

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
	佐々木邦明		早稲田大学		教授
②研究 テーマ	名称	多様な観測データの活用による道路交通施策評価のためのモデル開発			
	政策 領域	[主領域] 3	公募 タイプ	II	
③研究経費 (単位:万円)	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
	599 (税込み)	1100 (税込み)	1092 (税込み)	678 (税込み)	¥3469 (税込み)
※端数切り捨て。 ※該当する研究期間のみご記入下さい。					
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。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 (※平成31年3月31日現在)				
菊池 輝	東北工業大学・教授				
布施 孝志	東京大学・教授				
福田 大輔	東京工業大学・准教授				
藤井 涼	(株) 日本工営・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>研究の目的は、より行動に根差した交通需要モデルを構築し、それらの自由度や精度を高め、各種の道路・交通施策の評価に必要な基礎データの提供や、生活に根差した交通施策の影響を計測できるシステムの提供が目的である。</p> <p>具体的な目標として、評価システムのベースとして、人の行動をベースとした交通状態の変化を記述するシミュレーションモデルの構築し、そこに様々な交通状態の観測データを同化させることで、より精度の高い状態変化予測などを行う。そして、道路整備や交通政策事例を用いて、その手法の有用性・適用性を検証する。特に道路ネットワーク上の所要時間や、ゾーン間の滞在人数推定データ、経路の利用データ等、現在活用可能な様々なデータを、本研究プロジェクトで開発するシミュレーションに同化し、長期的には状態変化に応じたOD表の提供や、短期的には所要時間の予測などを行う。また、それらを道路政策評価やマネジメントに活用する事例を示すことが目標である。</p>					

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

4年間の研究では以下の通りの経過をたどった

1) ツアーベースアクティビティシミュレーションとモバイル空間統計の同化

ツアーベースアクティビティモデルは都市圏の時間帯別の静的なODの推計に適している。本研究プロジェクトでは、甲府都市圏・首都圏のモデルを構築し、そこにモバイル空間統計を同化し、年度別のデータを用いて定数項を更新する高速なアルゴリズムを開発し、実用的なレベルにした。併せてツアーベースのアクティビティモデルの有効な自動推定スクリプト確認を行った。主に佐々木、福田が担当した。

2) 逐次型アクティビティシミュレータを用いた逐次型データ同化

PCATSと呼ばれる逐次型意思決定アクティビティシミュレータを用いて、時間帯ごとに位置を予測し、さらにモバイル空間統計データを用いた同化アルゴリズムを開発した。主に菊池、布施が行った。

3) ネットワークシミュレータへの観測データの同化

ネットワークシミュレータを用いて、道路での速度等の観測データが得られた際に、シミュレーションパラメータを更新するアルゴリズムの開発を行い、仮想のデータ等を用いて更新を行い、シミュレーションの精度を高める可能性があることを示した。主に佐々木、藤井が実施した。

以下、年度別の成果をまとめる。

H27年度（FS研究）

H27年度はツアーベースのアクティビティモデルを構築した。ツアーベースモデルとは、ツアー単位で手段や時間帯などを選択し、一日の行動を効用最大化の枠組みで決定することになる。このモデルを採用した理由は主に2点ある。

1) モデルパラメータ推計に、一般的な交通行動データであるパーソントリップ調査データを用いたい。ただし、パーソントリップ調査データは外出行動のみのデータであることから、ツアーベースモデルが適している。

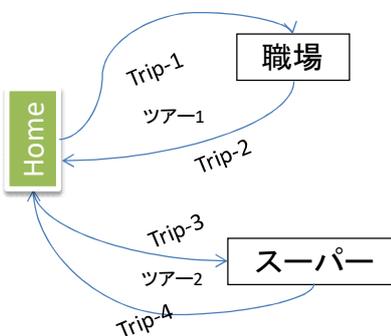


図-1 一日の行動パターン例

2) 自宅内活動考慮したアクティビティモデルと比較して、自宅内活動とのトレードオフの分析可能性が劣るが、一日単位で宅外行動パターン最適化をするため、TDM等の政策評価においてはアクティビティモデルよりも優れた特性を持っている。

