

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
	福田 大輔 (ふくだ だいすけ)		東京工業大学		准教授
②研究 テーマ	名称	ETC2.0プローブ情報等を活用した “データ駆動型” 交通需要・空間マネジメントに関する研究開発			
	政策 領域	[主領域] 【領域1】新たな行政システムの創造	公募 タイプ	IV ①地域戦略における交通需要・ 空間マネジメント手法の開発	
		[副領域] 【領域3】新たな情報サービスと利用者満足度向上			
③研究経費 (単位:万円) ※端数切り捨て。	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
	—	3,299	3,177	2,994	9,470
④研究者氏名					
氏名		所属・役職 (※平成31年3月31日現在)			
日下部 貴彦		東京大学空間情報科学研究センター・講師			
柳沼 秀樹		東京理科大学工学部土木工学科・講師			
中西 航		東京工業大学環境・社会理工学院・特任助教			
北村 清州		計量計画研究所社会基盤計画研究室・主任研究員			
有村 幹治		室蘭工業大学大学院工学研究科・准教授			
萩原 亨		北海道大学大学院工学研究院・教授			
高橋 清		北見工業大学社会環境工学科・教授			
内田 賢悦		北海道大学大学院工学研究院・教授			
浅田 拓海		室蘭工業大学大学院工学研究科・助教			
神谷 大介		琉球大学工学部・准教授			
羽藤 英二		東京大学大学院工学系研究科・教授			
矢部 努		計量計画研究所社会基盤計画研究室・室長			
山中 亮		中央建設コンサルタント			
岡 英紀		計量計画研究所社会基盤計画研究室			
山口裕通		金沢大学理工研究域環境デザイン学系・特任助教			
葛 乾		東京工業大学・研究員			
⑤研究の目的・目標					
<p>長期かつ広域で観測されるETC2.0プローブ情報等の交通関連ビッグデータを、マルチスケールの多様な交通モデルと有機的に結びつけることで、交通政策のエビデンスベース分析を可能とする“データ駆動型”交通需要・空間マネジメントに関する研究・技術開発を行う。具体的には、首都圏、北海道、沖縄を対象に、提案する各手法の社会実装（調査・分析・政策評価フレームの構築）を行い、各種交通社会実験の詳細検討に資する知見を提供する。</p>					

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

テーマ1:都市部における交通需要・空間マネジメント施策の分析方法論の検討(関東)

(概要)三環状道路が概成し、様々な都市開発プロジェクトが進行し、オリンピック・パラリンピックを直近に控える首都圏及び東京を対象に、多様な交通施策オプション(都心部モーダルコネクト施策の影響分析、三環状道路の次世代料金施策の評価、オリ・パラ期間中の交通円滑化施策の影響分析等)の事前評価と社会実験検討に資する、エビデンスベース評価方法論を開発した。

1) 都心部におけるモーダルコネクト施策の評価

[H28] 都心部におけるバスターミナルへの高速バスの停留所の集約が周辺の交通や歩行者の利便性に与える影響を評価することを目的としたWi-Fiデータ収集と、滞在時間モデルの検討を行った。

[H29] ETC2.0特定プローブデータを用いた首都圏高速バス運行支援サービスの構築とその政策評価への適用可能性について検討した。

[H30] 機械学習推定アルゴリズム等を用いて、ETC2.0プローブ情報等を活用したリアルタイム交通状態推計手法を構築した。また、ETC2.0プローブ情報を用いた高速バス運行支援システムの高度化のため、複数の観測データを用いてバスの走行状況や利用者行動を解析する統計モデルを構築し、システム実用に向けた検討を行った。

2) 首都圏三環状道路の料金施策の評価

[H28] 車種や時間帯等によって変動する動的課金に関する分析を目的として、既存の交通シミュレータと新たな交通行動モデル(経路選択モデル)を統合的に活用する可能性、並びに、ETC2.0プローブ情報等を融合したシミュレーションの要件整理を行った。

[H29] 車種や時間帯等によって変動する動的課金に関する分析を目的とした動的経路選択モデルについて、ETC2.0プローブデータやETCログODデータを用いた実証的検討を行った。

[H30] ETC2.0プローブ情報に基づく動的経路選択モデルに基づいた交通量配分モデルや最適混雑課金の基本的特性について検討した上で、広域のエリア課金施策等の評価を行った。

3) 都心部の交通円滑化政策の評価

[H28] 都心部の各交通円滑化政策(都心部自動車流入規制、混雑課金、バス専用レーン配置等)に関する評価を念頭に、既存の交通流や生活行動シミュレータと交通ビッグデータ等の情報等を融合したシミュレーションモデルの包括的レビューとデータ等の要件整理を行った。

[H29・30] オリ・パラ期間中に想定される交通円滑化政策の評価や、より一般的な道路空間再配分施策等の評価を念頭に、Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)等の交通流モデルと多様な観測データを融合したシミュレーションシステムの構築と政策効果の分析可能性について検討した。

[H29・30] 主に鉄道利用者を対象とした非集計型アクティビティモデルシステムのプロトタイプを開発し、それを用いた政策評価の可能性について検討した。

テーマ2:地方圏における観光客の行動特性把握及び周遊促進政策の分析方法論の検討(北海道、沖縄等)

(概要)日本人観光客のみならず、訪日外国人観光客の重要な受け皿として期待される一方、オーバーツーリズムによる混雑増が懸念される北海道、沖縄を主な対象として、多様な交通ビッグデータと交通行動モデルを融合した分析システムを構築した。北海道では、観光客の広域回遊パターンの解明と観光周遊促進施策の検討を念頭に分析を行った。沖縄では、Wi-Fi等の多様なデータも融合的に活用して、レンタカー利用観光客の広域回遊パターンの解明や、本島北部や離島振興の観点からの観光流動マネジメント施策の分析・評価を行った。さらに、Bluetooth等の新たな調査方法についても、調査地を適宜選定した上でその適用可能性について検討した。

