

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

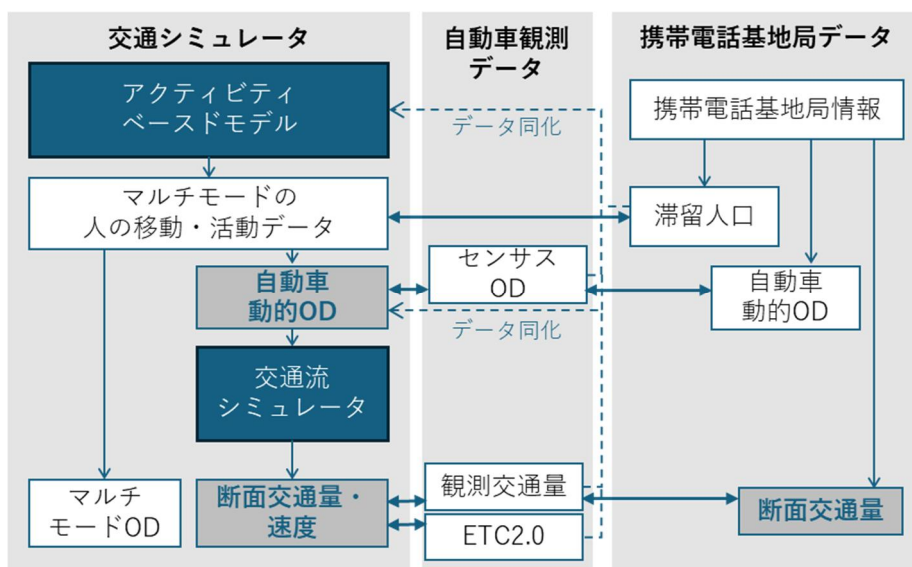
①研究代表者		氏名（ふりがな）		所属		役職	
		佐々木邦明 （ささきくにあき）		早稲田大学 創造理工学部		教授	
②研究 テーマ	名称	観測データとシミュレーションの融合による自動車OD交通量パターン再現技術に関する研究					
	道路行政 技術開発 ニーズ	No.	SE6, SDx2		政策 テーマ	道路交通センサスを高度化・代替した, データ志向の道路政策を可能にする	
		項目名	道路交通マネジメントの実践・高度化を可能とする技術 ETC2.0等を活用した自動車起 終点調査				
③研究経費（単位：千円） ※R6は精算額、R7は受託額、R8は計画額を記入。端数切捨。		令和6年度	令和7年度	令和8年度	総合計		
		2,430	1,680	1,900	6,010		
④研究者氏名（研究代表者以外の共同研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）							
氏名		所属・役職					
福田大輔		東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授					
石井良治		計量計画研究所 ITマネージャー					
鈴木俊博		NTTドコモ コンシューマサービスカンパニー マーケティングイノベーション部 プロダクト推進 担当課長					
加藤美奈		ドコモ・インサイトマーケティング エリアマーケティング部					
壇辻貴生		早稲田大学 創造理工学部 講師					
⑤研究の目的							
本研究の目的は、ETC2.0や携帯電話基地局情報、GPSに基づく移動体情報などの多様なデータソースを人の移動・活動を核とする交通シミュレーション上で統合的に扱うことで、道路の動的なOD交通量推計やその近未来予測、さらには道路利用の転換効果についての定量的検討を可能とするシステム（シミュレーションスペース）の開発を目指す。そのために、データ同化可能な交通シミュレータの開発、携帯電話ベースのOD推計、センサスODの動的補正等に具体的に取り組む。							

⑥これまでの研究経過，目標の達成状況，研究成果

最初に研究の全体像を再整理して示した上で，①同化アルゴリズムを取り込んだ交通シミュレータの改善・開発，②携帯電話基地局データを用いた断面交通量推計，③センサスODの動的補正方法の開発，の各項目に関して，研究経過，目標の達成状況，研究成果を記載する。

