

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）
「科学技術イノベーション政策のための科学
研究開発プログラム」
「デジタルツイン都市を活用した
危機管理下での政策決定支援」
＜通常枠＞

研究開発実施終了報告書

研究開発期間 令和 3 年 10 月～令和 7 年 3 月

佐々木邦明
(早稲田大学 教授)

目次

| | |
|------------------------------------|----|
| 0. 研究開発の概要 | 2 |
| 1. プロジェクトの達成目標 | 3 |
| 2. 研究開発の実施内容 | 3 |
| 2-1. 研究開発実施体制の構成図 | 3 |
| 2-2. 実施項目・研究開発期間中の研究開発の流れ | 4 |
| 2-3. 実施内容 | 5 |
| 3. 研究開発結果・成果 | 19 |
| 3-1. プロジェクト全体としての成果 | 19 |
| 3-2. 実施項目ごとの結果・成果の詳細 | 20 |
| 3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況 | 22 |
| 4. 研究開発の実施体制 | 23 |
| 4-1. 研究開発実施者 | 23 |
| 5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など | 24 |
| 5-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など | 24 |
| 5-2. 論文発表 | 24 |
| 5-3. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） | 25 |
| 5-4. 新聞報道・投稿、受賞など | 25 |
| 5-5. 特許出願 | 25 |

0. 研究開発の概要

1. 対象とした政策や政策形成プロセス、およびその課題

都市の人流の現状把握とその予測は、2022年ソウル梨泰院雑踏事故を例に挙げるまでもなく、災害時やイベント等において欠かせない情報である。一方で、その把握を何らかの観測によって行ったとしても、予測は通常時と異なることから困難である。また、そのような経験も少なく、多くの場合勘に頼らざるを得ない。これらの背景から、現実の状態をモニタリングしたリアルタイム観測データを活用して、実際の都市と同じ状況での短期予測手法の開発が必要不可欠である。また、それが現実的に活用できる情報と要求スペックに落とし込むことも求められる課題である。

2. 「科学技術イノベーション政策のための科学」としてのリサーチ・クエスチョン

リサーチ・クエスチョンは、リアルタイムに観測される都市の様々な観測のデータを取り込んで、定常状態とは異なる状況における短期的な予測を行う仕組みの構築という技術的なリサーチ・クエスチョンが一つ

また、定常時とは異なる状況において、リアルタイムモニタリングデータを活用した短期予測を行い、その結果を、行政や施設管理者等の政策意思決定のプロセスに反映できる仕組みとして実装に必要なことがリサーチ・クエスチョンになる。

3. 創出した成果により、「誰に、何を」与えたのか

本研究の成果として、行動モデルを用いた3Dモデル中での人流再現と災害時の行動予測とリアルタイム観測データに基づいた人流の現在状態を常に表現する仕組みの構築がある。これは、研究目標に沿って、将来的に行政やインフラ管理者等が計画立案時および施設マネジメントにおいて、災害等の非定常時に、これまでのような勘に基づいた政策意思決定から、データに基づいて、どのような変化が起きるかをシミュレートした意思決定に変えていくことを意図している。さらに、本研究で得られた付加的な効果として、都市のモニタリングを継続することで、各種都市施策の評価にも活用されていくことが期待できることが明らかになった。

4. 研究開発の達成状況と限界

本プロジェクトでは、デジタルツインを構築し、その中での詳細な人流シミュレーション結果の再現をおこなった。また予測モデルを様々な状況に応じて高精度化する方策を提案した。さらに、都市内にセンサを設置してリアルタイムモニタリングに基づく人流のナウキャストを実施した。その際に3Dモデルを用いた詳細な表示は計算負荷が非常に大きく、簡易表示型のオンラインシステムとして実装した。限界点として、様々な状況に対応可能なモデルに基づく短期予測のモデルと、デジタルツインやリアルタイムのデータによる人流表現が場所によって利用可能なデータが異なり接続できていないため、本プロジェクトの有効性とユーザビリティ向上にはデータの統一と仕組みの接続をはかる必要がある。

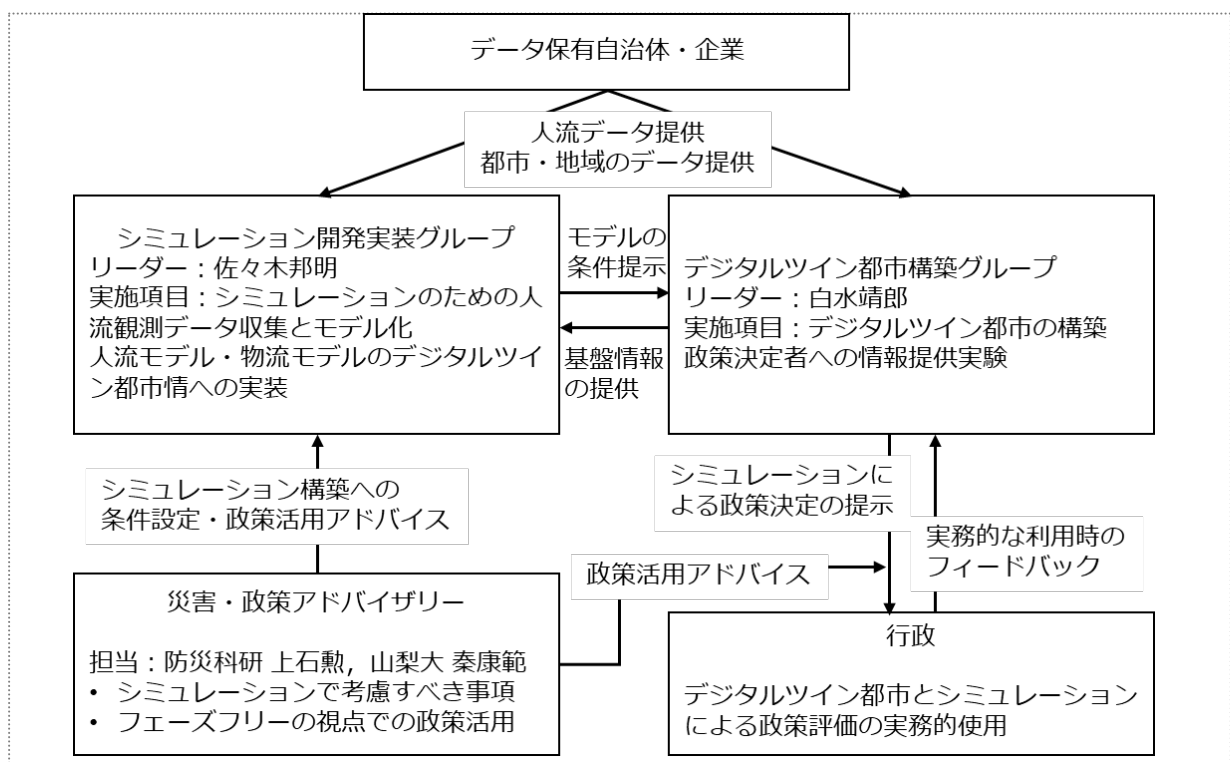
1. プロジェクトの達成目標

- 1) シミュレーションの基盤としてデジタルツイン都市を構築する
- 2) デジタルツイン都市上でシミュレーション可能な人の動きを再現するシミュレーションモデルの構築を行う
- 3) 気象災害等による交通障害発生時に、リアルタイムモニタリングデータを用いて、精度の高い短期的な予測を行い、道路・交通施設の修復順序等を経済的な損失等を考慮して定めることを可能にする。
- 4) このようなリアルタイムモニタリングデータを活用したシミュレーションシステムが実際の政策決定に活用されるために必要な条件が何であるかを、政策担当者とコミュニケーションを図りながら明らかにしていく

当初目標では物流も含めてシミュレーションを行う予定であったが、ヒアリングでの優先度や、データの制約から人流に焦点を絞った。

2. 研究開発の実施内容

2-1. 研究開発実施体制の構成図



〈研究開発実施体制〉

デジタルツイン構築を主に白水のグループが実施し、その上での人流再現を佐々木のグループが実施した。特に災害等の対応を考えて、防災科研上石氏や現日本大学所属の秦教授と情報交換を行いながら検討を行った。

行政に関しては、白水のグループが関西圏を中心にアドバイスを頂き、佐々木グループが

自治体に個別にヒアリングを行った。

2-2. 実施項目・研究開発期間中の研究開発の流れ

実施項目 1. デジタルツイン都市の構築

人流シミュレーションを再現する基盤としてのデジタルツイン都市を構築した。特に今回は駅等の施設を中心にデジタルツイン都市構築グループが持つデータをもとに実装し、様々な角度上での視点を可能にする 3D モデルを構築した。併せてデジタルツイン上でのセンサの利用可能性を R4 に検討した。