以下H27には、大都市圏としての東京都市圏、もう一つは地方都市圏としての甲府都市圏である。これらの都市圏で行われたPT調査データをもとに、ツアーベースモデルを構築した。

1) 東京都市圏モデル

H20東京都市圏PTを利用して、都心三区に着目して都市圏全体の移動の再現モデルを構築した。そのモデルの構造は、トラベルパターン、主要ツアー4段階、二次ツアー4段階の9段階のネステッドロジットモデルである。

2) 甲府都市圏モデル

H17甲府都市圏PT調査を用いて甲府都市圏でのツアーベースモデルを構築した。モデル構造を地方の実情に合わせて東京モデルとは一部変更した。具体的には、主要ツアーに手段選択が導入され、主要ツアーでの中間滞在地の目的地選択段階が無い。これらは東京と地方都市圏の交通状況の違いを表現しており、政策分析に当たっては、交通手段選択が重要であると考えたためである。

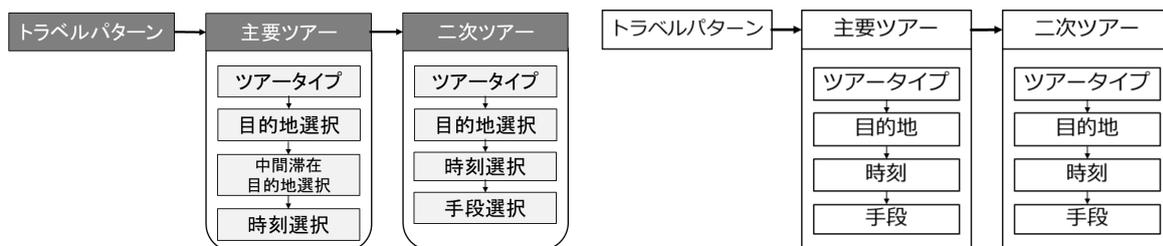


図-2 東京都市圏ツアーベースモデル

図-3 甲府都市圏ツアーベースモデル

これらのモデルを用いて、個人のトラベルパターンの再現するマイクロシミュレーションシステムを構築し、都市圏OD予測や、時間帯別の滞在人数予測を行った。また仮想的に、公共交通所用時間が向上する施策を導入した際の結果について検討を行った。その結果、トリップ時間帯の変化などの従来型のモデルでは検討できない結果が得られた。また、特定したモバイル空間統計データを用いて、一時間断面の同化実行可能性を示した。

H28研究

1) 同化アルゴリズムの改良

H27に構築したアクティビティシミュレータとモバイル空間統計の同化は、非常に時間がかかったため実用的でないとの指摘を受けた。そこで、アルゴリズムを改善し、メモリを有効に使った並列計算ができるような改良を行った。200万人程度の個人を個別にシミュレーションし、4つの時間断面のゾーン滞在人数に同化するのに、PC (Corei7-4700, 16Gメモリ) で1時間弱となり実用的になった。そのことから、シミュレーションの高度化も併せて行い、中間滞在や二次ツアーの発生時間もシミュレーションできるようになった。

2) モデルの時系列的更新

複数時点のモバイル空間統計データを得たことで、滞在人数を補正するだけでなく、ネステッドロジットモデルの構造が時点間で変化すると想定したパラメータの時点更新アルゴリズムも構築した。特に定数項は誤差項の期待値であり、時点間で安定しているとは限らない。特に目的地選択では、各種指標の時間的変動によって誤差が変動する。よって、定数項のみを同化対象データにあわせて更新するアルゴリズムを構築した。

3) ソフト的道路施策を考慮したモデル開発

勤務時間変更などのソフト施策を評価し、動的な交通状態変化に対応できる、固定時間による制約（プリズム制約）を考慮した、逐次型アクティビティモデル開発を検討した。プリズム制約については図-4を参照してほしい。合わせて時間帯ごとの滞在人数を観測変数とした同化アルゴリズムを開発した。