1) ETC2.0プローブ情報等を活用した観光周遊行動の特徴抽出・類型化及び観光促進施策の評価

[H28] 北海道における外国人レンタカー利用者の広域観光周遊行動について、ETC2.0プローブデータ等のビッグデータを用いて、観光周遊の実態を明らかにする方法論開発について検討した。

[29] ETC2.0プローブデータのパターン・マイニングにより、観光客の周遊行動の特徴抽出や類型化し、施策評価を行う方法について検討した。

[H30] 観光周遊行動のスケジューリングを記述する数理モデルを構築し、Wi-Fiデータ等を用いてモデルのキャリブレーションを行う、その上で、モデルを用いた観光周遊促進策の検討を行った。

2) ETC2.0プローブと他の交通ビッグデータを適切に活用して観光周遊行動を把握するための調査・分析方法の検討

[H28] 沖縄県内で実施されてきた観光行動に関する従来調査より得られる情報とその限界について考察した上で、携帯電話に關係するビッグデータ、Wi-Fiを用いた調査、ETC2.0データ等の観光流動調査における利用可能性について検討した。また、本部半島を対象としたWi-Fiパケットセンシングによるパイロット調査を実施した。

[H29] 沖縄本島全体、並びに、北海道富良野エリアにおいて広域・長期のWi-Fiパケットセンシング調査を実施し、その基礎分析を行った上で、機械学習等のアプローチにより観光周遊パターンの特徴抽出を行った。

[H30] Wi-Fiパケットデータを用いて観光周遊行動を類型化する手法の精緻化を行った。また、Wi-FiパケットデータとETC2.0プローブ情報の統合方法について分析し、継続的な観光周遊行動の観測方法について検討した。さらに、Bluetoothを用いた調査を試行し、一般道路における交通流動情報の抽出及び旅行速度の推定の可能性について検討した。

以上、いずれの目的も、当初計画通りに概ね達成できたと自己評価する。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

【指摘1】 個別テーマ間の関係性を明らかにするとともに、全体としてのターゲットを明確にして研究を進めること、また、複数の地域を対象として研究を実施した意味を総括的に論じることが望ましい。

(回答) 本研究開発の個別研究を表1に整理する。その上で、地域によるETC2.0プローブのデータ量の違いや、平常時や観光への活用等対象とする施策の違いを考慮した上で本研究の全体の方向性を整理すると、図1のようにまとめられる(図中のアルファベットは、表1の各研究細目に相当)。本研究では、ETC2.0プローブのデータ量に依然として大きな地域間差異が存在する現状を踏まえ、

- ・ ETC2.0データのみ分析 or 他の交通ビッグデータに依拠した分析 or 両者を併用した分析
- ・ 定常性の高い都市部の日常交通 or 時間的・局所的変動の大きい地方部の観光交通 or 大規模イベント時のような経験知の少ない交通

という二軸で、「データに基づくエビデンスベースの交通モデル分析という観点から、どこまでの領域をカバーできるのか」を探求することを企図している。

【指摘2】 ETC2.0データによるマネジメントはどこまで可能なのか。有用性と限界を明らかにすることが望ましい。

(回答) ETC2.0の強みを最大限引き出す(関東圏のバスロケーションシステムやリアルタイム交通状況推計システム等)一方、ETC2.0のデータ量が十分でない地域における交通・観光マネジメント(Wi-Fi等を用いた流動把握と施策の検討等)を行うことで、それらを一定程度明らかにできたと考えている。

表1 テーマ別に見た個別研究

テーマ1: 都市部における交通需要・空間マネジメント施策の分析方法論の検討

- 1) 都心部におけるモーダルコネク特施策の評価
 A) Wi-Fiデータ解析による都心部バスターミナルの利用者行動分析
 B) ETC2.0データを活用したリアルタイム交通状態推定手法の構築
 C) 首都圏高速バス運行支援システムの開発とモーダルコネク特施策評価
- 2) 首都圏三環状道路関連施策の評価のための経路選択分析
 D) ETC2.0プローブデータを活用した動的経路選択モデルの構築
 E) 動的経路選択モデルによる大規模道路網における混雑課金施策評価
- 3) 都心部の交通円滑化政策の評価
 F) 都心部の交通流円滑化施策評価のための3D-MFDモデリング
 G) 鉄道利用者を対象とした都市圏アクティビティモデルシステムの構築

テーマ2: 地方圏における観光客の行動特性把握及び周遊促進政策の分析方法論の検討

- 1) ETC2.0プローブデータを活用した観光客の周遊行動の
 特徴抽出・類型化及び観光促進施策の評価
 H) ETC2.0プローブデータのパターン・マイニングによる観光客周遊行動の特徴抽出
 I) スケジュールングを考慮した観光周遊行動モデルの検討
- 2) ETC2.0プローブと他の交通ビッグデータを適切に活用して観光周遊行動を把握するための
 調査・分析方法の検討
 J) 沖縄及び北海道における広域・長期のWi-Fiパケットセンシング調査の実施と、機械学習
 アプローチによる観光周遊パターンの特徴抽出
 K) Wi-Fiデータと他の関連データの適切な統合および情報提供方法の検討
 L) Bluetoothを用いた一般道路における交通流動調査の試行