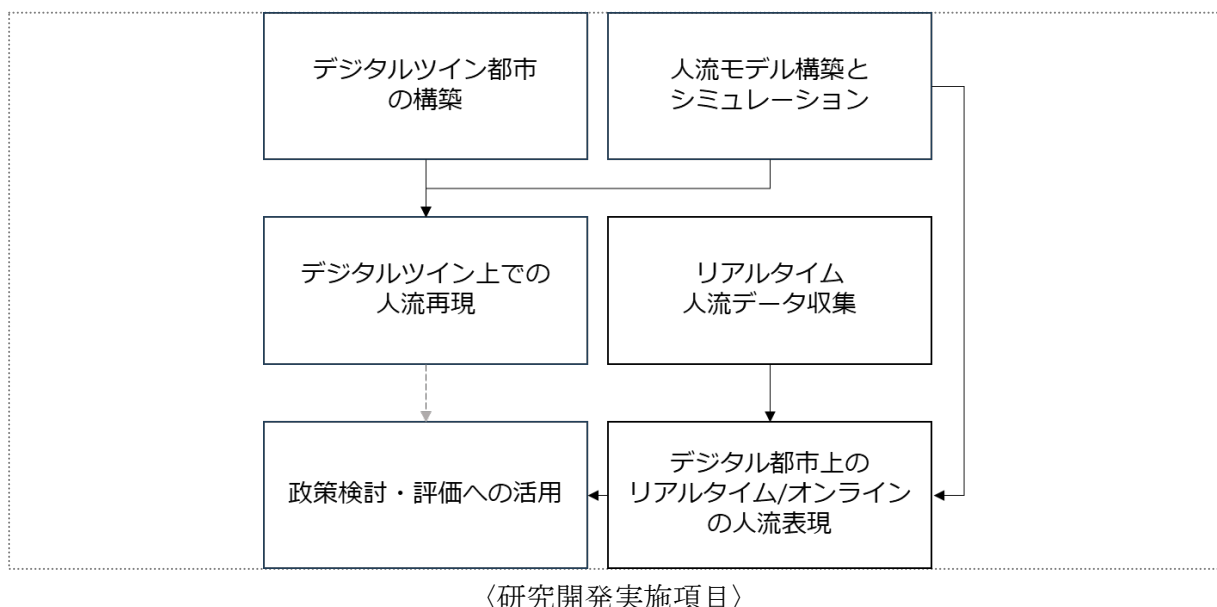
実施項目 2. 人流モデルの構築とシミュレーション

人流モデル構築とシミュレーションを実施。さらにこれを実施項目 1 で構築したデジタルツイン都市上で再現した。

より個別の開発内容は、R4 年度実施の観測データを活用する人の歩行回遊モデルの開発、物流駐車台数の発生モデル、人口分布とシミュレーションの融合手法の開発、移動速度データとシミュレーションとの融合手法の開発、BLE センサによる歩行者特性の開発を行った。

実施項目 3. リアルタイム観測データの導入

リアルタイムの人流データを実施した。そのデータをもとに都市内の人流としてモデル化を行い、そのモデルに従ってリアルタイム/オンラインでの人流表現を行った。その結果を政策の検討に利用可能にし、政策の評価に活用した。



2-3. 実施内容

2-3-1. (デジタルツイン都市の構築)

非定常時の人流シミュレーションを再現する基盤が必要であり，これまでは抽象化したネットワーク上で実施することが多かったが，現実との対比や課題を明らかにするために，デジタル空間上での都市を構築することが必要である。

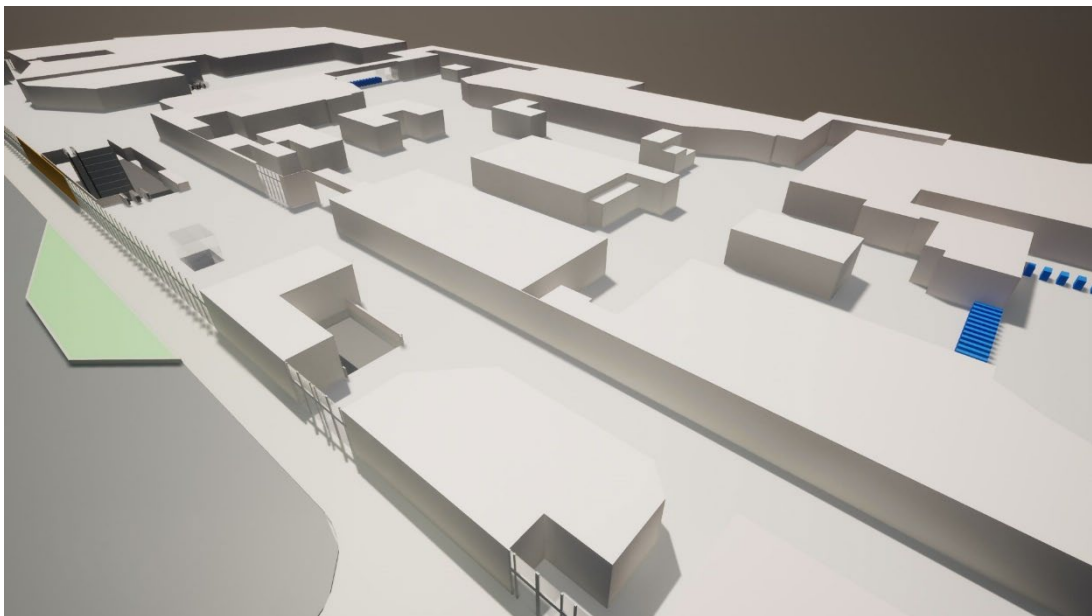
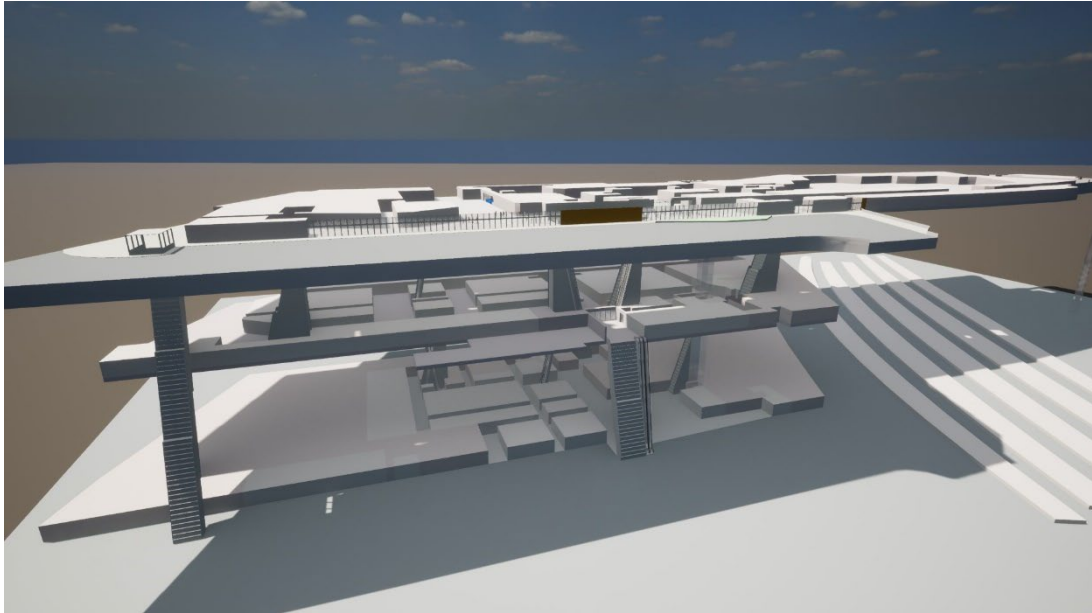
まず，デジタルツイン都市構築に必要なデータの収集として，デジタルツインに関する動向を把握し，デジタルツインを構成するモデル及び必要データを整理した．整理した内容の一例を以下に示す．

