

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No. 24-1

研究テーマ

都市圏交通調査・分析・予測手法の先導的
プラットフォームの構築と実装

研究代表者：	熊本大学	准教授	円山	琢也
共同研究者：	東京大学	教授	羽藤	英二
	熊本大学	教授	溝上	章志
	熊本大学	教授	柿本	竜治
	熊本大学	教授	都竹	茂樹

平成27年7月

新道路技術会議

目次

研究概要	3
第1章 はじめに	5
1. 1 研究の背景	5
1. 2 研究の目的	5
1. 3 報告書の構成	5
第2章 平成24年度熊本都市圏PT調査と連携して実施したスマホ調査の分析	7
2. 1 調査概要	7
2. 2 スマホ調査参加者の基礎分析	9
2. 3 スマホ型交通調査における参加行動選択モデルの構築	10
2. 4 本章の成果のまとめ	16
第3章 平成25年度熊本都心部スマホ型回遊調査の実施と結果分析	17
3. 1 熊本都心部回遊調査と貨物車プローブ調査の趣旨	17
3. 2 熊本都心部スマホ型回遊調査の概要	17
3. 3 インタビュー調査とスマホ調査の参加者属性に着目した比較分析	17
3. 4 カーネル密度推定法を用いた熊本都心部の回遊行動圏の可視化と分析	23
3. 5 平成25年度調査における調査参加選択行動分析	28
3. 6 本章の成果	29
第4章 平成26年度スマホ調査の実施と調査手法による結果の比較分析	30
4. 1 調査の趣旨と概要	30
4. 2 調査結果	31
4. 3 調査結果のまとめと考察	33
4. 4 ゲーミフィケーションを導入した交通行動変容アプリの開発と試行	34
第5章 スマホ調査の実用化に向けたガイドライン案の作成	36
5. 1 平成25年～平成26年度調査の実査の留意点の整理	36
5. 2 各種調査の特徴の整理	37
5. 3 国内外のスマホ調査の動向	38
5. 4 ガイドラインの作成方針	38
5. 4 スマホ型交通調査の実施ガイドライン（案）	38
第6章 研究成果のまとめと今後の課題・展望	44
6. 1 3年間の成果のまとめ	44
6. 2 今後の課題・展望	45
参考文献	46

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 24 年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.24-1	都市圏交通調査・分析・予測手法の 先導的プラットフォームの構築と実装	熊本大学 准教授 円山琢也

スマートフォン上のアプリを使用した交通調査を実用化し、平成24年度秋の熊本都市圏PT調査と連動して大規模サンプルで実行し、既存調査手法との比較や分析を行い、高度な交通需要予測手法の実用化を目指す。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

道路交通センサス、パーソントリップ(PT)調査といった多額の調査経費の必要とする現行の道路交通計画(及び総合交通計画)の立案手法は、その経費に見合った価値(Value for Money)が無いのではないかと指摘がなされている。一方で、一般市民への急速なスマートフォン(スマホ)の普及が進み、そのスマホ上で動作するアプリを配布することで、大規模な移動軌跡データをほぼ無料で取得できる時代が到来している。

そこで、スマホのアプリを利用した新たな交通調査手法への期待が高まっており、世界各地で研究が進められている。しかしながら、調査参加者数を増やす方法、参加者の偏りの検討、偏りがある場合の補正法等、課題が残されている。スマホ型調査の実用化に向けて、実際の調査経験を積み重ねながら、課題の整理と解決策の探索が求められている。

以上の背景を踏まえ、本研究は、スマホ上のアプリを使用した安価な交通調査(以下「スマホ型調査」という)を開発し、熊本都市圏PT調査と連動してスマホ型調査を行うとともに、既存の郵送配布・回収型の調査結果手法との比較・分析を行い、スマホ型調査の可能性と限界を整理する。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

平成 24 年度秋の熊本都市圏 PT 調査と同時に、スマホ型交通調査を実施した。アプリについて、iPhone 版と Android 版の両方を準備し、1 万世帯を超える世帯に依頼した試みは、2012 年当時において、世界的にも先進的な事例といえる。平成 24 年度調査では、謝礼を準備できなかったこともあり、参加者は 97 名にとどまったが、平成 25 年度は、都心部回遊調査を、スマホ型調査型で 500 円の謝礼を準備して実施し、1,086 名のサンプルを確保した。また平成 25 年度には、貨物車プローブ調査をスマホ調査で実施し、7 社 21 名の参加を得た。

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

平成 24 年度のスマホ型調査の参加者を見ると、男性、30～40 歳、単身世帯、公的サービス業の従事者が多いことが分かった。また、スマホ型調査の参加者の平均トリップ数は、PT 調査の平均値よりも高く、これは、属性の偏りを考慮しても高い値であった。



図1 スマホ型
交通調査システム

また、PT 調査に参加するか否か、参加する場合に回答方法は、紙面か Web か、さらにスマホ型調査に参加するかどうかを記述するモデルの構築を試みた。

また、スマホ型調査結果の特性を活かしたデータ分析として、カーネル密度による移動圏の可視化、滞在箇所判別について分析を実施した。

最後に、平成 24～26 年度の 3 年間で実施したスマホ型調査の経験をもとに、他の類似調査の参考となるガイドライン案を作成した。スマホ型調査の実査で検討すべき課題は、アプリの設計・開発・公開法、スマホのバッテリー問題、スマホに不慣れな参加者への対応、個人情報保護の考え方、貸与型端末の有効性、アプリのバグへの対応、機種依存問題、謝礼の考え方などがある。

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

Nohara, K., Matsuda, K. and **Maruyama, T.**: Development of Smartphone-based Travel Survey Method: Preliminary results in Kumamoto, Japan, Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (WCTR 2013), #3242, 2013.

Maruyama, T., Mizokami, S., and Hato, E.: A smartphone-based travel survey trial conducted in Kumamoto, Japan: an examination of voluntary participants' attributes, Transportation Research Board 93rd Annual Meeting Compendium of Papers, #14-0997, Washington D.C. 2014.

Asakura, Y. Hato, E. **Maruyama, T.**: Behavioural Data Collection using Mobile Phones, in Soora Rasouli & Harry Timmermans (eds.) Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis, Chapter 2, pp. 17-35. IGI Global, 2014.6

Maruyama, T., Sato, Y., Nohara, K., and Imura, S.: Increasing smartphone-based travel survey participants, presented at The 10th International Conference on Transport Survey Methods in Leura, Australia, 2014.11.

Maruyama, T.: Participation choice model for household travel survey methods: Comparison of paper, web, and smartphone-based method, Proceedings of the 19th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp.501-508, 2014.12.

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

交通調査アプリの技術的改良については、交通手段、目的などの自動入力、スマホ画面上での修正などがありうる。ただ、この点については、世界的な研究開発競争も激しく、またライフログ型の商用アプリも多数開発されている。したがって、これら多様なアプリの収集される軌跡データの解析、参加者の偏りの補正技術などが交通計画の研究としては重要と考える。例えば、調査参加選択行動モデルは、交通調査の回収率向上施策の検討にも有効である。全国他都市での適用も検討している。

また、本研究プロジェクトの終了後にも、研究代表者の研究チームで、同類の調査や、留学生の母国での類似の調査を計画しており、研究成果の広がりを見せている。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

道路交通調査 (旧: 道路交通センサス)、PT 調査などの大規模交通調査は、道路政策などの交通政策の検討のための基礎データである。これらの調査について、費用を抑えながら、精度を向上させるための知見や留意点を整理できたと考える。紙面調査を Web 型、さらにはスマホ型に変更するのは、世界的な潮流であるが、それぞれの調査参加者の属性の偏りなどを統一的に表現する調査参加選択モデルは、今後の多様な媒体での調査結果の統融合に活用できる。また、調査参加者を増加させるための方策について、謝礼の有効性などについても知見を整理している。さらに複数回の調査実施経験をもとに、スマホ・アプリ配布型調査の GPS 型機材貸与型とは異なる留意点について、ガイドラインとして整理している。これは、既に複数の都市で調査計画の立案に活用されている。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

<http://www.cps.kumamoto-u.ac.jp/smart-pt/>

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

道路交通センサス、パーソントリップ (PT) 調査といった多額の調査経費の必要とする現行の道路交通計画 (及び総合交通計画) の立案手法は、その経費に見合った価値 (Value for Money) が無いのではないかとの指摘がなされている¹⁾。一方で、一般市民への急速なスマートフォン(スマホ)の普及が進み、そのスマホ上で動作するアプリを配布することで、大規模な移動軌跡データをほぼ無料で取得できる時代が到来している。

そこで、スマホのアプリを利用した新たな交通調査手法への期待が高まっており、世界各地で研究が進められている。しかしながら、調査参加者数を増やす方法、参加者の偏りの検討、偏りがある場合の補正法等、課題が残されている。スマホ調査の実用化に向けて、実際の調査経験を積み重ねながら、課題の整理と解決策の探索が求められている。

1.2 研究の目的

本委託研究は、スマホ上のアプリを使用した安価な交通調査 (以下「スマホ調査」という) を開発し、熊本都市圏 PT 調査と連動してスマホ調査を行うとともに、既存の郵送配布・回収型の調査結果手法との比較・分析を行い、スマホ調査の可能性と限界を整理する。

具体的に、次の目標の達成を目指すこととする。

(1) スマホ型交通調査の構築・実装・検証

スマホ (iPhone, Android 端末) で動作する交通行動調査アプリを開発し、予備調査などを経て、公開、実装を行う。平成 24 年度熊本都市圏 PT 調査と連動し、大規模にスマホ調査を実行する。既存の郵送配布・回収型の調査手法との比較・分析を行い、スマホ調査の可能性と限界を整理する。

(2) スマホ調査の実施・改良と結果分析

平成 25 年度の都心部回遊調査と貨物車プローブ調査をスマホ型で実施し、スマホ調査の特性を活かした分析を行う。これらの経験を踏まえて、平成 26 年度にも、中規模のサンプル数を対象としてスマホ調査を実施し、スマホ調査の可能性と限界を整理する。

(3) スマホ調査の参加者分布の把握と参加選択モデルの構築と応用

スマホ調査の参加者属性のデータを用いて、どのような対象者がスマホ調査に参加しやすいのかを説明する選択モデルを構築する。そのモデルを用いて、スマホ調査の結果を母集団に拡大する方法を検討する。

(4) スマホ調査のガイドラインの作成

平成 24～26 年度の 3 年間で実施したスマホ調査の経験をもとに、他の類似調査の参考となるガイドラインを作成する。

(5) 高度な交通調査・分析・予測分析技術を理解する専門家の人材育成

研究代表者が部会長を務める熊本都市圏 PT 調査の部会などの開催により、行政担当者・地元コンサルタントの、高度な交通調査・分析・予測技術に対する理解度の向上を目指す。

1.3 報告書の構成

本報告書は以下のように構成される (図 1.3.1)。第 2 章から第 4 章は、平成 24 年から平成 26 年にかけて実施したスマホ調査とその分析に、それぞれ対応している。具体的には、第 2 章で平成 24 年度熊本都市圏 PT 調査とスマホ調査の分析と調査参加モデル構築が詳述される。第 3 章では、平成 25 年度熊本都市圏部スマホ型回遊調査の分析、第 4 章では、平成 26 年度スマホ調査の実施と調査手法による結果の

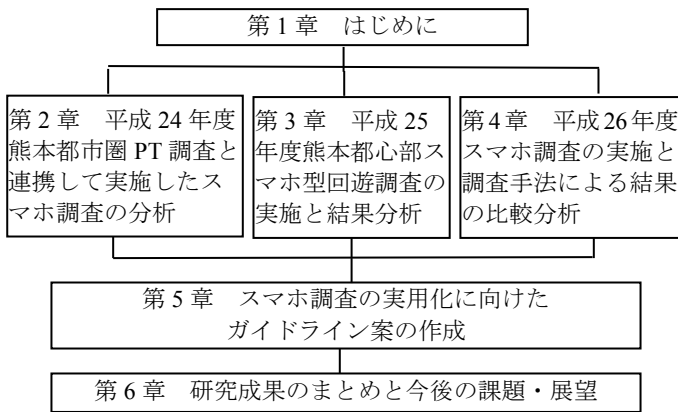


図 1.3.1 本報告書の構成

比較が分析される。これらを踏まえて、第5章では、スマホ調査の実用化に向けたガイドライン案が作成される。最後に、第6章では、本研究の成果のまとめと今後の課題・展望が述べられる。

本研究プロジェクトの体制は、図 1.3.2 で示される。平成24年度~平成26年度の3年間に実施される熊本都市圏PT調査と連携しており、図右側に示される協議会ベースでは、PT調査に基づく都市圏交通計画の着実な立案を目指している。一方、本プロジェクトは、その同じ3年間の期間で、より先導的な交通調査、分析、予測手法の実用化検討を行うというものである。

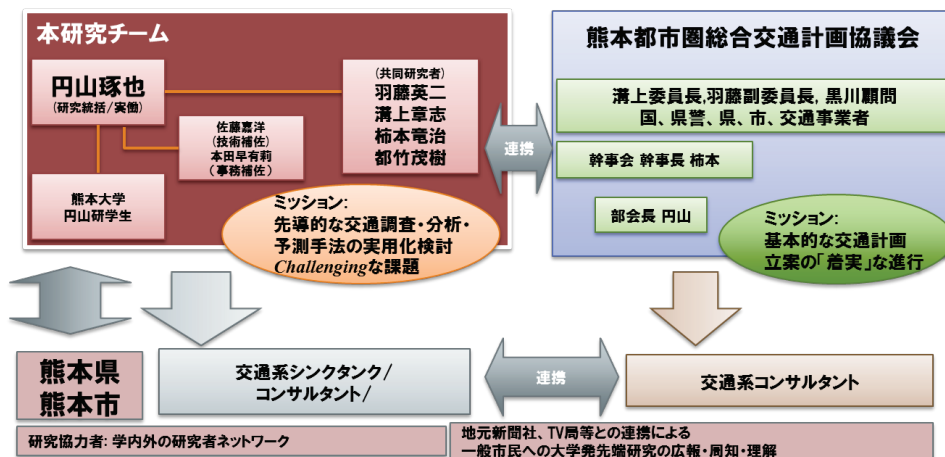


図 1.3.2 本研究プロジェクトの体制図

第2章 平成24年度熊本都市圏PT調査と連携して実施したスマホ調査の分析

2.1 調査概要

本章では、平成24年秋の熊本都市圏パーソナルトリップ(熊本PT)調査とそれと連携して実施したスマホ調査について記載する²⁾。特に調査参加者の分布に着目し分析する。さらに、スマホ調査の結果を母集団に拡大する際に有用となりうる調査参加選択モデルを構築する。

(1) 実施スケジュール・調査対象者

平成24年度熊本PT調査は、熊本都市圏総合交通計画協議会のもと熊本県と熊本市が調査主体となって実施されたものである。対象地域は、熊本市を中心とする5市6町1村であり、人口約104万人、世帯数約41万世帯である。このうち、約12万世帯を抽出し、郵送配布・郵送回収(Web併用型)方式での調査が実施された。平成24年10月から11月に実査が行われ、調査は、基本3ロットと予備ロットから構成される。3ロットのうち、1ロットは通常のPT調査票のみで、第2,3ロットと予備ロットにおいて一部世帯にスマホ調査の依頼チラシを同封した。

PT調査は、熊本市外の熊本県内4市6町1村も対象としているが、熊本市のみをスマホ調査の対象とした。PT調査と連携してスマホ・アプリ配布型の調査を行うのは日本初の試みであるため、何らかの問い合わせが地元自治体の担当に届いても、行政担当者が今回の調査の意図等を熟知していることが望ましいと判断したためである。熊本市の担当者とは、ス

マホ調査も含めてPT調査の意図について勉強会・部会などを重ねていた。

スマホ調査への協力を記載した依頼状の同封対象は、熊本市内居住者に限定し、第2,3ロットでは、20~40歳台が居住する世帯、5000ずつの計1万世帯である。また、第2,3ロットで、大きな問題が生じないことが確認されたため、予備ロットにおいては、年齢の制限なしで熊本市内3,279世帯に配布した。(表2.1.1)

PT調査と同時にスマホ調査を行うことは日本初の試みだった。スマホ調査の協力依頼状が同封されることでPT調査の本体調査に悪影響(信頼性の低下、回収率の低下)を及ぼることがないように最大の注意を払い、依頼状の文面を作成した。それでも悪影響が生じた場合に、その影響を最小限にするために、スマホ調査の依頼状の同封世帯は、約1割の1万世帯にとどめた。また、年齢層として、スマホの保持者が多いと考えられる20~49歳の世帯構成員が存在する世帯に限定した。

通常、この類の調査は、謝礼を支払って実施していることが多い。平成24年度調査では、スマホ調査への協力の追加の謝礼は無しとした。これは、対象者がスマホ所持者に限定されているため、PT調査全依頼者間での公平性を確保するための判断である。

(2) スマホ調査の広報活動・サポート体制

今回の調査では、スマホ調査の広報活動として、1) 熊本日日新聞(2012年10月9日社会面)へのアプリ開発記事の掲載、2) 同新聞内での簡易広告の掲載(100字程度、10月16日)、3) 熊本市LRTサミットの広告内および同サミット内での調査参加協力の呼びかけ等の広報活動を研究グループ主体で行った。その他、掲載された新聞記事の内容が地元ラジオでも紹介された。

また、アプリのサポートページを大学のドメインに開設し、上記新聞記事へのリンクをはり、プライ

表2.1.1 調査実施日と調査依頼数

	期間 (2012年)	PT調査対象世帯数 (都市圏全体)	スマホ調査 対象世帯数 (熊本市内)
第1ロット	10/9-11	39,500	0
第2ロット	10/16-18	39,500	5,000
第3ロット	10/23-25	39,500	5,000
予備ロット	11/20-21	4,892	3,279

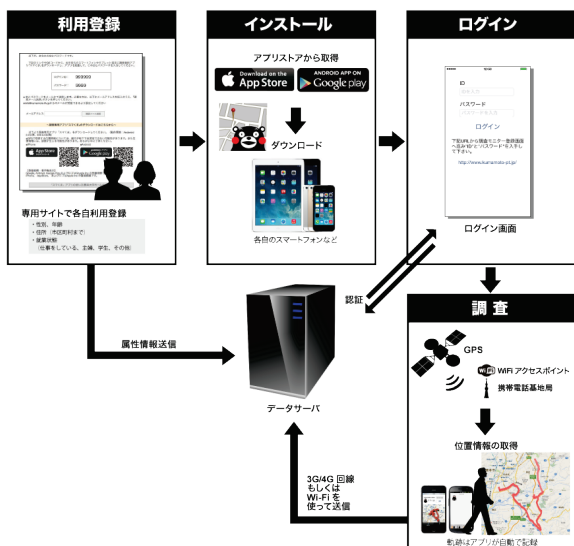


図 2.1.1 スマホ型交通調査システム



図 2.1.2 アプリ画面(左:iPhone版, 右:Android版)

表 2.1.2 スマホ調査の参加者

内容	調査結果
スマホ調査対象者	13,279 世帯
調査参加者 (ID 確認者)	97 人
アンケート回答者 (任意)	57 人

表 2.1.3 スマホ調査の参加者内訳

調査依頼書の有無	紙面・WEB調査の有無	デバイス	調査期間				合計
			第1ロット 10/9-11	第2ロット 10/16-18	第3ロット 10/23-25	予備ロット 11/21-22	
調査依頼書配布世帯	有り	Android	20	18	8	46	
		iPhone	6	7	1	14	
	小計	26	25	9	60		
	無し	Android	7	8	1	16	
iPhone		6	5	1	12		
小計			39	38	11	88	
任意の参加者(調査依頼書無し)	有り	Android	1	2		3	
		iPhone		1		1	
	小計	1	3		4		
	無し	Android	3		1	4	
		iPhone	1			1	
小計			4	1	5		
合計			5	42	39	11	97