研究の全体像

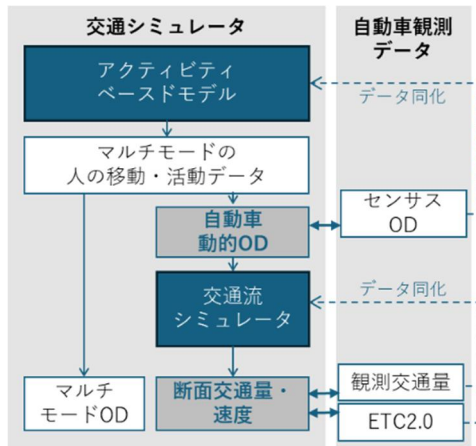
- ・実スケールの道路ネットワークに適用可能で，かつ，複数の観測データを同化可能な交通シミュレータを既存のシミュレータの拡張によって構築する。
- ・シミュレータは，交通マネジメント（情報提供，流入規制，料金コントロール等）や工事・更新時のマネジメント等のソフト面，道路や交通結節点等のハード面等での道路施策への活用を想定している。（詳細は「研究成果の活用方策」を参照）
- ・その際，シミュレータが具備すべき要件として，以下を設定する。
常時観測性・リアルタイム性：最新の交通状況の把握，施策後の交通状況の速やかな把握のため，ODや交通量等を数日以内に算出できるようにする。また，将来的には午前中の交通状況に応じて，夕方帰宅時における情報提供を実施できるような，リアルタイムな値の算出も想定する。
マルチモード性：交通マネジメントや交通結節点の整備等による，他交通手段への転換等を把握できるように，自動車交通だけでなく他の交通モードのOD等を算出できるようにする。
質的特性の把握：情報提供等のソフト施策を検討する際の基礎情報として，ある地点を通過する自動車交通が，どこからどこに向かう人か，目的や属性（居住地，年齢等）を把握できるようにする。
影響予測：工事や流入規制等による道路ネットワークの変更による影響を推計できるようにすることで，施策の事前検討に活用できるようにする。
- ・具体的なシステムとして，マクロレベルでは，都市圏スケールでマルチモードな人の移動・活動を推計するアクティビティシミュレータを活用し，ミクロレベルでは，自動車のリンク単位での移動を表現する交通流シミュレータを活用する。また，交通シミュレータ及び出力されるOD・壇目面交通量を補正するデータとして，自動車観測データ及び携帯電話基地局データを活用する。



＜シミュレータの利用ステップのイメージと研究の視点＞

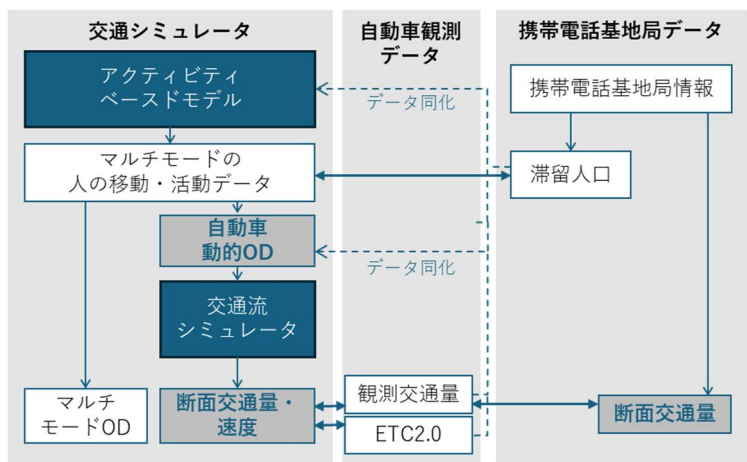
step1：道路交通センサ等に合わせたシミュレータの補正

シミュレータの適用対象の道路交通センサおよび一般交通量に整合するよう、アクティビティシミュレータを補正した上で、交通流シミュレータについてもパラメータ等（道路ネットワーク条件等）の補正を実施することで、適用対象地域への空間移転を行う。



step2：観測データによるシミュレータの時点補正

最新の観測データに合わせるため、携帯電話基地局データ等による観測値に合わせたデータ同化により動的ODを推計し、さらに得られたODに適合するようアクティビティシミュレータの再補正を実施する。これにより、特定時点の交通状況を反映した動的ODの生成および時空間移転されたシミュレータが構築される。

