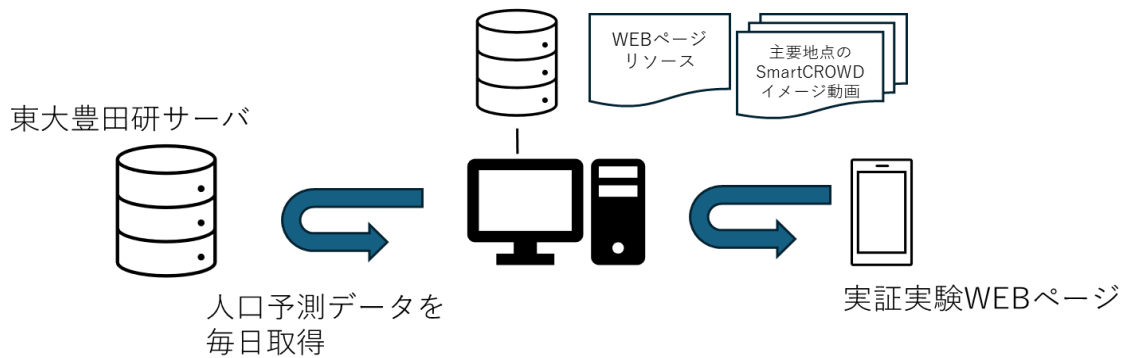


図 5 3D 空間上への可視化プロトタイプ



図 6 3D 空間上への可視化プロトタイプ

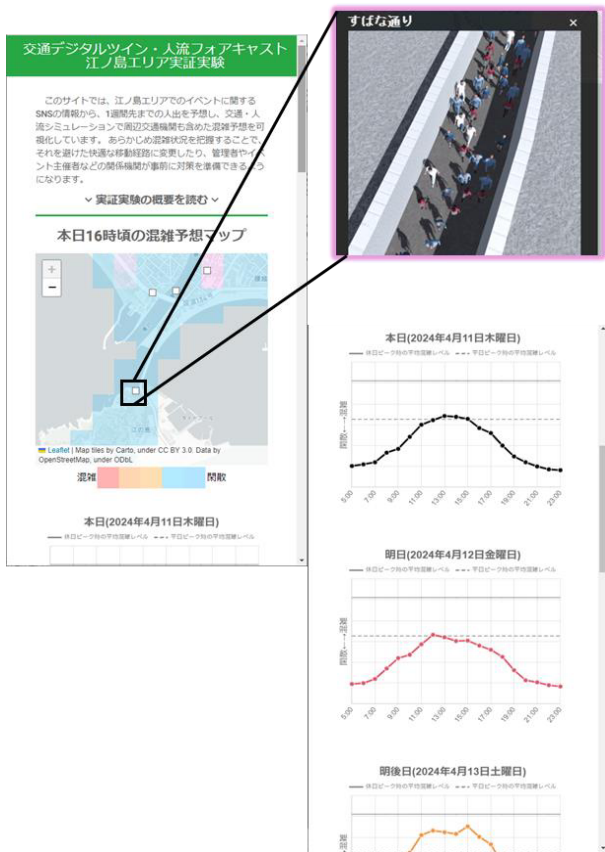


図 7 江ノ島フォアキャスト実証実験 WEB ページ

7. まとめと今後の課題

本研究では、オーバーツーリズム対策としてのデジタルツイン (Digital Twin) 技術活用として、神奈川県藤沢市江の島地域を対象に、交通環境デジタルツインの構築に必要なデータを継続的に取得する仕組みの構築と、江の島地域における交通環境指標の可視化を可能とする交通環境デジタルツインを開発した。江の島エリアモデルを利用して、ナウキャスト、フォアキャストを行う手法を検討し、そのプロトタイプを作成し、3D 空間での歩行者エージェントの可視化、および WEB ページでの 1 週間先までの混雑状況時系列予測値の提示機能を実装した。

今後は藤沢市役所、藤沢市観光協会等へのヒアリングを通じ、管理者側のニーズを踏まえたユーザビリティを持った公開情報とし、一般観光客へ広く本研究開発成果の周知を図っていく。

謝辞：本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究「[Beyond 5G 研究開発促進事業(一般型) ShonanFutureVerse: 仮想都市未来像にもとづく超解像度バックキャスト CPS 基盤] (JPJ012368C08201)により得られた成果である。関係者各位に深く謝意を示す。

参考文献

- 1) <https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/zissyou01/>
- 2) <https://ja.kyoto.travel/comfort/>
- 3) 一瀬恭平, 小宮粹史, 花房比佐友, 堀口良太: 多様な目的の移動・滞留の再現を目的とした歩行空間生成方法の提案, 第 67 回土木計画学論文集, 2023.6.
- 4) <https://cesium.com/>
- 5) <https://sfv.trafficscope.info/webdemo/>