バシー・ポリシーやわかりやすいユーザー・ガイドの作成などに尽力した。

スマホ調査の協力依頼状には、調査の実施主体、趣旨を記載するとともに、

- ・スマートフォン調査を PT 調査と同時にかつ、大規模に行うのは日本初の試みであり、全国的にも注目されている調査であること。
- ・スマートフォン調査への参加の有無にかかわらず、インターネットまたは郵送で回答する本体調査には、必ず回答いただきたいこと。
- ・個人情報の保護には万全を期していることを強調した。

(3) 開発アプリの概要

本研究で開発したスマホ調査のシステムの概念を図 2.1.1 に示す。まず、調査主体は、取得したい情報を収集可能なアプリを開発し、それを Google Play や App Store などのスマホ・アプリのマーケットにアップロードする。調査対象者は、郵送での依頼等の方法で、そのアプリのダウンロード法・利用法が通知され、自分の保持しているスマートフォンやタブレット端末に、アプリをダウンロードし、インストールする。調査参加者は、トリップの出発・到着などを、画面でタップし入力するものである。

通常、スマホの契約はデータ通信に関しては料金定額プランが多い。よってデータ通信料を追加で支払う必要があるGPS携帯によるPP調査と比べて、低コストでスマホ調査は実施できる。また、大規模サンプルでの実施が可能であり、コストパフォーマンスが高い方法となりうる。

スマートフォンに搭載された位置情報取得機能、三軸加速度センサー等を利用した Android 端末用アプリ、iPhone 端末用アプリを開発した(図 2.1.2)。iPhone 版のアプリは筆者ら研究チームが開発し、Android 版のアプリについては、トランスフィールド社が開発済みであった PP 調査アプリの簡易版を利用した。両アプリは位置情報の取得間隔方法が異なり、iPhone 版は 100m 移動する毎に位置情報を更新する。一方 Android 版のアプリについては、10 秒毎に位置情報を更新し、加速度の測位間隔は 5Hz で測位する。また、Android 版は交通手段も取得できる。

(4) 調査参加者の基礎情報

熊本 PT 調査と連携して実施したスマホ調査の調査対象者は 13,279 世帯であり、調査依頼に対し、データの取得が確認された調査協力者は約 120 人であった。しかし、得られたデータには熊本都市圏以外のデータや ID が不明のものがあり、ID とデータが得られたのは 97 人である。今回のスマホ調査では謝礼も無く、約 1%の参加率を得ることができた。

また、スマホ調査の参加者に対して、WEB ベースのアンケートを実施したところ 57 人の回答を得ることができた。(表 2.1.2)

今回のスマホ調査の依頼では、スマホ調査だけでなく、紙面・Webによる通常のPT調査への協力も依頼した。参加者の内訳を表 2.1.3に整理した。この結果、調査依頼書が配布された世帯で、スマホ調査に

参加者のうち60人が紙面・Web調査にも参加しており、28人がスマホ調査のみの参加で紙面・Web調査には不参加であった。この理由の詳細は紙面・Web調査に参加していないため、十分な情報がなく属性について分析することができない。ただ、これらの方々は入力に面倒な紙面・Web調査は参加しないがスマホ調査なら参加するという人々であり、今後のスマホ調査の発展性を示しているとも言える。

次に、新聞の掲載記事やWeb上のスマホ調査に関する記事を見て、任意で参加した人が9人いた。これらの人はスマホ調査の調査依頼書は配布されておらず、調査方法を筆者らが作成した調査主体のサポートページのユーザー・ガイドを見て参加したことになる。また、第1ロットでは調査依頼書自体配布していないにもかかわらず、5人と他のロットより多かったのは、新聞記事の影響と考えられる。

(5) スマホ調査専用フリーダイヤルへの問い合わせ

今回の調査において、問い合わせダイヤルを2回線用意した。電話対応は調査依頼が調査対象者に届いた日から調査終了日までの期間行われた。問い合わせ及び、その内容を表2.1.4にまとめる。

注目すべき点は調査そのものに関するクレーム的な問い合わせが0件であったことである。当初、懸念されたプライバシー保護の問題や調査意図に関する問い合わせが無かったのは、今回の調査が強制ではなく、「わかりやすいユーザー・ガイド」や「FAQ」等を準備したためと思われる。

表 2.1.4 調査に関する問い合わせ内容

問い合わせ内容	件数
調査協力の申し出（熊本PT調査非対象者）	3
インストール方法に関して	3
スマホ調査に参加すれば、熊本PP調査に参加しなくてよいのか	2
その他	3
計	11

2.2 スマホ調査参加者の基礎分析

(1) スマホ調査参加者の・職業分布

スマホ調査参加者の図2.2.1に調査協力者の年齢分布を示す。特徴的なのは、20~40代が居住している世帯を中心に調査を依頼しているが、20代の参加は少なく、30~40代の参加が多いことである。図2.2.2は、スマホ調査参加者の職業分布と国勢調査との比較を示す。調査参加者は、医療・福祉業、公務関係の職業従事者が多い。

なお、PT調査本体は、紙面かWebのどちらかで回答する。全体では、Webでの回答率は9.0%に留まったが、スマホ調査参加は、Webでの回答率が50.9%となっている点も特徴である。

(2) 平均トリップ数の比較分析

スマホ調査と熊本PT調査の平均トリップ数を比

較したものを表2.2.1に整理した。スマホ調査参加者の平均トリップ数は熊本PT調査で得られた平均トリップ数より大きいことがわかる。これはスマホ調査へ頻繁に移動する人が参加したこと、もしくは、通常の紙面・WEBのPT調査では、入力漏れのトリップがスマホPP調査に参加することで回答されたためと考えられる。

(3) 意識調査

スマホ調査参加者を対象にしたWebアンケート調査も実施している³⁾。詳細は割愛するがスマホ調査には多くが好印象であり、今後は、紙面ではなくスマホ調査に参加したいと回答している。特にスマホの所持年数が長い人がその傾向にあった。

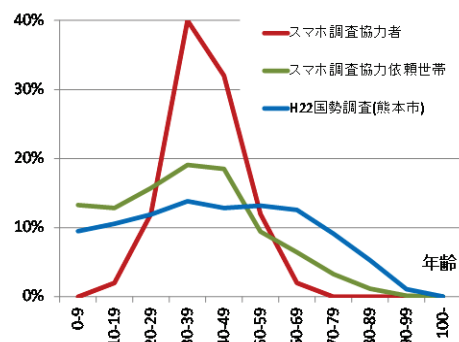


図2.2.1 調査協力者の年齢分析

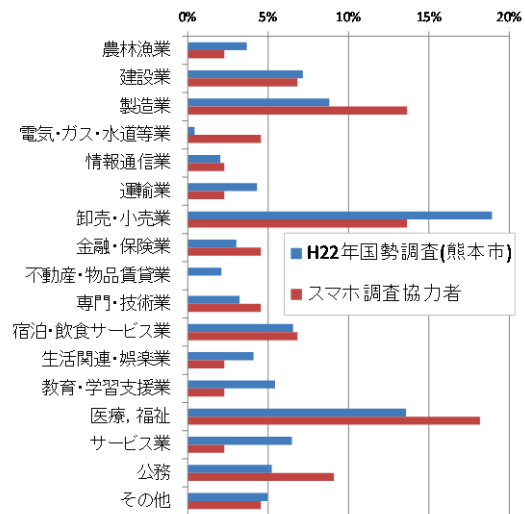


図2.2.2 調査協力者の職業分析

表 2.2.1 スマホ調査と熊本PT調査の平均トリップ数

		男性	女性	合計
		サンプル数	28	22
スマホPP調査	平均トリップ数:			
	A	4.14	4.59	4.34
熊本PT調査 (紙面・WEB)	グロス原単位: B	2.98	2.61	2.78
	ネット原単位	3.26	3.03	3.14
		1.44	4.04	3.14
AとBの平均値の差の検定 (t値)		有意な差なし	統計的に有意な差がある (有意水準1%)	統計的に有意な差がある (有意水準1%)

2.3 スマホ型交通調査における参加行動選択モデルの構築⁴⁾

(1) はじめに

a) 研究の背景・目的

個人情報保護の意識の高まりや、調査費用削減を目的として、PT調査に代表される大規模交通調査の手法が、訪問留置回収型から郵送・Web併用型に変化している。1970年代には80%を超えていた有効回収率は大幅に低下しており⁵⁾、近年では目標回収率は25%程度に設定されることが多い。これら回収率の低下によって、サンプルの母集団代表性の低下が懸念され、また回答方法の変化による調査結果の変化も予想される。一方、紙やWebに頼らないスマホを利用したプローブ・パーソン型調査の導入も試みられているが、この調査の参加者は、当然ながら偏った属性を持ち、その結果を母集団に拡大するのであれば、その方法論の検討が必要である。

本節では、以上の背景を踏まえ、交通調査における、1) 参加者の属性の傾向を分析し、2) 調査方式の選択も含めた調査参加行動を記述するモデルを構築することを試みる。これらの分析によって、今後の交通調査の結果の分析時の留意点がまとめられ、調査結果の偏りを補正する方法論や多様な交通調査手法のデータを統合する方法論の構築にも貢献できると考える。

具体的に、2012年秋の熊本PT調査（以下、熊本PT）のデータを利用する。熊本PTは、2つの特徴がある。1つ目は、戦略的な広報活動により、郵送配布・郵送回収（Web併用）方式でありながら、38.5%の高い回収率（有効回答率では35.1%）を記録したこと。2つ目は、前述しているようにスマホ調査も同時に試行したことである^{6) 7)}。スマホ調査については謝礼を準備できなかったこともあり参加率は約1%と低い値であったが、謝礼なしでどのような層が参加するかについての基礎的なデータを得た価値がある。本研究では、どのような属性の方がPT調査やスマホ調査に参加していたかを詳細に明らかにする。そしてPT調査への参加/不参加、紙/Webの回答方式の選択、スマホ調査への参加/不参加の選択行動を記述するモデルを推定することを目的とする。

b) 既存研究のレビューと本研究の位置づけ

小嶋・久保田⁸⁾は、各種の調査への未回答者に関する既存研究を整理し、地区交通計画に関する調査回答の有無に関するロジスティック回帰分析を実施している。調査内容に関する関心、調査関連組織への関わり、年齢が説明変数として導入されている。また、調査未回答者に単独世帯が多いことなどを指摘している。小嶋・久保田⁹⁾は、世論調査・選挙の投票行動などにおける未回答者・棄権者に関する既存の関連分野の研究を体系的に整理している。

張ら¹⁰⁾は、自主申告型交通行動調査と呼ぶ、新たな調査手法を対象に、調査参加の選択行動モデルの推定例を示している。個人属性のほか、報酬など多様な説明変数が利用されている。

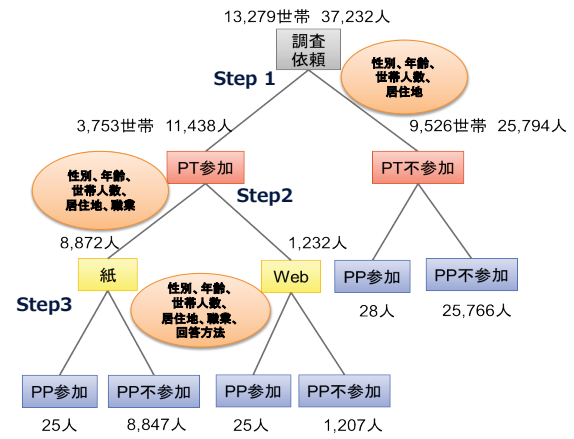


図2.3.1 スマホを併用したPT調査への参加選択行動モデルの構造と参加者数

(注) 図中の数値は、2012年熊本PT調査の熊本市の値

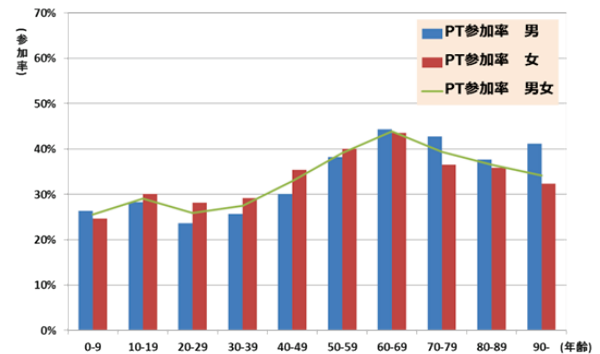


図2.3.2 熊本PT調査の性別・年齢別参加率分布

山本・森川¹¹⁾は、買い物頻度選択モデルを構築する文脈において、調査参加選択モデルを推定している。単身世帯の調査参加率が低いことなどを明らかにし、その参加モデルの推定結果を利用した買い物頻度モデルのWESML推定を行っている。

本研究は、PT調査で得られた実データにより調査参加選択行動モデルを構築する。研究の独自性・新規性として、1) 調査参加選択行動モデルの説明変数に、居住地の用途地域を加え、居住環境の影響の考慮を試みている点、2) Webと紙の回答方法選択を考慮している点、3) スマホ調査への参加行動の説明を試みている点、が挙げられる。

(2) 熊本PTデータと調査選択行動モデルの構造

本節では、熊本PTの調査結果のうち、分析に利用したデータを詳述し、本研究で想定する調査参加選択行動モデルの構造を示す。

先述したように熊本PTにおける、スマホ調査の参加依頼対象は、熊本市内の居住世帯に限定した。合計で13,279世帯、37,232人がスマホ調査の依頼を受けたことになり、本研究では、このサンプルを分析対象とする。

この対象世帯は、通常のPT調査に対して、紙またはWebでの回答が要請され、基本的に世帯全員の記録を回答する。これに加えて、スマホ調査の意義などを説明した追加の依頼状があり、可能である場合は、紙・Webの通常のPT調査に加えてのスマホ調査

の参加が要請された。

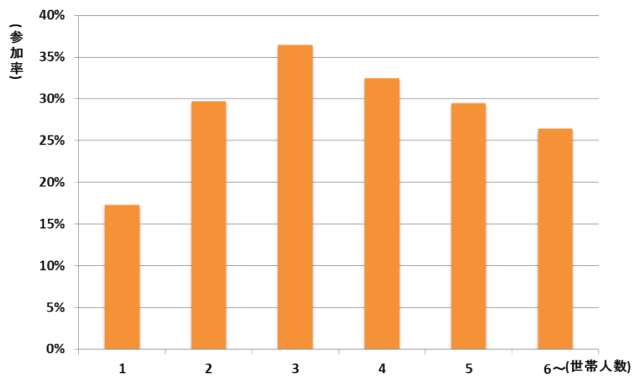


図2.3.3 熊本PT調査の世帯人数別参加率分布

図2.3.1に、本研究で想定する調査参加選択行動モデルの構造と、各Stepにおけるサンプル・サイズの分布を示す。今回の分析対象者のうち、紙面かWebでの通常のPT調査に参加したのは3,753世帯、11,438人である。一方、PT調査とスマホ調査の両方に参加したのは60人であり、PT調査に参加せずスマホ調査には参加した人が28人である。自主参加の9人を含めると合計で97人がスマホ調査に参加したことになる。しかし、この97人のうち、実際に個人属性を特定できたのは、50人となった。理由としては、自主参加の人はそもそも個人属性が得られないこと、PT調査に参加せずにスマホ調査に参加した人も詳しい個人属性が分からないこと、PT調査に参加してスマホ調査に参加した人のID記入漏れ等が挙げられる。今回の研究では、スマホ調査の参加者としては個人属性の特定ができた、この50人のデータを利用する。

図2.3.1において、対象者の行動として、Step1: PT調査に参加するかしないか、Step2: 参加する場合、回答方法として紙面とWebのどちらを選択するか、Step3: スマホ調査に参加するかしないかを、想定する。この各Stepにおいて、まず、調査参加者の個人属性を基礎分析し、調査参加に影響を与える要因を検討する。基礎分析の結果を踏まえて、各Stepの行動をそれぞれ二項ロジットモデルで記述することを試みる。なお今回の分析では、データの特性上、Stepごとに利用できるデータが異なってくることに注意が必要である。Step1では、住民基本台帳から得られる「性別」、「年齢」(5歳階級別)、「世帯人数」、「居住地」(熊本PTのCゾーン別)のみ利用できる。厳重な秘匿処理をすることで、調査に参加していない方の基礎的な属性データも分析対象としている。Step2以降では、PT調査の世帯票から得られる「職業」が利用できるデータに加わり、Step3では、PT本体調査の「回答方法」も検討要因に加える。

(3) 熊本PT調査参加者の属性傾向

a) 熊本PT調査参加者の個人属性・世帯属性傾向

図2.3.2に今回の分析対象でPT調査に参加した11,438人の個人データから得られる性別・年齢別の調査参加率を示す。年齢別に参加率を見ていくと、60-69歳が最も高くなっている。一方で、若い世代

(20-29歳)の参加率の低さが目立つ。選挙の投票率と同様に、年齢が高いと調査に参加しやすい傾向にある。性別の傾向としては、若い年代では主に女性の参加率が高くなっており、高齢者になると男性の参加率が高くなっている。

図2.3.3に同じく今回の分析対象データから得られる世帯人数別の調査への参加率を示す。世帯人数3人の世帯の参加率が最も多く、そこを頂点に山型の傾向のグラフになっている。世帯人数1人つまり一人暮らしの参加率が最も低い。一人暮らしをしている人は、日頃から忙しい人が多く、ゆっくりと回答している時間がない等の理由が考えられる。一方で、世帯人数が増えると代理で回答してくれる人がいるので参加率が上昇する傾向にあると推察される。

b) PT調査参加率と居住地の用途地域の関係

熊本市の用途地域GISデータを使い、CゾーンごとのPT調査参加率と用途地域の関係性を見ていく。用途地域は、住居、商業、工業など市街地の大枠の土地利用を定めるもので12種類あるが、熊本市には工業専用地域以外の11種類が指定されている。

用途地域は、土地利用の将来のあるべき方向を示したもので、必ずしも現状の市街地の特徴・性格を表現するものではない。しかし、今後、日本の他都市と比較分析をする場合に、居住地の特性を日本全国統一の基準で把握することが可能な有用な指標の一つと考えられ、本論文ではこの指標を利用する。

図2.3.4には、熊本PTのCゾーン別PT調査参加率と熊本市用途地域図を示す。熊本PTのCゾーンは、熊

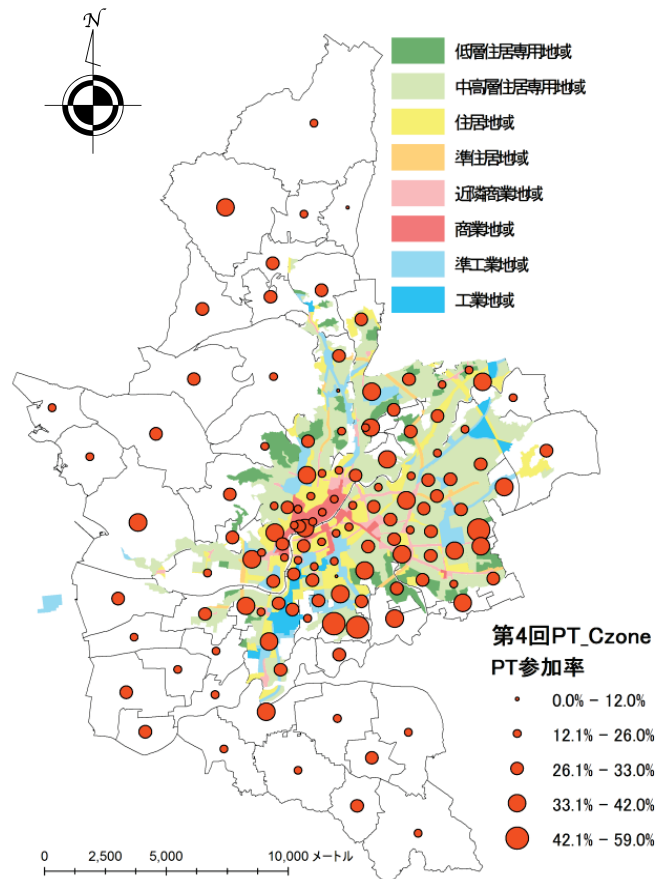


図2.3.4 Cゾーン別PT調査参加率と熊本市用途地域図
(注) 各種住居地域は、それぞれ第1種、第2種と細分化されるが、それを区別した図化は割愛している。以降の図も同様。