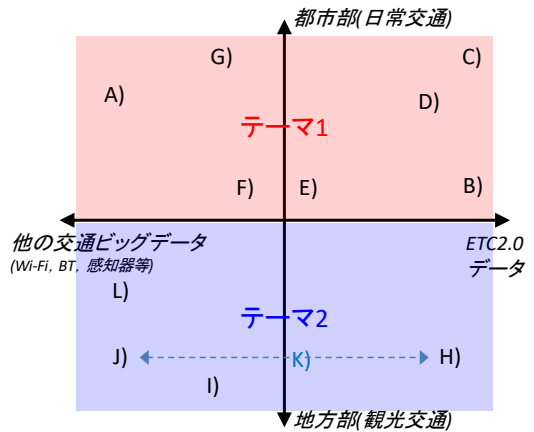


図1 研究全体の基軸と個別研究の位置付け

【指摘3】 多様なデータの蓄積と交通モデルの構築が進んでおり、その融合による交通需要マネジメントへの活用を期待したい。

(回答) 本研究の幾つかの成果は、国交省道路局の地域経済戦略研究会地方研究会等とも連携して社会実装されている。具体的には、関東におけるETC2.0を用いた道路交通状態リアルタイム推計システムと高速バスロケーションシステムが既に実装されている。また北海道においては、観光渋滞時にWi-FiやBluetooth機器から収集されたデータによるリアルタイム情報提供が試行されている。

⑧ 研究成果

テーマ1: 都市部における交通需要・空間マネジメント施策の分析方法論の検討

1) 都心部におけるモーダルコネク特施策の評価

A) Wi-Fiデータ解析による都心部バスターミナルの利用者行動分析

スマートフォン等のWi-Fi機能を備えた端末から送出される探索パケットの自動計測データを用い、交通結節点待合所等での滞在時間推定を行う方法を構築・検討した。バスタ新宿における滞在時間の期待値はバスタ開業前の従来バス停のそれよりも有意に小さいことや、バスタ開業前の従来バス停の方が滞在時間分布がなだらかな形状となることが明らかになった。

B) ETC2.0データを活用したリアルタイム交通状態推定手法の構築

災害時における交通状態を把握するために、ETC2.0プローブカーデータによって部分的に観測される平均リンク速度の欠損値を補間するモデルを、ガウシアングラフィカルモデルとグラフィカルラッソを用いて構築した(図2)。基礎分析の結果より、災害時においては平常時とは異なる交通状態であることが確認された。構築したモデルは、災害時においても未観測リンクを高い精度で補間可能であることが確認された。

C) 首都圏高速バス運行支援システムの開発とモーダルコネク特施策評価

国交省関東地方整備局と共同でETC2.0プローブ情報を用いた高速バス運行支援システムを開発した(図3)。さらにその高度化のため、関東周辺地域から高速バスを乗継利用して空港アクセスを

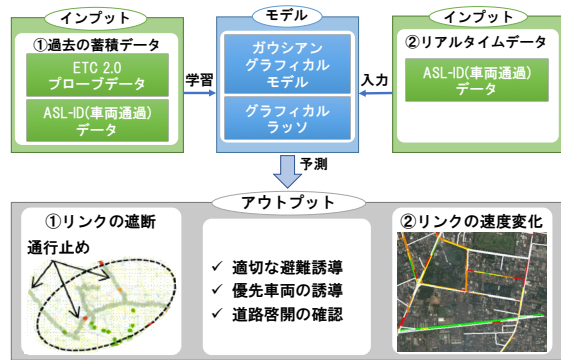


図2 リアルタイム交通状態推定の全体像

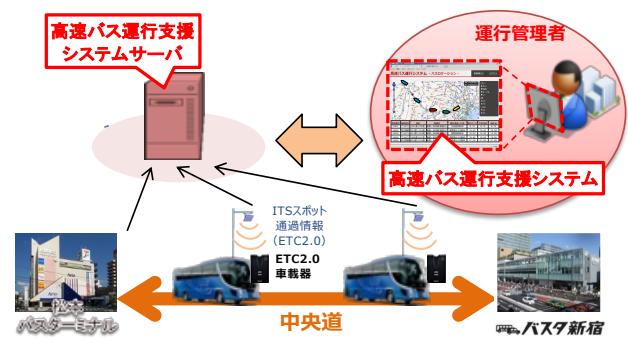


図3 高速バス運行支援システム

行う旅行者を想定したアンケート調査及びStated Preference (SP) 調査を実施して、サービスの利用意向の分析を行った。アンケート調査や交通行動モデルの分析結果より、高速バス乗継を必要とするトリップが一定数存在すること、旅行時間短縮や旅行時間信頼性向上、乗継環境などの路線特性が利用する高速バス路線選択に有意に影響を与えること等が確認された。

2) 首都圏三環状道路関連施策の評価のための経路選択分析

D) ETC2.0プローブデータを活用した動的経路選択モデルの構築

経路選択枝の事前列挙の必要のないRecursive Logit (RL) 型経路選択モデルの拡張を行った。特にRLモデルの課題である推定安定性の向上及び計算負荷の軽量化を図るために「リンク認知」の概念を新たに導入し、推定結果と計算効率が大きく改善することを首都圏のETC2.0プローブデータを用いて検証した。

E) 動的経路選択モデルによる大規模道路網における混雑課金施策評価

D) で構築した動的経路選択理論に立脚した、マルコフ型経路選択原理の下での最適混雑課金・システム最適配分について、社会的総余剰最大化を目的関数とした最適化問題を立式することにより、限界課金原理がパスペースの場合と同様に成立することを理論的に証明した。その上で実ネットワーク規模での数値分析を行い、限界課金によるネットワークの効率性向上を確認した。