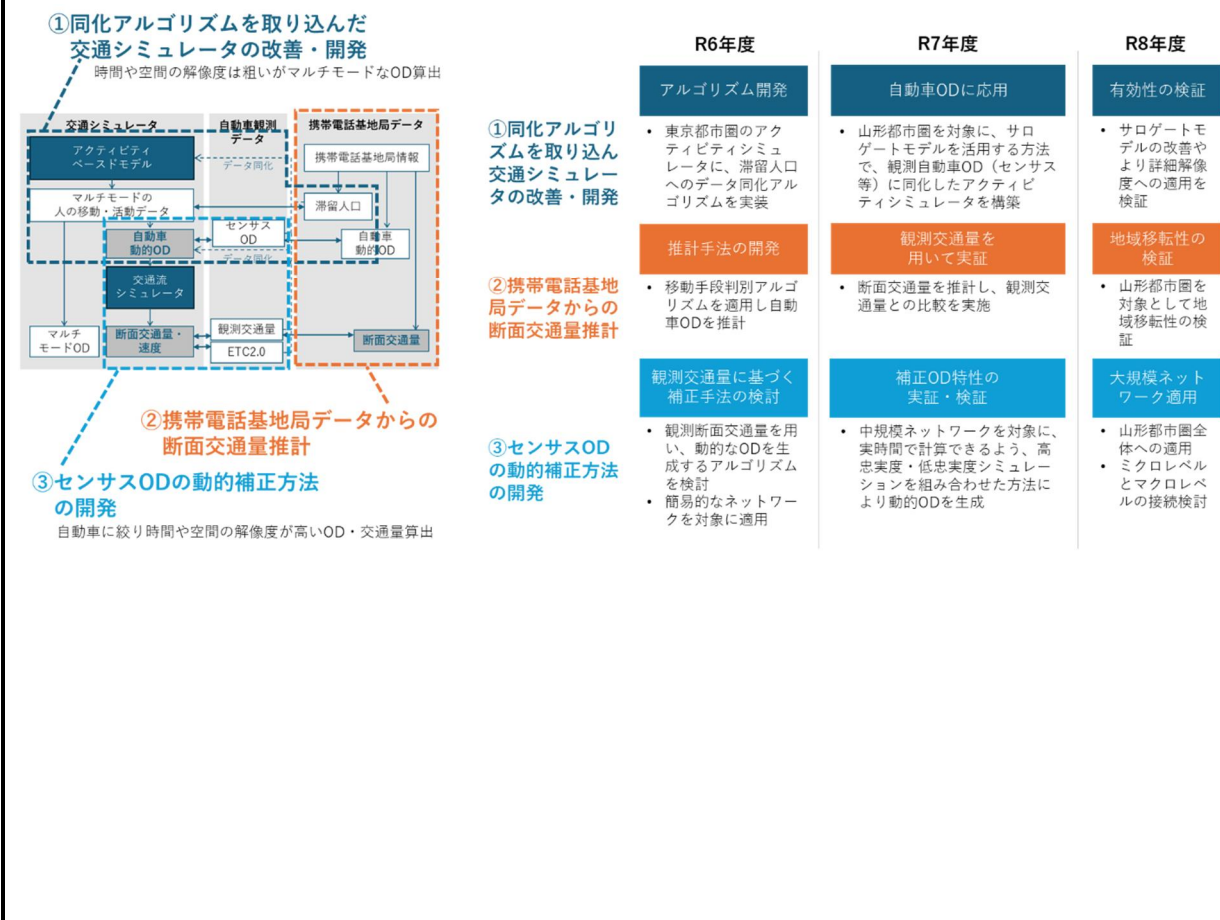


・ step3：影響予測への活用

時空間移転されたシミュレータを用いて、道路ネットワーク条件等のインプットを変更し、施策後の自動車交通量等を予測することで、工事・流入規制・情報提供等の施策による影響を実スケールで予測し、施策の立案検討に活用する。

<研究の進め方>

- ・マクロレベルでは、開発済みのアクティビティシミュレータ（国総研ABS等）に対して、道路交通センサス（自動車OD）への同化アルゴリズムを実装する。同化アルゴリズムとしては、サロゲートモデルを活用した補正モデルを採用する。本年度は、アクティビティシミュレータへの実装と同化アルゴリズムによる自動車OD等へのシミュレーション出力値の適合度の向上により、アルゴリズムの有用性を評価した。（「同化アルゴリズムを取り込んだ交通シミュレータの改善・開発」に該当）
- ・マイクロレベルでは、交通流シミュレータを活用し、時々刻々と得られる観測断面交通量とセンサスデータに基づいた動的OD需要推定手法の開発を行う。具体的には、高忠実度・低忠実度シミュレーションを組み合わせ効率的に推計断面交通量と観測断面交通量が整合するように動的ODを生成する。本年度は、中規模ネットワークを対象にアルゴリズムの妥当性を検証した。（「センサスODの動的補正方法の開発」に該当）
- ・並行して、携帯電話基地局データから抽出した自動車トリップをもとにした断面交通量推計の活用可能性について検討する。本年度は、携帯電話基地局運用データとGPSデータを組み合わせて作成した断面交通量を用い、JARTICの観測交通量と比較することで適合度を検証した。（「携帯電話基地局データからのOD推計」に該当）
- ・また、マイクロレベルとマクロレベルの連携に関して、接続したシミュレーションを実施することで有効性の検証をおこなう..



同化アルゴリズムを取り込んだ交通シミュレータの改善・開発

背景：

過年度では、目的地選択モデルを対象にデータ同化アルゴリズムのプロトタイプを検討した。本年度では、複数のモデルを組合わせたアクティビティシミュレータへのデータ同化アルゴリズムの実装を行う。アクティビティシミュレータには、国総研で構築されたアクティビティシミュレータを活用することを想定するが、山形都市圏においては計算時間が1回15分程度であり、観測データを再現するようなパラメータの組み合わせを求めするために例えば3000回繰り返し計算を行うと750時間という計算時間がかかる。そのため、アクティビティシミュレータを模したサロゲートモデルを構築し、これを用いて観測データを再現するようなアクティビティシミュレータを実装する。