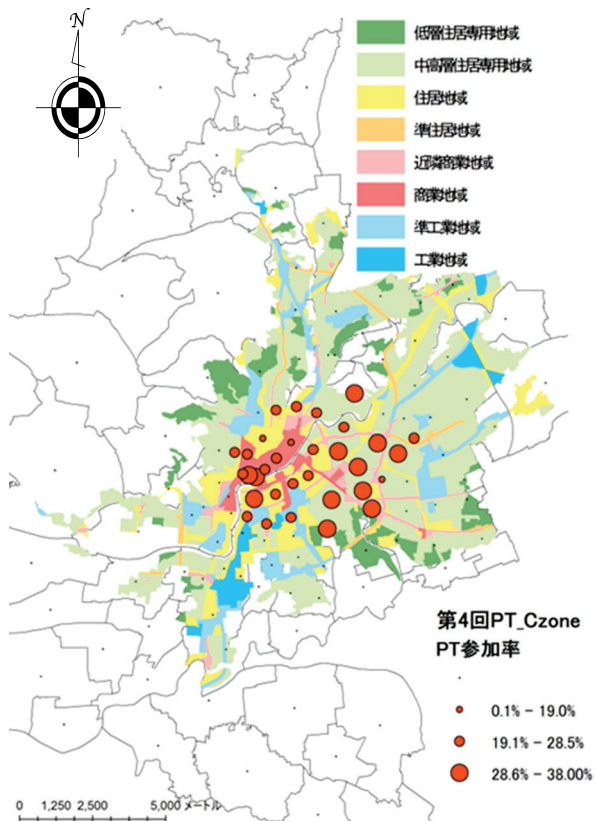


図 2.3.5 熊本市中央区 C ゾーン別 PT 調査参加率と用途地域図

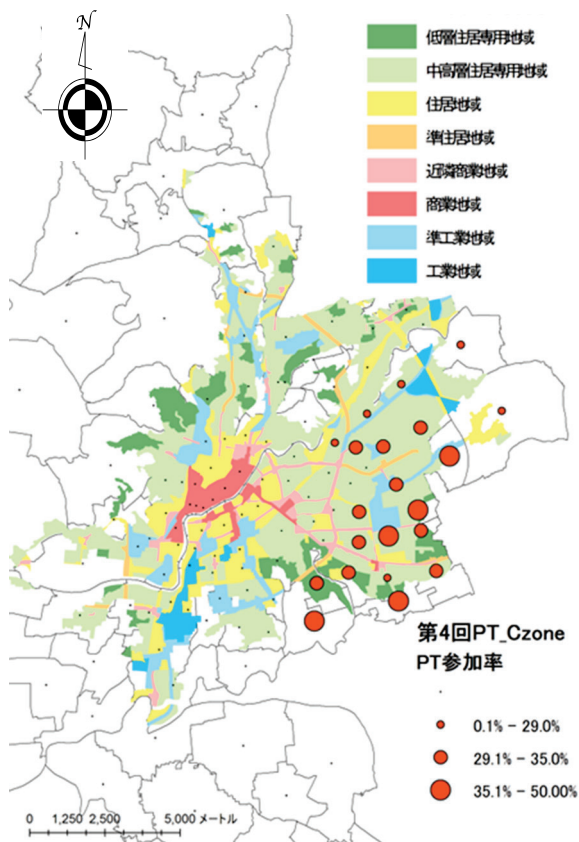


図 2.3.6 熊本市東区 C ゾーン別 PT 調査参加率と用途地域図

本市を128に分割している。一般的な都市と同様に、都心部に商業地域が定められ、その周辺に住居地域、

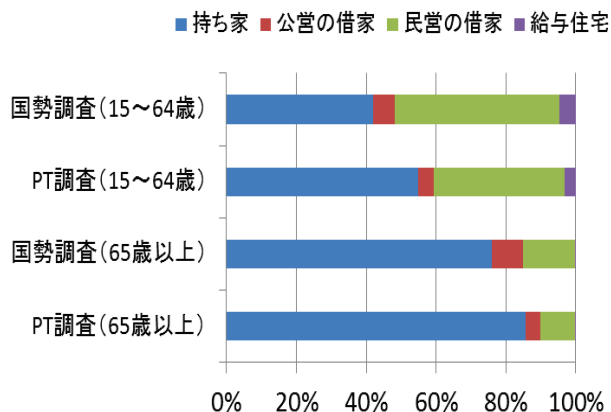


図 2.3.7 PT 調査と国勢調査との居住形態比較(熊本市)

中高層住居専用地域が定められている。郊外の一戸建て住宅地には、低層住居専用地域が設定されており、工業団地には、工業地域が設定されている。図中で、着色されていない白地地域は熊本市における市街化調整区域に相当する。

中心部の商業地域・近隣商業地域の調査参加率は低い傾向にある一方で、郊外の低層住居専用地域の参加率は高い傾向にある。マンションなどの中高層住居が多いと想定される住居地域・中高層住居専用地域や、白地地域の参加率はやや低めの傾向にある。これらの傾向は、熊本市中央区の拡大図を示した図 2.3.5 や、東区の拡大図を示した図 2.3.6 から読み取れる。

c) 住居形態による参加傾向

住居形態が持家の人は、調査対象地域に長く住んでいる、もしくは長く住むことになると考えられ、地域をよりよくするためにPT調査に参加する傾向にある可能性がある。そこで、住居形態がPT調査参加に影響を与えるかどうかについて分析を行う。その際、PT調査の参加者のデータを分析するだけでは、非参加者の住居形態データが不明なため、実際に住居形態が調査参加に影響しているのかどうかを判断できない。そのため、全数調査である国勢調査との比較を行う。熊本PT調査には3つの付帯調査があり、そのうちの「住まいに関する意識調査」から得られた5,341世帯のデータと、平成22年国勢調査における住居形態の比較を行う。図 2.3.7 に比較結果を示すが、国勢調査と比較してPT調査の参加者は持ち家居住者が多いことが確認できる。

d) 熊本PT調査参加選択モデルの推定

PT調査に参加するかどうか(図 2.3.1 の Step1)の二項選択ロジットモデルの推定結果を表 2.3.1、表 2.3.2 に示す。

前述したように、Step1では、住民基本台帳から得られるデータのみを利用するため、職業などの属性は説明変数に導入していない。また、用途地域については、そのCゾーンにおける各用途地域面積割合をGISで計算して説明変数とした。なお、これら説明変数は全て、PT調査に参加する効用関数に導入しているため、パラメータ推定値が高いほど、その属性の参加率が高いことを表現している。

表2.3.1 PT調査参加の二項選択モデル推定結果 (その1)

説明変数	推定値	t値	
性別(男:1 女:0)	-0.099	-4.37	**
年齢	0.011	19.81	**
居住地ダミー(東区)	0.069	2.39	**
世帯人数	0.042	5.27	**
第1,2種低層住居専用地域	0.568	4.70	**
第1,2種中高層住居専用地域	0.191	4.26	**
準住居地域	-0.559	-1.14	
近隣商業・商業地域	-0.020	-0.31	
準工業・工業地域	-0.021	-0.25	
定数項(PT調査参加)	-1.344	-28.58	
サンプル数		37,232	
ρ^2		0.120	
修正済み ρ^2		0.119	

注)**: 5%有意, *: 1%有意

表2.3.2 PT調査参加の二項選択モデル推定結果 (その2)

説明変数	推定値	t値	
男性 39歳以下	-0.329	-9.56	**
女性 39歳以下	-0.239	-6.97	**
男性 50歳以上	0.285	6.53	**
女性 50歳以上	0.258	6.12	**
単身世帯	-0.729	-15.81	**
第1,2種低層住居専用地域	0.403	3.18	**
第1,2種中高層住居専用地域	0.123	2.49	**
第2種住居地域	0.102	1.08	
準住居地域	-0.694	-1.40	
近隣商業・商業地域	0.053	0.76	
準工業・工業地域	-0.085	-0.95	
白地地域	-0.168	-3.61	**
東区ダミー	0.054	1.87	
定数項(PT調査参加)	-0.686	-17.65	
サンプル数		37,232	
ρ^2		0.127	
修正済み ρ^2		0.126	

注)**: 5%有意, *: 1%有意

表2.3.1で年齢の推定値は正であり、図2.3.2の高年齢層がPT調査に参加しやすい傾向を表現できている。世帯人数の推定値も正であり、図2.3.3の世帯人数と参加率の傾向の一部を表現している。

表2.3.2では、説明変数の組み入れ方を変更している。単身世帯の参加率が低いことが表現されている。一戸建て住宅団地が多いと推察される低層住居専用地域で参加率が最も高く、パラメータの大小関係から、中高層住居専用地域の参加率は、それよりも低いことが読み取れる。パラメータの統計的有意性は示されなかったが、準住居地域・商業地域・準工業地域のパラメータ推計値は小さく、土地利用用途の混在した地域での調査参加率が低いことが推察される。

山形¹²⁾、山本・森川¹¹⁾の指摘する通り、性・年齢等の個人属性だけでなく、世帯属性や、地域特性を反映した調査結果の拡大法や調査対象者の選定方法の検討の重要性が示唆される。

(4) 熊本PT調査時の属性別の回答方法選択傾向

PT調査に参加する場合に、回答方法として、紙で回答するか、Webで回答するかの選択を分析する。熊本PTの都市圏全体のデータでは、世帯単位で、有効回答数のうち9.0%のみがWebで回答されており、

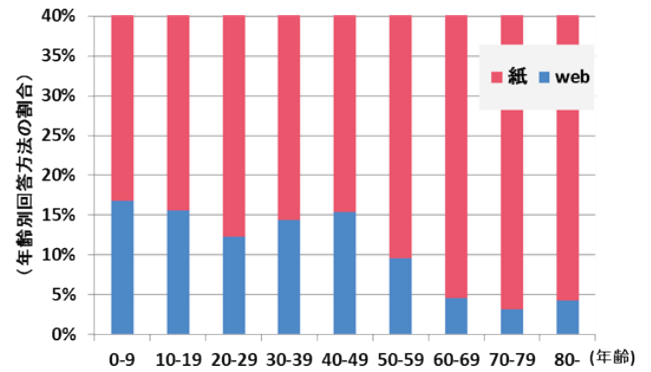


図 2.3.8 熊本 PT の年齢別回答方法の割合

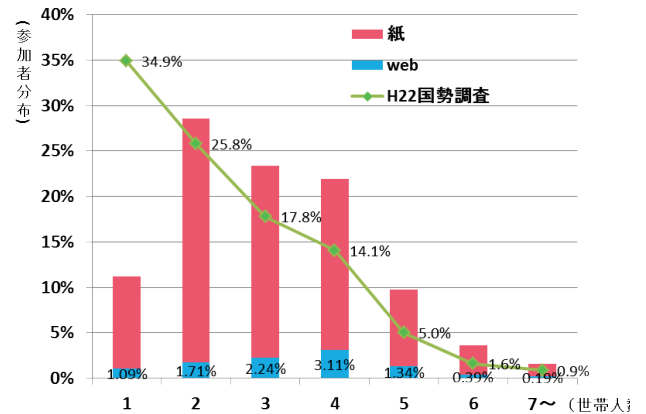


図 2.3.9 熊本 PT の世帯人数別回答方法の割合と国勢調査による世帯人数分布

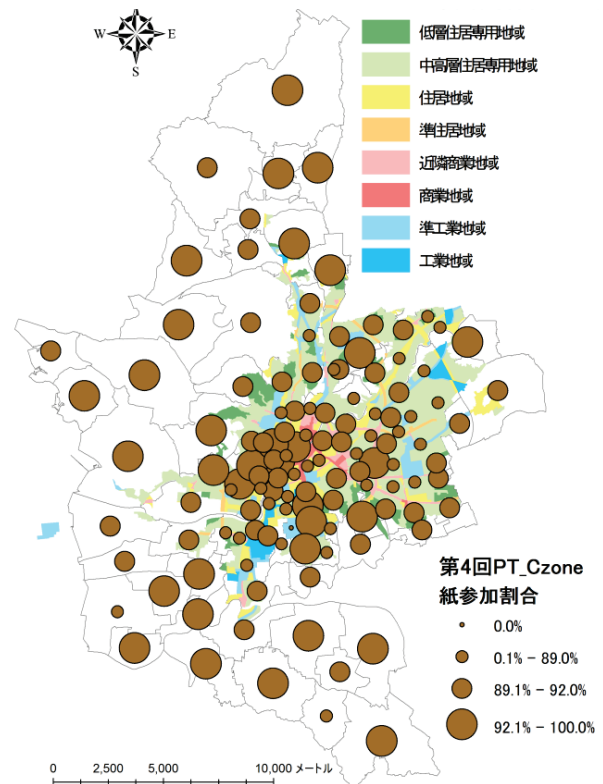


図 2.3.10 熊本 PT の紙調査選択率と用途地域図

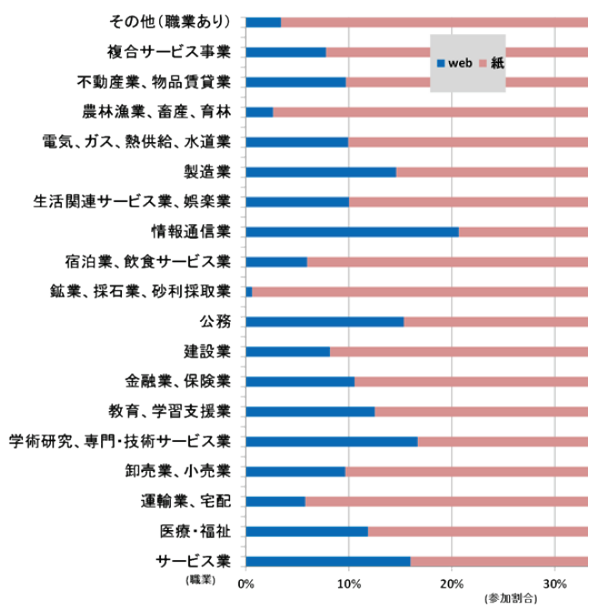


図2.3.11 熊本PTの職業別の回答方法選択率

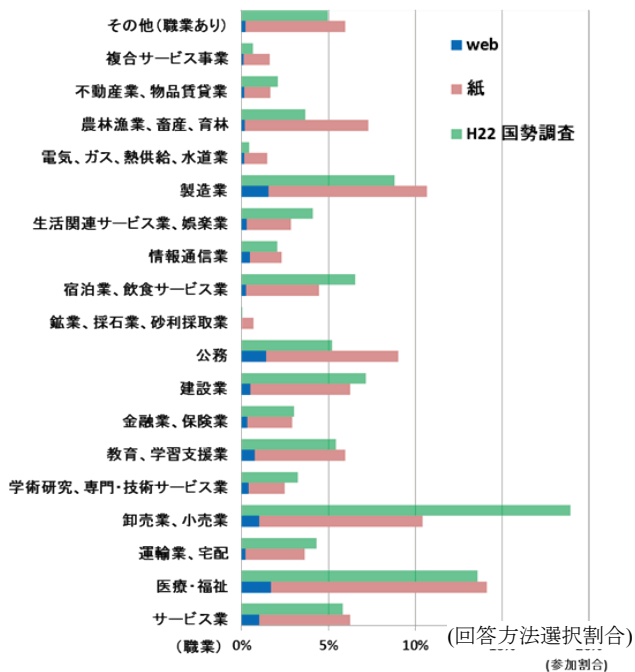


図2.3.12 熊本PT参加者の職業別分布と国勢調査の比較

表2.3.3 PT調査参加時の回答方法の選択モデル推定結果

説明変数	推定値	t値
性別(男:1, 女:0)	-0.070	-2.78 **
年齢	0.021	32.76 **
世帯人数	-0.066	-6.38 **
職業ダミー(情報通信)	-0.862	-10.52 **
居住地ダミー(西区)	0.190	4.56 **
白地地域	0.491	8.66 **
定数項(紙調査選択)	1.487	28.83 **
サンプル数		71,039
ρ^2		0.543
修正済み ρ^2		0.543

注)**: 5%有意, *: 1%有意

紙面での回答が基本的に多い。この傾向の細部を検討する。

a) 個人・世帯属性・居住地による回答方法の傾向

図2.3.8には、今回の分析対象者における年齢別のPT調査の回答方法割合を示す。容易に予想されるように、若年層から中年層のWeb回答選択率は、高齢者のWeb回答選択率よりも高い。

図2.3.9には、世帯人数別回答方法の割合と国勢調査による世帯人数分布を示す。世帯人数4人のWeb調査参加割合が最も高くなっている。また、概ね世帯人数が多い人の方が、Web調査を選択する傾向がある。これは、世帯でWebを利用できる人が、世帯の他の構成員の回答も入力していることが推察される。図中には、平成22年国勢調査(熊本市)から得られる世帯人数分布も表示している。同調査では、熊本市の平均世帯人数は2.37人である。前述したように、単身世帯の調査参加率が低いことが、この図からも確認できる。

図2.3.10には、Cゾーン別紙調査選択率と用途地域図を重ね合わせたものを示す。熊本市は、中央区と東西南北の各区の計5区から構成されるが、北区、南区、西区で紙調査の選択率が高い傾向にある。東区は、新しい住宅地やマンションが多く、比較的若い世代が居住しており、Web選択率が高い傾向にある。また、白地地域の紙選択率が高い傾向にある。

b) 職業による回答方法の傾向

前述したように、本章のStep 2の分析からは、PT本体調査の参加者が分析対象となるため、職業の影響を考える。図2.3.11には、回答者の職業別の回答方法選択率を示す。まず、紙調査の割合が比較的高い職業は農林漁業、鉱業、運輸業などが挙げられる。この理由としては、勤務中にあまりWebに接する機会が少ないため、紙調査を選択している傾向が指摘できる。一方で、Web調査の割合が高い職業を見てみると、情報通信業、学術研究・専門・技術、公務などが挙げられる。これらの職業では、勤務中にWebに接する機会が多いため、Web調査の選択割合が高くなっている可能性が指摘できる。

なお、参考までに、平成22年度の国勢調査の職業分布と今回の調査対象者の参加者の職業分布の比較図を図2.3.12に示す。農林業、製造業、公務、医療・福祉業の職業従事者が、調査に協力的であることが読み取れる。

なお、職業の回答項目には、主婦・主夫、学生、その他(職業なし)、無職などの回答項目もあったが、本項では職業の影響を調べるため有職者に限定した。また、単身世帯に関しても若年層と高齢者層で区別した集計も可能であり、今後分析を進めたい。

c) 回答方法選択モデルの推定

上述の基礎集計をもとに、調査参加する場合の回答方法の選択モデルを推定する。紙調査かWeb調査かの選択の二項選択ロジットモデルの推定結果を表2.3.3に示す。説明変数は、すべて紙調査選択の効用関数に導入しているため、パラメータの推定値が大きいほど、紙調査を選択するという傾向を表現している。

女性であること、高年齢であること、また白地地

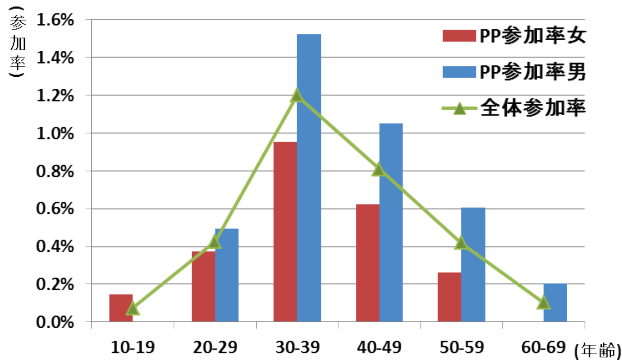


図2.3.13 性別・年齢別のスマホ調査参加率

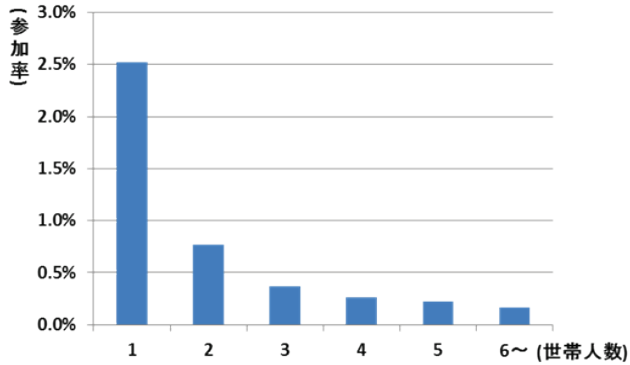


図2.3.14 世帯人数別のスマホ調査参加率

域に居住していることが、紙調査を選択する要因であることが表現されている。情報通信業の従事者はWeb選択の傾向があることが示されている。

(5) スマホ調査参加者の属性傾向

a) 基礎集計

スマホ調査の参加者の属性については、2.2や既報^{7),13)}でも紹介しているが、属性別参加率の視点で詳述する。PP調査参加者97人のうち、個人が特定できた50人の個人データによって得られる、性別年齢別の調査への参加率を図2.3.13に示す。

