

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420519

研究課題名(和文) スマート端末による意識調査と数理解析手法を利用した次善道路料金設定法の開発

研究課題名(英文) Designing Second-best Congestion Pricing using Smart-device Survey and Mathematical Method

研究代表者

圓山 琢也 (Maruyama, Takuya)

熊本大学・政策創造研究教育センター・准教授

研究者番号：20361529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は、第一にゲーミフィケーションと移動軌跡情報法を導入したスマホ型交通行動変容プログラムの開発である。調査参加者の歩数のランキングを配信することで、より効果的な行動変容を促すもので、三回の調査を実施して効果を検証した。

第二の成果は、スマホ型調査で得られる膨大なGPS軌跡情報のカーネル密度推定を応用した簡便な分析法の開発である。データの時空間の三次元視覚化や回遊行動の広がりを定量的に評価する指標を新たに提示した。

第三の成果は、トリップ・チェーン型利用者均衡配分の簡易な長期予測手法の提案である。2時点の熊本都市圏パーソントリップ調査のデータを利用して、モデルの限界と有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：First contribution of this project is development of smartphone-app-based mobility management system using gamification. Our program enhance the step increase providing ranking information among participants. Three case studies reveals the effectiveness of this program.

Second contribution is to propose a simple method to clarify characteristics huge GPS trajectory using 2D and 3D kernel density estimation. We visualize the time-space participants' hot spot by 3D kernel density map. In this map, the volume of 95% kernel can be comprehensive index to evaluate the size of activity area and length of stay.

Final contribution is development of a simple long-term travel demand forecasting method: trip-chain-based variable demand model considering network congestion consistently. We validate the method by post evaluation using Person Trip survey data. We confirm that this method can be applicable easily to long-term travel demand forecasting.

研究分野：土木計画学

キーワード：スマートフォン型交通調査 行動変容 混雑課金

1. 研究開始当初の背景

道路混雑の解消や道路整備・維持財源確保を目的とした道路混雑課金(ロード・プライシング)、道路料金政策について、国内外で盛んに学術研究がなされている。研究代表者も対象地域を区切る道路課金の例であるコードン課金とエリア課金の違いを表現できる方法論を構築し、その後、エリア課金の最適領域設計法などを開発してきた。これらの研究は、交通ネットワークモデルによる数理的なアプローチを採用しており、今後の課題の一つとして、モデルに含まれる需要弾力性等のパラメータの現実の行動に即した合理的な設定法が挙げられた。

一方で、紙面調査による移動者の行動の実績調査(RP 調査)、表明選好意識調査(SP 調査)の限界に対応して、GPS 携帯などを利用したプローブ型の交通調査手法の研究が進められている。研究代表者は、スマートフォン(スマホ)・アプリを利用したプローブ・パーソン調査手法を開発・実用化し、2012 年度熊本都市圏パーソン・トリップ調査と同時に実施した。このスマホ・アプリによるプローブ・パーソン調査は、調査参加者の負担軽減、調査費用の削減、調査対象の大規模化の可能性などの特徴をもつ。また、移動の実績のみならず、調査対象者の行動に応じた、より詳細な移動・活動代替案の提示が可能となり、移動の選好意識調査の高度化を図れると考えられる。特に、様々な道路料金施策に対する移動者の反応を把握し、上述したモデルの需要弾力性パラメータの設定に活用できると考えられる。

2. 研究の目的

- (1) 利用者の行動軌跡を取得すると同時に、仮想的な交通政策に対する利用者の行動変化のデータを取得する新たなスマホ型交通行動調査手法を開発する。
- (2) 多様な交通施策を表現可能な交通ネットワーク均衡モデルを構築する。
- (3) 以上のデータ収集法・モデルを組み合わせ、多様な道路料金施策を表現可能な交通政策分析体系を構築し、次善課金の特性などを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 交通行動調査アプリの改良

研究代表者が構築済みの交通調査アプリの改良と同時に、ゲーミフィケーションを利用した交通行動変容プログラムを開発する。具体的には、調査対象者の歩数の増加を促すプログラムにおいて、参加者の歩数変化のランキング情報を提供することで、より効果的な交通行動の変容を促すものである。またゲーミフィケーションが効果的な層の特定化を試みる。このプログラムの有効性を検証する調査を 2014 年 12 月、2015 年 6-7 月、2016 年 12 月に実施する。特に最終年度では、実