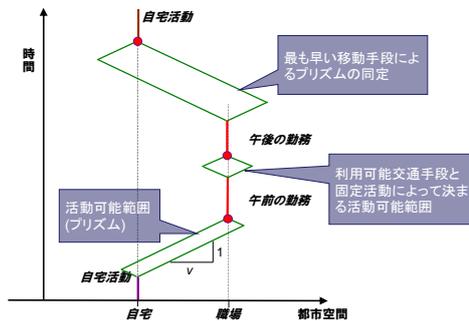


図-4 プリズム制約の概念図

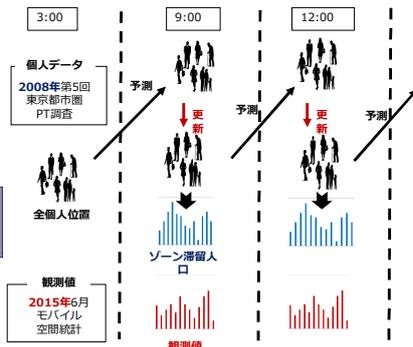


図-5 逐次型シミュレータと同化

4) ネットワークシミュレータ補正アルゴリズムの開発

アクティビティモデルによるOD推計等が可能になったことから、道路交通政策の評価のために交通流シミュレータを用いる。このシミュレータにおいても観測データへの同化可能性を示す。APIを実装するAIMSUN上で1 OD 2リンクの簡単なネットワークで所要時間が片方のリンクで得られた時に、そちらの道路特性パラメータを観測値に近づけるように更新するように同化のためのAPIプログラムを構築した。

H29年度

1) アクティビティシミュレータの実務的適用性向上

これまで構築してきた2種類のアクティビティモデルを実用的にするための改良を行った。一つは、パラメータ推定の簡素化である。多段階ネステッドロジットモデルをブートストラップ推定で検証し、変数を自動的に選択するアルゴリズムを構築し、ロジットモデルを推定できる程度の知識があれば、モデル構築が可能になった。

逐次型アクティビティモデルは、スクリプトをいじることなくモデルの設定が変更可能になった。これによって、各種パラメータ等もファイルからの読み込みになったことから、より簡易な形での実行が可能になった。

OD交通量が観測されたと想定したアルゴリズム開発も実施し、モバイル流動統計等の全目的・全手段のODが得られたと想定して、目的・手段別ODの精度向上を確認した。合わせて時系列的な観測データが得られた際にパラメータを更新する方法を提案し、その有効性を確認した。

2) 交通流シミュレータの改善

H28年度に開発したアルゴリズムを実装したまま、甲府都市圏にネットワークを拡張した。その際に計算可能性を確保するために、メゾミクロのハイブリッドネットワークを構築した(図-6)。またそのうえで、一部リンクでETC2.0等によって所要時間分布が計測されたとの想定の下で、リンクコストを更新するアルゴリズムを実装し、仮想的な所要時間分布を与えて交通量の変化を確認した。また、このほかにもトラカンデータを用いて所要時間分布を作成し、APIに取り込むことでトラカンデータを活用する方法も提案した。