年齢別の参加率を見ていくと、30-39歳が最も高く、次に高いのが40-49歳という結果になった。一方で、スマートフォンを日頃から使用していそうな世代(20-29歳)の参加率が予想外に低い。

世帯人数別の参加率を図2.3.14に示すが、単身世帯の参加率が高くなっていることが読み取れる。単身世帯は、図2.3.3に示したPT調査の本体調査への参加率は低いですが、スマホ調査への参加率は比較的高く、この層へのスマホ調査の有効性が示唆される。

スマホ調査の参加者の職業分布は、既存研究^{7),13)}でも示しているが、ここでは、図2.3.15に参加率の分布を示す。限られたサンプル・サイズの結果であるが、電気・ガス等のエネルギー関係の職業従事者の参加率が高い。

b) スマホ調査参加選択モデル

スマホ調査に参加する、参加しないの二項選択ロジットモデルの推定結果を表2.3.4、表2.3.5に示す。スマホ調査不参加のサンプルが圧倒的なため、修正

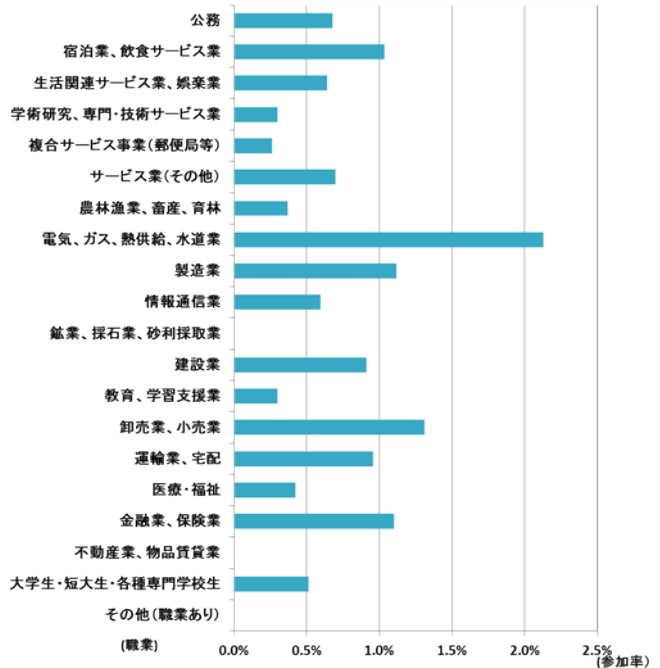


図2.3.15 職業別のスマホ調査参加率

表2.3.4 スマホ調査参加選択モデル推定結果(その1)

説明変数	推定値	t値
性別(男:1 女:0)	0.499	1.73
年齢	-0.005	-0.63
世帯人数	-0.663	-5.28 **
職業ダミー(電気・ガス・熱供給・水道業)	1.511	2.05 *
居住地ダミー(中央区)	0.569	1.94 *
定数項(PP調査参加)	-3.612	-6.83
サンプル数		10,104
ρ^2		0.958
修正済み ρ^2		0.957

注) **: 5%有意, *: 1%有意

表2.3.5 スマホ調査参加選択モデル推定結果(その2)

説明変数	推定値	t値
性別(男:1 女:0)	0.392	1.35
年齢	0.001	0.10
世帯人数	-0.592	-4.88 **
職業ダミー(電気・ガス・熱供給・水道業)	1.720	2.28 **
居住地ダミー(中央区)	0.536	1.81
PT調査回答方法ダミー(web)	1.916	6.56 **
定数項(PP調査参加)	-4.516	-7.90
サンプル数		10104
決定係数		0.961
修正済み決定係数		0.960

注) **: 5%有意, *: 1%有意

済み ρ^2 の値は高い値を示している。表2.3.5のモデルは、説明変数にPT本体調査の回答方法ダミーを導入している。PT調査でWeb回答を選択した人ほど、スマホ調査に参加しやすい傾向が表現されている。

(6) 調査費用削減シミュレーションの例

本稿で構築した調査参加選択モデルを利用して、調査費用を削減することを目指した仮想的な政策シミュレーションの例を以下に示す。

郵送配布・郵送回収の方式では、郵送費・資料印刷代が必要となるが、Web方式では、それらは不要である。今回のStep1とStep2のモデルを用いて、PT調査の対象者のうち、Webで回答することが期待できる層には、Webのみで回答を依頼する新たな調査

方式の効果をシミュレーションしよう。

仮想的な設定として、郵送配布・郵送回答方式の調査における1世帯当たりの調査費用（郵送費+返送費+調査票印刷代）を500円と仮定する。一方、Webのみで回答を受け付ける場合の調査費用を1世帯当たり200円と仮定する。つまり、300円の費用削減が可能と仮定する。

今回のモデル推定に利用したサンプルに対して、以下の3シナリオで、Web回答のみを依頼する：a) Web選択確率 20%以上、b) 15%以上、c) 13%以上。それぞれモデルからは、a) 15人、b) 242人、c) 397人がWeb回答すると推計され、a) $15 \times 300 = 4,500$ 円、b) $242 \times 300 = 72,600$ 円、c) $397 \times 300 = 119,100$ 円の費用削減が見込める。今回のサンプルは、熊本PT調査全体の1/10程度を対象としているので、実際には、この10倍程度の費用削減が見込める。一方、回答率で見ると a) 21.0%、b) 17.0%、c) 16.1% と推計された。調査費用削減効果と回答率の高さにトレード・オフの関係があることが表現されている。

以上、本章で示したシミュレーションは、仮想的なものではあるが、対象者の属性に応じた調査手法の設定可能性、及びそれによる調査費用の削減効果の分析枠組みの一つを提示できたと言える。

(7) 本節のまとめ

本研究では、2012年熊本PT調査、スマホ調査の参加者の属性データ等を用いて、調査参加に影響を与える要素を明らかにし、調査参加選択行動モデルを構築した。

本研究の成果を以下に示す。

- a) 熊本都市圏PT調査とスマホ調査への参加選択行動には、性・年齢・世帯人数、居住地の用途地域等が影響していることを示した。
- b) 個人・世帯属性に加えて、居住地の用途地域も説明変数に加えたPT調査参加・回答方法・スマホ調査参加選択モデルを構築した。
- c) 構築した調査参加選択行動モデルを用いて、対象者の属性に応じた調査手法の設定による調査費用の削減効果の仮想シミュレーション例を示した。今後の課題について以下に示す。
 - a) PT調査、スマホ調査における参加選択行動モデルの精度の向上が求められる。別報告¹⁴⁾では、調査参加率と選挙の投票率が関係していることを示されており、それを活かした改良がありうる。
 - b) 本研究では、調査参加選択の意思決定は個人単位で分析したが、現実には世帯単位で意思決定がされたともみなせる。従って、グループ型選択行動モデルの適用も検討の価値がある。
 - c) 属性別の調査参加予測率に基づく、調査依頼数・依頼方式の決定法の検討。例えば、若者にはスマホ型、主婦層にはモニター型、高齢者には訪問型など、属性に応じ調査方法を変化させる手法の検討が挙げられる。
 - d) Web調査、スマホ調査の参加者の偏り、回答の偏りを補正する方法論の開発。関連して伊藤・羽

藤^{15),16)}は、PT調査とPP調査のデータを融合した分析方法論を提示している。これらの応用も検討したい。

2.4 本章の成果のまとめ

本章では、平成24年度熊本都市圏PT調査とそれと連携して実施したスマホ調査の結果について、調査参加者に着目した分析結果を述べた。

平成24年10月～11月の熊本都市圏PT調査の本体調査と同時に、13,297世帯にスマホ型交通調査の参加を依頼し、97名の参加を得た。当初、謝礼の支払いを検討したが、スマホ調査への参加有無で、PT調査への謝礼の有無が発生するのは、公平性の点で問題があるとの総合的な行政判断で、謝礼なしでの協力を依頼した。謝礼なしでも協力が得られる、年齢層、職業、常住地についての基礎的なデータを得ている。既存のスマホ調査が謝礼を支払うことが多いところ、「謝礼パイアス」が無いデータを把握できた点に、平成24年度の調査結果は一定の意義がある。PT調査と連携して大規模な対象者に参加を依頼した日本初のスマホ調査といえる。

謝礼なしでも参加した人の属性は、30～40代で、単身世帯で、医療・福祉業、公務関係の職業従事者が多い。スマホ調査参加者は、PT本体調査には、紙ではなくWebで回答した人が多い。スマホ調査参加者の平均トリップ数は、PTの平均値よりも高く、これは、属性の偏りを補正しても傾向は変わらない。

また、PT調査に参加するか否か、参加する場合に、紙媒体で回答するか、Webで回答するか、さらにスマホ調査に参加するかどうかを記述するモデルの構築を試みた。この結果、高齢者がPT調査に参加する傾向であること、単身世帯は不参加傾向であることが表現できている。また、低層住居専用地域と中高層住居専用地域に住む人がPT調査に参加傾向で、特に低層住居専用地域に住む人の参加率が高いこと、つまりマンション居住者の調査参加率の低下を間接的に表現したモデルとなっている。

調査参加モデルを作成する意義は、スマホ調査参加者の結果を母集団に拡大する際に利用することで、サンプルの母集団代表性の向上、行動モデルのWESML推定が可能となるなどの展開がある。また、属性別参加予測率に基づく、調査依頼数・依頼方式の決定（例えば、若者=スマホ型、主婦層=モニター型、高齢者=訪問型など）がありうる展開である。

また、本文では詳しく触れられなかったが、PT本体調査不参加でも、スマホ調査に参加したのは20歳代が多いことが示されている。これは、スマホ調査が紙手法での参加率の低い層のデータ収集に有効となることが示唆される。

なお、スマホ調査には直接は関係していないため本報告書には示していないが、既存の郵送型調査の回収率を向上させるための方法として、予備調査票の配布方法を工夫する方法も示した。その効果を熊本PT調査の結果から実証的に提示している¹⁷⁾。

第3章 平成25年度熊本都心部スマホ型回遊調査の実施と結果分析

3.1 熊本都心部回遊調査と貨物車プローブ調査の趣旨

第2章で述べた平成24年度秋の熊本PT本体調査と連携したスマホ調査は、謝礼を支払えなかったこともあり、参加者数は限定された。スマホ調査が実用的なものになるためには、謝礼の提供の仕方を含めた参加者数の増加の方策の検討が必要とされる。また、PT本体調査は、都市圏全体の人の動きを把握するものであり、都心部の回遊行動や貨物車の移動の把握は不十分であり、補完調査が求められていた。そこで、まず平成25年度秋に熊本都心部の回遊行動調査をスマホ調査で実施し、その際、謝礼も準備して多数のサンプル数を確保することを目標とした。また同時期に貨物車のプローブ調査もスマホ調査で実施し、その分析を行っている。本章では、この熊本都心部回遊調査(くまもとまち歩き調査とも呼ぶ)の詳細と貨物車プローブ調査の概略を記載する。

3.2 熊本都心部スマホ型回遊調査の概要

2013年11月から12月の土・日曜の6日間に熊本市の中心市街地で、スマホ型回遊調査が実施された。本調査は、歩きやすい歩行環境の整備計画、交通調査の高度化を検討するための基礎的なデータを収集することを目的としている。調査の概要として、参加者は回遊を開始するまでに専用アプリを個人のスマホにインストールしておき、回遊開始とともにアプリを起動させることで位置情報を取得し、回遊軌跡を把握する。その間、参加者は中心市街地を自由に回遊でき、帰宅前に受付でアンケートを実施した。本調査では、事前のモニター登録とアプリから、調査参加者の性別、年齢、就業状況、居住地、移動軌跡、加速度情報(Androidのみ)、時刻、端末OSの情報を得た。また、アンケート調査からは、来街目的、来街交通手段、来街場所、同行者数の情報を得

ている。調査参加者の属性分布などについては、既存調査との比較を行いながら3.3に示す。

3.3 インタビュー調査とスマホ調査の参加者属性に着目した比較分析

(1) はじめに

a) 研究の背景・目的

プローブパーソン調査と呼ばれるGPSやスマートフォン(スマホ)を利用した交通行動調査の研究や実務への応用検討が近年盛んに行われている。これは、従前の紙面回答型や面接型の交通行動調査において、1) 調査参加者の記憶に頼るため精度が低い、2) 詳細な時空間情報・経路情報が把握できないといった課題へ対応可能な調査方法である。特に、専用アプリを調査参加者が所有するスマホに配布するスマホ・アプリ配布型交通調査は、GPS機器を貸与する場合と異なり、大規模なサンプル・サイズでの調査実施が期待できる。貸与できるGPS機器数の制約が無く、調査費用の削減も見込め、今後の交通調査手法として有望な手法である。

しかしながら、この新たな手法の限界・課題も丁寧に検討していく必要がある。例えば、スマホ調査では、バッテリーの消費が激しいという課題があった。ただ、この問題は、端末の技術の進歩により克服される期待がある。それに対して、本研究は調査の参加者の母集団代表性に着目する。スマホ・アプリ配布型の調査では、調査参加者は、当然スマホの所有者に限定され、また新たな調査技術への抵抗が強い層の参加が少なくなる等、サンプルのランダム性が確保される保証はない。また、スマホ型に限らずプローブパーソン型の調査では、調査参加謝礼が支払われる例が多い。この謝礼目的で参加する層についても属性等の偏りが心配されるが、その点への研究蓄積は十分ではない。

表 3.3.1 熊本都心部回遊調査 (インタビュー調査とスマホ調査) の概要

正式調査名	歩行者回遊行動アンケート調査	くまもとまち歩き調査
調査形式	インタビュー型調査	スマホ調査
調査日	2011年11月13日(日)	2013年11月23日(土)~12月8日(日)の土日
調査時間	1:12:00~13:00 3:16:00~17:00 2:14:00~15:00 4:18:00~19:00	10:00~19:00
調査地点	中心市街地・熊本城周辺の主要出口など 26箇所	駐輪場・駐車場・バス停・電停・藤崎宮駅・交通センターなど全20地点
調査項目	1: 個人属性(性別・年齢・居住地等) 2: 来街目的 3: 来街手段 4: 訪問先(活動・消費行動等) 5: 回遊ルート	1: 個人属性(性別・年齢・居住地等) 2: 主な来街目的, 3: 来街手段 4: 同行者 5: 調査を知ったきっかけ, 6: 謝礼がない場合の調査への参加意向 など
謝礼	なし	商品券 500 円分・くまモンボールペン
得られたサンプル	休日603サンプル (別に平日も561サンプル)	1086サンプル

以上の背景・動機をもとに、本研究はスマホ型交通調査の参加者属性の偏りを精査することを目的としている。より具体的には、インタビュー型とスマホ型の2つの調査手法での実施実績がある熊本都心部の歩行者回遊調査のデータを利用する。このうちスマホ調査のみに商品券 500 円の謝礼が準備されている。両調査の調査参加者の性・年齢、同行者等の属性分布や来街目的・交通手段の差を比較する。また、2種類の調査データを有効に統合・活用する例として、都心部における滞在時間モデルの推定例も示す。

b) 既存研究のレビューと本研究の位置づけ

スマホ型交通調査の研究事例は、国内外で活発に報告されている(5.3 参照)。ただ、現時点ではアプリの技術面の検討や限られたサンプル・サイズでの試行調査に留まることが多い。本研究の主題である母集団代表性の視点は、スマホ調査を実務に展開していく際に重要であり、本研究はその検討に資する基礎的な情報を与えることも目的としている。

なお、熊本都心部スマホ型回遊調査については、速報的な報告事例¹⁸⁾があるが、基礎的な分析に留まっている。本稿は、同じ対象地域で実施したインタビュー調査の調査参加者の属性分布と詳細に比較している点に新規性がある。また、このインタビュー調査のデータを利用して、目的地選択モデルと滞在時間モデルを組み合わせた回遊行動モデルも構築されている^{19),20)}。スマホ調査のデータで、より詳細な回遊行動モデルが今後構築できると考えるが、その際に、本研究の成果を応用すれば、スマホ調査の属性分布の偏りを考慮したサンプル拡大などが可能となる。

本節の構成を以下に示す。(2)で、熊本都心部で実施したインタビュー型とスマホ型の回遊調査の概要を記述し、一般に知られている両調査の特長と課題を整理する。(3)で、両調査の参加者属性の比較を行い、スマホ調査の参加者の偏りなどを明らかにする。(4)では、両調査のデータを統合した滞在時間モデルの推定事例を示し、(5)で本節の成果をまとめる。

表 3.3.2 両調査の特長・課題

	インタビュー調査	スマホ調査
特長	訪問店舗が把握可能 移動と滞在の判別可能	詳細な回遊経路の時空間情報が把握可能 参加者の負担が少ない
課題	詳細な回遊経路の時空間情報の把握が困難	屋内での行動の把握が困難 GPS軌跡情報のみを取得した場合、移動・滞在状態、回遊行動内容の判別手法が必要。

(2) 熊本都心部で実施されたインタビュー型回遊調査とスマホ型回遊調査の概要

九州新幹線鹿児島ルートと全線開通や政令指定都市への移行などにより、熊本市を取り巻く環境は大きく変化すると同時に、都市としてさらなる飛躍が期待されている。しかし、居住者や商業機能の郊外化による中心商店街の歩行者交通量や小売販売額の減少、低・未利用地の増加など、中心市街地の活力の低下が懸念されている。これらの課題を解決するために、熊本市は熊本市中心市街地活性化基本計画や花畑・桜町地区の再開発事業を検討しており、これまで以上に中心市街地の魅力創造と活力向上に力を入れている。これらの施策の検討等を目的として、熊本都心部回遊調査が2011年11月にはインタビュー型で2013年11月-12月にはスマホ型で実施された(表 3.3.1)。本研究では、この2つの調査を比較する。

a) 歩行者回遊行動アンケート調査 (インタビュー調査)

この調査は、熊本市中心市街地の来街者の来街目的、回遊ルート、活動内容等を把握するために実施されたインタビュー調査である。各バス停や電停、駐車場や駐輪場、および徒歩による主要なコードライン上の地点などにおいて、来街者が回遊を終え中心市街地から帰宅する際に、当日の回遊行動