表 デジタルツインを構成するモデルの分類

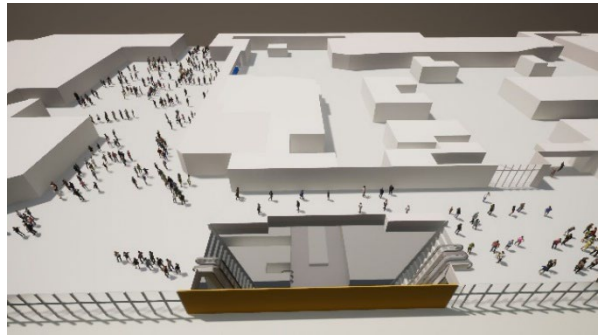
| 分類 | 内容及び必要データ | 本研究開発での対象 |
|---------|--|-----------|
| 地形モデル | <ul style="list-style-type: none"> 一般的に，現況地形の作成は，数値地図（国土基本情報）や実際の測量成果等を基に，数値標高モデルとして，TIN（Triangulated Irregular Network：地表面や構造物等を三角形の集合体で表現する），テクスチャ画像等を用いて表現される． テクスチャ画像として，航空写真や測量成果を基に作成したオルソ画像が存在する場合がある．なお，数値地図（国土基本情報）等の対象地区を含む広域な範囲のモデル（広域地形モデル）や建屋等の 3 次元モデルも地形モデルに含まれる． | ○ |
| 線形モデル | <ul style="list-style-type: none"> 線形モデルは，道路中心線や構造物中心線を表現する 3 次元モデルである． | ○ |
| 土工形状モデル | <ul style="list-style-type: none"> 土工形状モデルは，盛土，切土等を表現したもので，TIN サーフェスモデル等で作成する． | — |
| 構造物モデル | <ul style="list-style-type: none"> 構造物モデルは，構造物，仮設構造物等を 3 次元 CAD 等で作成したモデルである．3 次元形状については，主にソリッドを用いて作成される． | ○ |
| 統合モデル | <ul style="list-style-type: none"> 統合モデルは，前述したモデルそれぞれを組み合わせ，作成用途に応じて，その全体を把握できるようにしたものである．  | ○ |

資料：「BIM/CIM 活用ガイドライン(案)第 1 編 共通編」（令和 3 年 3 月 国土交通省）

整理した内容を踏まえ、R4 には建物をデジタルデータ化して再現したものを構築し、その上で人流を可視化する作業を行った。デジタルツイン都市構築グループが構築した例を下に図で示す。対象は新大阪駅であり、駅構内での現地踏査により収集した新大阪駅構内の通路延長や通路幅員等の物理データに基づいている。後に人流シミュレーションをこの上で実装した。



構築した新大阪駅の3Dモデル（上：全景 下：3階改札階レベル）



プラットフォーム上で人流を可視化したイメージ

R5 には、ユーザビリティの向上のため、上空からの視点や歩行者の視点での表現が可能な仕様とした。また、異なる階層の状況を把握できるように、床や天井を透過させる表現が可能な仕様とした。

【俯瞰視点・標準】

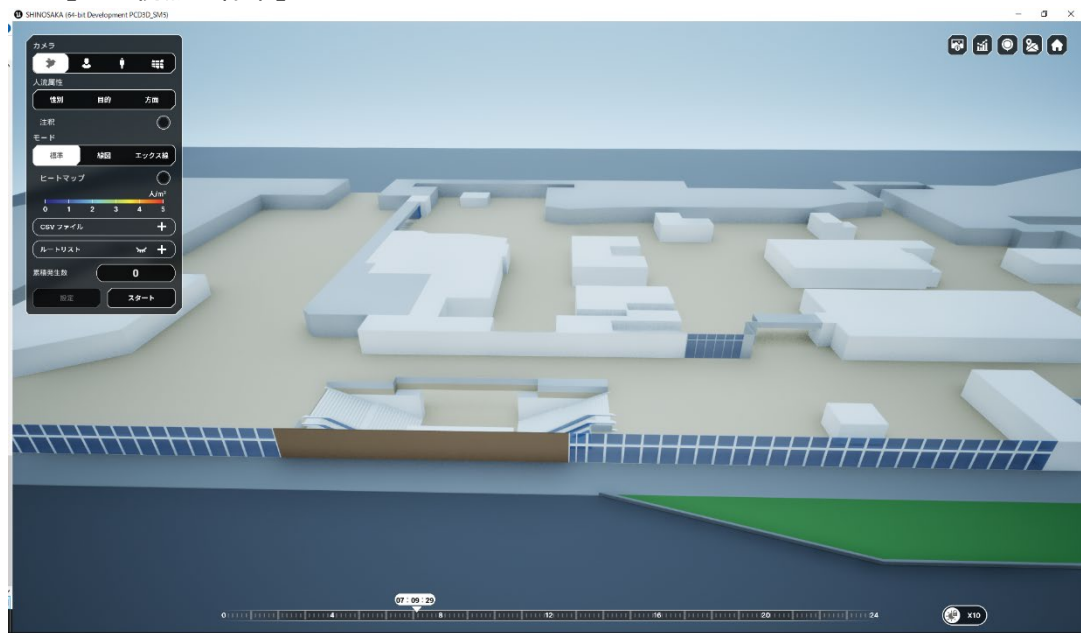


【俯瞰視点・線図】

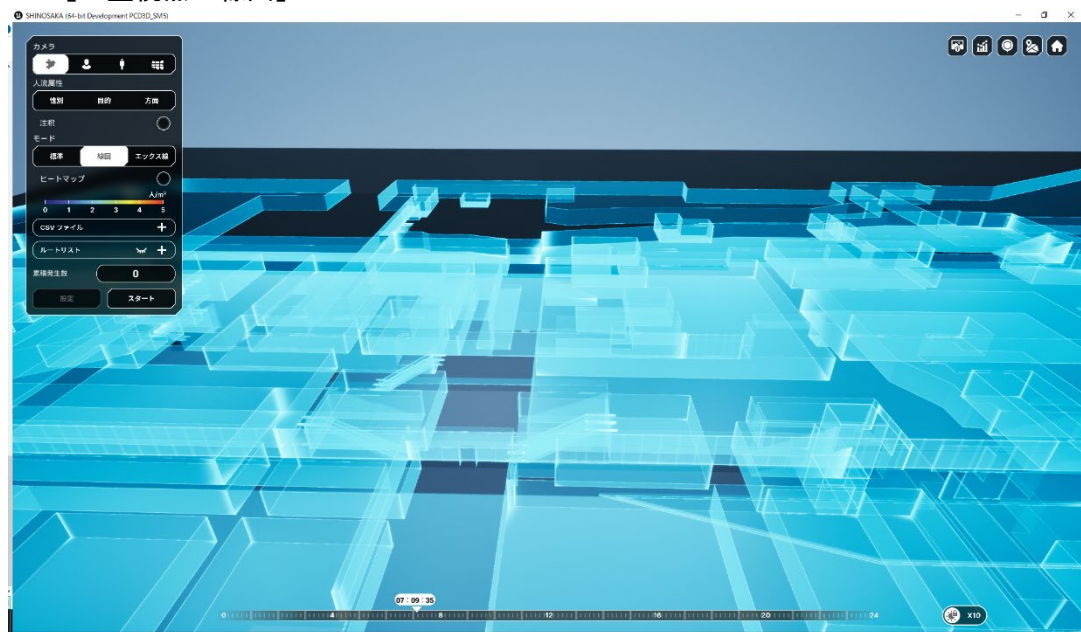


ユーザビリティを向上した新大阪駅の 3D モデル例 (1/3)