本研究で設定する目標：

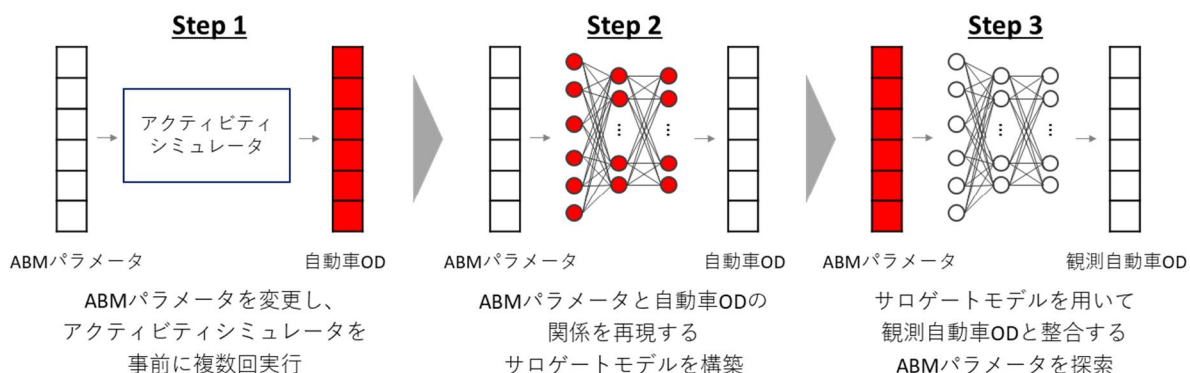
計算速度に関しては、観測データに対してパラメータの組み合わせをもとめる計算を数分～数時間で達成できるようなアルゴリズムを目指す。

また、精度に関しては、観測された自動車OD（道路交通センサスを想定）への高い適合度（相関係数0.8程度）を達成することを目指す。

手法：

提案手法の要点は以下の通りである。

- ABMのパラメータを変更してアクティビティシミュレータを事前に複数回実行し、サロゲートモデルのインプット（ABMのパラメータ）とアウトプット（自動車OD）のデータを取得する。
- ABMパラメータと自動車ODの関係を再現するサロゲートモデルを学習する。
- サロゲートモデルを用いて、観測値となる自動車ODを再現するようなABMパラメータの組み合わせを探索する。



現在得られている結果：

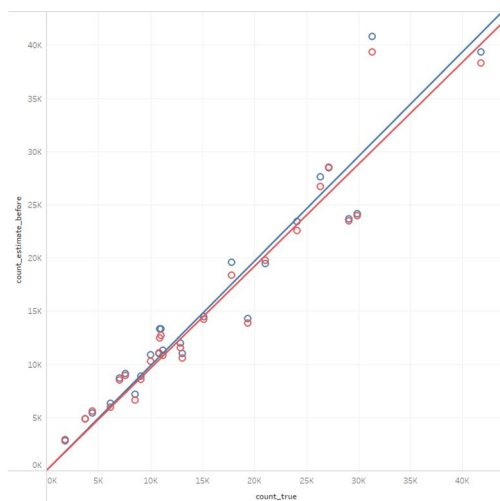
サロゲートモデルを以下の条件で構築

- インプットとして、アクティビティシミュレータの目的地選択の距離パラメータ、交通手段選択の所要時間等のパラメータを変更（計41次元）

- アウトプットとして、アクティビティシミュレータから得られた山形都市圏の大ゾーン別の自動車ODの集中量を利用（26次元）
- パラメータはLatin Hypercube Sampling (LHS)を用いて500サンプルを生成し、山形都市圏でアクティビティシミュレータを適用し自動車ODを取得（サロゲート用の500サンプルデータを取得するのに約125時間）
- サロゲートモデルは2層のニューラルネットワークで構築し、自動車ODの大ゾーン別の集中量に関して、学習に用いていない検証用データに対して相関係数0.8072となることを確認

サロゲートモデルを用いて観測自動車ODを再現するようなパラメータの組み合わせを探索し、得られたパラメータをアクティビティシミュレータに適用し再現性を確認

- サロゲートモデルを用いて、観測自動車ODの大ゾーン別の自動車集中量に合わせるように最適化アルゴリズムAdamを用いてパラメータの組み合わせを算出、元のアクティビティシミュレータから著しく乖離したパラメータとならないように損失関数として自動車ODの乖離だけでなく元のパラメータからの乖離も考慮
- なお、初期値に依存して得られるパラメータが異なることを考慮し、異なる初期値5パターンで計算し最も損失関数が小さくなったパラメータの組み合わせを採用
- パラメータの組み合わせを取得するための計算時間は数分程度
- 得られたパラメータをアクティビティシミュレータに適用したところ、補正前の結果と比較して、相関係数、RMSE、MAEのいずれの観点でも自動車ODとの適合性が向上



	補正前	補正後
相関係数	0.9568	0.9696
RMSE	2917.7	2807.6
MAE	2013.1	1968.6

図 アクティビティシミュレータ補正前後の自動車ODの再現性
（横軸：実績、縦軸：推計（青：補正前、赤：補正後）

今後の予定：

サロゲートモデルの改良により再現性の精度向上を目指す。また、より詳細なODへの適応を目指し、パラメータ数及び自動車ODの空間解像度を上げることによる精度の検証およびサロゲートに必要なサンプル数（計算時間）の関係を整理する。

携帯電話基地局データを用いた断面交通量推計

本研究で設定する目標：

携帯電話基地局データ等から作成した断面交通量を把握するデータについて、本研究への適用可能性を検討する。特に自動車の断面交通量に関して、観測断面交通量データ等との比較/評価を行い、決定係数0.7程度で利用可能なケースを明らかにすることを目標とする