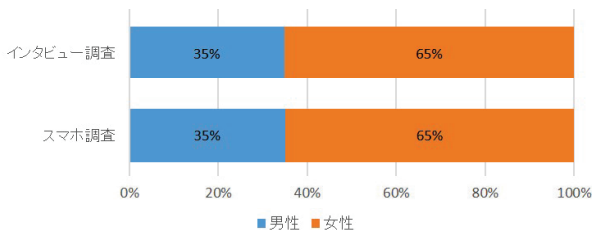


図 3.3.1 調査参加者の男女分布

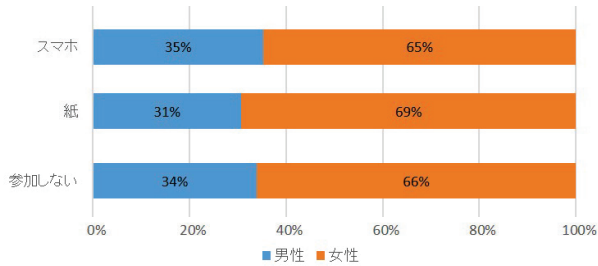


図 3.3.2 無謝礼で依頼した場合の性別回答

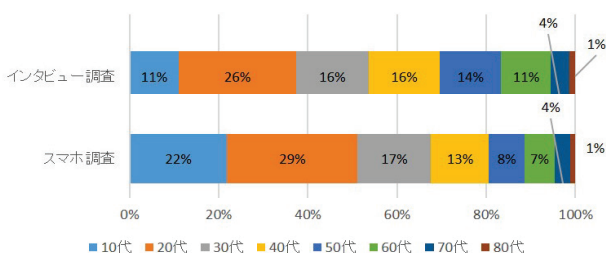


図 3.3.3 調査参加者の年齢分布

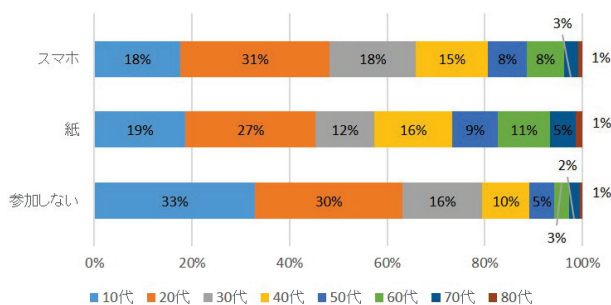


図 3.3.4 スマホ調査参加者に無謝礼で依頼した場合の年齢別回答

をヒアリングしている。参加者の個人属性や来街目的、来街手段のほかに、回遊開始地点から終了地点間の実際に通った回遊ルート、訪問した店舗・施設名および、そこでの活動（飲食、買物、娯楽、観光など）と滞在時間、購入品目、消費金額などを質問している。調査地点は熊本城周辺、中心市街地の各駐輪場・駐車場など主要な出口26地点とした。この調査で、訪問した店舗名、店舗内での滞在時間が把握でき、移動と滞在の判別が可能である。しかし記憶をもとにしているため詳細な行動内容の把握が困難といった課題があげられる。

b) くまもとまち歩き調査（スマホ調査）

この調査は、スマホのGPS機能により得られる位置情報をもとに調査参加者がまちなかでどのような行動をしているか把握すること等を目的として実施された。調査方法としては、回遊を始める来街者を対象にスマホやタブレット端末にアプリをダウンロ

ードし、インストールしてもらう。アプリが起動すると、調査対象者は回遊の出発・到着などを画面でタップして操作する。調査参加者の性別、年齢、就業状況、居住地などのデータを収集し、スマホに内蔵されているGPSや加速度センサーにより移動軌跡や加速度情報（Android端末のみ）、時刻などの情報を得る。また、調査終了時に対象地に4箇所設けた調査ポートに立ち寄ってもらい、簡単なアンケートを実施し、来街目的、来街交通手段、来街場所、同行者数、調査に対する感想などの質問を実施した。

調査目標サンプルを1,000とし、調査に協力した先着1,000名を対象に謝礼として粗品（商品券500円分・くまモンボールペン）を進呈した。さらに、スマホの所有率が低いと予想される50歳以上のデータを取得するため、タブレット端末を希望者に対して貸し出して調査への協力を依頼した。

この調査法の利点としては、位置情報取得機能がついているため参加者がどのルートを通って回遊をおこなったかを詳細に把握することが可能であることに加え、調査参加者自身はアプリを起動させておくだけでいいので負担が少ないということがあげられる。なお、スマホ調査のシステム設計には多様な方法があり、アプリ上で、滞在状態や回遊活動内容を入力してもらう方式もありうる。ただ、本調査においては、サンプル・サイズを増加させることを優先し、移動軌跡と加速度情報のみを取得する単純なアプリとしている。したがって、取得データだけでは、滞在状態や、活動内容を把握できない。ただ、今後、加速度情報から、回遊の移動・滞在状態や活動内容を自動判別する方法も検討している。また、GPSでは、屋内では位置情報が正確に更新されない場合もあるため屋内での回遊行動が把握できない可能性がある点も課題として挙げられる。

以上より両調査の特長と課題を表3.3.2に整理する。

(3) インタビュー型調査とスマホ調査の参加者属性の比較

本章は、歩行者回遊行動アンケート調査（以下、インタビュー調査）とくまもとまち歩き調査（以下、スマホ調査）の参加者属性について比較していく。

なお、今回の両調査では、調査形式が異なる他に、スマホ調査にのみ謝礼があり、謝礼の有無でも異なる。調査形式による差と謝礼の有無による差を分離するためにスマホ調査での次のアンケート項目を利用する。スマホ調査の参加者に、再度回遊調査を実施する場合に、謝礼がなかった場合に、(A) 再度スマホ調査に参加する、(B) 紙調査に参加する、(C) 調査に参加しない、の3選択肢を提示し、意向を調査した。これは、(A) を回答した人は、謝礼がなくてもスマホ調査に参加する人であり、この人の属性分布とインタビュー調査の属性分布を比較すると、調査形式そのものの比較ができる。(C) を回答した人と比較すると、謝礼に反応する人の比較が可能となる。

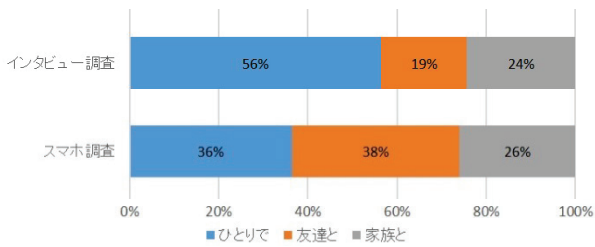


図 3.3.5 調査参加者の同行者別分布

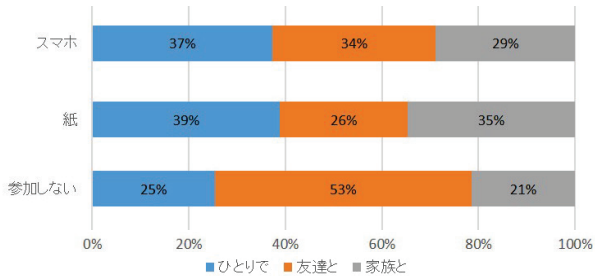


図 3.3.6 スマホ調査参加者に無謝礼依頼時の同行者別回答分布

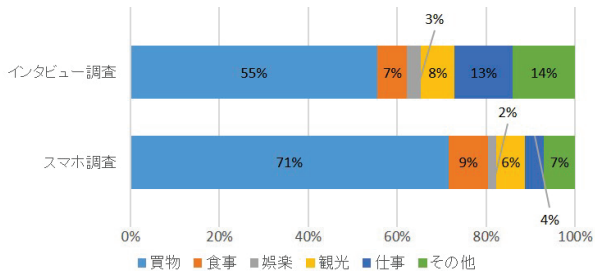


図 3.3.7 調査参加者の来街目的別割合

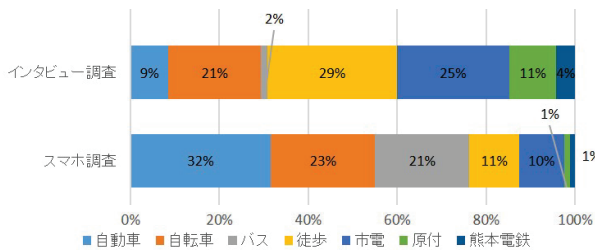


図 3.3.8 調査参加者の来街手段別割合

a) 調査参加者の基礎属性の比較

まず、調査参加者の属性について比較する。

図 3.3.1 より、両調査とも参加者の半数以上が女性であることがわかる。両調査で、男性と女性の比率にはほとんど差がない。また、謝礼がなかった場合については図 3.3.2 に示すように紙調査に参加すると答えた調査参加者の女性の割合が若干増加している。軌跡情報が取得される調査アプリをインストールすることへ抵抗の男女差が見受けられる。

次に、年代別の参加者の割合について図 3.3.3 に示す。インタビュー調査の参加者の年齢構成は幅広く全年代にわたっている。それに対してスマホ調査は30代までの若い世代が7割を占めている。これは、スマホを所有している年代が若い世代に偏っている

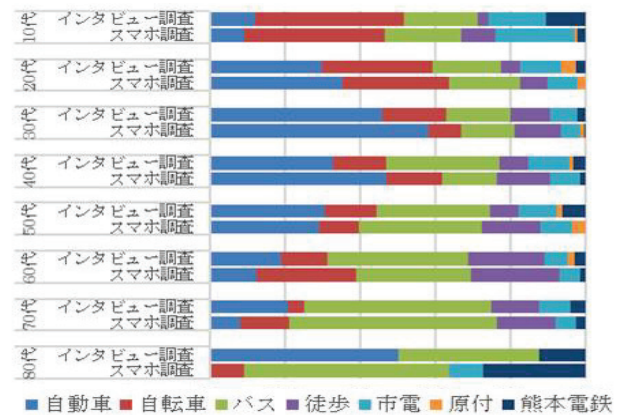


図 3.3.9 年齢 - 来街手段

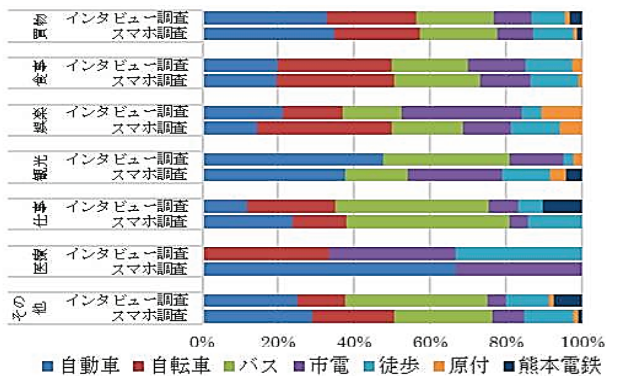


図 3.3.10 来街目的 - 来街手段

ためと考えられる。

また、図 3.3.4 に示すように無謝礼で依頼した場合については、(C)参加しないと回答者の割合のほとんどが10代~30代の若い世代に偏っていることがわかった。これは、若い世代は謝礼を目的に調査に参加した人が多いことが考えられる。(A)再度スマホ調査に参加すると答えた年齢分布は、図 3.3.3 のインタビュー調査よりも若年層に偏っており、謝礼効果を分離しても、調査手法による年齢分布の違いが読み取れる。

参加者の同行者別の集計結果を図 3.3.5、図 3.3.6 に示す。同行者別に関しては、インタビュー調査の参加者のうちの半数以上がひとりで来街しているのに対して、スマホ調査はひとりで来街しているのは約3割にすぎない。また、家族で来街した人の多くが、家族の中でスマホを所有している一人が調査に協力するという傾向がある。友達と来街した参加者は、友達も含めた全員が調査に参加する傾向がある。

謝礼がなかった場合については、(A)スマホ調査に協力すると答えた参加者の割合に差はほとんど見られなかったが、(C)参加しないと答えた参加者の割合は半数以上が友達と参加している傾向がみられた。謝礼があることで友達と誘い合って参加する傾向にある。

b) 来街の目的と手段の比較

調査参加者の来街目的別、来街手段の集計結果を図 3.3.7、図 3.3.8 に示す。買物目的の来街者は、インタビュー調査参加者の半数以上、スマホ調査の参

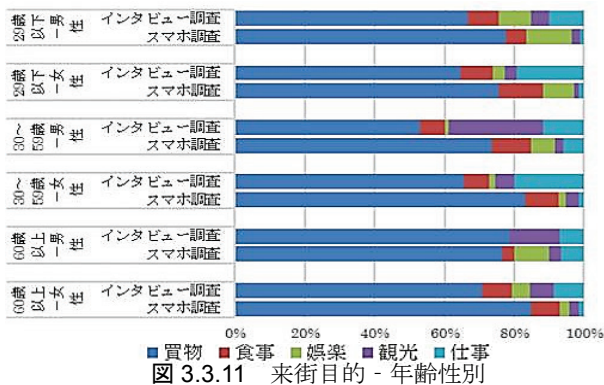


図 3.3.11 来街目的 - 年齢性別

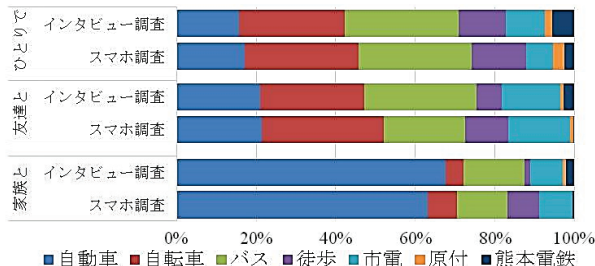


図 3.3.12 同行者 - 来街手段

加者の7割以上を占めている。

来街手段に関して、インタビュー調査では自転車、徒歩、市電を利用して来街している参加者の割合が高く、バスで来街している参加者の割合が2%と非常に低かった。一方、スマホ調査は自動車、自転車、バスで7割以上を占めている。また、両調査とも熊本電鉄を利用して来街している参加者も割合は5%未満と低い。これら来街目的・来街手段の構成比率にも差があることがわかった。この差の理由として、両調査で調査地点の分布が同一で無いことも一因である。例えば、インタビュー調査のみでコードライン通過地点での歩行者来街者向けに調査地点を設定している。

参加者の年齢と来街手段、来街目的と来街手段に関して図 3.3.9, 3.3.10 に示す。両調査とも 10 代は自転車、20~40 代は自動車、60~80 代は徒歩の割合が高い結果となった。

次に、来街目的と来街手段に関しては買物、食事目的で来街している人の5割程度が自動車もしくは自転車を利用していることがわかった。公共交通を利用している人はどの項目においても3割程度となっていた。

両調査の来街目的と年齢に関して図 3.3.11 に示す。来街目的と年齢では、両調査とも娯楽目的で来街した半数以上が29歳以下となった。両調査の同行者と来街手段に関して図 3.3.12 に示す。同行者別では両調査ともひとりで、友達と来街した参加者は自動車、自転車、バスでの割合が高いのに対し家族で来街した人は自動車の割合が6割と高い。また、いずれの項目においても構成比率は類似している。

c) 両調査の平均の差の検定

両調査の性別、来街目的、来街手段、同行者、居

表 3.3.3 性別の差の検定結果

	全サンプル		サンプル抽出	
	t 値	P 値	t 値	P 値
性別	0.271	0.787	0.087	0.931

注) サンプル抽出とは、スマホ調査参加者で、謝礼なしでもスマホ調査に参加する回答した参加者との比較。表-3.3.4 も同じ。

表 3.3.4 一元配置分散分析の検定結果

		全サンプル		サンプル抽出	
		F 値	P 値	F 値	P 値
来街目的	買物	15.281	0.000	7.523	0.000
	食事				
	娯楽				
	観光				
来街手段	自動車	4.663	0.000	4.781	0.000
	自転車				
	徒歩				
	バス				
	市電				
	熊本電鉄				
同行者	ひとりで	6.211	0.002	5.976	0.003
	友達と				
	家族と				
居住地	市内	41.613	0.000	44.084	0.000
	市外				
	熊本県外				

住地に差がみられるかを検証する。また、スマホ調査のデータを用いる際に全てのサンプルと謝礼なしでもスマホ調査に参加すると回答した参加者のサンプルの2種類に分類して分析をおこなった。今回の研究では、平均値の差の検定と一元配置分散分析を行った。結果を表 3.3.3, 3.3.4 に示す。性別に関しては、P値が0.787と有意性なしとなった。これは、性別の分布は調査で差がないことがわかる。一方で、来街目的、来街目的、同行者、居住地ではそれぞれP値が小さく有意差があるという結果となった。また、サンプル抽出の分析についても性別では有意性なしとなり、来街目的、来街目的、同行者、居住地では有意性があるという結果になった。

(4) 滞在時間モデルの推定

本章では、来街した際の滞在時間を求めるために、生存関数にワイブル分布を仮定した生存時間モデルを適用する。

時点 t においてある個人が店舗にいる確率 $S(t)$ に以下のワイブル分布を仮定すると、

$$S(t) = \exp\{-(\beta t)^\alpha\} \quad (1)$$

ある時点 t においてある個人が中心市街地から離れている確率 $F(t)$ は次式で表わされる。

$$F(t) = 1 - \exp\{-(\beta t)^\alpha\} \quad (2)$$

また、その確率密度関数は次式で表わされる。

表 3.3.5 滞在時間モデルの推定結果

説明変数	インタビュー調査		スマホ調査		両調査統合		
	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値	
形状パラメータβ	市外ダミー(市外=1)	0.067	1.24	0.142	2.13	0.102	2.45
	性別ダミー(男性=1)	-0.095	-1.82	-0.065	-1.09	-0.144	-3.17
	年齢(歳)	-0.004	-2.89	-0.067	-0.39	-0.002	-1.90
	友達ダミー(友達と=1)	0.192	3.10	0.076	1.18	0.087	1.86
	出発時間(h)	-4.585	-19.60	-1.975	-6.59	-3.127	-15.98
	調査ダミー (インタビュー調査=1)					0.169	3.95
	定数項	5.084	36.23	1.912	9.83	4.069	31.18
形状母数α	0.65	17.95	1.415	12.67	0.416	19.70	
最大対数尤度	-1536		-1071		-3578		
サンプル数	475		648		1123		

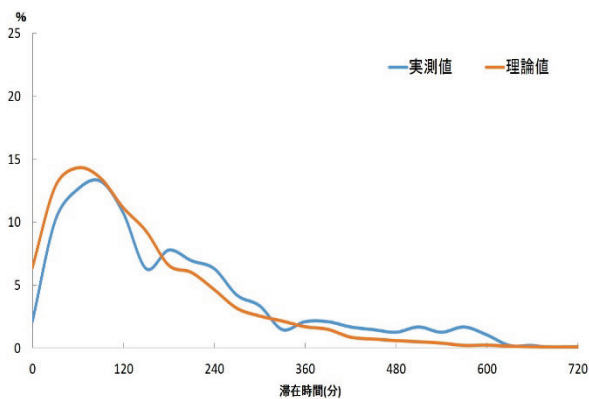


図 3.3.13 滞在時間分布のモデル理論値と実測値

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \alpha\beta t^{\alpha-1} \cdot \exp\{-(\beta t)^\alpha\} \quad (3)$$

ここで、パラメータαはその時間的スケールに対応した尺度パラメータであり、 $\alpha > 1$ のとき、ハザード関数は t の単調増加関数であり、 $\alpha < 1$ のとき、 t の単調減少関数となる。一方、パラメータβは分布の形状を決める形状パラメータであり、この値が大きいかほど早い時間に急激に中心市街地から離れる確率が高くなることを示す。本研究では、既存研究^{21),18)}を参考に、上記のパラメータβを以下のように定式化した。

$$\beta = \exp(b_0 + b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_ny_n) \quad (4)$$

ここで、 y_i は出発時間や個人属性などの説明変数である。表 3.3.5 に両調査データと統合データでの推定結果を示す。調査の個別データを利用した場合、年齢と友達ダミーの t 値が低くなっているが、統合することで t 値は高くなり統計的に有意になっている。性別ダミー、年齢、出発時間の値が負であることから、年齢が若く出発時間が早い女性ほど滞在時間が長くなる。また、市外ダミーと友達ダミーの値が正であることから、熊本市外在住で友達と来街している人ほど都心部で長く滞在することを示している。調査ダミーの推定値は、インタビュー調査の滞在時間が長いことを意味している。これは、ス

マホ調査は調査ポートに立ち寄った時点で回遊を終了したとみなしていることによる差を表現している。図 3.3.13 には実測値と推定値によるモデル理論値を示している。両者はほぼ同じ形をとっており、良好なモデルが構築できていることも確認できる。