3) 都心部の交通円滑化政策の評価

F) 都心部の交通流円滑化施策評価のための3D-MFDモデリング

3D(3次元)-MFDに基づいた混雑課金とバス専用レーンの同時最適化の枠組みを提案し、東京都心部を対象に適用した。シミュレーションベース最適化を適用した結果、バスレーンの道路比率を全体の約4.7%とし、同時に午前7:30-8:00に900円/台、8:00-8:30に300円/台の混雑課金を実施することが、渋滞量最小化の観点から最適政策となることが示された。

G) 鉄道利用者を対象とした都市圏アクティビティモデルシステムの構築

東京都圏鉄道利用者を対象とするアクティビティベースモデルの展開に向けて、下記の実証的検討を行った：(i) 目的地選択モデル推定時の選択枝集合設定方法の実用化に向け、Stratified importance samplingの概念に基づいた目的地選択枝集合の設定方法を構築し、その有用性を確認した；(ii) 予測時の目的地選択枝集合の設定に、個人の私事活動に利用可能な時間、アクティビティの活動時間、OD間移動時間等を考慮した時空間制約を導入することで、モデルの再現性が向上した；(iii) 上位のアクティビティパターン選択や、時間帯選択モデルにおいても現況再現性が向上した。

テーマ2: 地方圏における観光客の行動特性把握及び周遊促進政策の分析方法論の検討

1) ETC2.0プローブデータを活用した観光客の周遊行動の特徴抽出・類型化及び観光促進施策の評価

H) ETC2.0プローブデータのパターン・マイニングによる観光客周遊行動の特徴抽出

ETC2.0プローブデータから観光周遊における代表的な行動パターンを抽出するための時空間軌跡類型化手法を開発した(図4)。対象車両のサンプリングの時間間隔を線形補間により統一した上で、各時点における緯度、経度を特徴量としてクラスタ分析を適用するという工夫により、空港エリアや道の駅等での滞在など、特徴的な時空間流動パターンが抽出され、パターンが類似する車両がどの程度存在するのかなどといった定量的な情報を明らかにできる可能性が示唆された。

I) スケジューリングを考慮した観光周遊行動モデルの検討

観光客のトリップチェーン(TC)を表現し、TC全体の効用を最大化するような行動モデルを構築した(図5)。動的計画法に基づいた効率的な最適TC導出アルゴリズムを新たに開発することで、計算負荷を大幅に軽減に成功した。構築したモデルをWi-Fiデータを用いてパラメータ推定を行った結果、観光地固有の魅力度がどのような要因から構成されているのかを分析できる可能性が確認された。その上で、TCベースでの観光需要予測を行い、観光・交通施策が導入された場合の観光需要の変化を予測できることを確認した。これにより、観光地の魅力向上や交通サービスの改善が観光周遊に及ぼす影響を予測・評価できることが示された。

2) ETC2.0プローブと他の交通ビッグデータを適切に活用して観光周遊行動を把握するための調査・分析方法の検討

J) 沖縄及び北海道における広域・長期のWi-Fiパケットセンシング調査の実施と、機械学習アプローチによる観光周遊パターンの特徴抽出

スマートフォン等のモバイル機器に搭載されたWi-Fiからのパケット送出情報(Probe Request)を収集・解析し(図6)、旅行者がどのような回遊行動(図7)や施設滞在行動を行っているのかを明らかにした。沖縄本島調査からは、クルーズ船、空港国内線・国際線・格安航空会社ターミナルといった来沖の一次交通手段によって観光周遊パターンに有意な差異が存在することや、確率的ブロックモデルの適用を通じて観光客には典型的な周遊パターンが幾つか存在することが明らかになった。また、北海道富良野調査からは、レンタカー利用者は約2-3日の滞在期間で周遊している場合が最も多いことや、観光客の周遊パターンは比較的類似していること等が明らかになった。