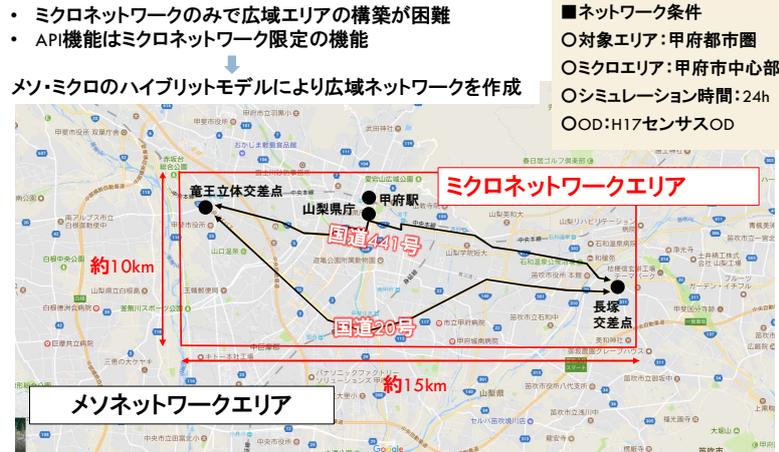


図-6 都市圏ネットワークへの拡張

H30年度

H30年度は、主にアクティビティシミュレータとネットワークシミュレータの統合およびネットワークシミュレータの高度化を実施した。

1) アクティビティシミュレータとネットワークシミュレータの統合

仙台都市圏を対象に、アクティビティシミュレータと交通流シミュレータを、データ同化の枠組みも追加して統合し政策評価を行った。本統合によって、パラメータが流用されたものであっても、交通量の配分結果がセンサスの交通量データに近い結果を得ることができた。また、このシステムを用いて仙台都市圏の道路整備を想定して、道路開通による変化を予測したところ、仙台都心部での自由活動が増加すると予想された。これはアクティビティシミュレータ独自の成果であり、道路整備が時間短縮だけでなく都市圏の生活に与えるインパクトを数値的に表現できることを示した。

2) ネットワークシミュレータの高度化

甲府都市圏ネットワークに拡張したネットワークシミュレータに、得られる各種の観測データを用いて速度分布を想定し、リンクコストに着目して、複数のリンクで観測速度分布が得られたとの状態で同化を行った結果、いくつかの幹線道路の交通量がセンサス交通量に近い状態になり、パラメータを自動的に補正しながら、精度よく都市圏の交通流を再現できるようになった。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

1) FS評価で指摘された点

・本格実施に当たっては、地域と連携した施策・計画を前提としつつ、具体的な成果目標を設定した上で、有用性を分かりやすく示していただきたい。

→具体的な道路交通施策を対象に、アクティビティシミュレータを適用して、ネットワークの変化が生活にどのような影響を与えるかを示すことを目標とし、その実施に向けて研究を進めた。

また、参考意見として、研究タイトルが「道路情報提供」となっているが、むしろ「道路、交通施策評価のためのモデル開発」とした方が適切ではないかとの指摘を受けて、研究タイトルを「多様な観測データの活用による道路交通施策評価のためのモデル開発」と変更した

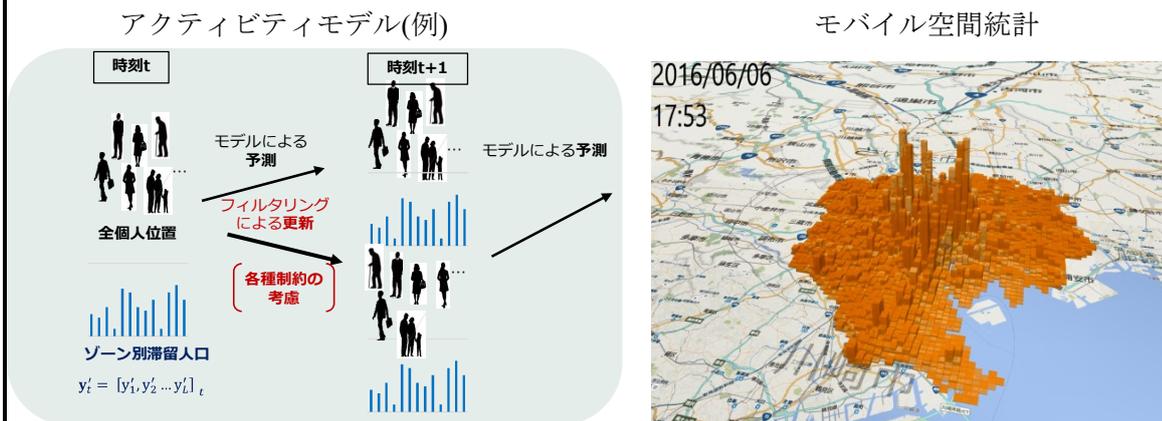
2) H28年度末の中間評価では「現行のとおり推進することが妥当であると評価する」とのことから現行計画に沿って進めることとした。参考意見に対応して、シミュレータ等のユーザビリティの向上などを、研究計画に追加することとした。

3) H29年度末の中間評価では「現行のとおり推進することが妥当であると評価する」とのことから、現行計画に沿って進めることとした。また、参考意見に対応して、ネットワークシミュレータまでの統合時に、センサスデータ等と比較して精度の向上を確認することとした。

