

## 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】

		氏名 (ふりがな)	所属		役職
①研究代表者		宇野 伸宏 (うの のぶひろ)	京都大学工学研究科 社会基盤工学専攻		教授
②研究 テーマ	名称	観光流動把握を目的とした交通流動推定システムの研究開発			
	政策 領域	[主領域] 3		公募 タイプ	タイプI ソフト分野
		[副領域]			
③研究経費 (単位:万円)		平成29年度	平成30年度	令和元年度	総合計
		999	1,129	1,819	3,947
④研究者氏名					
氏名		所属・役職 (※令和2年3月31日現在)			
西田 純二		京都大学経営管理大学院・特命教授			
清水 哲夫		首都大学東京都市環境学部・教授			
倉内 文孝		岐阜大学工学部・教授			
シュマツカー・ヤンディヤク		京都大学工学研究科・准教授			
嶋本 寛		宮崎大学工学部・准教授			
中村 俊之		名古屋大学未来社会創造機構・特任准教授			
杉浦 聡志		北海道大学工学研究院・准教授			
木村 優介		京都大学工学研究科・助教			

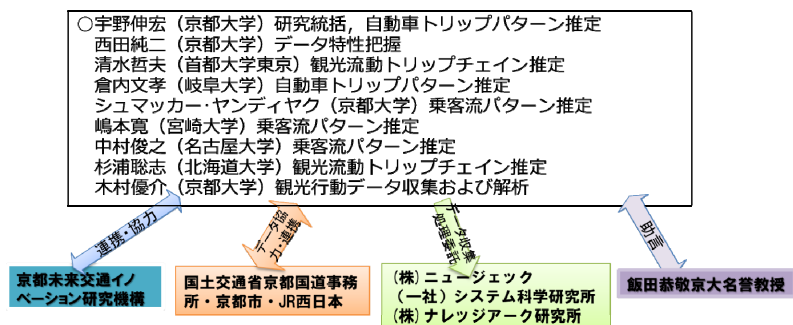
## ⑤研究の目的・目標

本研究では、OD交通量推定モデルを核とし、各種の移動体データを活用しつつ、観光流動をはじめとする都市内のトリップベースの交通流動（トリップパターン）およびトリップチェーンを把握可能な交通流動推定システムの開発をめざす。この目的を達成するために、本研究では、以下の4点の研究開発を行う。すなわち、1)移動体通信データによる繁忙期または交通マネジメント方策実施時の交通流動観測、2)自動車のトリップパターン推定モデルの開発、3)乗客トリップパターン推定モデルの開発、および4)自動車交通流および乗客流を所与としたトリップチェーン推定手法の検討である。

## ⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

本研究では平成29年度から令和元年度の3か年にて、先述の研究目的を達成すべく継続的に取り組んできた。すなわち1)移動体通信データによる繁忙期または交通マネジメント方策実施時の交通流動観測、2)自動車のトリップパターン推定モデルの開発、3)乗客トリップパターン推定モデルの開発、4)自動車交通流および乗客流を所与としたトリップチェーン推定手法の検討の4つであり、2)~4)の推定手法に関して推定精度向上及び計算時間の短縮等の課題はあるものの、当初の目的を概ね達成できている。加えて1)~4)の成果を活用し、京都市を対象に観光・交通マネジメント方策の効果検証をトリップパターンの変化等の面から試みた点（以下では、5)交通マネジメント方策の影響評価に関する基礎分析と表記）も、成果として記しておく。

なお、各研究者及び協力機関の役割については、右図に示す通りである。なお、(株)ニュージェックには、交通シミュレーションデータの整備、一般社団法人システム科学研究所にはETC2.0データの整備、(株)ナレッジアーク研究所には、Wi-Fiパケットセンサによる流動調査の補助を外注した。



## ⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

FS評価ならびに中間評価における指摘事項は、以下の4点であった。

1. 交通流動推定システムを用いて効果を検証する交通マネジメント施策について、その対象範囲を明確にしつつ、具体的検討を進めること。
2. 構築したトリップパターン推定モデル・トリップチェーン推定モデルと、交通マネジメント施策の効果把握との関係性を明確にし、交通マネジメント施策の評価を進める手順を導くこと。
3. Tourism Demand Management による交通マネジメント施策を検討するにあたり、個別の施策の効果事前に推定できるようなシステム構築を目指すこと。
4. 地域の行政機関と連携の上、観光渋滞対策として、交通マネジメント施策につながる実務上有益な示唆が得られる様にする事。