手法：

携帯電話基地局運用データとGPSデータを組み合わせて作成した道路単位で人数が推計可能なデータを利用した。具体的には、精度の高い基地局ベースの人流（モバイル空間統計）を基に、GPSデータの拡大係数を動的に調整する（キャリブレーション）ことで、国勢調査（2020年）による拡大をベースとしたGPS単位での推計結果に比べ、統計的歪みの少ない道路リンク単位の人口推計値を算出することができるものである。機械学習でGPSデータの移動パターン（前後含めた一連の動きや速度など）を特徴量として交通手段判定（徒歩、自動車、自転車で分類）を行った後に、道路にマップマッチングや経路補間を行うことで、1時間毎（24時間区分）の道路ごとの通過人数（推計値）を推計。また、交通手段別（徒歩、自動車、自転車）の分解も可能であり、時間の制限なく1日を通した交通量の把握が可能となる。

現在得られている結果：

本研究への適用可能性を検証するべく、携帯電話基地局運用データとGPSデータを組み合わせて作成した自動車別推計人数を、令和3年度調査、全国道路・街路交通情勢調査の南東北地方の平休日別の平均乗車人数で推計台数に補正した結果とJARTICの断面交通量の比較を、サンプルが比較的多く得られている仙台市において実施した。2024年11月の平休日別・1時間毎（24時間区分）の傾向を比較したところ、決定係数が平日、休日ともに0.6程度の結果となった【図2】。この差は平均自動車台数で変換していることや、データ定義や各特性による違いが考えられる。

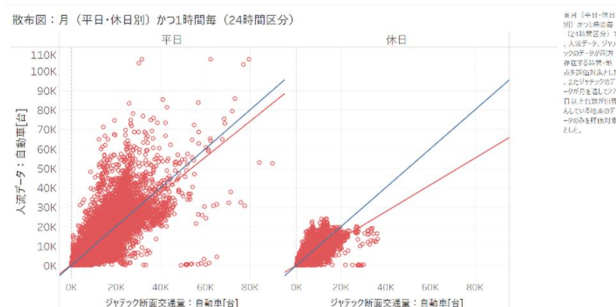
今後の予定：

道路種別や地域、期間粒度等を変えた追加検証を行い、既存の断面交通量とのデータの違いを明らかにすることで、活用可能性について検討を進めていく。

図1



図2



(参考) https://locationmind.com/news/news_locationai_prod_mobagps/

出典：「断面交通量情報」（公益財団法人日本道路交通情報センター）（<https://www.jartic.or.jp/service/opendata/>）を加工して作成

センサスODの動的補正方法の開発

背景：

都市交通の高精度な再現や交通施策の評価や災害時での交通施策の評価など多様なシナリオの評価には、OD需要の動的補正が不可欠である。実務で広く用いられるセンサスODは静的であるため、これら多様なシナリオを再現できない。近年「活動」と「交通」を統合したモデルを用いて、多様なデータで観測されている交通状態に合わせてODを推計する手法が注目されているが、これら手法の課題は膨大な計算量である。

観測データと整合するODを推計するには数百～数千回のシミュレーション反復が必要になることが一般的である。特に「活動」と「交通」を統合したモデルでは、1回のシミュレーションに数十分～数時間かかるため、計算時間が数週間～数ヶ月規模で必要となり現実的ではない。

本研究で設定する目標：

OD動的補正に必要となる数百～数千回に及ぶシミュレーション回数を、補正精度を損なわない上で数十回程度へ削減することを目標とする。

手法：

提案手法の要点は以下の通りである。

- Neural Posterior Estimator (NPE) で観測データから動的なOD需要を推論するモデルを開発
- モデル解像度の低い低忠実度シミュレーション (Combined modal split and static assignment model with SUE) を構築し、大量なデータを生成し、NPEを事前学習する
- 高忠実度シミュレーション (MATSim) を数回追加実行し、NPEのfine-tuningを実施
- 得られたNPEを用いて、ODの動的補正を行う