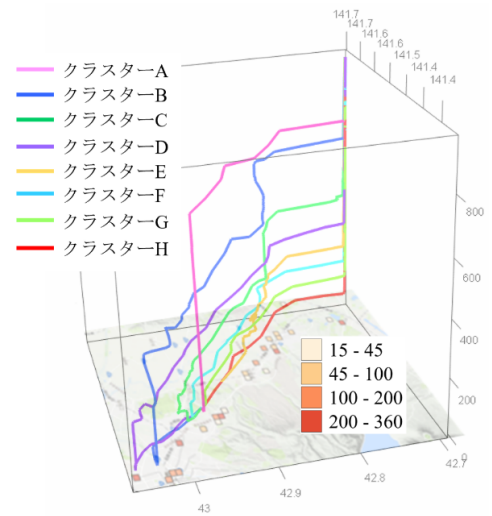


図4 車両の時空間軌跡の類型化例

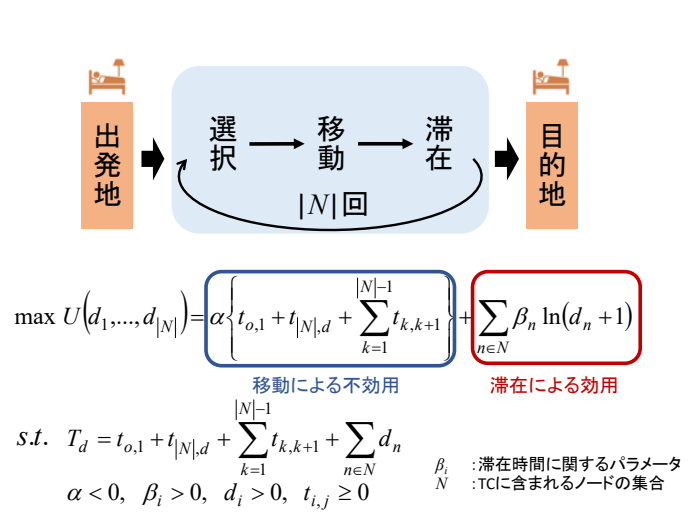


図5 観光トリップチェーンと滞在時間の決定モデル

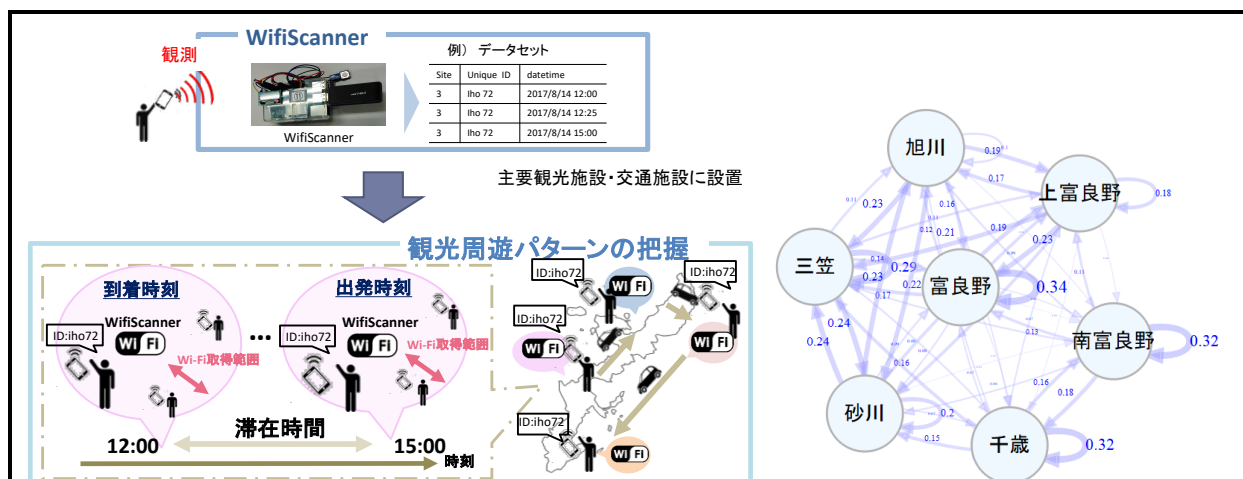


図6 Wi-Fiパケットセンシングによる観光流動把握

図7 北海道内エリア間推移比率の推計

K) Wi-Fiデータと他の関連データの適切な統合および情報提供方法の検討

沖縄本島において、ETC2.0車載器をレンタカーに設置して特定プローブデータに基づく観光周遊行動調査を行い、Wi-Fiから補足されたデータとの接合・連携の可能性を実験的に検討した。データマッチングの結果、レンタカー利用92グループ中9グループにおいて、レンタカーの移動と徒歩での移動（Wi-Fi）の連続観測が可能であることが確認された。

L) Bluetoothを用いた一般道路における交通流動調査の試行

栃木県日光市の一般道路でBluetoothによる旅行時間・速度の計測の試行を行い、(i) Wi-Fiと比較すると、クレンジングで除去されたレコードは少ないこと、(ii) デバイス種別を集計した結果、ハンズフリーのデバイス（ワイヤレスイヤホン）が約61%と一番多かったこと、(iii) 様々な地点間で所要時間を算定した結果より、地点毎に渋滞発生時の状況が異なること等が明らかになった。

⑨研究成果の発表状況

【査読付き論文】

1. Ge, Q., Fukuda, D., Han, K., Song, W.: Reservoir-based surrogate modeling of dynamic user equilibrium. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. (accepted)
2. Ishii, R., Mohri, Y., Ishigami, T., Fukuda, D.: Analysis of maintenance activities among child-rearing households in the Tokyo Metropolitan Area. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. (accepted)
3. Yamada, S., Ishibe M., Yamashita, Y., Fukuda, D.: Development of an activity-based model system for Tokyo Metropolitan urban rail planning. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. (accepted)
4. Arreeras, M., Endo, M., Takahashi, H., Asada, M., Arimuram.: An association rule mining-based exploring travel patterns in wide tourism area using Wi-Fi package sensing survey. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. (accepted)
5. Tani, R., Owada, T., Uchida, K.: Path travel time estimating method by incomplete traffic data, *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*. (accepted)
6. 田中謙大, 神谷大介, 福田大輔, 五百藏夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: Wi-Fiパケットセンサーを用いた沖縄本島における観光周遊行動の実態把握. 知能と情報. (掲載決定)
7. 壇辻貴生, 福田大輔, Zheng, N.: パイモータルシステムにおける動的エリア課金: 3D-MFDによるシミュレーションアプローチ. 土木学会論文集D3. (掲載決定)
8. Ge, Q., Fukuda, D.: A macroscopic dynamic network loading model for multiple-reservoir system.

Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 126, pp. 502–527, 2019.