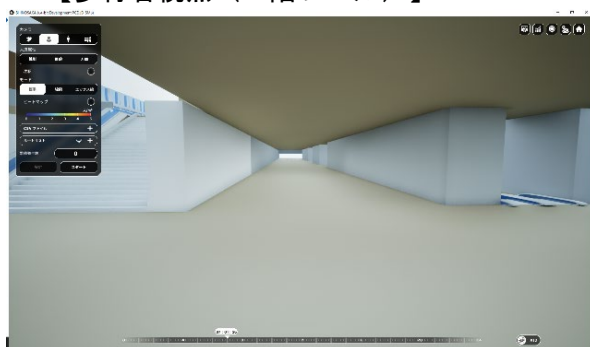
【上空視点・標準】



【上空視点・線図】



【歩行者視点（2階レベル）】



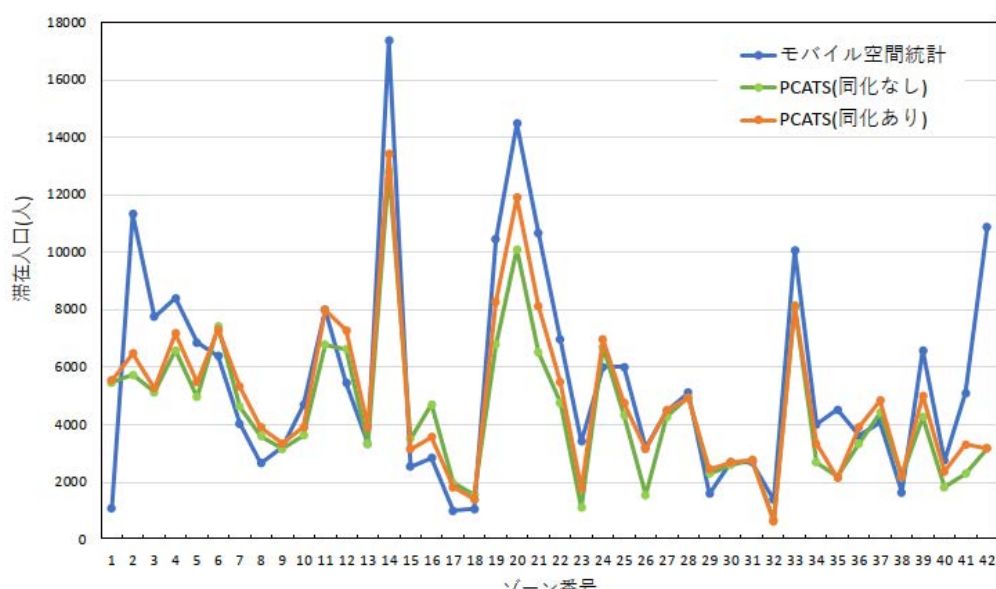
【歩行者視点（1階レベル）】



ユーザビリティを向上した新大阪駅の3Dモデル例

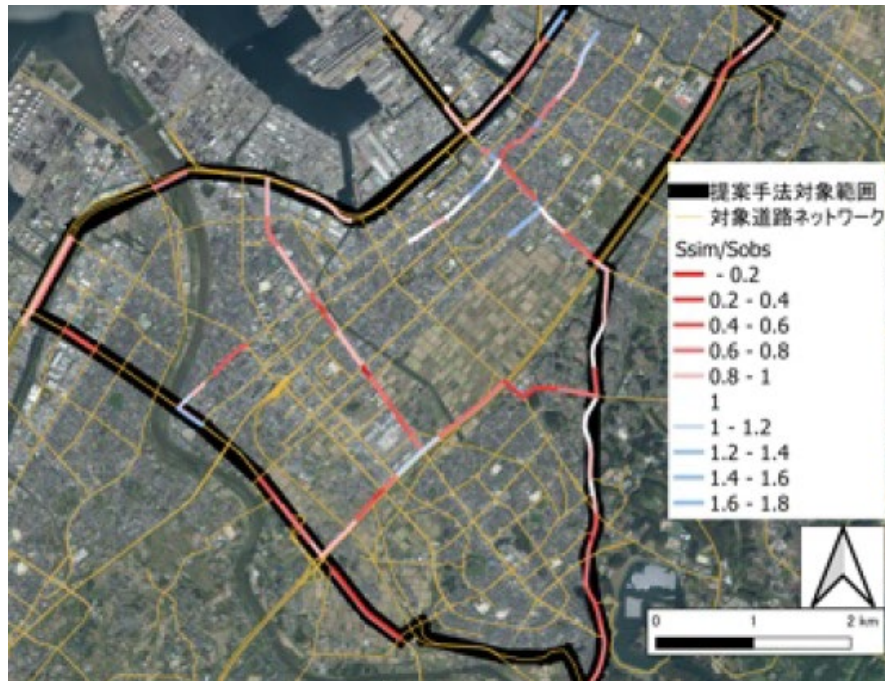
2-3-2. (人流モデルの構築とシミュレーション)

本プロジェクトでは、定常時ではなく、非定常時における短期予測を行うため、そのような状況における行動モデルとその補正アルゴリズムの検討を行った。そのようなデータはあまり得られることが無いが、今回、道路の通行止め等や鉄道の運休が多発し、多大な被害をもたらした2019年15号台風による災害に関してのデータが得られたことから、A市を対象に行動モデルの補正に基づいた台風災害当日の人の動きの再現を行った。下の図は、A市を42ゾーンに分割した際の、それぞれにゾーンの滞在人口の再現性を12時の時点で確認した図である。PCATSとはこの再現に用いたシミュレータの名前であり、リアルタイム性のある人口分布データであるNTTドコモが提供するモバイル空間統計を用いてPCATSによる予測の補正を行った。補正後のPCATSはモバイル空間統計と一致はしないが、その分布の差を反映した補正が行われている。モバイル空間統計は、当日のA市居住者の市外流出状況が把握可能であり、広域の通勤状況についての検証を実施することで精度向上が見込まれる。



台風襲来時の在宅率を推計したシミュレーションの再現性確認

更に当日の道路の時間帯別の速度データを得たことから、PCATSから得られるODデータやセンサスの道路交通量などを用いて市内の交通量を推計し、さらにマイクロ交通シミュレータを用いて、当日の観測速度データに適合する道路コスト関数を随時更新するシミュレーションを行った。その結果当日の道路状況の再現性を確認したのが次の図である。これによって一定の再現性の向上がみられたが、道路交通量の推計自体の精度が確認できないため、速度が一致するところまでは再現できていない。これらの成果は口頭発表（1）および論文（4）で公表している。

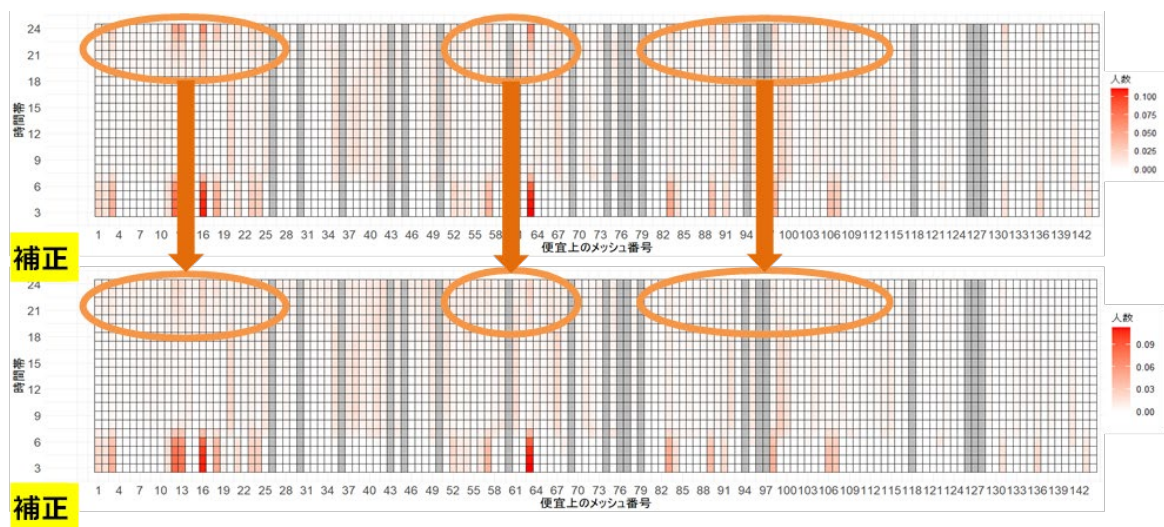


A 市中心市街地におけるシミュレーションと観測値の比

出典：国土地理院航空写真

また、人流推計モデルは、大都市の複雑な目的地や、ネットワーク形状に対応できるようなモデリング上の工夫を行い、3次元形状であっても、観測データが得られた時には対応可能なモデリングを行って、大都市や複雑な形状でもシミュレーションが可能になっている。具体的にはパーソントリップ調査とポイントデータを用いた時間帯別の移動を再現するシミュレータの構築を行い、非定常時にも対応可能とするため、リアルタイムの観測人口分布データや経路交通量データとの融合による、現在の人の動きに適合するような仕組みと、選択肢集合の非定常化の問題を回避する手法を付加し、オープンデータをベースとして大都市駅周辺での対応可能なシステムを構築している。

その事例として、非常に目的地が多く、複雑な形状である新宿駅周辺を対象に、歩行者の回遊シミュレーションモデルを構築し、多くの選択肢がある中からの適切な選択肢集合の選定に基づく目的地選択を可能にした。さらに同じく NTT ドコモが提供するモバイル空間統計の詳細 125mメッシュの人口分布データを用いて補正する手法を開発し、学会で発表を行ってきた。次の図はその補正によってどのような変化が起き、観測データにどの程度近づいたかを示している。これらの成果は口頭発表（3）およびポスター発表（1）にて公表している。現状では平均的な平日の移動を想定しているが、休日等、様々なシナリオに基づいた人口分布を前提とした流動分析などが求められる。