③研究成果

1) アクティビティシミュレーションのモバイル空間統計への同化

アクティビティモデルは、実務的に使われるようになってきたが、目的地選択等においてはまだ精度が低い面もある。一方、ビッグデータと呼ばれるデータの利用可能性が高まっており、それらのデータを活用することが求められている。本研究のインパクトの一つとしては、このような状況においてこれら二つを融合して需要予測に適用するというものである。



ビッグデータの活用については、様々な研究方法が示されている。本研究は、アクティビティシミュレータという最もフレキシブルな行動・移動モデルを用いて、モバイル空間統計データに同化させた。それによって、時空間的な滞在人数を一つの指標としてモデルの予測を修正することができた。今回の研究ではモバイル空間統計を用いたが、アクティビティシミュレータは様々な出力が可能であり、ゾーン間の全トリップ数や手段別の経路交通量など、様々なタイプに同化できる。

より詳細に成果を説明する。

① ツアーベース型アクティビティモデル

一日の行動を最適化した、都市圏の一日OD等の予測に適したモデル。多段ネステッドモデルによる一日の外出活動の再現を構築

■ 甲府都市圏および東京都市圏に適用し、交通政策に対する反応の評価を行った。さらに甲府都市圏及び都心三区でモバイル空間統計データへの同化を実施した。

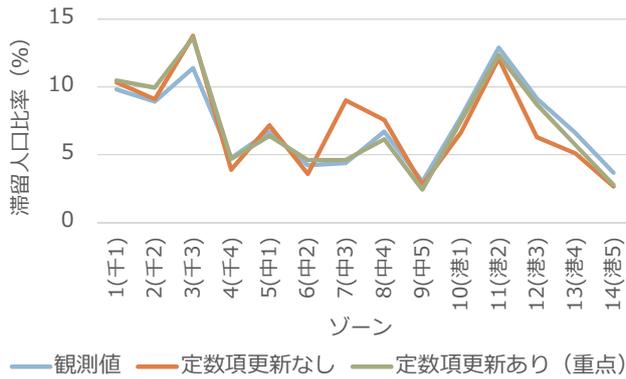
② プリズム制約を考慮した逐次型意思決定アクティビティシミュレータ

一日の行動を逐次決定していくアクティビティシミュレータも研究対象とした。これは動的な変化を予測可能で、リアルタイムデータや障害発生時の予測などに適している

■ 甲府都市圏、都心三区および仙台都市圏に適用し、交通政策への反応を検証。また、モバイル空間統計への同化アルゴリズムを適用した。

⑧研究成果（つづき）

ビッグデータの一つの特色として、継続的なデータの利用可能性がある。そこで定数項などの時間的に変化が起りやすいモデルパラメータをデータに応じて更新することで、中間年次の補完等にも用いることが可能であることを示した。下の図は、定数項を1年前のデータで同化して更新することで翌年度の予測がより精度良く行われたことを示している。精度向上率を、ゾーン滞在人口の観測値とのベクトル距離で測ったところ、49%の向上となった。