これらの意見については、以下の通りに対応した。1. 及び3. については、提案したトリップパターン及びトリップチェーンの推定手法が、交通ビッグデータの活用を前提としたモニタリングシステムであることを明確に示すとともに、交通マネジメント施策の有無によるトリップパターンの変化を事後的に推定することを通して、施策の効果を検証するケーススタディを行った。2. についてはトリップチェーン推定の入力として、自動車と乗客のトリップパターンの推定結果を活用することを明記するとともに、ケーススタディでも同様の入力値を用いてチェーンを推定した。4. については、京都エリア観光渋滞対策実験協議会（国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所）とも協働で観光客の流動を把握するため、Wi-Fiパケットセンサによる調査を実施するとともに、京都市都市計画局が繁忙期に実施している東山、嵐山地区の観光交通対策の効果提案した手法により検証することで、実務上有益な結果を得ようと努めた。

## ⑧研究成果

研究目的およびテーマ単位で得られた、主な研究成果を整理しておく。

(1) 「移動体通信データによる繁忙期または交通マネジメント方策実施時の交通流動観測」で得られた成果は以下の通りである。

- 1) 本研究課題ではWi-Fiパケットセンサを京都の主要観光地に設置することで、リアルタイムでの設置地点の観光客の捕捉が可能となった。それにより、繁忙期の観光客の流動把握や交通マネジメント方策実施に伴う効果検証のためのデータを整理した。
- 2) Wi-Fiパケットセンサのデータに系列パターンマイニング手法を適用することで、観光客の代表的流動パターンを明らかにした。この手法ではデータ別にクレンジングや観光客特定のためのクラスタリングを行う必要はあるものの、利用するデータによらず、代表的流動パターンの抽出適用が可能である。
- 3) 混雑する観光地として、東山地区における観光客の経路選択に関して、収集したWi-Fiパケットデータに基づき、実際の地理データを使用して簡略ネットワークを構築し、観光地の魅力度を反映する変数を加味したRecursive Logitモデルを構築した。

(2) 「自動車のトリップパターン推定モデルの検証」の主な成果は、以下の通りである。

- 1) 観測間の走行リンクの途切れを補完したETC2.0データを用い、経路選択行動を再分析し、右左折数及び交差点数を説明要因に加えた経路選択モデルを推定した。これを用いて動的リンク利用率を算定する方法により得られた動的リンク利用率を用いて、モデル推定計算を行った結果、利用リンクが限定的であるとの課題が緩和されるとともに、リンク交通量の再現率が15%程度改善されることが確認された。
- 2) 2018年秋季を対象としマクロ交通基本図（MFD）分析を実施した。その結果、土曜日と日曜日では最大スループットが異なり、日曜日の方が、パフォーマンスが低下すること、11月の3連休中である11/24においては深刻な交通渋滞が発生していたことなどが確認され、簡易に交通状態を評価する手段としてMFD分析が有効であることを示した。
- 3) 10日間を分析対象として動的トリップパターン推定を行った結果、インプットデータに応じて日生成交通量やその時間パターンは変化しており、観測交通量に整合した動的トリップパターンを推定していることが確認された。
- 4) MFD分析から特に日曜日においては雨天時では最大存在台数が15%程度減少し、最大スループットが2%程度低下していることが確認できた。一方、動的トリップパターン推定モデル結果からは、日生成交通量の変化は小さいものの、京都市内を発地あるいは着地にもつ交通需要が7%ほど減少していることが確認された。雨天時のトリップパターン変化の可能性が示唆され、天候を考慮した交通管理、交通制御に有益と考えられる。

(3) 「乗客のトリップパターン推定モデルの構築・検証」における主な成果は、以下の通りである。

- 1) 構築した乗客のトリップパターン推定モデルの枠組みを用いて、30年11月の繁忙期における京都市バスの乗客トリップパターンの推定を行った。なお、推定にあたり、30年11月時点の全バス停における乗降人数を計測していなかったため、乗降人数のサンプルデータをGNSSデータから推定した。GNSSデータの多い12:00～16:59の時間帯における乗客のトリップパターン推定モデルのパラメータは有意に推定され、符号条件も満たしていることを確認した。

## ⑧研究成果（つづき）

2) 推定されたジャーニーODからバス停ごとの乗降人数の合計値を算出し、これを3次メッシュ単位に集計したものとモバイル空間統計の滞留人口データの相関係数を比較し、ジャーニーODの精度検証を行った。相関係数最大ケースでは、概ね右肩上がりの関係となり、ジャーニーODから算出した乗降人数の合計値と、モバイル空間統計の滞留人口データの間には正の相関があることが確認された。