際の行動変容を GPS により記録できる改良を実施する。対象者の具体的な行動変容の客観データと事後調査での主観的な回答の差などを明らかにする。

(2) スマホ型交通調査の調査実施の蓄積と結果の分析方法の改良

スマホ型交通調査の改良について、研究代表者のチームによる既存の実施データを精査・分析する。具体的にはスマホ型交通調査の参加者を増加させる方法について、2013 年実施の調査データを精査し、謝礼が効果的な層などを探索する。また、2014 年実施のデータを利用して、既存調査と比較した参加者の偏り、結果の違いを明らかにし、スマホ型調査を利用した Web 型交通調査と紙面交通調査の回答の誤差の傾向分析を行う。

また、カーネル密度推定法を応用したスマホ型調査の軌跡データの分析方法を開発し、2013 年実施データに適用する。GPS データの時空間の三次元視覚化に加えて、カーネル密度推定法を応用した三次元の体積値で、空間的な回遊行動の多さを定量的に評価する指標を新たに提示する。

さらに、2015 年 8 月実施の熊本市江津湖花火大会の来場者の行動について、スマホ型調査を実施し、来場者の行動実態などを明らかにする。

(3) 交通ネットワーク均衡モデルの改良

研究代表者が開発済みのトリップ・チェーン型のモデルを長期予測に応用する手法を開発し、実都市圏のデータをもとにその手法の妥当性の検討を行う。

4. 研究成果

(1) スマホ・アプリ型交通行動変容プログラムの開発・改良

表-1 に示すように、対象者数、利用アプリ、研究目的などを変更しながら、2014 年、2015 年、2016 年に 3 回の調査を実施した。具体的に 2015 年度調査では、2014 年度調査での課題を解決するために、ランキングを用いるグループと用いないグループで同じ歩数計アプリを使用する。また、ランキングというゲーミフィケーションが効果的な層の抽出を目的として、事後アンケートで調査対象者の競争心尺度を計測する。2016 年度の調査では、事後アンケートでの質問「実際に行動が変化したかどうか」の問で、行動が変化したと回答した人がどのような行動変化をしたのかを可視化するため、GPS 機能を用いて移動軌跡情報を取得する。

2015 年調査の分析結果からは、競争心が強い人が、歩数の増加が高いすなわちランキングが効果的であるという興味深い結果が得られた(図-1)。また、ランキングの存在によって、統計的に有意な($p=0.08$)の歩数の増加が確認できた(図-2)。

表-1 本研究の各調査概要

	2014年度調査	2015年度調査	2016年度調査
日程	2014年12月19日から26日	2015年6月27日から7月10日	2016年12月1日から12月21日
調査期間	8日間	14日間	21日間
対象者	iOS：10名 Android：11名	iOS：35名	iOS：28名
使用アプリ	iOS：独自開発アプリ Android：既存歩数計アプリ	iOS：独自開発アプリ	iOS：独自開発アプリ, Moves
グループ分け	有(ランキングの有無)	有(ランキングの有無)	無
ランキング配信法	メール	LINE	LINE
謝礼	無	有	有
目的	MMの新しい手法の開発 ゲーム性向上による有効性検討	ゲーミフィケーションと心理的尺度の関係の検証	GPSを用いた行動軌跡の把握

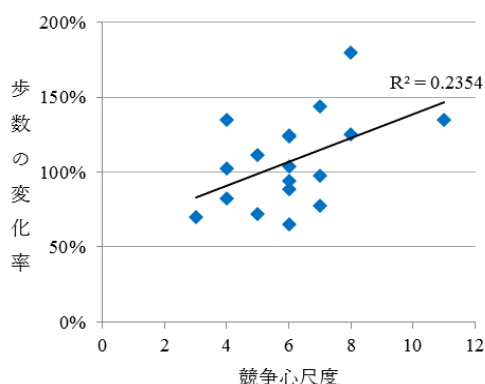


図-1 競争心尺度歩数の変化率との関係
(出典) 雑誌論文1)

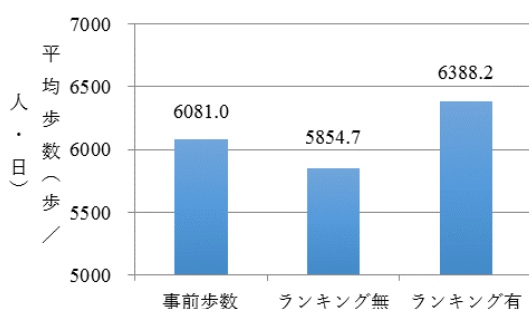


図-2 平均歩数の変化の比較

2016年調査からは、事後アンケートによる主観情報と、歩数計と行動軌跡情報による客観情報に基づき、以下のように対象者が分類された。

a) 「実際に行動変化した」かつ「歩数増加」

b) 「実際に行動変化した」かつ「歩数減少」
c) 「行動は変化しなかった」かつ「歩数増加」
d) 「行動は変化しなかった」かつ「歩数減少」

a)の対象者については、移手段の転換や徒歩での移動距離が増えたことが移動軌跡情報により確認できた。b)については、バイクの利用時間の減少など、歩数の変化ではなく他の要因により行動変化を実感していることが確認された。事後アンケートで行動変化を実感できなかったと回答した c),d)について、歩数の増減に関わらず普段から歩いている人で、変化を実感しづらい傾向があることを確認した。