シミュレーションと観測人口分布の融合による補正計算

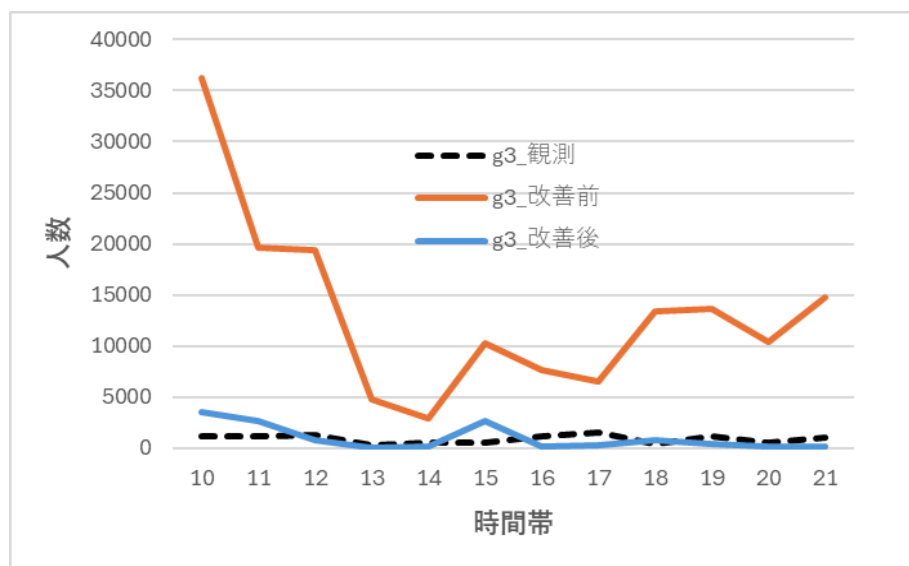
さらに3次元の歩行者の回遊経路を表現するために、NTTドコモ社が保有する人の移動軌跡データをもとに、経路の断面交通量を推計し、それに適合するように3次元の移動抵抗を組み込んだモデルを構築し、同じく学会で発表した。対象は同じく新宿駅であり、新宿駅の東西地下自由通路が開通したことから、その影響を適切に反映し、さらに観測交通量に適合しているような3次元経路の上下移動抵抗を推計し、3次元空間であっても適切な歩行者シミュレーションを行うことを目指した。下の図は、対象の街路ネットワークである。



新宿駅周辺の街路ネットワーク

出典：OpenStreetMap

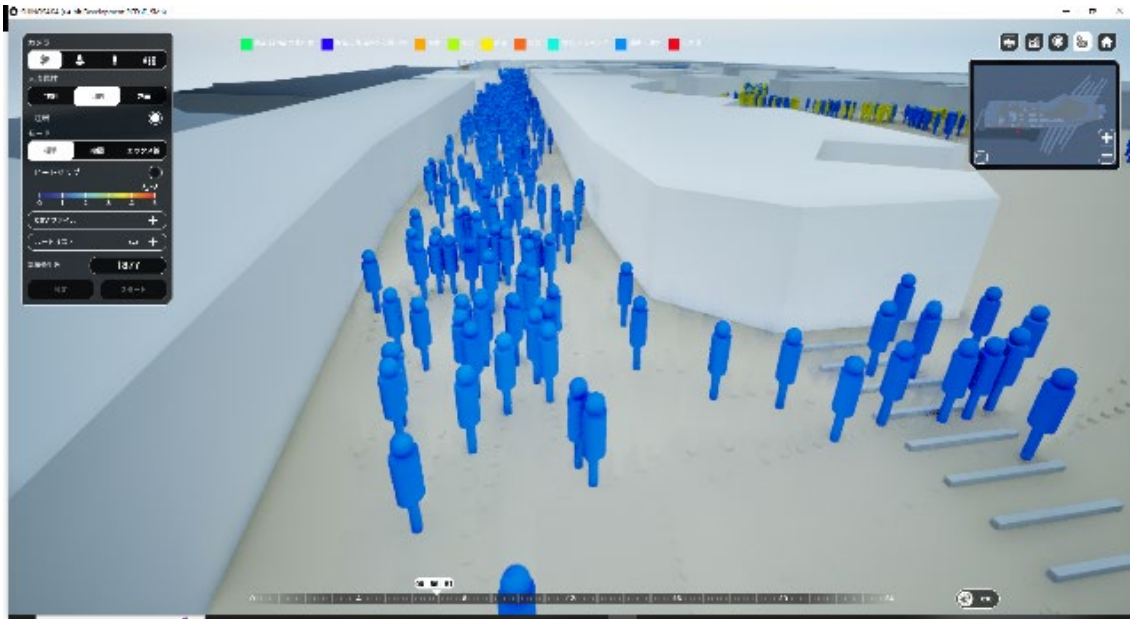
地下経路を単純に距離で評価し、補正を行わない場合には、観測される値と大きく異なったことと、時間帯別に差分の変化もあるため、時間帯別に随時パラメータを更新するモデルを構築してその改善をはかった。それらの結果の一部を示したのが次の図である。補正を行わないケースでは、東西地下自由通路は大きく乖離が生じており、過大推計であることから、地下通路を単純に距離で評価することは望ましくないことが判明した。そこで、リンク長に抵抗係数を付加し、それを動的に変化させることで、観測値に沿った再現を行った。その結果、ダイナミックな行動変化も随時追うことができる経路再現モデルが構築された。災害時に地下通路は選択されにくくなる、などの現象が報告されているが、それに対応可能なアルゴリズムといえる。これに関連する研究成果は論文（１）および口頭発表（４）で公表している。これをこの後に述べるような３Ｄ都市モデル上での再現に落とし込むことで、より適切な経路選択に基づいた人流表現が可能になる。



新宿駅東西自由通路の観測交通量と推計量

これらのモデル改善と並行して、駅乗降客を対象に、人流シミュレータから得られた人流を、実施項目１で構築したデジタルツイン都市上で再現した。その際には災害時で交通機関の遮断が起きた状態でのシミュレーションも併せて実施している。その際に、新大阪駅のシミュレーションでは、目的別、方面別が個人ごとに記録されており、その色分けを行う仕様で可視化を行っている。

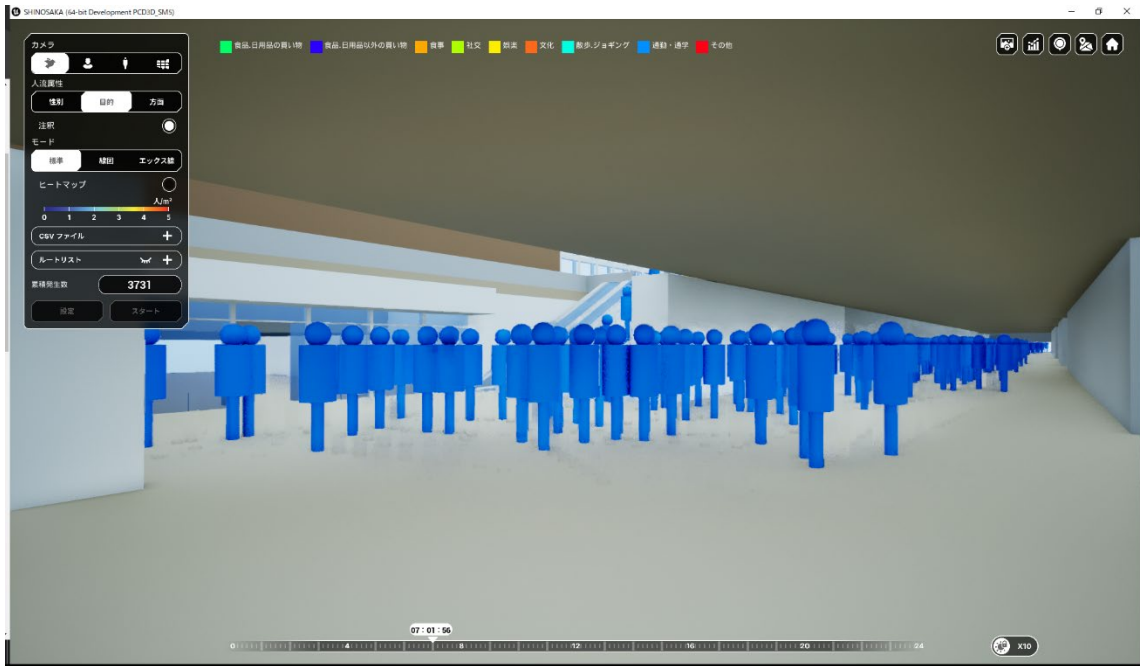
【3階在来線改札付近（目的別）】



【3階在来線改札付近（利用路線・方面別）】



【2階階段付近（利用路線・目的別）】



【2階階段付近（利用路線・方面別）】



あわせて、災害時における人流の分析に資するよう、ヒートマップにより人流の密度の可視化が可能な仕様とした。これらを先に構築した回遊モデル+経路選択と融合することで、より視覚的に理解しやすい状況表現が可能になる。