(5) 結論

以下に本節で得られた主な成果をまとめる。

- 1) 熊本都心部で実施されたインタビュー型回遊調査とスマホ型回遊調査の参加者の個人属性や来街目的、同行者、来街手段を比較しそれぞれの調査の参加者属性の違いを把握した。
- 2) 具体的には、スマホ調査は、若年層の参加が多くこれは、スマホ調査のみに設定されていた謝礼の影響が多き。また、謝礼効果を分離してもスマホ調査は若年層が多い。また、スマホ調査は、友達と同行した場合の参加者が多い。新たな調査手法であるので、友人と相談しながら参加する傾向が伺える。
- 3) インタビュー調査とスマホ調査で得られたデータを統合することによって来街者のまちなかでの滞在時間を良好に表現できるモデルを構築できた。

今後の課題として、以下がある。

- 1) インタビュー調査の参加者分布も、来街者の母集団の分布とは異なっている可能性はあり、その点を考慮すること。
- 2) 謝礼の影響を分離するために、本研究ではスマホ調査の参加者への謝礼がない場合の調査参加意向調査を利用した。この調査も、仮想状況下での意向調査ではあり、現実の行動とは異なりうることを考慮すること。
- 3) 両調査を統合データによる滞在時間モデルの推定において、本稿では単に調査ダミーを導入したが、データ特性の違いを考慮した推定法を利用すること。

3.4 カーネル密度推定法を用いた熊本都心部の回遊行動圏の可視化と分析

(1) はじめに

a) 背景と目的

スマホ型回遊調査では、GPS 機器数による制約がないため、サンプル・サイズを大幅に増加させることができる。一方、サンプル・サイズを増加させることは、大量の GPS の軌跡情報がさらに膨大になることを意味する。これらの膨大なデータから交通政策・都心部の活性化策の検討に有意義な情報を効率的に抽出する分析手法の構築も求められている。本研究ではカーネル密度法を利用して、調査参加者の回遊行動圏を簡便に推定する方法を利用する。そして、この方法で、来街目的別、回遊出発地別に回遊行動圏を視覚化することで、熊本都心部における回遊特性の一部を明らかにする。

一般に都心部の回遊行動調査を GPS 型またはスマホ調査で実施する場合、建物の中に調査参加者がいる場合に GPS 電波を取得できない、また、高層の建物に囲まれた区域で測位誤差が生じる(urban canyon effect) などの問題によりデータに外れ値などが生じやすい。本稿で提案するカーネル密度ベースの方法は、これらの誤差に対して頑健という特徴もある。

さらに行動圏域の面積値を、回遊行動特性を表現する数値指標と考え、その有効性を検討する。この回遊行動圏の面積値は、都心部での回遊時間とは異なる傾向があることも示す。最後に、これらの評価指標による分析から得られる政策的含意を議論する。

b) 既存研究のレビューと本研究の位置づけ

紙面による回遊調査の最近の研究事例としては、福岡市²²⁾、岡山市²³⁾ の例が報告されている。GPS 貸与

型調査による観光行動データの分析例²⁴⁾ や GPS 携帯電話貸与型データによる松山市の歩行者行動の幅広い分析例²⁵⁾、²⁶⁾ も提示されている。

これらの既存研究に対して、本研究では、スマホ型の回遊行動調査の実施により大規模にサンプルを取得し、そのデータに応じた簡便な分析手法を提案する点に新規性がある。なお、熊本都心部スマホ型回遊調査については、速報的な報告事例²⁷⁾ があるが、基礎的な分析に留まっており、本稿で示すカーネル密度法を用いた回遊行動圏を分析したものではない。また、カーネル密度による点分布の分析は一般的な手法であるが、その面積値で回遊行動圏域を分析するという本研究の単純な方法の適用例は、筆者らの知る限り見当たらない。なお、スマホ調査では、加速度センサーにより取得されるデータを活用し、移動・滞在状態などの回遊状態の自動判別等のより高度な分析手法も今後期待できる。本研究は、それらの前段階の簡便な一手法の提案と位置づけられる。熊本都心部回遊調査に参加し、ポートでのアンケートに回答したのは 6 日間で延べ 1,086 サンプルであった。そのうち測位情報に欠損がないのは 1,036 サンプルである。

(2) 回遊時間に着目した基礎集計

本稿では調査参加者の都心部における回遊時間は、アプリを起動させて移動軌跡の取得を開始してからポートに到着するまでの時間と定義する。ここでは、属性別の回遊時間に関する特性を以下に整理する。まず性・年齢別の回遊時間を、図 3.4.1 に示す。60 歳以上の男性の回遊時間が最も長く、男性は高齢になるほど長時間回遊を行う傾向にある。一方で、女性は若年層の方が長時間回遊することがわかった。

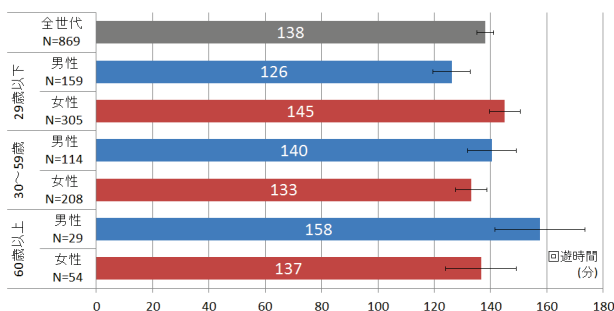


図 3.4.1 性年齢別回遊時間分布
(注: 図中の I は標準誤差。以下の図も同じ)

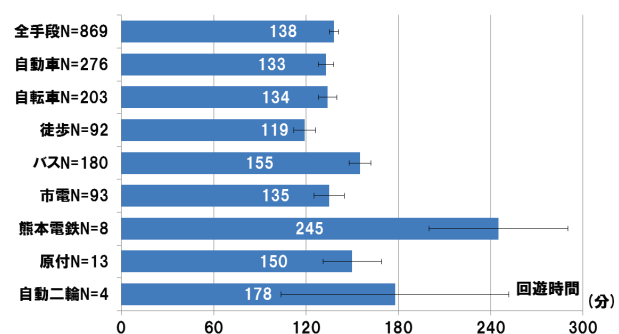


図 3.4.3 来街交通手段別回遊時間分布

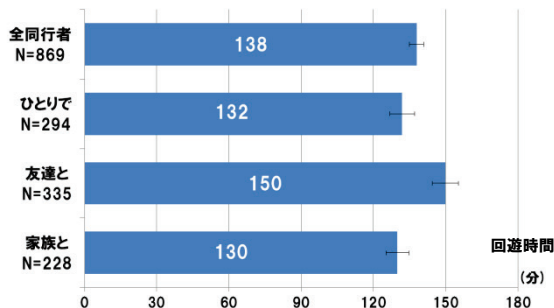


図 3.4.2 同行者別回遊時間分布

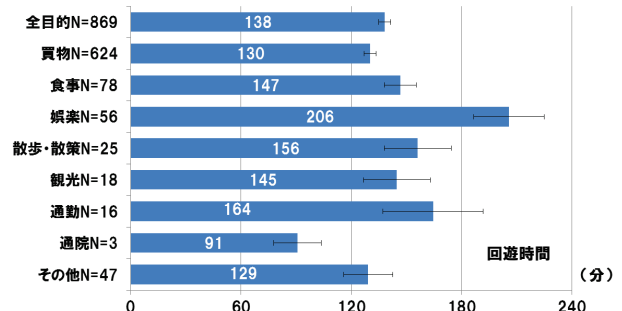


図 3.4.4 来街目的別交通手段別回遊時間分布



図 3.4.5 出発エリアの分類

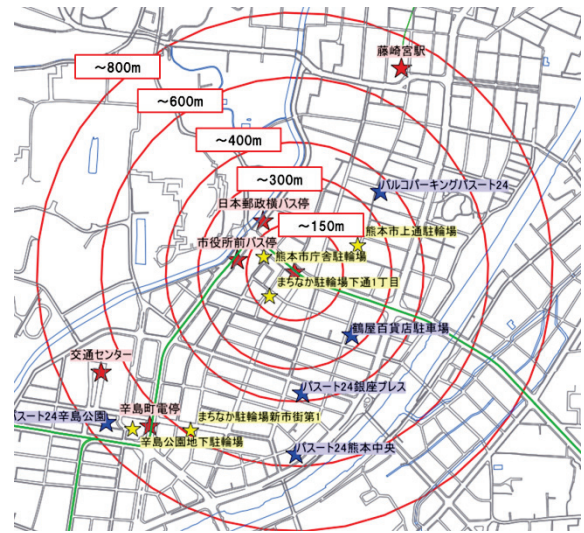


図 3.4.7 出発エリア (距離別) の分類

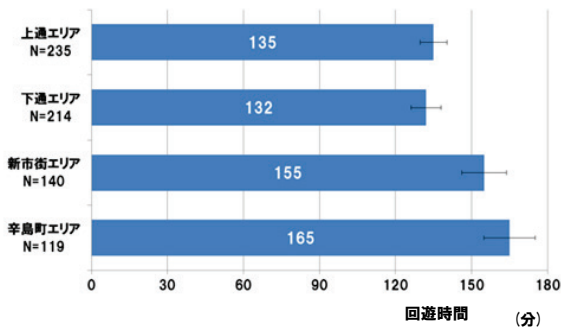


図 3.4.6 出発エリア別の平均回遊時間

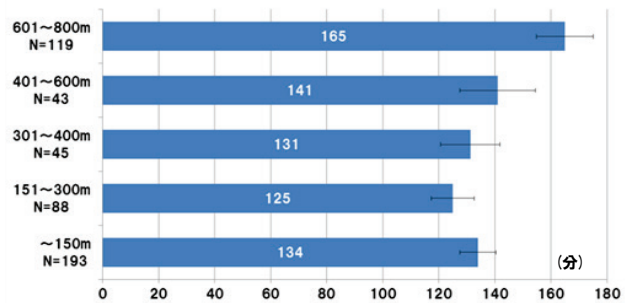


図 3.4.8 出発エリア(距離別) 別の平均回遊時間

また、図 3.4.2 に示すように、友達と同行している場合が、

最も回遊時間が長い。図 3.4.3 には来街交通手段別の分布を示すが、公共交通 (バス・市電・熊本電鉄) での来街者の平均回遊時間は 151 分であり、自動車による来街者に比べ、回遊時間が長い傾向にある。来街目的に着目すると、娯楽目的の来街者の回遊時間が最も長く、次いで、通勤、散歩・散策、食事の順となっている (図 3.4.4)。

次に回遊の出発地である駐輪場・駐車場、また、バス停・電停を熊本市心部の核となる 4 つのエリアに分類し (図 3.4.5)、出発エリアごとに参加者の平均回遊時間に関する特性を整理する。図 3.4.6 にはこれらの出発エリア別に参加者の平均回遊時間を示す。図 3.4.6 から、「新市街エリア」、「辛島町エリア」を出発した参加者の平均回遊時間は、「下通エリア」、「上通エリア」を出発した参加者の平均回遊時間より 20 分から 30 分程度長いことがわかる。都心部の西側からの来街者は、目的地が「下通」や「上通」である場合もその途中の「辛島町」や「新市街」で下車 (駐車・駐輪) し、目的地に向かうため、回遊時間が長くなると考えられる。また「下通」や「上通」の入口周辺は買物や食事施設が点在しており多様なニーズに対応できる場所である。よって本来の目的地が「辛島町」にあった場合も、「下通」や「上通」へ立ち寄る例が多いと考えられ、その結果回遊

時間が長くなる。一方で、「下通」を出発地とした場合、多様な施設が存在する分、一地点で目的を完結しやすい傾向が読み取れる。

本稿では、熊本市心部の中央に位置し、最も回遊が集中する「通町筋電停」を「市街地の中心部」と定義する。この点からの距離別に駐輪場・駐車場、また、バス停・電停を分類し (図 3.4.7)、出発エリアごとに参加者の平均回遊時間に関する特性をみる。図 3.4.8 にはこれらの出発エリア別に参加者の平均回遊時間を示す。中央部から離れた地点から回遊を開始している来街者の回遊時間が長いことが読み取れる。

(3) カーネル密度推定法を用いた回遊行動圏の可視化

カーネル密度推定法とは、観測点の分布状態から、全体の分布状態を面として推計する方法である。移動軌跡を地図上にプロットした場合、複数サンプルで観測点が膨大な場合は、点どうしが重なり合うため、回遊の特性を把握することが困難である。一方で、カーネル密度図は回遊が集中する地点を直感的に捉えることが可能となる。本研究では、フリーの GIS ソフトの QGIS のヒートマッププラグインを用い、カーネル密度を算出し、密度図を作成した。属性別に作成したカーネル密度図とその図から考察できる回遊特性を以下にまとめる。

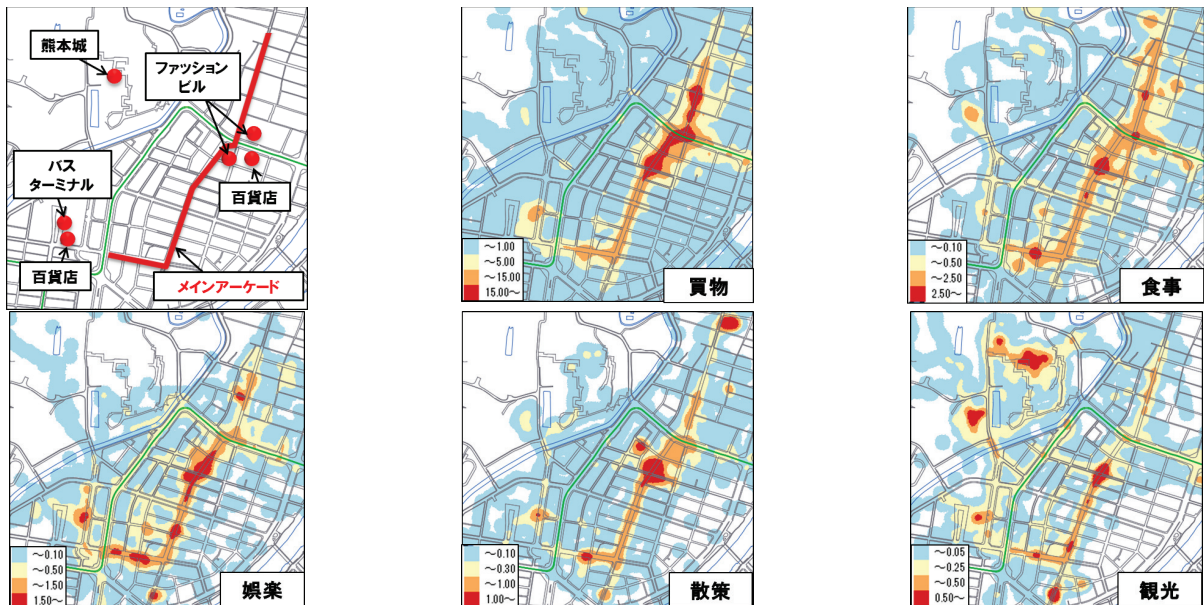


図 3.4.9 熊本都心部への来街目的別カーネル密度図

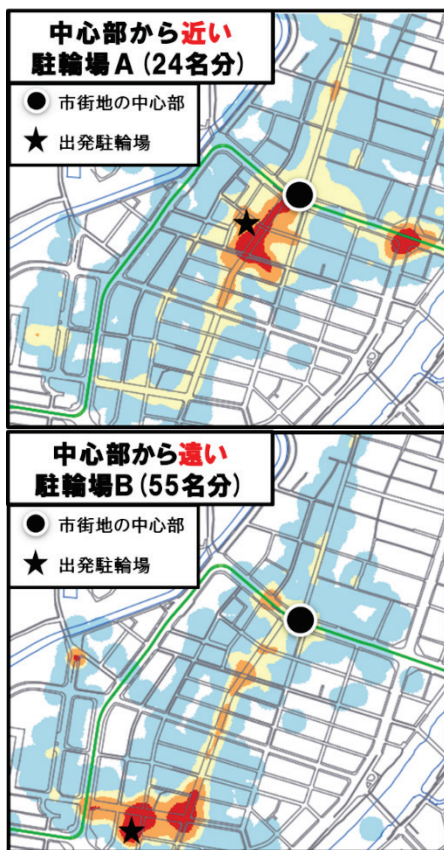


図 3.4.10 回遊の出発地別のカーネル密度図

まず、図 3.4.9 に示す来街目的別のカーネル密度図から来街目的に応じて回遊が集中する地点が異なっていることが見て取れる。

買い物、食事、娯楽目的の場合、それぞれ目的地となる主要な施設の周辺が滞留の核となっており、中心市街地のメインアーケードが回遊の中心となっていることがわかる。買い物目的では、百貨店、ファッションビルの周辺に集中しているが、食事目的では裏路地への回遊も見られる。娯楽目的では、新

市街エリアのカラオケ店、パチンコ店の周辺への集中が特徴的である。

観光目的の場合、熊本城周辺に回遊が集中しているだけでなく、メインアーケードの南側に位置する「シャワー通り」にも観光客が多く訪れている。この通りは、ブティックやカフェ、雑貨店が建ち並び、かつ石畳の西洋風な空間が観光客の集客に貢献していると考えられる。一方で、メインアーケード北部での回遊は少ないことがわかる。

散歩・散策目的では、メインアーケードの北側に位置する「並木坂」で回遊が集中している。この通りは、石畳で、緑が多く、日当たりも良い空間は散歩・散策に適しており、地域住民の憩いの場となっていることが確認できる。

図 3.4.10 には、回遊の出発地別のカーネル密度図の例を示す。メインアーケード中心部近くの駐輪場 A から出発した場合、回遊もその周辺に集中している。一方で、メインアーケード端部の駐輪場 B から出発した場合、その周辺部からアーケードにかけて回遊が広く及んでいることがわかる。回遊開始地点別の回遊行動圏をカーネル密度図で作成することで、回遊の開始地点が回遊特性に与える影響を簡易に可視化・分析できる。この行動圏図は、都心部の案内板の有効な設置策の検討や、地区の活性化施策の広報活動への活用が期待できる。

(4) カーネル法を用いた行動圏面積の推定

a) 手法の概要

回遊時間が長くても 1ヶ所に長時間滞在している可能性はあり、3.で示した回遊時間は回遊の広さを示す指標とは限らない。そこで、本章ではカーネル法を用い行動圏面積を推定する方法を提案し、その方法による分析例を示す。

本手法では、固定カーネル法を用いて行動圏を推定する。固定カーネル法は、一般的に野生動物の行

動圏の推定に利用される。これは、得られた観測点の位置データを変数とし、関数(カーネル関数)により観測点以外の空間も含め全体の確率密度を算出し、行動圏及びその内部構造を分析する方法である。図 3.4.11 には、あるサンプルの観測データの点の分布と本手法を適用し推定された 95%カーネル行動圏を可視化した図を示す。また、GPS を利用した調査では、建物や地下に入った場合、位置情報が誤って取得されることが多い。そのため、測位誤差を考慮した行動圏の推定が必要となる。本手法では、図 3.4.11 に示す通り、測位誤差と考えられる点を含むことなく行動圏が推定されていることがわかる。そのため、事前に測位誤差のデータを除去・補正せずとも、簡易に行動圏面積を算出することができる点にも本手法の特徴がある。

b) カーネル行動圏面積の算出結果

図 3.4.12 はカーネル法を用いた行動圏の面積を年齢層別に平均したものである。95%カーネル行動圏面積の全平均は 0.26 km² となった。図 3.4.13 には平均的な行動圏面積であった 1 サンプルの観測データの点の分布と、95%カーネル行動圏の例を示す。この面積を利用することで行動圏を簡易に数値化できている。

図 3.4.14 には推定された行動圏面積を回遊時間別に平均した結果を示す。概ね回遊時間に伴い、行動圏面積も広がっている。ただし、この関係は単純な比例関係ではなく、長時間回遊した場合も、移動圏域の増加率は低減していることも確認できる。