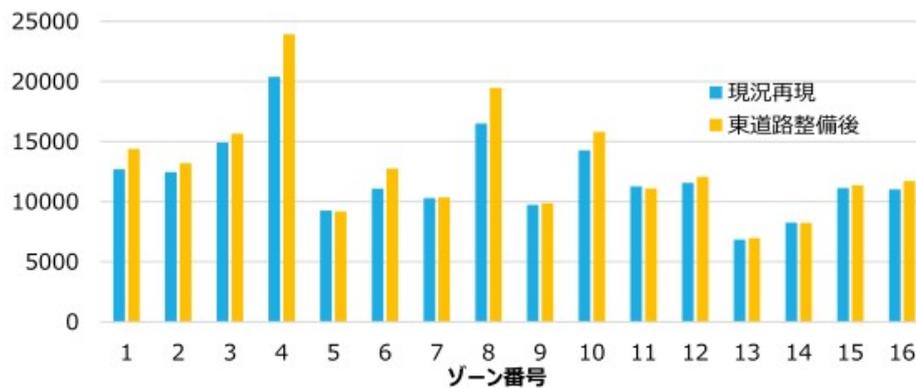
2) 都市圏道路政策評価への適用

本研究では、アクティビティモデルを用いて、データ同化を行ったうえでネットワークシミュレータとの統合研究を行った。その一例を仙台都市圏への適用結果として示す。アクティビティモデルは既存のモデルのパラメータをそのまま流用し、観測データとして、H14の仙台都市圏PT調査および2017年10月の平日のモバイル空間統計を観測値としてシミュレータを同化した。その結果は、ゾーン滞在人数は大よそまんべんなく変化し、観測値へのユークリッド距離は改善した。H27の道路交通センサス交通量を指標として、ネットワーク配分後の交通量を比較すると、再現性が大きく改善した。またその計算時間は17時間であり、実用的な時間であると考えられる。

このモデルを用いて、政策評価を行った。道路政策として、下の図のように仙台西道路とランプ直結し、仙台東部道路とJCTで接続する自動車専用道路を想定し、国道4号及び楽天生命パークにランプ接続すると仮定した。この道路整備によってどのような変化が生じるかを評価した。



その結果、下の図に示すように中心部の16ゾーンの自由活動数を見ると、東道路整備によって多くのゾーンで増加している。また、自由活動時間を指標としたときには、それほど変化がないことから、移動時間の短縮で自由活動の数が増加したが、全体の自由活動時間を変化させていないことがわかる。このように、道路の開通によって、生活パターンにどのような影響を与えるかを評価することができることを示した。



3) ネットワークシミュレータの改善

ネットワークシミュレータは、一般に数多くのパラメータを持ち、その適切な値は交通状況に応じて異なることが既存研究で示されている。特にマイクロシミュレータはフレキシブルな特性を持つ一方、そのパラメータ設定によって結果が大きく変わることが指摘されている。そこで、本研究では甲府都市圏を対象に、観測データが得られた状況でパラメータの更新を行い、シミュレーションの精度を改善することを試みた。甲府都市圏のセンサスODを用いてネットワークにデフォルトパラメータでシミュレーションを行うと、実測の半分程度の交通量になってしまうが、走行速度分布の統計値を得て走行時間分布を推計し、それに同化する形でリンクコストを更新した。下にある地点を例に示すが、デフォルトでは非常に乖離していたセンサスの交通量に、リンクコストの更新アルゴリズムを導入することで、同等の交通量が流れるようになった。これによって、マイクロシミュレーションのパラメータを現況の交通量を再現するように調整するアルゴリズムが構築できた。



⑨研究成果の発表状況

- 1) Traffic Flow Prediction Using Micro-Simulator with Multiple Information, Faysal Ibna RAHMAN, Kuniaki SASAKI, Takashi ABOTANI, 13th EASTS conference, Colombo, 2019.9 (搭載決定)
- 2) The Update of the Parameters in Activity-Based Simulation by Assimilation into Mobile Spatial Statistics, Akane Sawada, Sasaki Kuniaki, Asian Transport Studies, Vol.5(3), pp. 439-452, 2019. 3
- 3) シミュレーションと観測データの統合による交通需要予測手法の構築と分析, 大竹司真, 菊池輝, 土木計画学研究・講演集, Vol.58, 2018.11
- 4) 詳細な交通行動推定のためのアクティビティシミュレーションと観測データの統合に関する研究, 布施孝志, 原田遼, 土木計画学研究・講演集, Vol.57, 2018.6
- 5) The Assimilation of Activity-Based Simulation and Mobile Phone-Based Dynamic Population, Akane SAWADA, Kuniaki SASAKI, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 12, pp. 690-708, 2018. 4
- 6) パーティクルフィルタを援用した観測ODとシミュレーションを融合したOD推計手法, 澤田茜, 川辺拓哉, 白須瑛紀, 佐々木邦明, 土木学会論文集D3, Vol. 73(5), I_579-I_588, 2017.12
- 7) The assimilation of activity-based choice model and cellular phone-based dynamic population, Kuniaki Sasaki, Akane Sawada, 5th International Choice Modelling Conference, 2017.4