【人流密度ヒートマップ（3Dモデル標準描写）】



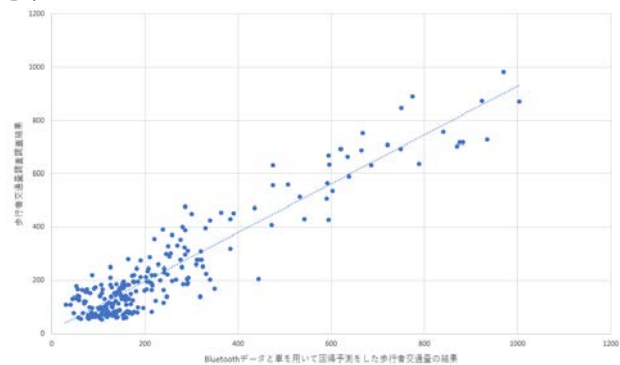
【人流密度ヒートマップ（3Dモデル線図描写）】



2-3-3. (リアルタイム観測データの導入)

R4 年度の開発として、人流のリアルタイムモニタリング手法に着目した。特に近年普及の進む Bluetooth (BLE) センサの有用性を確認した。次の図は、BLE センサから推測される歩行者数と目視で観測された歩行者数の比較を行ったものである。ここから高い相関性を確認し、このセンサを用いて人流を推計することの有効性を確認した。一方で、移動軌跡としてとらえるとアドレス変更による追跡の限界があり、短距離移動と判定するものが増加し、そ

の補正が必要であることも示された。



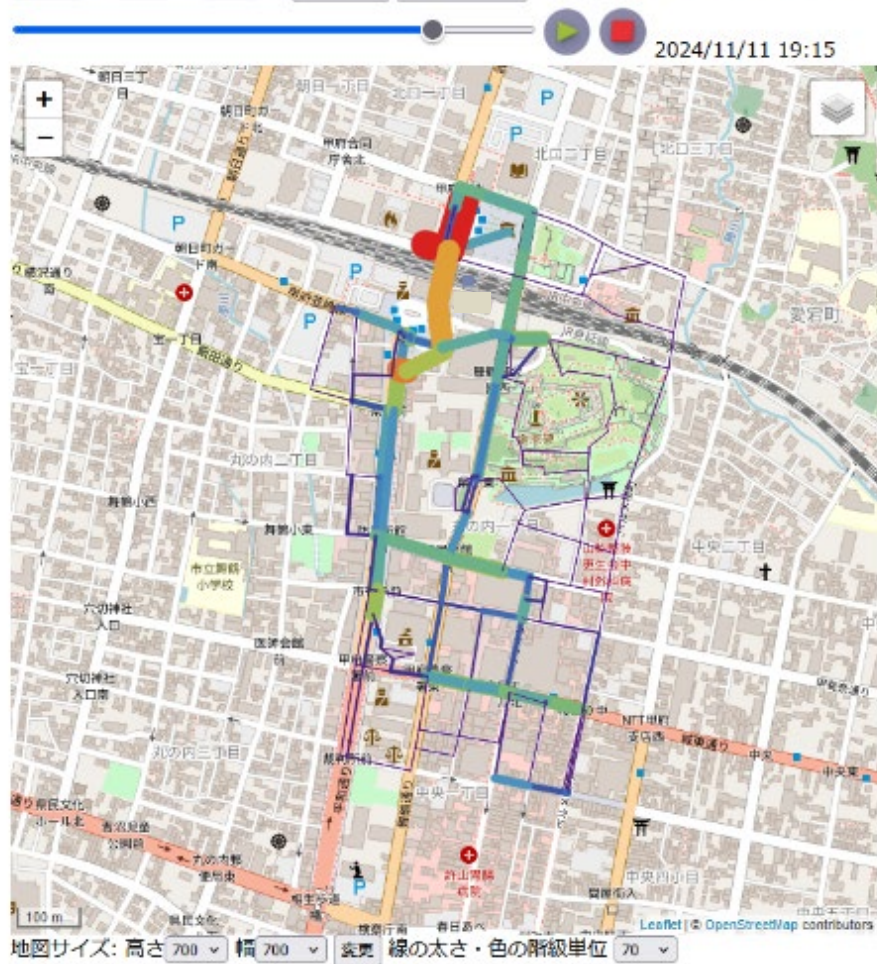
BLEセンサを用いて予測した歩行者数と歩行者交通量調査の比較

上記の成果に基づいて、BLE センサを B 市内に 24 カ所設置し、それに基づいて人流を計測して常時人流観測を行った。また、10 月に企画されている B 市中心市街地でのイベント時の人の動きを示す方策を検討した。BLE センサから得られる MAC アドレスをベースに、出発地—目的地と経路を推計する人流推計モデルを構築し、リアルタイムの OD 推計を実施した。その OD データをもとに都市内の経路別の人流を推計するモデル化を行い、そのモデルに従ってリアルタイムにオンラインでの経路上の人流を表示するサイト運営を行っている。これはリアルタイムでの経路別の歩行者数の推計を可能にするだけでなく、推計した歩行者数をデータとして活用できることから、様々な市街地の活性化政策の検討にも利用可能になった。例えば、歩行者数だけでなく滞留者数なども推計が行え、今回の中心市街地活性化施策の評価にも活用した。以前いただいていた、PC の性能が低くても利用可能でないと今後につながらないとの指摘を受けて、個人を歩行させて表示する仕組みの負荷が大きいことから、リンク単位での人の数を色分け式で表示するという方式を採用した。これによってかなり描画の負荷が低減され、かつオンラインサーバ側の負荷も低減されることから、日常的にアクセスして確認することができるようになった。これらの成果は論文（2）及び（3）および査読なし論文（1）、口頭発表（2）で公表している。

次に示す図は、これらのシステムの概要で、人流をリアルタイムに表示するオンラインシステムである。ここでは B 市中心部の人流を 2D マップ上に示し、更新間隔は 10 分である。その次の図は 3D モデル上で同じことを表現したものである。平面的な都市内での政策検討では、2D 平面に表示する形式で十分な情報が得られ、描画の負荷が小さいことから 2D 形式を採用している。このシステムは比較的容易に構築可能であり、様々な適用事例に向けてチューニングを行い、一般公開等を目指している。

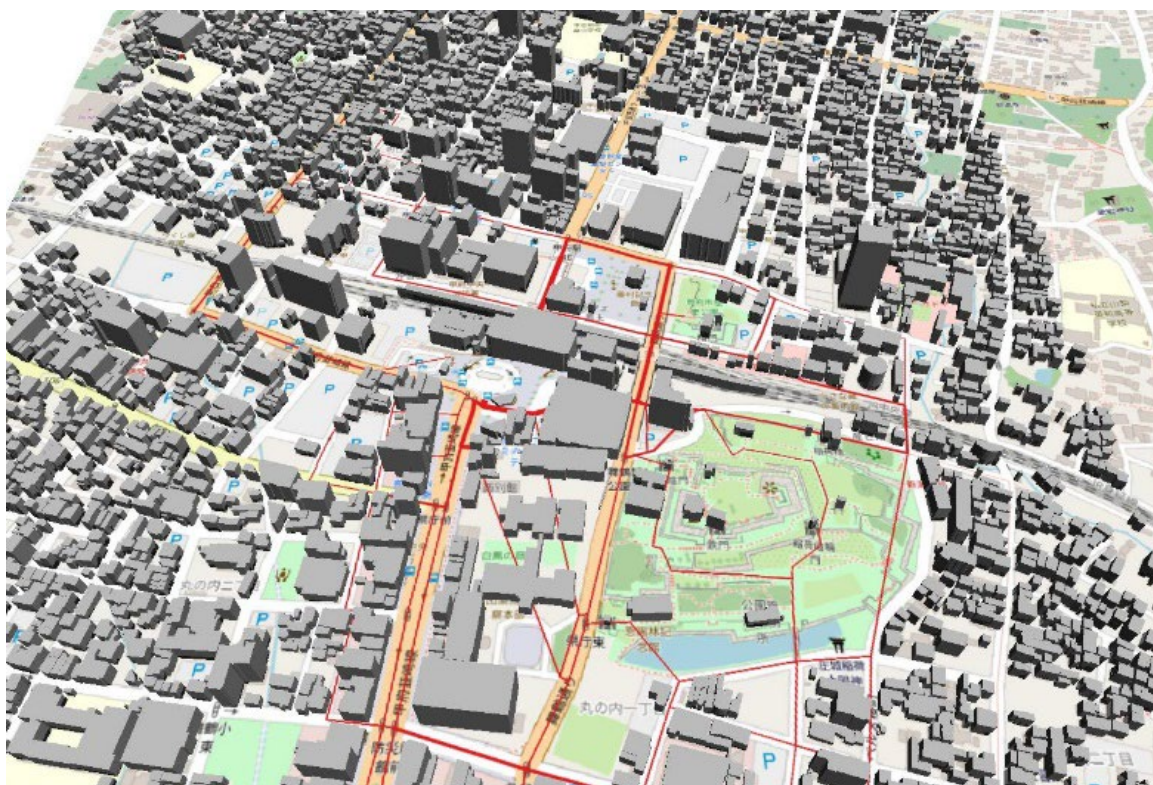
BLE観測による1時間ごとと推定通行量

2024 年 11 月 11 日 日にち更新 現在状況表示へ 10分ごとに更新(2024/09/16以降)