これらの成果は、実務上より効果的なモビリティ・マネジメントの実施のための一助となることが期待される。

(2) スマホ型交通調査の調査実施の蓄積と結果の分析方法の改良

スマホ型交通調査の参加者を増加させる方法について、2013年実施の調査データを精査し、友達と同行者に参加の傾向が多い、若者は謝礼がないと調査に参加しない傾向などを明らかにした。

また、スマホ型調査によるデータを正確な回答値として仮定し、Web型交通調査と紙面交通調査の回答の誤差の傾向を調べた。Web調査の方が煩雑と感じられていた可能性や、回答時間の長さは回答に影響を与えにくい一方、回答への負担意識が紙調査の結果に影響を及ぼすこと、若年層においてインターネットの利用時間が長いほど紙調査の正確性が低下することなどが明らかになった(雑誌論文 6)。

また、スマホ型調査の軌跡データの分析方法として、カーネル密度推定法をGPSデータの時空間の三次元視覚化(図-3)に加えて、カーネル密度推定法による三次元の体積値で、空間的な回遊行動の多さを定量的に評価する指標を新たに提示し2013年実施データに適用した。また、50%カーネル密度圏の重心を滞在地点として視覚化する簡便かつ新たな分析手法を提案した(雑誌論文 3)。

さらに、2015年8月実施の熊本市江津湖花火大会の来場者の行動について、スマホ型調査を実施し、来場者の行動実態、会場付近での混雑、公共交通機関利用者の集中、会場から離れるときの時間の遅れ、延期を知らせる情報伝達の混乱について明らかにした(雑誌論文 2)。

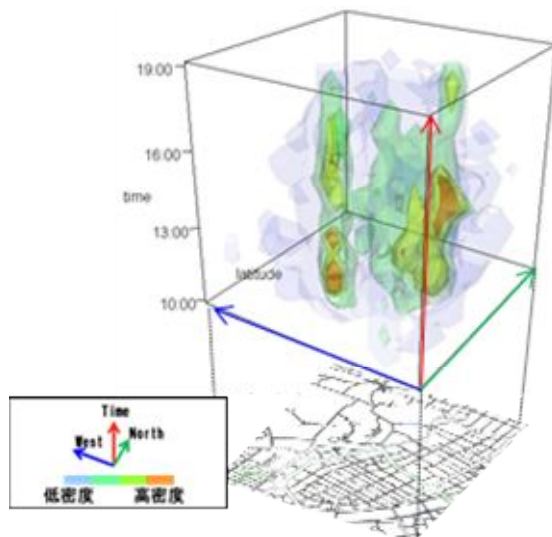


図-3 時空間カーネル密度図の例
出典) 雑誌論文 3)

(3) トリップ・チェーン型利用者均衡配分の簡易な長期予測手法の提案と検証

研究代表者によってトリップ・チェーン型利用者均衡配分モデルが提案されているが、基本的に短期予測を想定している限界があった。一方、将来人口分布に適合するように、現在の PT マスターデータに拡大係数を付与し、将来のマスターデータを予測するという手法が提案されている。本研究では、この 2 つの方法を組み合わせることで、長期の予測モデルにおいても、トリップ・チェーンの特性を考慮し、交通混雑と需要変動の整合性を考慮した簡易なモデルが構築できることを示した。また、2 時点の熊本都市圏パーソナルトリップ調査のデータを利用して、このモデルの妥当性を検証した。その結果、本モデルは、高齢者の自動車トリップ数の増加などの構造変化を考慮できていないなどの限界はあるが、簡易に長期予測できる方法であることを確認した。提案手法の特性は表 2 のように整理できる。

表-2 交通需要予測手法の特性整理

	簡易性	長期予測の計算可能性	需要と混雑の均衡	詳細な行動変化の記述
四段階推定法	×			
トリップ・チェーン型均衡配分		×		
拡大係数付与手法			×	
マイクロシミュレーション				
提案手法				

○:優れている/適切, ◻:不向き, ×:不十分/困難
出典) 雑誌論文 5)

この提案手法は、将来の例えば 5 年毎の予測を簡易に行える特徴がある。この特徴を生かせば、例えばコードン/エリア課金の最適導

入時期決定問題、課金対象地域や課金レベルを長期的に変化させる動的料金設定問題の実都市圏への応用などへの学術研究への展開が期待できる。また、この手法は、いくつかの大胆な仮定にもとづいているが簡易に適用が可能で、実務的な展開も期待される。