9. Nakanishi, W., Yamaguchi, H., Fukuda, D.: Feature extraction of inter-region travel pattern using random matrix theory and mobile phone location data. *Transportation Research Procedia*. Vol. 34, pp. 115–122, 2018.
10. Kaneko, N., Oka, H., Chikaraishi, M., Becker, H., Fukuda, D.: Route choice analysis in the Tokyo Metropolitan Area using a link-based recursive logit model featuring link awareness. *Transportation Research Procedia*. Vol. 34, pp. 251–258, 2018.
11. 中西航, 小林巴奈, 都留崇弘, 松本拓朗, 田中謙大, 菅芳樹, 神谷大介, 福田大輔: Wi-Fiパケットセンサーによる観光周遊パターンの把握可能性: 沖縄・本部半島における検討. *土木学会論文集D3*. Vol.74, No.5, pp. I_787–I_797, 2018.
12. 今岡将大, 福田大輔: 列車内混雑と経路重複を考慮した鉄道経路選択・乗客配分モデルに関する研究: 首都圏鉄道網におけるケーススタディ. *土木学会論文集D3*. Vol.74, No.5, pp. I_847–I_857, 2018.
13. Hidayat, A., Terabe, S., Yaginuma, H.: WiFi scanner technologies for obtaining travel data about circulator bus passengers: Case study in Obuse, Nagano Prefecture, Japan. *Transportation Research Record*, Vol. 2672, pp. 45–54, 2018.
14. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D.: Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. *Transportation Research Procedia*, Vol. 32, pp. 62–68, 2018.

【解説・講演】

1. 日下部貴彦, 柳沼秀樹, 浦丸剛, 吉田幸男: ETC2.0を活用した高速バスロケーションシステム. *国際交通安全学会誌*, Vol. 43, No. 3, 26–33, 2019.
2. 福田大輔: 多様なデータソースを用いた観光流動の把握について. システム科学研究所シンポジウム「データから観光を探る～エビデンスベースの観光施策に向けて～」. ホテルグランヴィア京都, 2018.

【国際学会発表(査読なしあるいは簡易査読のみ), 但し査読付き論文になったものは重複しているため除外】

1. Fukuda, D., Ihoroi, N., Nakanishi, W., Arimura, M., Asada, T., Uchida, K., Kamiya, D., Suga, Y.: Wi-Fi based continuous monitoring of tourists' travel behavior: Results of two large-scale field experiments in Japan. *The 15th International Conference on Travel Behavior Research*, Santa-Babara, USA, 2018.
2. Dantsuji, T.: Simulation-based joint optimization framework for congestion mitigation in multimodal urban network: A macroscopic approach. *World Conference on Transport Research (WCTR2019)*, Mumbai, 2019.
3. Shiroma, H., Fukuda, D.: Tolls and traffic demand: Evidence from the 2016 toll reform scheme for the Metropolitan Tokyo urban expressway network. *The 23rd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*. Hong Kong, 2018.
4. Hirabayashi, D., Dantsuji, T., Ge, Q., Fukuda, D.: Cross comparison of spatial partitioning methods for urban transportation network. *International Symposium of Transport Simulation (ISTS'18) and the International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (IWTDCS'18)*, Ehime, 2018.
5. Fukuda, D., Shiroma, H.: Tolls and traffic demand: Evidence from the 2016 toll reform scheme for the Metropolitan Tokyo Urban Expressway Network. *International Transport Economics Association Annual Conference*, Hong Kong, 2018.
6. Dantsuji, T., Fukuda, D., Shiroma, H.: Departure time and transport mode choices in cities with road bottlenecks and crowding in transit. *International Transport Economics Association Annual Conference*, Hong Kong, 2018.
7. Imaoka, M., Fukuda, D.: Transit assignment model for Tokyo Metropolitan Area considering route overlapping and in-vehicle congestions, *The 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, Hong Kong, 2017.
8. Dantsuji, T., Fukuda, D., Zheng, N.: A macroscopic approach for optimizing road space allocation of bus lanes in multimodal urban networks through simulation analysis: An application to the Tokyo CBD network, *The IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2017.

【国内学会発表, 但し査読付き論文になったものは重複しているため除外】

1. 日下部貴彦, 柳沼秀樹, 福田大輔, 高橋哲, 今健, 佐野薫, 野村紗希子: 高速道路のSA・PAでの高速バス乗継サービス展開に向けたバス選択行動の分析. *土木計画学研究・講演集*, Vol. 59, 2019.
2. 柳沼秀樹, 日下部貴彦, 福田大輔, 鯉淵正裕, 高橋香織, 平哲治, 井上崇: ETC 2.0プローブ通過情報を活用した道路交通状態のリアルタイム異常検知. *土木計画学研究発表会・講演集*, Vol. 59, 2019.
3. 柳沼秀樹, 本間真那人: 最小費用Hyperpath探索を用いた高速バス・鉄道乗り継ぎサービスの評価, 第25回

鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2018), 2018.