（4）「トリップチェーン推定手法の構築・検証」における主な成果は、次の通りである。

- 1) 30年秋季の京都における自動車OD、バスOD、モバイル空間統計（Move-Stayデータ）、GNSSデータ（あるくまち京都アプリ）を用いたトリップチェーン選択確率の推定を行った。その結果、午前中は主要観光地には、市内・周辺からの人口流入が大きい、午後になると域外からの流入が大きいことも分かった。
- 2) 繁忙期、非繁忙期の差分の分析により、繁忙期の京都のトリップチェーン特性を把握した。繁忙期は近隣府県を含まない遠方から主要観光地への流入が大きく、非繁忙期は近隣府県からの流入が大きい。また、非繁忙期はその理由から比較的早い時間帯に流出している一方で、繁忙期は流出量が小さく、他の観光地を訪問している。
- 3) 自動車及び乗客のトリップパターンを所与とし、モバイル空間統計、アプリGNSSデータなど他の人の流動と組み合わせることで属性別・時間帯別のトリップチェーンを推定するモデルを構築した。また、GNSSデータ単体での分析も行った。これら一連の分析結果では1時間帯の流動について人気観光地に流動が集中すること、属性によって選好が異なること、季節変動による影響などを推定したモデルにより表現できていることを確認した。

（5）「交通マネジメント方策の影響評価に関する基礎分析」における主な成果は、次の通りである。

- 1) Wi-Fiパケットセンサデータを活用した観光客の流動分析の結果より、曜日による観光需要の変化、観光需要の多い期間とそれ以外の期間の代表的な周遊パターンの差異が示される結果となった。
- 2) MFD分析からは、交通対策と関係して東山地区において、若干の交通流動性の改善が、そして嵐山地区では交通需要の抑制が確認できた。自家用車等の地区内への乗り入れを抑制し、当該地区および周辺の交通状況の改善を目指した取り組みについては一定の効果があったといえる。トリップパターン推定結果からは、観光地交通対策の実施により、東山地区、嵐山地区への集中交通量の抑制の可能性が確認できている。
- 3) バス利用者のジャーニーODの推定結果より、東山地区においてはライトアップ実施時に昼間時間帯の一部需要が夜間に転換している可能性が高く、ライトアップ施策がバス需要の平準化に寄与することが確認できた。
- 4) 清水エリアへの来訪者の行動について分析し、時間軸上の行動特性に基づき分類した。清水エリア来訪の前後に観光行動を行っている想定される者は多く居るものの、その多くはピーク時間帯の前後に清水エリアを来訪する傾向があること、ピーク時間帯の来訪者の多くは京都市内の滞在時間が短く、清水エリアを主目的地としている可能性が高いことを確認した。

## ⑨研究成果の発表状況

研究成果を取りまとめた論文などの中で、主なものを以下に示す。

- 1) 平井一成，嶋本寛：大規模ネットワークにおける2段階乗客トリップパターン推定モデルの精度検証，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 2) 東川晃久，木村優介：Wi-Fiパケットセンサを用いた観光街路空間における歩行者流動の解析手法の検討，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 3) 明光就平，倉内文孝，伊藤伸：Wi-Fiパケットセンサを用いた代表的観光パターン抽出，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 4) 佐竹克仁，宇野伸宏，中村俊之：Wi-Fiパケットセンサを用いた観測間隔を考慮した代表的観光周遊パターン分析，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 5) 浅尾啓明，宇野伸宏，木村優介，西田純二：ビッグデータの横断的活用の可能性，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 6) Yuhan GAO, Jan-Dirk Schmoecker: Tourist route choices and short-term flow predictions in tourist areas based on Wi-Fi packet data (Wi-Fiセンサを用いた観光地における旅行者の経路選択と短期流動予測)，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 7) 浅井拓登，杉浦聡志，倉内文孝：OD交通量・移動滞留データを用いた属性・モード別トリップチェーン推定手法の研究，第60回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2019.
- 8) 宇野伸宏，西田純一，倉内文孝，Schmöcker, Jan-Dirk, 中村俊之，嶋本寛，杉浦聡志，木村優介：様々なビッグデータを活用した京都市における観光流動把握の取り組み，交通工学，第55巻4号，2020.