(3) 次善課金の特性整理

次善混雑課金の分析法については、これまでの筆者の研究内容について、社会的余剰の相対改善(Relative Gain)という指標で政策評価結果を再構成して、体系的に整理した(雑誌論文 4)。

なお、最終年度の 2016 年度は、4 月に発生した熊本地震の復興支援活動を優先したため研究進捗は一部限定的なものとなったが、前年度までに取り組んだ内容の成果が多数公表されている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

- 1) Nakashima, R., Sato, T., and Maruyama, T.: Gamification Approach to Smartphone-app-based Mobility Management, *Transportation Research Procedia*, in press <http://doi.org/10.11361/10.1016/j.trpro.2017.05.234> (査読有り)
- 2) 西村 駿人, 佐藤 嘉洋, 円山 琢也: スマホ型調査による江津湖花火大会来場者の行動分析, 熊本大学政策研究, Vol. 8, pp. 47-71, 2017.3. (査読なし) <http://hdl.handle.net/2298/37066>
- 3) 佐藤貴大, 円山琢也: カーネル密度推定法を応用したスマホ型回遊調査データの時空間分析, 都市計画論文集, Vol.51, No.2, pp. 192-199, 2016.10. (査読有り) <http://doi.org/10.11361/journalcpj.51.192>
- 4) 円山琢也: 領域形状に着目した次善混雑課金の政策分析, 応用地域学研究, No.20, p.13-22, 招待論文, 2016.(査読なし)
- 5) 富士 祥輝, 円山 琢也: トリップ・チェーン型利用者均衡配分の簡易な長期予測手法の提案と検証, 交通工学論文集, Vol.2, No.2, pp.A_45-A_51, 2016. (査読あり) http://doi.org/10.14954/jste.2.2_A_45
- 6) 佐藤 嘉洋, 円山 琢也: 交通調査回答特性の手法間比較分析: 熊本 PT 調査における紙と Web 方式の比較, 熊本大学政策研究, Vol. 7, pp. 33-51, 2016.3. <http://hdl.handle.net/2298/35081>
- 7) Maruyama, T., Sato, Y., Nohara, K., and Imura, S.: Increasing smartphone-based travel survey participants, *Transportation Research Procedia*, Vol. 11, pp. 280-288, 2015. (査読あり) <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.12.024>
- 8) 佐藤貴大, 円山琢也: スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析, 都市計画論文集, Vol.50, No.3, pp.345- 351, 2015.10. (査読あり)

<http://doi.org/10.11361/journalcpj.50.345>

- 9) 石野祐希, 円山 琢也, 溝上 章志: インタビュー型回遊調査とスマホ型回遊調査の参加者属性に着目した比較分析-熊本都心部回遊調査を例に, 都市計画論文集, Vol.50, No.3, pp.331-336, 2015.10. (査読あり)

<http://doi.org/10.11361/journalcpj.50.331>

〔学会発表〕(計 6 件)

- 1) 瀧澤 憲駿, 円山 琢也: スマホ型調査を利用した大学構内回遊行動分析, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, IV-36, 2017.3.4 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
- 2) 中嶋 諒太, 円山 琢也: ゲーミフィケーションと GPS 機能を導入した交通行動変容プログラムの開発, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, IV-37, 2017.3.4 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
- 3) 佐藤嘉洋, 円山 琢也: トリップ出発/到着時刻に着目した交通調査回答特性の手法間比較分析, 平成 28 年度土木学会全国大会第 71 回年次学術講演会, 2016.9.7-9 東北大学(宮城県・仙台市)
- 4) Sato, Y. and Maruyama, T.: Comparison of smartphone-based, web-based, and paper-based travel survey methods: Reported departure/arrival time difference, World Conference on Transport Research 2016, Shanghai(中国), 2016.7.10-15.
- 5) 佐藤貴大, 円山 琢也: スマホ・アプリを用いたモビリティ・マネジメント手法の開発とその将来性の検討, 平成 26 年度土木学会全国大会 第 69 回年次学術講演会, IV-089, pp.177-178, 2014.9.10, 大阪大学(大阪府・吹田市)
- 6) 佐藤貴大, 円山 琢也: スマホ・アプリを用いた MM の開発と試行, 第 9 回日本モビリティ・マネジメント会議, とかちプラザ(北海道・帯広市), 2014.7.25.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

なし

○取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cps.kumamoto-u.ac.jp/center/maru/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

円山 琢也 (MARUYAMA, Takuya)

熊本大学・政策創造研究教育センター・
准教授

研究者番号: 20361529

(2) 研究分担者

溝上 章志 (Mizokami, Shoshi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・
教授

研究者番号: 20135403