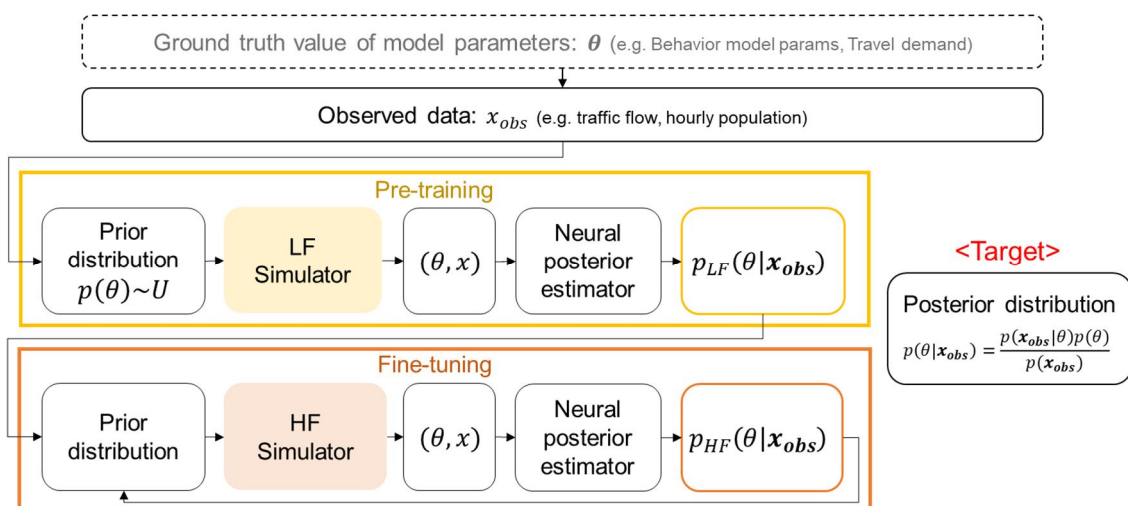


図 高忠実度・低忠実度シミュレーションを組み合わせた事後分布のキャリブレーション手法の提案フレームワーク

現在得られている結果：

Sioux Fallsネットワークを用いて提案手法の適用可能性を検証した。以下、現在得られている主な結果である

- 交通手段及び経路選択を考慮し、観測値（時間交通量）から手段選択のモデルパラメータの事後分布を推定する問題を設定した。低忠実度のシミュレーションは7秒/回、高忠実度シミュレーションは10分/回の計算時間を要する。
- 低忠実度シミュレーションによって500回・200エポックの事前学習を行った結果に対し、高忠実度シミュレーションによる50サンプルによるfine-tuningを行った結果、推定された事後分布は真値に近い位置に集中することを確認した。
- 500サンプルを高忠実度シミュレーションで得るためには簡単なトイネットワークでも約83時間掛かるため、74時間以上の計算時間の削減を達成している。

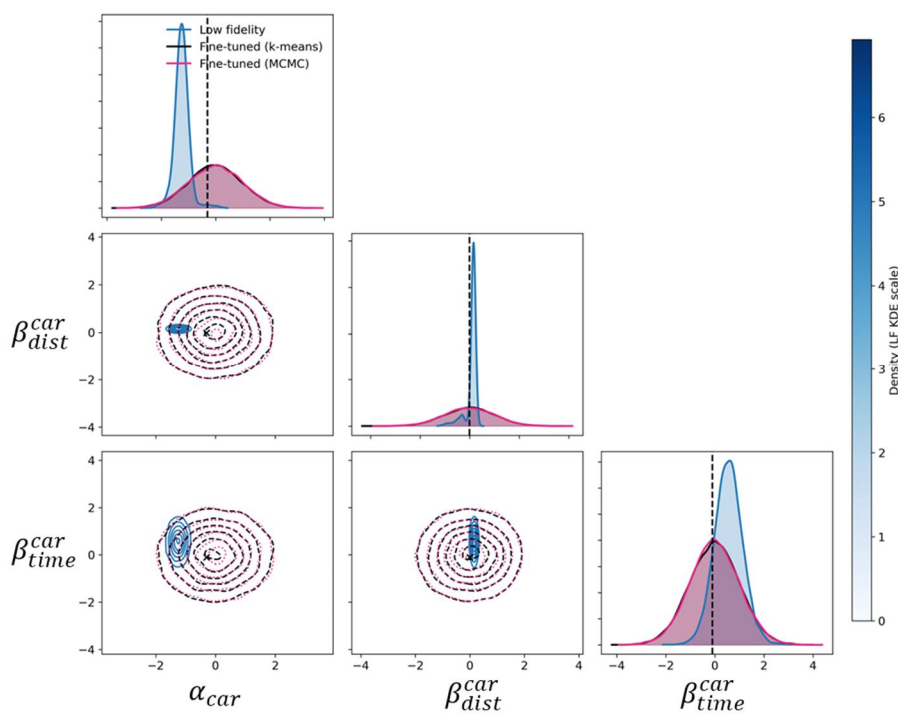


図 低忠実度シミュレーションによる事前学習および高忠実度シミュレーションによるファインチューニング結果の比較

今後の予定：

中規模ネットワークを対象に提案手法の有用性を検証したので、今後は山形都市圏の大規模ネットワークを対象に提案手法を適用する。大規模ネットワークでは、高忠実度シミュレーションの計算時間がより長くなるため、提案手法の有効性が高まると考えている。また、推定対象としてODをセンサス交通量および観測交通量から、ネットワークの交通容量や自由流速度等の供給側パラメータの推定にも取り組み、従来型のキャリブレーションの効率化を図る手法についても検討する。

マクロレベルとマイクロレベルの接続の検討

本研究で設定する目標：

OD交通量および断面交通量を，最新時点の各種統計データおよびIoT観測データのみから推計することを意図した一貫した仕組みを構築し精度評価することで，マクロレベルとマイクロレベルの接続の有効性や課題等を検証する。