次に、出発地点別の行動圏面積を確認する。図

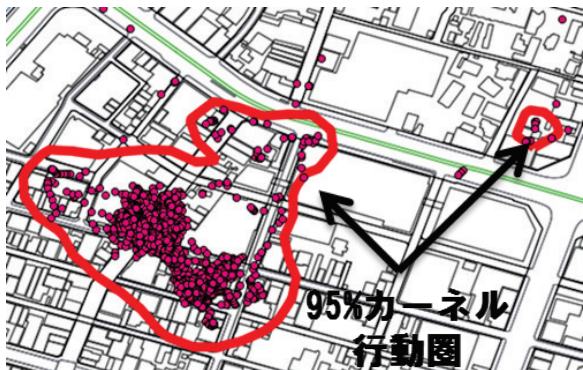


図 3.4.11 ある 1 サンプルの観測データの点の分布と 95%カーネル行動圏の例

3.4.15 には推定された行動圏面積を 4 つの出発エリア別に平均した結果を示す。行動圏面積は「新市街エリア」、「辛島町エリア」から出発した参加者の方が、「上通エリア」、「下通エリア」から出発した参加者より広いことがわかる。出発エリア別の回遊時間(図 3.4.6)でも、「新市街エリア」、「辛島町エリア」から出発した参加者が、回遊時間が長い傾向にあり、同様の結果となっている。

図 3.4.16 には出発駐車場・駐輪場別に参加者の行動圏面積の平均を示しており、「市街地の中心部」からの距離が遠い駐車場・駐輪場から出発している参加者ほど行動圏が広がっていることがわかる。一方で、「市街地の中心部」に近い地点から出発している参加者は、行動圏が比較的狭い。回遊時間に関しても、「市街地の中心部」から遠い地点から出発した参加者の方が平均回遊時間は長い傾向にある。これらの結果から、来街者は都心部の外縁部から出発するほど広範囲で回遊を行っていることがわかる。

c) 回遊時間と移動圏域の回帰分析による比較

今までの単純集計分析をまとめた例として、回遊時間と移動圏域についての重回帰分析結果を表 3.4.1 に示す。比較を目的としているので、回遊時間と移動圏域をそれぞれ正規化(平均値ゼロ、標準偏差 1)した値を被説明変数として、同じ説明変数の組の回帰分析結果を示す。重決定係数は低いが、係数の推定値の比較を行うには有用な結果が得られている。具体的に、男性ダミーは、回遊時間は推定値が負で有意で無いが、移動圏域では正で有意の値をとっている。女性と比較して、男性の滞在時間は短

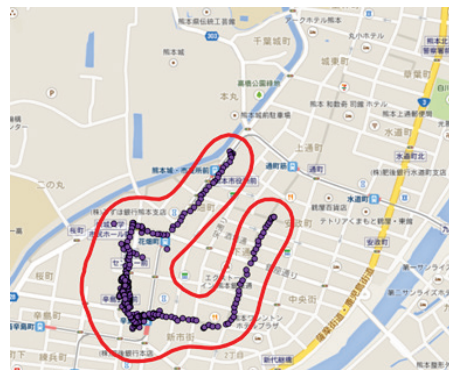


図 3.4.13 平均的な行動圏面積をもつサンプルの移動軌跡と 95%カーネル行動圏

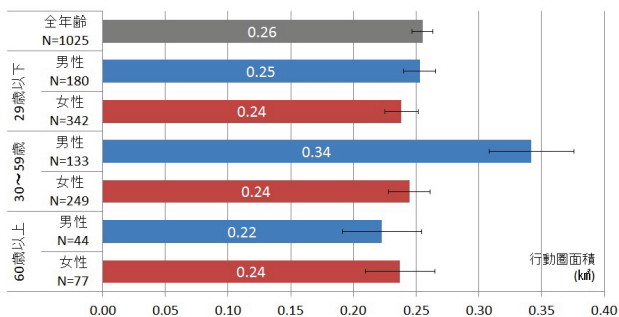


図 3.4.12 年齢別の行動圏面積

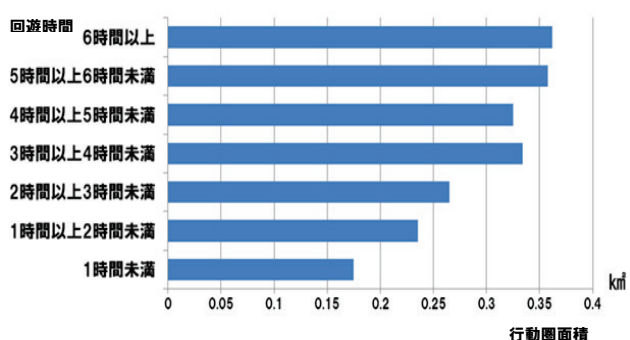


図 3.4.14 回遊時間別の行動圏面積の平均

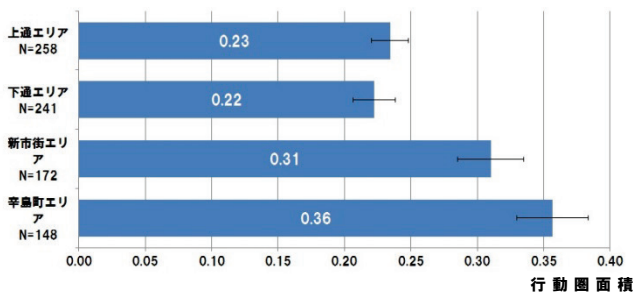


図 3.4.15 出発エリア別の行動圏面積の平均

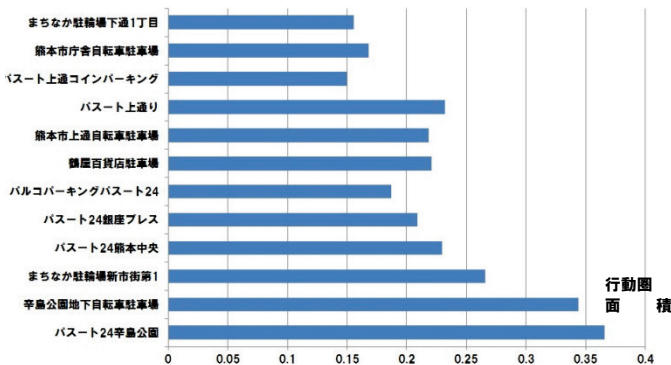


図 3.4.16 出発駅・駐輪場の行動圏面積の平均

表 3.4.1 回遊時間と移動圏域の重回帰分析結果

被説明変数	回遊時間		移動圏域	
	推定値	t 値	推定値	t 値
定数項	-0.388	-3.51	-0.067	-0.594
男性ダミー	-0.092	-1.304	0.149	2.067
年齢	0.519	2.202	-0.113	-0.470
友達ダミー	0.210	2.690	-0.184	-2.310
公共交通ダミー	0.236	3.069	0.271	3.458
娯楽ダミー	0.839	6.110	-0.008	-0.057
駐車・駐輪場の中心地からの距離 (km)	0.301	1.871	0.302	1.834
R^2	0.065		0.026	
N	864		864	

注) 被説明変数の回遊時間と移動圏域は正規化した値を被説明変数とした。ダミー変数は、それぞれ該当する場合 1, それ以外 0.

い傾向にあるが、移動圏域は広いことが示されている。年齢についても、回遊時間と移動圏域は符号が逆になり、回遊時間についてのみ有意に正の値をとっている。高齢者ほど、ゆっくり長く回遊するが、移動圏域は広いとは限らないことが示唆されている。これらは、図 3.4.1 と図 3.4.12 から確認できる。友達ダミーについては、回遊時間は有意に正で、移動圏域は有意に負の値となっている。友達と来街した場合、限られた店舗等に長時間滞在する傾向があるためと考えられる。娯楽ダミーは、回遊時間についてのみ有意に正の値となっている。カラオケ店・パチンコ店等で長時間滞在するが、それは移動圏域の拡大

にはつながっていないことが示唆される。バス、市電、熊本電鉄での来街者を示す公共交通ダミー、及び駐車・駐輪場の「市街地の中心部」からの距離の 2 変数については、共通して有意で正の値をとっていることも確認できる。

以上の分析より、本研究で提案したカーネル密度分布による行動圏面積は、既存の回遊時間とは異なる傾向もあり、回遊行動を分析する際の簡易に利用できる評価指標となりうるといえよう。

d) 政策含意

本稿の分析から得られる政策含意を簡潔に述べる。一般的に都市部の外縁部に設置されるフリンジ駐車場は、まちなかにぎわいを重視した都市空間の形成に有効であることが知られている。表 3.4.1 からは、都心から離れた駐車場・駐輪場を出発した来街者が、回遊時間、移動圏域ともに高い値となることを意味しており、フリンジ型の駐車場・駐輪場の有効性が支持される。公共交通来街者の回遊時間が長く、移動圏域も広いことから、利便性の高い公共交通の整備が都心部の活性化に有効であることも示唆している。娯楽施設については、回遊時間を増加させるが移動圏域は増加させないことには留意が必要であろう。

(5) 結論

本研究は、2013 年冬の週末に熊本市中心部で行われたスマホ型回遊調査のデータの分析により、以下の成果を挙げた。

1. 来街目的別・回遊の出発特別の回遊圏域を可視化し、食事目的の来街者は裏路地への回遊も多いこと、都心周辺部の駐輪場利用者は回遊圏域が広い等の特性を示した。
2. 軌跡データの 95%カーネル密度圏を行動圏域と定義し、その面積で回遊特性を数値化する方法を提案した。
3. 移動圏域の面積が増加すると回遊時間は、概ね増加する傾向にあるが、細部が異なる点もある。例えば、1) 女性と比較して、男性の滞在時間は短い傾向にあるが移動圏域は広いこと、2) 高齢者ほどゆっくり長く回遊するが、移動圏域は広いとは限らないこと、3) 友達と同行している場合、回遊時間は長い移動圏域は限られること、4) 娯楽目的で来街した場合は、回遊時間は長い、移動圏域の拡大にはつながっていないことである
4. 都心部の回遊では、建物内や高層建物の間などで GPS の測位誤差が発生するが、カーネル密度図は、それらの誤差の影響を受けにくく、簡易な手法として有効であることも確認した。

今後の展開例として、本研究では、2次元のカーネル密度分布の面積を指標としたが、時間軸を加えた 3次元のカーネル密度分布の体積も回遊特性の平易な分析指標となりうるだろう。

3.5 平成25年度調査における調査参加選択行動分析

(1) 回遊調査参加者の調査謝礼の効果分析

回遊行動調査では、調査終了後、参加者に対し「謝礼がない場合、スマホ調査と紙調査のどちらの方がよいか。もしくは参加しないか。」という内容のアンケートを実施し、これと同時に、属性についても尋ねている。以下に属性ごとの回答結果と傾向を述べる。

性年齢別の調査参加意向について図3.5.1に示す。20代以下の若年層については、謝礼に敏感に反応する一方、中高年世代については謝礼の有無に関わらず調査に協力する傾向にあることが確認された。ここで帰無仮説を年齢層での回答の比率が等しいものとし、有意水準を5%として比率の差の検定を行う。16-29歳の層と30歳以上の層に分け調査に参加するか否かで検定を行うと、p値が $p=1.3 \times 10^{-6} < 0.05$ となり帰無仮説は棄却され回答の差が認められる。一方で、男女差に関しては、今回差異がみられなかった。

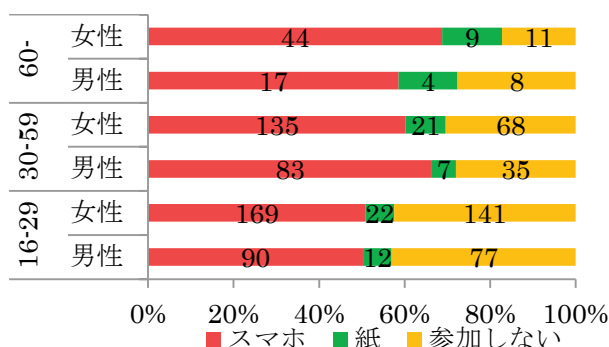


図 3.5.1 性年齢別の謝礼なし時の調査参加意向

表3.5.1 調査参加意向の多項ロジットモデル推定結果

パラメータ	推定値	t値
性別(女性=1,男性=0, 紙)	0.21	0.81
年齢(紙)	0.01	1.96
中央区居住(スマホ)	0.39	2.68
買物目的(スマホ)	-0.06	-0.45
自動車利用(スマホ)	0.22	1.41
3時間以上6時間未満(スマホ)	0.44	2.41
友達と(参加しない)	0.72	4.97
定数項(紙)	-1.73	-5.43
定数項(スマホ)	0.53	3.11
サンプル数		939
尤度比		0.20

t値: 1.96以上5%有意* 2.26以上1%有意**

この他、属性別の傾向を踏まえて、謝礼がない場合にスマホ調査参加する、紙調査に参加する、参加しないの3項選択ロジットモデルを推定した。(表3.5.1)。

推定結果より、修正済み決定係数は0.2と概ね妥当である。性別、目的ダミー(買物)、手段ダミー(自動車)を除いては、いずれの変数のt値も高く統計的に有意である。年齢のパラメータの符号は正である

ことから、年齢が高いほど紙調査を選択しやすい。居住地については、中央区に居住している人ほどスマホ調査を選択しやすいと言える。都市部に近い中央区の居住者は、比較的、帰宅に時間を要さず、バッテリーへの不安を要因とするスマホ調査への抵抗を感じにくいためであると考えられる。また、回遊時間が3時間以上6時間未満となる場合も、スマホ調査を選択することがわかる。極めて短時間の回遊の場合は、紙への記入の負担も少ないため、紙調査への抵抗が少ない。一方で極めて長時間になるとバッテリーの不安からスマホ調査へ参加しにくくなる。そのため、中間にあたる3時間以上6時間未満の回遊時間では、スマホ調査が最適とされていると考えられる。最後に、同行者に関して、友達と回遊している場合は、調査に参加しにくいことが明らかになった。これは、心理的に相手を待たせることに抵抗があるため調査に参加してもらいにくいのだと考えられる。

(2) 貨物車プローブ調査の分析

a) 貨物車プローブ調査の概略

貨物車プローブ調査は、2012年に実施された熊本都市圏PT調査の補完調査でもある。PT調査で把握することができなかった貨物車に着目し、その行動特性を把握することを目的としている。

熊本県トラック協会と協議を行ったのち、物流事業者を7社選定し、その7社にスマホ調査協力依頼のための企業訪問を行った。企業訪問を行った7社の内、了承を得た企業のドライバー各3名を対象にスマホ調査を行う。なお、ドライバー選定の条件として、スマホ所有者限定とする。調査の流れを図2に示す。業務開始時にアプリの「出発」ボタンを押してもらい、業務終了後に「到着」ボタンを押すという単純な操作方法となっている。調査期間は2013年12月18日から22日の5日間とし、調査協力ドライバー・事業所それぞれに対して1000円分のクオカードを謝礼として進呈している。軌跡の分析の詳細は割愛するが渋滞箇所の抽出や日変動が記録できていることが確認されている。

b) 参加意向分析

調査終了後に参加者にアンケート調査を実施している。参加意向について、回遊調査との比較を踏まえながら簡潔に示す。図3.5.2は、今回のような調査において、スマホ調査と紙調査ではどちらに参加したいかの参加意向を比較している。図3.5.2は、謝礼なしの場合の意向を比較している。

ここで着目すべきは、調査依頼の仕方の違いである。物流調査では、県や市からの依頼に加え、企業に直接訪問して協力を促すものであったため、企業からすると断りづらい依頼方法であった。回遊調査では、街中にいる人に声をかけて協力依頼を促し参加してもらい、また謝礼目的で自主的に参加した人もいた。つまり、物流調査に参加した人は半強制的に参加し、回遊調査に参加した人は任意で参加している。よって、半強制的に参加したドライバーの意

見の方が、比較的偏りのない人からの意見を聞くことができているとも考えられる。回遊調査に参加した人は謝礼が有効である傾向がある。物流プローブ調査では、調査依頼を行う際には、直接企業に赴き、調査方法が業務の負担にならないこと、調査で得られるデータがどのような政策に生かされるかなどをしっかりと伝えている。物流調査は、謝礼が必須というよりも、調査に関する説明をしっかりとすることが重要である傾向がうかがえる。調査対象者に応じて、適切な依頼法、謝礼の設定が異なることが示唆される

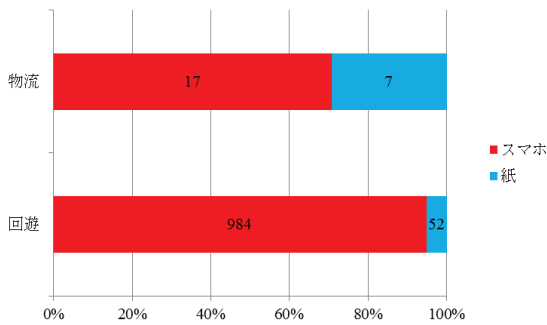


図 3.5.2 物流調査と回遊調査の参加意向比較

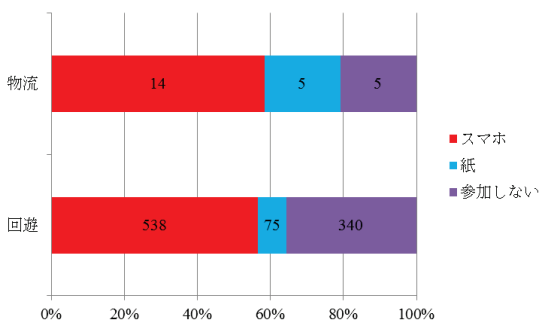


図 3.5.3 謝礼なしの場合における物流調査と回遊調査の参加意向に関する比較

3.6 本章の成果

平成 25 年度秋にスマホ調査で実施した熊本都心部の回遊行動調査について、以下の点を詳細に分析

した。

まず、2011年（平成23年）に同じ対象地で実施された、インタビュー形式の回遊調査とスマホ調査の参加者層の結果比較から以下の点が明らかになった。

- ・両調査で参加者に性別の偏りは無いが、年齢層では、スマホ調査が若干若年層の参加者が多い。

- ・スマホ調査では、インタビュー調査と比較して、一人で来外した人の参加者が少ない。これは、同行者が多いほうが、スマホ調査という新たな調査に参加しやすいという傾向のためと考えられる。

回遊特性についても分析し以下の点を示した。

- ・回遊時間が長いのは、60代以上の男性、若年層の女性、友達連れの場合、公共交通の利用者、娯楽目的の来街者であった。

- ・駐輪場、駐車場別に回遊特性が異なることも明らかにされた。特に、回遊の出発エリアが中心部から離れていると回遊時間が長くなる傾向にある。

カーネル密度推定法を用いて、スマホ調査による回遊調査結果を可視化した。

- ・来外目的別・回遊の出発地別のカーネル密度図により、回遊傾向の違いを明示した。

95%カーネル行動圏を算出することで、簡易に回遊行動圏を可視化した。

- ・50歳代の回遊行動圏が最も広いこと、回遊の出発地が都心の中心部に近いほど、回遊圏が小さく、遠いほど広いことを示した。

なお、本報告書では割愛しているが、加速度データや位置データによって、回遊行動状態を判別することを目的に、SVM(サポート・ベクトル・マシン) や RF (ランダム・フォレスト) の機械学習の適用を試みている。

都心部回遊調査の参加者の調査後アンケートをもとに謝礼の効果についての分析を行った。調査参加選択行動モデルなどの結果から、年齢が高いほど紙調査を選択しやすいこと、中央区に居住している人ほどスマホ調査を選択しやすいこと、友達との同行の場合、謝礼無しでは調査に参加しにくいこと、などが示された。

第4章 平成26年度スマホ調査の実施と調査手法による結果の比較分析

本章では、調査手法の違いによる結果の比較を意図した研究と、スマホを利用した交通行動変容アプリの研究を記載する。

4.1 調査の趣旨と概要

(1) 調査の目的

郵送配付回収型や訪問調査型などの手法で行われる従前の交通実態調査は、多額な調査費用や調査参加者の負担が大きいことなど課題も指摘されている。一方、近年では Web を用いた回答手法などが採用されている例もあり、さらに新しい交通調査手法として、スマートフォンアプリを用いた調査手法が注目されている。本章では、交通実態調査における手法別の結果の基礎的分析を行うことで、その違いや特性を明らかにする。これまでの章で、紙面調査とスマホ調査の比較を実施しているが、同一の対象者の比較ではないなどの課題がある。本章では、同一の対象者に多様な調査手法を依頼し、その結果を比較する点に特徴がある。