4. 諏訪部剛史, 遠藤幹大, 浅田拓海, 有村幹治: Wi-Fiパケットセンシングを用いた室蘭寄港クルーズ船利用客の観光周遊行動分析. 平成30年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 2019.
5. 小林巴奈, 福田大輔, 中西航, 内田賢悦, 浅田拓海, 有村幹治, 菅芳樹: Wi-Fiパケットセンシングデータを用いた広域観光周遊行動のモデル分析. 土木計画学研究・講演集, Vol. 58, 2018.
6. 城間洋也, 福田大輔: 首都圏における高速道路料金施策の短期的影響分析. 土木計画学研究・講演集, Vol. 58, 2018.
7. 土屋貴佳, 奥ノ坊直樹, 山下良久, 福田大輔: Activity-based交通行動モデルを用いた都市鉄道整備の効果に関する研究. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
8. 田中謙大, 神谷大介, 我部新, 福田大輔, 中西航, 五百藏夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: 沖縄本島内の主要観光地における滞留・回遊特性に関する分析. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
9. 平林新, 壇辻貴生, 福田大輔, 葛乾: 都市内道路網の空間分割手法の実証比較分析. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
10. 五百藏夏穂, 田中謙大, 中西航, 神谷大介, 菅芳樹, 福田大輔: Wi-Fiパケットセンシングによる沖縄本島観光周遊パターンの特徴抽出. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
11. 壇辻貴生, 福田大輔: 列車内混雑とボトルネック渋滞を考慮した交通手段・出発時刻同時選択モデル. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
12. 島村聡, 柳沼秀樹, 寺部慎太郎, 田中皓介, 康楠: 豪雨災害を対象としたデータ駆動型経路選択モデルの構築. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
13. 一井啓介, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 康楠, 田中皓介: Wi-Fiパケットセンサを用いた散策型観光地における観光回遊行動の把握. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
14. 遠藤幹大, 高橋央亘, 浅田拓海, 有村幹治: Wi-Fiパケットセンシングによる広域観光圏における時空間周遊行動パターン分析. 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, 2018.
15. 田中謙大, 神谷大介, 松本拓朗, 我部新, 福田大輔, 小林巴奈, 五百藏夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: Wi-Fiパケットセンサーを用いた滞留人数推計に関する基礎的考察. 平成29年度土木学会西部支部研究発表会, 2018.
16. 内藤郁, 神谷大介, 内海泰輔, 多田俊也, 山中亮, 渡久山雄一: 訪日外国人のレンタカー事故抑止のための急制動箇所に関する基礎的考察. 平成29年度土木学会西部支部研究発表会, 2018.
17. 居駒薫樹, 金子辰也, 浅田拓海, 有村幹治: ETC2.0プローブデータを用いた移動・滞在トリップの類型化方法に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 74, 2018.
18. 田中謙大, 神谷大介, 松本拓朗, 我部新, 福田大輔, 小林巴奈, 五百藏夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹, 山中亮: Wi-Fiパケットセンサーを用いた滞留人数推計に関する基礎的考察, 土木学会西武支部論文報告集, Vol. 73, 2018.
19. 金子法子, 岡英紀, 力石真, 福田大輔: リンク認知を考慮したリンクベース再帰的ロジックモデルによる首都圏経路選択の分析, 第15回ITSシンポジウム, Paper No. 1-C-05, 2017.
20. 福田大輔, 小林巴奈, 五百藏夏穂, 田中謙大, 中西航, 浅田拓海, 有村幹治, 内田賢悦, 菅芳樹: Wi-Fiパケットセンシングによる北海道広域観光周遊行動調査, 観光情報学会第16回研究発表会講演論文集, pp. 58-61, 2017.
21. 水口正教, 福田大輔: MFD形状の不確実性を考慮した最適なエリア流入制御に関する基礎的検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 56, Paper No. P38, 2017.
22. 奥ノ坊直樹, 土屋貴佳, 山田真也, 山下良久, 福田大輔: 首都圏鉄道利用者のアクティビティパターンと目的地選択行動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 56, Paper No. 96, 2017.
23. 清水春来, 加藤哲平, 内田賢悦: トリップチェーンを考慮した観光周遊行動モデルに関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 56, Paper No. P28, 2017.
24. 久米大河, 柳沼秀樹, 寺部慎太郎, 康楠: ETC2.0プローブデータを用いた経路選択データベース生成, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 44-01, 2017.
25. 中野総士, 柳沼秀樹, 寺部慎太郎, 康楠: ETC2.0プローブデータを用いた災害時における経路選択モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 54-08, 2017.
26. 壇辻貴生, Zheng Nan, 福田大輔: Multimodal Macroscopic Fundamental Diagramに基づくバス専用レーンの都市空間内最適配置に関する研究—東京都心部への適用—土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No.

46-12, 2017.

27. 蔦木智之, 松實崇博, 森山祥文, 田中啓介, 福田大輔: ETC2.0を活用した首都圏3環状道路ネットワーク整備による自動車走行経路・流動の把握と予測, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 46-04, 2017.
28. 間宮義満, 外川和彦, 菅原宣治, 鯉淵正裕, 柳沼秀樹: ETC 2.0 ITSスポット通過情報を活用したリアルタイム道路交通状況把握手法の確立, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 46-02, 2017.
29. 松崎暁, 松山隆雄, 吉田幸男, 関口広喜, 山本伸之, 日下部貴彦: ETC2.0を活用した高速バスロケーションサービスのプロトタイプの開発, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 46-03, 2017.
30. 神戸大輝, 金子辰也, 浅田拓海, 有村幹治: 商用車プローブデータを用いた道路階層別の所要時間信頼性と降雪規模の影響分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 44-03, 2017.
31. 田中謙大, 神谷大介, 福田大輔, 中西航, 菅芳樹: 周遊観光行動の調査方法に関する基礎的考察—沖縄本島を対象として—, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 72, Paper No. IV-018, 2017.
32. 田中謙大, 神谷大介: 周遊観光行動の調査方法に関する基礎的考察, 平成29年度沖縄ブロック国土交通研究会, 2017.