⑩研究成果の社会への情報発信

特になし

⑪研究の今後の課題・展望等

研究の展望として、最新の交通行動データがない状況で需要予測等を行った場合にも、最新のビッグデータを用いて補完・更新が行えることを示した。特に、シミュレーションモデルのパラメータの時間的な安定性について、パラメータの随時更新を提案し、それによる中期・短期の予測精度の向上を検証できた。多くのビッグデータは時間的に連続して計測されるものが多く、より動的なモデル更新が可能になり、短期のマネジメント等に十分活用できると考えている。この成果をより幅広く活用するための課題としては以下のようなものがある。

1) 適切な観測データの選択と同化方法

今回用いたデータは、トラカン・断面交通量、道路交通センサス、パーソントリップ、モバイル空間データなどである。オープンデータ政策によってさらに多様なデータが利用可能になると考えられる。しかし、それらはデータの質（精度）、データの量、時空間的な断面、などが統一されず、いたずらにデータを増やしても必ずしも精度が向上しないと考えられる。よって、どのように需要予測システムや政策評価システムに導入するのが効率的であるかについて、研究が必要になる。

2) アクティビティモデルのさらなるシステム化

多様なデータに同化できる理由は、アクティビティモデルの多様な出力特性にある。モデルの多様性は複雑さとのトレードオフであり、複雑さを減らすことで活用できるデータの範囲が狭まる可能性もある。今回、アクティビティモデルのパラメータが汎用であっても、同化によって一部のみの更新で精度を担保できることを示した。また半自動的にパラメータ推定をすることも示したことから、より容易に利用できるシステム構築が望まれる。

⑫研究成果の道路行政への反映

本研究で示した成果の、道路行政への反映として

1) 道路政策が生活に与える影響を評価できる

道路開通による影響を、経路選択の変化だけでなく、移動時間の短縮による、時間帯の変更やトリップパターンの変化としてもとらえることができる。さらには、モビリティマネジメントや時差出勤等のTDMに関わる道路施策が生活パターンに与える影響がより適切に把握できる。

2) ネットワークの短期的な障害等に対応した需要予測が可能である

リアルタイムに観測されるプローブデータが活用できた際には、気象などに起因する障害や、事故等による障害等を把握し、それに応じた行動やネットワークの短期予測を、随時更新されるデータに基づいて行い、道路の最適なマネジメントに活用できる。

3) 多様な観測データを活用する方法が提示できる

様々な観測データのオープン化が、政府のイノベーション戦略として推進されている。道路に関わる様々なデータを、人の行動と関係づける手法を提示したことで、道路を活用した様々なビジネス展開の検討資料を与えることができる。

以上のように、これからさらに進展するデータ駆動型の道路行政に貢献し、様々な施策の政策検討・評価に対して有効な方法論をもたらしたと考えている。

⑬自己評価

アクティビティモデルとそれを用いたシミュレーションは、以前より開発が行われてきたが、様々な理由で実務的にはあまり用いられていなかった。一方、様々なビッグデータが観測・提供されているが、その活用方法も検討途上である。ビッグデータも政策分析や予測のためにはモデルと融合する必要があるが、そのマイクロモデルへの活用はほとんど検討されてこなかった。本研究はこれらを結びつけることで、多様な政策評価や需要予測に双方を活用する道を示したことは評価できると考えている。結果として、政策評価をより生活に密着した形で精度高く活用できる。様々なビッグデータを道路政策の質の向上に貢献することができると考えている。

ネットワークシミュレーションにも、これから充実が図られる観測データの使用方法の一つを示し、ETC2.0だけでなく、リンク速度分布や、切断されたODデータという断片化された情報であっても、シミュレータとの整合性が図られる時空間断面において同化できることから、より幅広い応用が考えられる。例えば気象による局地的な道路障害などに対しても、リンク速度等からシミュレーションを、道路状況に応じて補正し、マネジメント方法の改善に結びつけられる。これは道路行政だけでなく、多くの民間会社にも有益な情報となりうる。本研究のコンセプトが、民間でも活用され、イノベーション創出にも貢献できた場合には、研究費の投資効果はさらに高まると考えており、そのための取り組みを継続していきたい。