手法および現在得られている結果：

マクロレベルとマイクロレベルの接続の検討に向けて，各々のアルゴリズムを山形都市圏において構築した。

1) 人口合成およびアクティビティシミュレータの地域移転

全国PTをベースに，国総研で構築されたベイジアンネットワークに基づく人口生成のアルゴリズムを用いて，人口合成を行った．合成された人口を用いてABSを複数回実行し，その平均的な結果を携帯電話基地局データ（モバイル空間統計）と比較し，そのずれをパーティクルフィルタによって補正した．一方で，個人属性の分布が変化することを防ぐために，個人属性分布を維持するアルゴリズムを導入した．結果として，観測された滞留人口との相関係数は0.9724と高い精度であることを確認した．【図1】

2) アクティビティシミュレータの時点補正

日々の変動がABSでは出力されないため，モバイル空間統計の日々の変動をベースにDay-to-dayの変動を再現する手法を検討し，特定の日において滞留人口が観測値と比較して0.8147の相関係数であることを確認した．【図2】

3) 交通流シミュレータの補正

都市圏ODが与えられたときに，ネットワークに配分を行い，その際にJARTICが公開しているトラフィックカウンターの交通量に整合する配分を行った．アルゴリズムとしては，時間帯別にJARTICに整合するようにBPR関数のパラメータを動的に変更することで，特にピーク時においてRMSEの改善を図ることができた．【図3】

今後の予定：

各アルゴリズムに関して観測データとの適合性を確認することができたため，今後はシミュレータを接続することによる精度評価の検証を行い，開発を行っている技術の導入を進める。

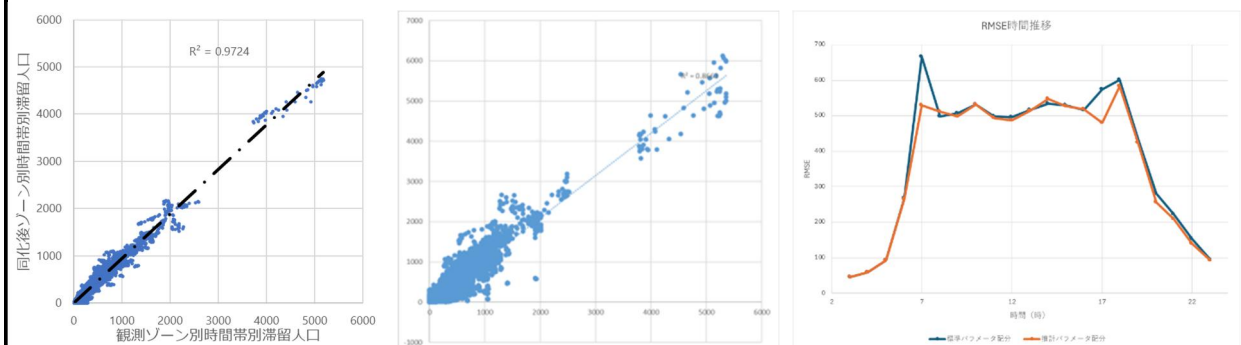


図1 (左) 合成人口に基づくABMをモバイル空間統計に同化

図2 (中央) 前日のデータを用いた翌日の予測

図3 (右) BPR関数の時間帯別パラメータ更新によるRMSEの変化

⑦中間評価で指摘を受けた事項への対応状況	
指摘	対応状況
具体的な研究目標を明確化して計画的に取り組んでいただきたい。 得られる動的ODデータについて、活用可能性、活用方法を念頭に研究を進められたい。	成果の活用先等の研究目標を明確化（「研究の全体像」，「研究成果の活用方策」を参照）
研究成果の精度の目標数値等について、念頭に置いて研究を進められたい。	各検討内容に関して、目標となる数値を設定
マイクロレベルとマクロレベルの接続部分の検討も適切に実施されたい。	マイクロレベルとマクロレベルを組合わせた活用方法を「研究の全体像（p3）」に記載 また、マイクロレベルとマクロレベルの接続の検討を実施（p10）
研究遂行上より望ましい検討対象エリアの設定について検討されたい。	地方都市圏である山形を対象に各検討内容のフィールドを合わせて検討（次年度も継続）
アルゴリズム開発後には、実データを用いた検証結果と併せて実データの特徴を踏まえて手法の改良に取り組まされたい。	次年度に実データの検証結果をふまえた手法の改良を検討（例えば携帯電話基地局データによる断面交通量推計の精度が高い道路のみのデータを用いたセンサスODの動的補正等）
学会等で有用性について有識者の判断、助言を得て、成果の向上を目指していただきたい。	学会等での意見交換を定期的実施（「研究成果の発表状況」を参照）
⑧研究成果の発表状況	
<p>田中俊太郎・福田大輔: 集計滞在情報を用いた大規模移動活動シミュレータの補正手法の開発. 第71回土木計画学研究発表会・講演集, Paper No. C09-2, 2025.</p> <p>Tanaka, Shuntaro and Fukuda, Daisuke: Development of a Deep Learning-Based Hybrid Calibration Method for Large-Scale Activity-Based Travel Simulator Using Passive Aggregate Population Data. Paper Presented at the 2025 IEEE 28th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), November 18-21, 2025, Gold Coast, Australia. Paper No. Paper FR-LA-T39.1, 2025.</p> <p>清水大夢・松島敏和・加藤美奈・渡邊稜也・曾根美櫻: モバGによる歩行者流動に着目した特性の把握, 第72回土木計画学研究発表会・講演集, Paper No. 07-05, 2025.</p> <p>Mayuzumi, Fuga and Dantsuji, Takao: A multifidelity simulation-based inference framework for calibrating agent-based model parameters. 第72回土木計画学研究発表会・講演集, Paper No. 05-09, 2025</p> <p>松村大希・佐々木邦明: 人口分布と属性分布に整合する生活行動再現を活用した Day-to-Day の行動分析, 第72回土木計画学研究発表会・講演集, 2025.</p> <p>小林慎太郎・佐々木 邦明: リアルタイム観測データを活用した交通状況再現による災害復旧効率化の検討, 第36回日本道路会議, 2025.</p>	