⑩研究成果の社会への情報発信

1. スペシャルセッション「交通データ新時代に向けて」, オーガナイザー: 福田大輔, パネリスト: 山本悟司 (国交省), 菊池雅彦 (国交省), 井料隆雅, 円山琢也, 毛利雄一, 第53回土木計画学研究発表会, 北海道大学, 2016年5月29日. 参加者数: 70名.
2. 企画セッション「データ駆動型の道路交通・空間マネジメント」関連の三つ: ①交通流動解析のための要素技術, ②ストック効果評価のための要素技術, ③ビッグデータを活用した実践的取組, オーガナイザー: 福田大輔, 塚井誠人, 沓掛敏夫 [橋本雅道] (国土交通省), 第55回土木計画学研究発表会, 愛媛大学, 2017年6月10日. 講演題目数: 23, 参加者数: 約200名.
3. Special Session “Utilization of ETC 2.0-based Vehicle Probe Data,” *International Symposium of Transport Simulation (ISTS'18) and the International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (IWTDCS'18) Emerging Transport Technologies for Next Generation Mobility*. Ehime University, Japan, Aug. 6, 2018. Four presentations from the project, # participants: 55.
4. 土木学会土木計画学ワンデイセミナーNo. 98 「多様なビッグデータを活用した道路技術研究開発」, 主催: 神戸大井料研, 広塚井研, 東工大福田研, 共催: 国土交通省道路局, 2019年2月22日, 東京大学武田先端知ビル武田ホール, 参加者数: 277名, 講演題数: 12題目
URL : <http://www.plan.cv.titech.ac.jp/fukudalab/research/open-seminar/Symposium20190222.html>
5. “International Mini-Workshop on Transport and Traffic Big-Data: Theory and Practice,” (Organized by Takamas a Iryo, Makoto Tsukai and Daisuke Fukuda), February 22, 2019. The University of Tokyo, Invited speaker: Jeff Ban (Assoc. Prof., Univ. Washington) “Transportation Big Data: Promises and Challenges,” plus four presentations from the project, # participants: 45.

⑪研究の今後の課題・展望等

- ・ 「テーマ1: 都市部における交通需要・空間マネジメント施策の分析方法論の検討」に関しては、D)~G)で構築した各モデルシステムをどのように有機的に接合させて、より包括的なマネジメント施策をするべきかについて、研究の深度化を行う必要がある。
- ・ 「テーマ2: 地方圏における観光客の行動特性把握及び周遊促進政策の分析方法論の検討」に関しては、特に近い将来に予想されているWi-Fi機器固有アドレスのランダム化（匿名化）に対応した新たな観光・交通行動調査論の確立が必要である。他方、混雑等の情報をどのように適切に観光客や道路利用者にフィードバックしていくべきかを検討することが重要である。
- ・ いずれのテーマにも共通するが、時間の経過と共に蓄積されていく膨大な交通データをどう効率的にストレージするのかを検討するのは重要な研究課題である。特に、本質的な行動特性情報のみを“エコ”にストックした上で、行動パターンに関するDay-to-day、Within-day、Agent-to-Agent、Within-Agentといった多様な特性を表現しつつ、高効率性、高匿名性、高リアクティブ性等の要件を満たしたデータ管理と交通モデル構築を行うことが今後の主な課題である。

⑫研究成果の道路行政への反映

- ・ 研究 B) 及び C) に関しては、国土交通省関東地方整備局と綿密に連携・共同して研究開発を行ってきた。それらの成果は、ETC2.0を共通プラットフォームとする新たな高速バスロケーションシステム (http://www.ktr.mlit.go.jp/kisha/toukoku_00000344.html) や、それを利用した高速バス乗り継ぎ社会実験 (http://www.ktr.mlit.go.jp/kisha/road_00000219.html) として、実際の道路行政にも反映されている。また、ETC2.0によるリアルタイム交通状態システムに関しても、整備局内の各事務所における災害時の道路マネジメント場面における適用性を高めるべく、ユーザーからのフィードバックを受けてユーザビリティを高める取り組みを継続している。
- ・ 研究 J) 及び K) については、北海道開発局と綿密に連携・共同して、夏季の北海道中富良野町における観光渋滞対策の社会実験において、主要観光施設の混雑度の測定とそれを用いた交通情報提供の場面において、平成30年度及び令和元年度の二回に渡り実際に適用された (<https://www.hkd.mlit.go.jp/as/release/vktdfd000000ijrx-att/vktdfd000000j79t.pdf>) 。
- ・ 研究 L) については、北海道開発局と共同して、令和元年度の北海道十勝花火大会実施時の帰宅道路混雑解消のためのリアルタイム渋滞情報提供において実際に適用された (<https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/release/fns6al000000mrip-att/fns6al000000ndzo.pdf>) 。また、提案手法の沖縄先島諸島オーバーツーリズム評価への適用に向けた検討を、環境省と連携して開始した。

⑬自己評価

(1) 研究目的の達成度と研究成果

国内外の関連研究者や実務者、及び研究室大学院生からの多大な協力を得て、ほぼ当初目的通りに全ての研究を遂行することができたと考えている。これにより、本研究開発に関連する成果発表を海外で8編、国内で32編行うことができた。さらに、審査付き論文は現時点で14編刊行済みもしくは掲載が決定している（投稿準備中のものも数編ある）。以上より、学術的にも一定水準以上の研究を遂行することができたと自己評価している。

(2) 今後の展望と道路政策への寄与

ETC2.0プローブデータを用いた交通マネジメントについては、平常時の混雑課金等のTDM施策評価のためのツール開発のみならず、災害時等非平常時における交通状態推計のためのシステムプロトタイプ開発にも貢献できたと確信している。ケーススタディ等を積み重ねて手法の妥当性を確認することで、データに基づく今後の道路マネジメントを実際にどう行っていくべきかを検討する際の一助となることが期待される。

ETC2.0プローブ以外の交通ビッグデータの活用可能性については、特にWi-Fiパケットデータの道路交通マネジメントや観光マネジメントへの適用に関する様々なユースケースを提示することができたと考えている。

(3) 研究の投資価値

学術的には、信頼度の高い各種交通シミュレーションモデルの構築、高速バスロケーション等の実用的なシステム、さらにそれらの成果の学術論文としての刊行など、十分な投資価値があったと考えられる。さらに実務的にも、実際の道路行政の場面での活用を通じて、十分な価値を見出したと共に、行政関係者との共著論文等、実りある産学連携ができたと自己評価している。