B 市中心部リアルタイム推計人流の表示サイト

出典：OpenStreetMap



3D 都市モデル (Plateau) 上での人流表現

出典：国土交通省 PLATEAU ウェブサイト <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/plateau-19201-kofu-shi-2023>

このデータは、10分ラグのリアルタイムで常に表示することから、イベント時のリアルタイムの確認やデータを抽出してイベントの効果の評価にも用いることができた。これらは、アドバイザーの秦教授が提唱するように、通常時から使うデータが、非常時に役に立つというフェーズフリーの趣旨に沿った仕組みの構築となっている。

3. 研究開発結果・成果

3-1. プロジェクト全体としての成果

2-3 で示したように、本研究プロジェクトでは、3D のデジタルツイン都市を作成し、その上に人流を再現するプロトタイプを作成した。さらに、人流をより正確に再現するモデル開発を行ってきた。併せて、社会実装としてB市中心部に設置したセンサから人流を推計してリアルタイムで表示する仕組みを開発した。

プロトタイプとして作成した 3D モデルとその上での人流シミュレーションモデルを動画形式にして複数の自治体に示して、採用可能性や利用方法について協議を行った。その結果こちらが考えている以上に様々な示唆を頂いた。例えば、管轄する自治体が異なる境界上での政策決定は、これまでいかに自分たちの不利益を減らすかを中心に議論が行われることが多かったが、データに基づいて人流を明示し、政策による効果とその帰属先を明確に知り、社会的に適切な費用負担が明示されるのならば、そういった局面での協議に非常に有効であ

るとのコメントがあった。これは災害時とは異なりリアルタイム性を要求されないが、現実空間を取り扱う都市計画担当者に有益であると考えられる。また、水害危険地域に立地せざるを得ない施設のマネジメントシステムの一環に取り入れることの提案もあった。常にどこにどの程度の人がいるのかを把握していることは災害対応において重要であり、さらにこの先の移動予測があると、適切な避難指示等の危機管理が可能になるとのコメントもあった。

リアルタイムの計測と人流を示すことに関して、同じく自治体より期待はあるが、以前 3D モデルで政策を示した際には、市内 PC の性能などに制約されて、十分な活用ができなかったことや、シミュレーション結果が人の形等で明確に示される場合は、あくまでシミュレートしたひとつの結果であっても、別の意味にとらえられる可能性が危惧されていた。そこで、リアルタイムの人流予測をより簡易な形式での表示とした。

今回のプロジェクトの一環としてリアルタイム人流予測モデルのデータは、B 市官民連携まちづくり協議会にデータとして提供され、プロジェクトの危機管理だけでなく、事後評価の指標として用いられている。

3-2. 実施項目ごとの結果・成果の詳細

3-2-1. (デジタルツイン都市の構築)

デジタルツイン都市の構築を行うことで、現存する施設を詳細にデジタル化して 3D モデルに表現し、人流シミュレータを用いた再現を表示して、現実とのリンクをより明確にすることができた。これを自治体・施設管理者等が用いて施策評価を行うことは、各ステークホルダーの調整等を、細部まで検証した内容で行うことができ、合意形成や私的利益だけでなく、全体の利益を用いて、費用負担等を検討することができるようになるとのコメントを頂いている。

3-2-2. (人流モデルの構築とシミュレーション)

3-2-1 で構築したデジタルツイン都市上に再現する人流モデルをパーソントリップベースで構築した。人口分布や経路交通量等の観測データは様々な形であるが、これらが得られた場合に、目的地選択の複雑さや、3 次元空間での経路選択等を観測データに応じて補正するフレームを構築し、それらの観測データに同化させることで、より再現性の高いモデルを構築できることを示した。また、駅構内に限定してシミュレーションと動画作成を行った。様々な視点でのビューを可能にするなどハイスペックな仕様で構築したが、動画作成だけでなく、ビューワーを用いた再生でも高い PC スペックを要求することになった。

この仕組みを用いて政策決定や危機管理に導入することを自治体に提案した。その結果、様々なフィードバックを得た。それに基づいて、より簡易な（負荷の低い）表現方法やの検討、災害危険区域にある既存・新設施設の災害対策検討、複雑なステークホルダー間の調整などに有益であるとのコメントを得た。

また交通工学シンポジウムでは、大都市域における工事を非定常状態として、本研究が提案する仕組みの活用が議論された。これは想定していなかった使用方法であった。この議論が進んだ理由としては、大規模工事では、制限区域が日々変動し、結果として歩行者流動が日々変動して非定常が続くため、リアルタイムモニタリングによる予測に基づくマネジメントが大きな役割を果たせることがあげられる。

3-2-3. (リアルタイム観測データの導入)

2-3 で示したように、リアルタイム観測データが、オイラー型とラグランジュ型どちらが得られたとしても対応可能で、3次元の経路選択を補正するモデル群を構築して学会発表を行った。また、3-2-2で構築したシステムを自治体に照会し、得られたフィードバックから、B市中心部にセンサを設置して、人流を推計する仕組みを実装することとなった。先のコメントと現状を勘案して、人流再現は2D平面でリンクのカラーリングと太さで人流を表現することとした。この成果のデータを用いた歩行者交通量・滞留者の変化について、B市と民間事業者が共同するエリアプラットフォーム（AP）会議にて報告された（下の図はB市エリアプラットフォーム社会実験検証レポート予定稿の一部抜粋）。今回の取り組みでは人流を常に計測し、経路交通量を予測するものであり、その結果得られたデータをイベントの効果検証に活用している。これはデータを用いたEBPMの好事例と考えられる。これは本プロジェクトでは想定していなかった利用であり、社会実験の検証に平常時からモニタしているデータを活用することで、データ分析の有効性が示された。このような活用が可能であった理由としては、AP会議のコーディネイトメンバーにデータ分析に明るいメンバーがおられたこと、さらには、庁内・対外的な説明にデータに基づいた説明が有効であることなどがあげられる。本プロジェクトとしては、当初リアルタイムに人流を計算・再現・表示し、災害時には予測を提示することを中心に考えていたが、それを様々な要望に応えられる状態にしたことから、活用が進んだと言える。

C) 中央公園 | ③来街/滞在 | 人流調査



来場者（一定時間滞留していた人）の数

【対象日時】

- 次の条件を満たす日を各週選定し、15-19時について調査
 - 「平日」かつ「イベントがない日である」かつ「雨が降らなかった」日であること（なるべく前日も降雨なしの日を選定）

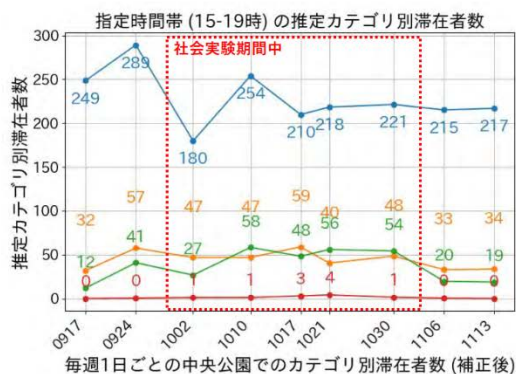
【滞留時間による分類】

- 南広場周辺は、信号待ちの方を考慮して2分以下の滞留時間はすべて「通過した人」と解釈した

| | |
|----------|---------------|
| ● 通過者 | ： 滞在時間2分以下の方 |
| ● 短時間滞留者 | ： 滞在時間2～5分の方 |
| ● 滞留者 | ： 滞在時間5～20分の方 |
| ● その他 | ： 滞在時間20分以上の方 |

【社会実験期間中と期間外の比較】

| (人) | 通過者 | 短時間滞留者 | 滞留者 | その他 |
|-----------------|-----|--------|-----|-----|
| 社会実験 期間中平均人数 | 217 | 48 | 49 | 2 |
| 社会実験 期間外平均人数 | 243 | 39 | 23 | 0 |
| | | 97 | 62 | |



- 社会実験期間中に滞留者数が増加し、社会実験終了後に減少している。
- 期間中と期間外の平均値の比較からも、その傾向が確認できる。特に5～20分としっかり滞留している方が倍以上に増加している。