⑨研究成果の活用方策

研究成果の実務への適用に向けた活用方法

検討したシミュレータに関して、以下のような実務への活用方法が想定される。

分類	検討項目	活用イメージ	空間解像度	時間解像度	備考	
ハード整備	道路NW	現況	現況NWにおける検討路線周辺のピーク時交通量、所要時間の把握⇒整備の必要性に活用	リンク	ピーク時	・センサスや事業評価スキームが確立されている領域
		現況	現況NWにおける検討路線周辺のOD内訳（誘発/転換、通過か否か、属性）の把握⇒整備の必要性に活用	Bゾーン	日別	
	交通拠点（交通結節点、SIC）	現況	現況NWでの周辺路線のピーク時交通量、所要時間の把握⇒整備の必要性に活用	リンク	ピーク時	・活用領域としての可能性が高いが、細街路レベルの細かいデータをアウトプットする必要がある
	道路空間再配分（自転車・歩行者）	推計	検討路線の交通容量を変えた時の、周辺路線のピーク時交通量、所要時間の推計⇒どう再配分するかを検討に活用（時間帯別の運用含め）	リンク	時間帯	
		現況	検討路線を利用するOD内訳（誘発/転換、通過か否か、属性）の把握⇒再配分の具体検討に活用	4次メッシュ	ピーク時	
	交通安全（生活道路）	現況	検討路線のピーク時交通量、所要時間の把握⇒対策の必要性に活用	リンク	ピーク時	
推計		検討路線の交通容量（制限速度）を変えた時の、周辺路線のピーク時交通量、所要時間の推計⇒影響把握に活用	リンク	ピーク時		
ソフト対策	交通マネジメント（情報提供、料金コントロール）	現況	検討路線（または観光地周辺路線）のピーク時交通量、所要時間の把握⇒対策の必要性に活用	リンク	ピーク時	・既存データ（トラカン、ETC、ETC2.0）との棲み分け
		現況	検討路線（または観光地周辺路線）のOD内訳（誘発/転換、通過か否か、属性）の把握⇒対策の対象検討に活用	Bゾーン	ピーク時	
	推計	検討路線の交通容量を変えた（料金抵抗を変えた）時の、周辺路線のピーク時交通量、所要時間の推計⇒対策内容検討に活用	リンク	ピーク時	・活用領域としての可能性が高い	
	現況	逐次交通状況を把握して、情報提供や料金を変動させる	リンク	時間帯別		
工事等の特異日への対応（※需要が変動するが対策期間を設けられる事象）	推計	対象路線を通行止めにした時の周辺路線の交通量、所要時間の推計⇒いつ工事するか、工事中に行う情報提供等の対策検討に活用	Bゾーン	時間帯別	・人の行動が特殊になる	
イベント時・連休等の特異日への対応（※需要が変動するが対策期間を設けられる事象）	現況	過去のイベント会場や観光地・商業施設周辺NWのピーク時交通量、所要時間の把握⇒情報提供等の対策検討に活用	リンク	事中（時間帯別）		
	現況	過去のイベント会場や観光地・商業施設周辺のピーク時OD内訳（誘発/転換、通過か否か、属性）の把握⇒対策の対象検討に活用	4次メッシュ	事中（時間帯別）		
災害・事故対応（※突発的な事象であり、複数ケースを想定しておくべき事象）	現況	対象地域のOD分布、交通量をモニタリング⇒どの路線から優先的に復旧すべきかの想定	Bゾーン	時間帯別		
	推計	対象路線が通行止めになった時の周辺路線の交通量、所要時間の推計⇒情報提供等の対策検討を想定	リンク	時間帯別		

研究期間終了後における研究の継続性や成果活用の展開

研究期間終了後も、精度向上や計算速度向上に向けた研究は継続的に進める。

また、開発したシミュレータを活用し、行政や道路事業者との意見交換を重ねながら、具体的なユースケースの検討・開発を進める。

⑩特記事項

- ・今後、研究で得られた知見等に関しては、国内外の学会・論文等に投稿する予定である。
- ・本年度は、各研究項目のコアとなるアルゴリズムを開発し、計算時間の改善や精度の観点から結果が出ている。次年度は、各アルゴリズムの改善を行いつつ、他項目の検討結果を相互に反映できるように検討を進める。