上記に加え，口頭発表など10件，実施済みである。

## ⑩研究成果の社会への情報発信

研究成果の社会への情報発信として，既に取り組み済みの内容を以下に示す。

- 1) 第60回土木計画学研究発表会（秋大会）（2019年11月富山大学）において，研究代表者がオーガナイザーを務め，「観光流動へのセンシングデータ活用の可能性と課題」というテーマの企画セッションを公開にて開催した。本研究における成果の一端を報告するとともに，各種センシングデータの観光流動分析に用いる上での強み，ビッグデータとしての当該データの分析上の工夫，今後検討すべき課題などについて討議を行った。⑨研究成果の発表状況に記載の2)～7)の論文は，当該セッションにおいて，研究分担者などが発表したものである。
- 2) 交通工学研究会機関誌「交通工学」に本研究の研究概要に関する記事を掲載する。交通工学研究会は，名称が示すとおり交通工学に携わる研究者，実務者が多く集う学会であり，専門家集団への情報発信としては適切と考える。⑨研究成果の発表状況に記載の8)の論文を2020年10月に公表予定である。
- 3) 観光流動を把握するための本研究の独自調査（Wi-Fiパケットセンサを用いた観光流動調査）に関わる情報を[http://www.gi.ce.t.kyoto-u.ac.jp/wifi/cart\\_wifi.html](http://www.gi.ce.t.kyoto-u.ac.jp/wifi/cart_wifi.html)にて公開している。個人情報の取り扱いに関するプライバシーポリシー等を公開することで，調査自体の透明性を高めるようにしている。

## ⑪研究の今後の課題・展望等

ICT及びITSの進展により、交通研究に利用可能なデータについては、質・量ともに飛躍的に進歩したといえる。一方、データ蓄積の速度が非常に速いこともあり、交通工学・計画分野においてもデータの活用は、その途上にあるといえる。本研究で構築した自動車・乗客のトリップパターン推定モデル、ならびに、トリップチェーン推定モデルは、交通ビッグデータを有効活用しつつ、道路・公共交通ネットワークにおける交通状態の動態を定量的に把握できるものである。いわば交通状態のモニタリングシステムとして、各種混雑緩和施策の効果を単に断面交通量の変化にとどまらず、ODやトリップチェーンの変化に基づき検証できるポテンシャルを有していると考えられる。

今後の主な課題として2点あげておく。1) 自動車のトリップパターン推定モデル、乗客のトリップパターン推定モデルおよびトリップチェーン推定手法に共通する課題として、計算効率性の向上を挙げることが必要である。1つのケーススタディを実施するのに数十時間を要するものもあり、今後、並列計算などの可能性も含め計算効率性の改善が望まれる。2) 観光都市における混雑緩和施策と効果の関係を常時モニタリングすることを通じて、その結果を体系的に蓄積整理し、観光都市における交通マネジメントの促進の観点で有効な施策を明らかにすることも必要と考えている。

## ⑫研究成果の道路行政への反映

本研究の目指すところと、京都エリア観光渋滞対策実験協議会（国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所）の目的は共通の内容を多く含んでいる。本研究の研究代表者が、上記実験協議会の座長を務めていることもあり、既に協働体制を築いた部分もある。特にWi-Fiパケットセンサを用いた人の流動調査では、本研究、上記実験協議会にJR西日本を加え、共同で機器設置、データ取得およびデータの共同利用を図ることで、京都市域にて39か所にセンサを設置し、広域での調査を実現できた。今後、実験協議会で実施される混雑緩和施策の効果を、本研究の成果を用いて定量的にモニタリング、評価を行うことが可能と考えられる。また、研究者のみならず、実務者も多く集う「交通工学研究会」の機関誌に、本研究の成果の概要を紹介する記事を掲載予定であり、さらなる実務的課題とのタイアップの可能性も検討する予定である。

### ⑬自己評価

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況にも記載したように、トリップチェーン推定手法の面で、当初提案の方法論から一部変更があったものの、前述の4つの研究目的を達成することができ、かつ、実務的な貢献可能性をより明確に示すため、京都市を対象に繁忙期の観光地交通対策の効果の検証を提案手法により実施することもできた。各種交通施策の効果を事後的に定量的に評価し、とりわけ、断面交通量レベルの変動にとどまらず、ODやトリップチェーンの変化の点でも分析、評価を行うことに、本研究で提案の方法論は資することができ、施策効果を需要の変化のレベルにまで遡って検証可能であり、道路政策の質の向上の点からも一定水準以上の成果を得たものと考えている。

現在、ETC2.0やスマホ利用の人の移動履歴などの交通ビッグデータの蓄積が進みつつあるが、本研究の成果は、これらのデータの有効活用に拍車をかけ、また、交通需要／状態の時間変動を推定可能という付加価値を与えることができるものと考えている。また、本研究の成果は既存の交通データを活用して、低コストにて動的なOD需要の推定を可能にするものとも考えられ、研究費の投資効果という点では、一定程度以上の価値があると考えている。