調査・分析：早稲田大学 社会環境工学科 佐々木邦明研究室

73

リアルタイム人流の集計による事後検証の報告事例

一方、研究計画にあった、非定常時の人の短期予測や経済被害を想定した対応策の検討については、机上の試算にとどまり、特定の経路が閉鎖されたときにどの経路がどの程度人が増えるか、などを試算したにとどまった。現実として期間中に災害等は怒らなかったことと、B市中心部の人流は経路容量に対して小さく、そのニーズは限定されていたことがある。

3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況

中長期的な視点での今回の成果の活用として、当初の目標にあるように、モニタリングを行いながら、行動モデルを組み込むことで、短期予測を実現すること効用は、非定常時のマネジメントに有効であることは行政には理解を得たと考えている。ただし要求するスペックや費用の面においては、まだ検討の余地が大きいと考えられる。特に災害危険区域に設置する新規施設等にセンサ設置することは可能としても、日常的に使っていくことが無いと活用がなされないと考えている。そのような、研究領域を超えて普及定着することに関して、今回は社会実験の評価に活用されたように、非定常時をターゲットとしつつ、定常時にもモニタリングをして、そのデータを蓄積することで、日常的な用途にも活用できる仕組みを実装することが一つの方向であると考えられる。これはアドバイザーの秦教授が提唱するフェーズフリーの概念に沿った活用に一致する。そのための条件としては、運用の低コスト化や、データの匿名化、オープンデータ化が一つの解となりうる。

別の本プロジェクトの成果に対する期待として、交通工学シンポジウムで大規模工事における歩行者流動のマネジメントのセッションでの議論もあげられる。大都市部では大規模再開発プロジェクトが続き、駅周辺等の歩行者流動が大きな地域での安全・円滑な工事マネジメントにおいて、本プロジェクトで提案するデジタルツインとモニタリングによる短期予測の活用は非常に有益であると考えられる。また、JSTを通じてRAND研究所の研究者より研究の内容についての意見交換の場を頂いた。同様の試みをRAND研究所でも行っているとのことで、モデルと観測データの関係性などについて、ディスカッションを行った。今後とも引き続き情報交換を行っていくことを確認した。海外への展開可能性も感じられる出来事であった。

関与者間のネットワーク構築については、今回は自治体とは個別のネットワークに基づいてヒアリングと提案を行い、現在進行中のプロジェクトでの利用や、今後の施設整備への活用への期待を得た。その中で、人流計測の実行に協力いただき、それを民間事業者と連携したプロジェクトの事後評価に活用することが提案された。このようなリアルタイム表示だけでなく、事後のデータ分析が追加されたことより、この取り組みの有効性が伝わった。この取り組みで生まれる人流は、推計モデルを介したある種の人工データであり個人情報を含まないためオープンにすることが可能である。よって、このオープン化は、民間事業者等、第三者の更なる活用につながる可能性がある。

今後の継続活動を見越しては、オープンデータ化と各種シミュレーションのパッケージ化が必要であろう。現時点では様々な非定常時の対応は、その状況に応じてオペレータが推計するが、政策検討をツール化することで、ごくまれにしか起きない非定常時に、誰でも推計ができる仕組みがあると普及すると考えられることから、その必要性が指摘できる。

4. 研究開発の実施体制

4-1. 研究開発実施者

(1) シミュレーション開発実装グループ（リーダー氏名：佐々木邦明）

| 氏名 | フリガナ | 所属機関 | 所属部署 | 役職 (身分) |
|------------|----------|-----------------|----------|------------|
| 佐々木 邦明 | ササキ クニアキ | 早稲田大学 | 理工学術院 | 教授 |
| 中矢 昌希 | ナカヤ マサキ | 中央復建 コンサルタンツ | 計画系部門 | 技師長 |
| 柳川 篤志 | ヤナガワ アツシ | 中央復建 コンサルタンツ | 総合政策グループ | 主任 |
| 豊木 博泰 | トヨキ ヒロヤス | 山梨大学 | | 名誉教授 |
| 淡井 桃花 | アワイ モモカ | 早稲田大学 | 創造理工学研究科 | 大学院生 |
| 鴨田 龍太 | カモダ リュウタ | 早稲田大学 | 創造理工学研究科 | 大学院生 |
| Pan Qiaoyu | パン チャオユ | 早稲田大学 | 創造理工学研究科 | 大学院生 |

(2) デジタルツイン都市構築グループ（リーダー氏名：白水靖朗）

| 氏名 | フリガナ | 所属機関 | 所属部署 | 役職 (身分) |
|-------|-----------|-----------------|------------|------------|
| 白水 靖郎 | シロミズ ヤスオ | 中央復建 コンサルタンツ | 役員 | 代表取締役社長 |
| 南部 浩之 | ナンプ ヒロユキ | 中央復建 コンサルタンツ | 事業創生グループ | 統括リーダー |
| 犬飼 洋平 | イヌカイ ヨウヘイ | 中央復建 コンサルタンツ | 総合政策グループ | サブリーダー |
| 和田 翔 | ワダ ショウ | 中央復建 コンサルタンツ | 事業創生グループ | チームリーダー |
| 山本 琢人 | ヤマモト タクト | 中央復建 コンサルタンツ | 公民連携まちづくり室 | サブリーダー |

5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

5-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

5-1-1. 情報発信・アウトリーチを目的として主催したイベント（シンポジウムなど）

無し

5-1-2. 研究開発の一環として実施したイベント（ワークショップなど）

無し

5-1-3. 書籍、DVD など論文以外に発行したもの

無し

5-1-4. ウェブメディア開設・運営

無し

5-1-5. 学会以外（5-3. 参照）のシンポジウムなどでの招へい講演 など

- (1) 人流データの取得やそれらの活用等に関する研究事例, 佐々木邦明, JSTE シンポジウム, 2022 年 12 月 24 日, 札幌市教育文化センター
- (2) 災害時への活用を想定したシミュレーションとモニタリング, 佐々木邦明, 建設コンサルタント協会セミナー, 2024 年 12 月 16 日, オンライン

5-2. 論文発表

5-2-1. 査読付き（ 4 件）

- (1) 市販 GPS を用いた駅周辺における歩行者の経路選択分析, 吉田 竜聖・佐々木 邦明・小川 明人・北條 彰人, 交通工学論文集 9(2) A_104-A_109 2023 年 2 月
- (2) Wi-Fi パケットセンサを活用した市街地における歩行者流動解析, 武藤夏陽, 佐々木邦明, 都市計画論文集 57(3) 2022 年 10 月
- (3) Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサを用いた市街地歩行者流動に関する研究, 黒田昇吾, 佐々木 邦明, 豊木 博泰, 交通工学論文集 11(2) A_271-A_280 2025 年 2 月
- (4) 台風災害時におけるリアルタイム観測データを活用した交通状態の再現可能性に関する研究, 高森駿・小林慎太郎・佐々木邦明, 土木学会論文集, 印刷中（2025 年 5 月発行予定）

5-2-2. 査読なし（ 1 件）

- (1) 黒田省吾・佐々木邦明・豊木博泰, Wi-Fi/Bluetooth ハイブリッドセンサを用いた Bluetooth の有用性に関する研究, 交通工学研究発表会論文集, Vol.44, 2024,

5-3. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

5-3-1. 招待講演（国内会議__0__件、国際会議__0__件）

5-3-2. 口頭発表（国内会議__4__件、国際会議__0__件）

（1）高森駿・小林慎太郎・佐々木邦明，台風災害時におけるリアルタイム観測データを活用した交通状態の再現可能性に関する研究，土木学会土木計画学研究発表会，東京都立大学，2023年11月25日

（2）黒田省吾・佐々木邦明・豊木博康，Wi-Fi/Bluetooth ハイブリッドセンサを用いたBluetooth の有用性に関する研究，交通工学研究発表会，日本大学，2024年8月8日

（3）淡井桃花・佐々木邦明，観測データを活用した大規模選択肢集合に対応可能な回遊行動モデルの構築，土木学会土木計画学研究発表会，岡山大学，2024年11月17日

（4）鴨田龍太・佐々木邦明，PT 調査を用いた大都市駅周辺における回遊モデルの経路歩行者観測データへの統合に関する研究，土木学会土木計画学研究発表会，岡山大学，2024年11月17日

5-3-3. ポスター発表（国内会議__1__件、国際会議__0__件）

（1）淡井桃花・佐々木邦明，新宿駅を対象とした街路ネットワーク改変による歩行者回遊行動の変化に関する研究，土木学会土木計画学研究発表会学会名、北海道大学、2024年、5月25日

5-4. 新聞報道・投稿、受賞など

無し

5-5. 特許出願

無し