(2) 調査概要

調査日：平成27年1月19日（月）～1月23日（金）
 調査協力者：一般(15名)および学生(15名)
 募集方法：一般、学生共に雪だるま方式抽出法 (Snowball sampling)

(3) 調査の方法

本調査では、1 人の調査協力者につき紙方式/Web方式/スマホ方式の3手法をすべて行ってもらうこととした。具体的には、熊本都市圏に在住する30名(学生15名、一般15名)を対象とし、調査協力者を表4.1.1で示す2つの群に分け5日間の調査を行った。スマホ調査は期間を通して毎日行い、紙調査またはWeb調査での回答は調査日によって異なる方式とした。紙調査、Web調査については平成24年度熊本

PT調査で使用した様式を可能な限り再現することを試みた。

スマホ調査は調査協力者のスマートフォンに研究代表者らの研究グループが開発したスマートフォンアプリ「スマくま」をインストールし、これを用いて調査を行った。本研究ではスマホ調査で得られた結果と紙調査、Web調査で得られた結果をそれぞれ比較分析していく。

調査協力者は1トリップ目の出発前に「スマくま」を起動し、最終トリップの到着後まで記録（起動）し続ける。記録中、病院や映画館等スマホの電源を切る必要がある場所へ行く場合はアプリを一旦終了し、そこから出発する際に再び記録を開始する。最終トリップの目的地へ到着後すぐに紙調査もしくはWeb調査を行う必要がないことを調査協力者へ伝えられている。これは現実の熊本PT調査の手法に近づけると共に、調査回答を行った日、回答に要した時間を記録してもらい、行動からの時間経過による影響も考察するためである。

表 4.1.1 各群における回答手法

I群	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
紙	○	○			
Web			○	○	○
スマホ	○	○	○	○	○

II群	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
紙				○	○
Web	○	○	○		
スマホ	○	○	○	○	○

表4.2.1 属性ごとの調査群設定（単位：人）

		属性区分	
		学生	一般
調査群	I群（紙2日,Web3日）	7	7
	II群（紙3日,Web2日）	8	8

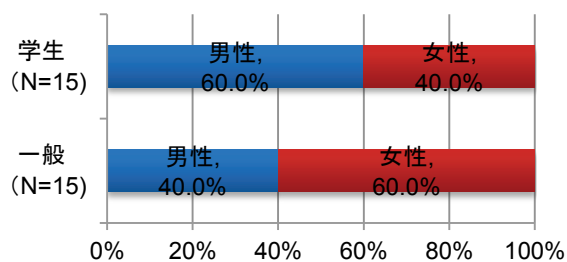


図 4.2.1 属性区分別 調査協力者の性別構成

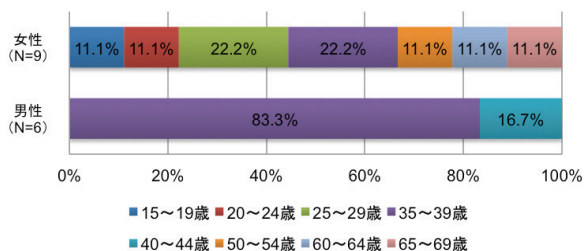


図 4.2.2 調査協力者の年齢構成（一般のみ）



図 4.2.3 調査協力者の職業構成（一般のみ）

4.2 調査結果

(1) 調査協力者の属性分布

a) 調査群設定

属性区分ごとの調査群設定を表4.2.1に示す。

b) 性別

図 4.2.1 に属性区分別の性別分布を示す。学生は男性の調査協力者が多く、それに対し一般は女性の調査協力者が多い。全体としては、調査協力者の性別に偏りがないよう配慮を行った。

c) 属性区分「一般」の年齢

図4.2.2に属性区分「一般」協力者の年齢構成を示す。男性は35～39歳に集中したが、女性は10代から60代までの幅広い年齢層で協力が得られた。

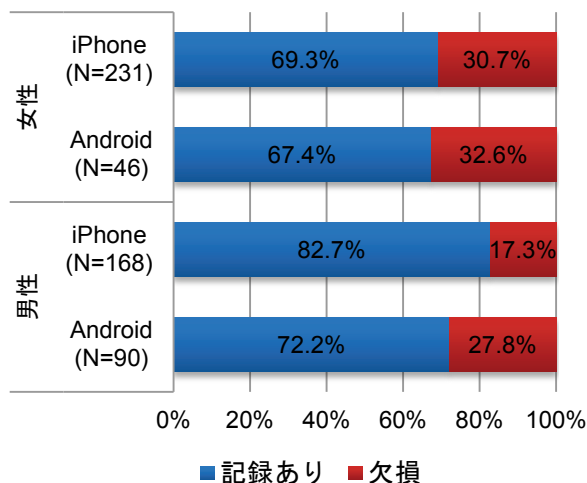


図 4.2.4 男女別 欠損トリップの割合
注) N はトリップ数

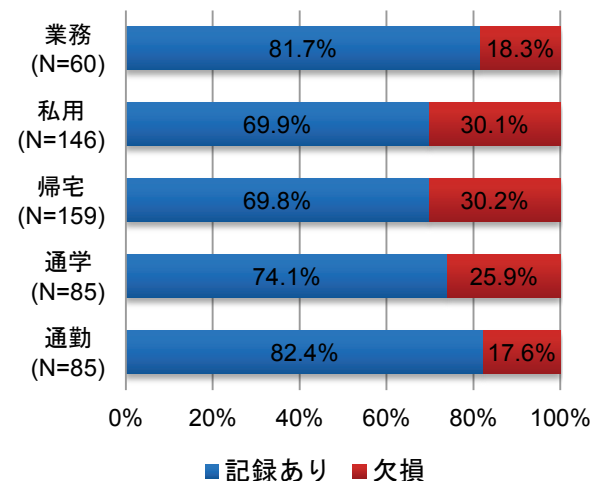


図 4.2.5 目的別 欠損トリップの割合
注) N はトリップ数

c) 属性区分「一般」の職業

図 4.2.3 に属性区分「一般」協力者の職業分布を示す。男性は金融業、保険業や公務員、女性はサービス業など、幅広い職業からの協力を得られた。

(2) スマホ調査で得られたデータとの比較

a) トリップの欠損

紙調査/Web調査で回答を得られたデータをスマホ調査で得られたデータと比較し、同じトリップが双方のデータで確認できるか分析を行った。具体的には、紙調査/Web調査で回答されたトリップの出発時刻・到着時刻を目安として、その時刻付近にスマホ調査で得られた位置情報を目視で確認し、GPSデータの軌跡が存在するか確認を行った。GPSデータで確認できなかったトリップを以下「欠損トリップ」と呼ぶ。

図 4.2.4 に男女別およびスマホの OS 別の欠損トリップの割合を示す。男性の iPhone のみ欠損トリップの割合が少ない結果となったが、それ以外の区分については概ね 30%前後の欠損率となった。欠損

の主な原因としては、アプリの測定を開始し忘れていたこと、バッテリー切れなどの理由により測位が中断したことなどが考えられる。

なお、図は使用したスマホの OS 別に整理を行っているが、欠損トリップについてはどのような場所へ行ったか等の行動状態にも影響されるため、機種特有の問題だけではないことには注意されたい。

また、図 4.2.5 は目的別に欠損トリップの割合を示したものである。私用目的および帰宅目的のトリップに欠損が多い傾向があるが、これは先に述べたようにスマートフォンのバッテリー切れやアプリの測定開始忘れ、途中でアプリが終了してしまったなどの可能性が考えられる。

b) 出発時刻・到着時刻の時間差

紙調査または Web 調査で回答された各トリップの出発時刻・到着時刻を基準としてスマホ調査で得られた GPS データの同一トリップの出発時刻・到着時刻との時間差を求め、調査手法による違いについて分析していく。

$$t_s = |(紙またはWebの出発時間) - (GPSデータの出発時間)| \quad (1)$$

$$t_e = |(紙またはWebの到着時間) - (GPSデータの到着時間)| \quad (2)$$

t_s : 時間差 (出発) t_e : 時間差 (到着)

具体的には、GPS データにおける同一トリップの特定は、紙調査または Web 調査データの各時刻を基準に同一トリップが記録されていると思われる時間帯を確認し、同一トリップの出発時刻・到着時刻を推定した。

図 4.2.6 は調査手法別に出発時刻・到着時刻の時

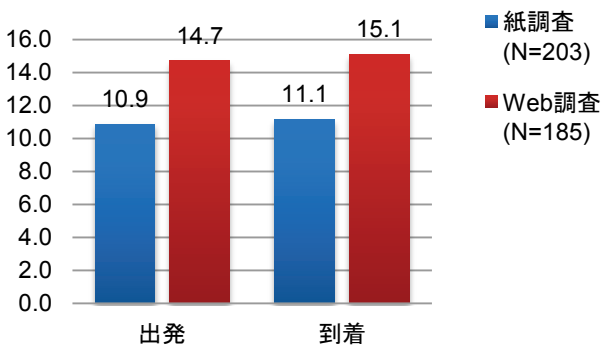


図 4.2.6 調査手法別 出発時刻・到着時刻の時間差

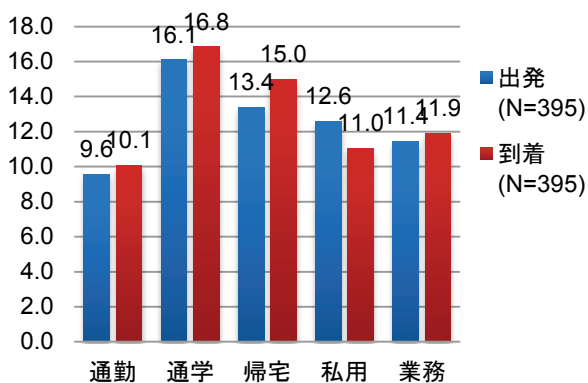


図 4.2.7 調査手法別 出発時刻・到着時刻の時間差

間差を整理したものである。出発・到着ともに Web 調査の方が紙調査に比べ時間差が大きいことが分かる。また、図 4.2.7 はトリップ目的別に時間差を整理したものである。通勤目的のトリップにおいて、特に出発時刻に関しては他の目的と比べ時間差が小さい傾向が見られた。通常、企業等に就いている方であれば、ほぼ決まった時刻に通勤を行うため、紙調査/Web 調査で回答する際も時間差が少なく回答を行えたと考えられる。

一方、通学目的のトリップは他の目的に比べ時間差が大きい傾向が見られた。これは卒業論文、修士論文執筆期間中(学部 4 年もしくは修士 2 年)、または通常の授業期間ではなく定期試験前の補講期間(その他の学生)に調査を行ったため、紙調査/Web 調査での回答時にも時間差が大きくなった可能性が考えられる。

b) 回答に要した時間・回答日による時間差

本調査は、調査協力者に紙調査・Web 調査の「回答に要した時間」および「回答日」を記録してもらい、これらの情報を把握できるようにした。

図 4.2.8 は回答に要した時間をその日のトリップ数で割ったもの、つまり 1 トリップあたりの平均回答時間の分布を示したものである。紙調査においては、1 トリップあたり平均 0~2 分未満の回答数が最も多く、1 トリップあたり平均 4 分未満までに全体の約 86.3%が回答された。一方、Web 調査については平均 1 トリップあたり 2 分以上~4 分未満の回答数が最も多く、紙調査に比較して回答が煩雑であった可能性がある。Web 調査は 1 トリップあたり平均 6 分未満までに全体の約 86.4%が回答された。

図 4.2.9 は経過日数別に出発時刻・到着時刻の時間差を整理したものである。経過日数:3 日から時間差が大きくなっており、その後も概ね増加を続けている。時間が経過するほどに回答の時間差が大きくなるのは、人間の記憶に頼るためにある種自然なことであるが、本調査の結果においては経過時間:2 日以内に回答が行われた場合に時間差が比較的小さくなる傾向にあることが分かった。

c) ストレス意識による時間差

本項では、事後アンケートで調査を行った調査手法に対するストレス意識が結果にどのような影響を及ぼしたかを紹介していく。具体的には、調査協力者の事後アンケートにて「調査のストレスが大きかった手法」を順位付けしてもらい、紙調査または Web 調査において 1 位を選んだ方と 2 位以下を選択した方との間でどのような違いがあるかを整理する。

図 4.2.10 はストレス意識別の回答の時間差を示したものである。紙調査においては、紙調査を 1 位とした方(紙調査が最もストレスが大きかった)の時間差が出発・到着ともに大きい傾向となった。一方、Web 調査においては、Web 調査を 2 位以下と選択した方(Web 調査が最もストレスの大きいものではなかった)の時間差が出発・到着ともに大きい傾向となり、紙調査と対照的な結果となったことは興味深い。

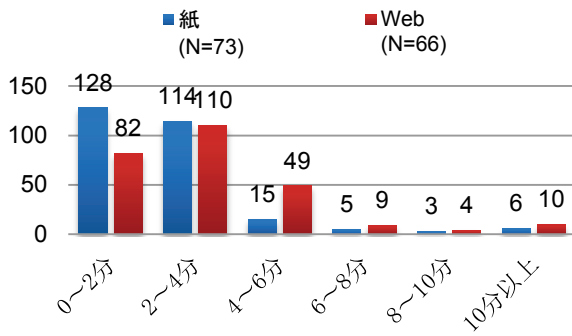


図 4.2.8 1 トリップあたり平均回答時間

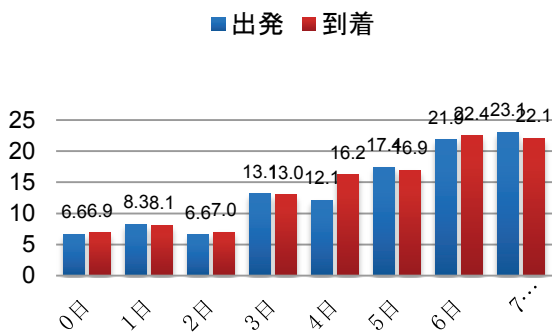


図 4.2.9 調査手法別 回答までの経過日数分布

また本調査の事後アンケートにて、調査協力者が業務または学業以外でパソコンを使ったインターネット利用時間（以下、私用ネット利用時間とする）を調査した。事後アンケートで調査した私用ネット利用時間が同年代の平均値²⁸⁾より多かった調査参加者を「ネット利用が多い」、少なかった調査協力者を「ネット利用が少ない」という2群に分け、結果にどのような違いがあるか分析を行った。

図 4.2.11 は Web 調査において2群間のトリップ出発時刻・到着時刻の時間差を示したものである。私用ネット利用時間が少ない群に比べ、私用ネット利用時間が多い群が出発・到着ともに時間差が大きい傾向がある。

ここで、図 4.2.12 は図 4.2.11 で分析を行った手法別のストレス順位の割合を2群間で示したものである。私用ネット利用時間が少ない群に関しては90%以上の調査協力者が「Web 調査が最もストレスが大きかった」と回答した一方、私用ネット利用時間が多かった調査協力者はWeb 調査を最もストレスが大きかったと回答した割合は少なかった。私用ネット利用時間が多い群については普段から情報機器やWeb フォーム等に慣れているため、Web 調査においてもストレスと感ずる割合が少なかったものと思われる。

以上のことから、私用ネット利用時間が同年代平均より多い群についてはWeb 調査へのストレス意識が少ない傾向にあるが、インターネットへの慣れが時間差の短縮に必ずしも繋がる訳ではないと言える。

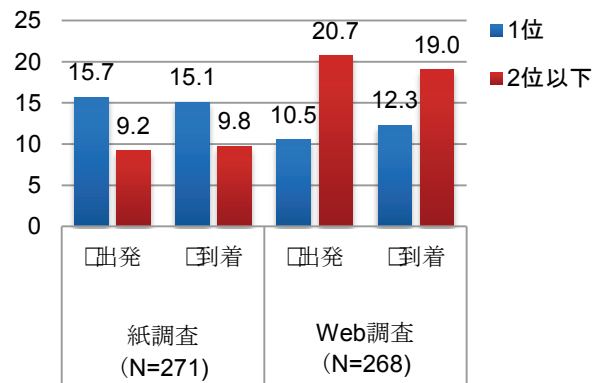


図 4.2.10 ストレス意識別 出発時刻・到着時刻の時間差

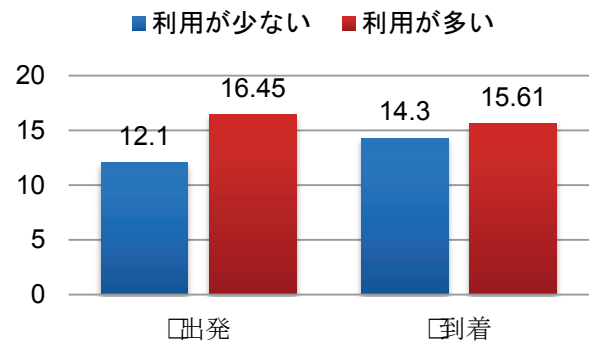


図 4.2.11 ネット利用群別 出発時刻・到着時刻の時間差 (Web 調査)

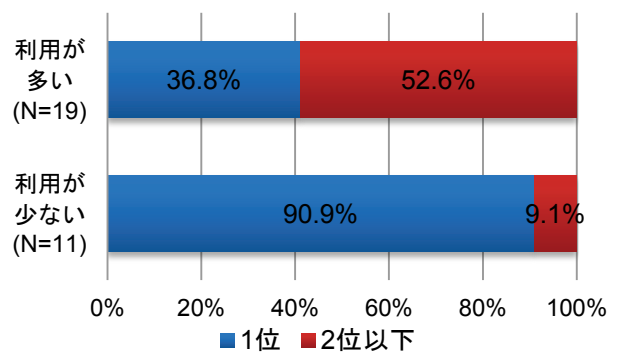


図 4.2.12 ネット利用群別 Web 調査手法のストレス順位

4.3 調査結果のまとめと考察

(1) 本研究の成果

紙調査または Web 調査で回答されたトリップのうちスマホ調査で得られたデータで確認できないトリップが約 30%の割合で確認された。これはスマホの OS(Android,iPhone)の別に特段の差異はない。欠損の原因としては、アプリの測定開始ボタンの押し忘れやバッテリー切れなどが想定される。トリップの欠損はスマホ調査では留意すべき点である。

スマホ調査で得られたデータを基準として紙調査および Web 調査の回答を比較した場合、トリップの出発時刻に比べ到着時刻で時間差が大きい傾向にある。また調査方式については紙調査に比べ Web 調査で時間差が大きい傾向にあることが分かった。

目的別においては、通勤目的のトリップが他の目的に比べ時上り時間差が少ない傾向にある。

本調査で使用した調査形式においては、Web 調査に比べ紙調査の方が1トリップあたりの回答時間が少ない傾向にあった。言い換えれば本調査のWeb 調査形式は紙調査に比べ煩雑だったと推測される。

紙調査に比べ Web 調査は日数において回答される傾向にあるが、回答日が調査日から3日後以降の場合は、上記時間差が大きくなる傾向にある。

調査協力者のうち、私用のインターネット利用時間が同年代平均に比べ少ない人はWeb 調査へのストレス意識が強い。しかし同年代平均より利用時間が多い調査参加者はWeb 調査へのストレス意識は少ないが時間差は大きい傾向にあるため、回答を簡単に済ませることで時間差が生じやすくなっている可能性がある。このため、インターネットへの慣れが時間差の短縮に繋がるとは必ずしも言えない。

(2) 今後の展望

本調査の分析結果を基に、例えば回答時間に着目した調査形式の最適化などを検討することで、より精度の高い調査結果を得られる可能性が期待できる。特にWeb 調査においてはネットに慣れた世代が増えるため今後の調査において選択率も高くなると予想されるが、本調査の結果よりそれは必ずしも精度が高いものとは言えないので、より回答を行いやすいようWeb 調査の形式について十分検討を行う必要があるだろう。また、スマホ調査においては紙調査またはWeb 調査で回答されていないトリップが含まれていることを確認している。本調査ではスマホ調査で目的、交通手段等を聞いていないが、事後アンケートの結果よりこれらを調査項目に入れてもスマホ調査を選択する参加協力者も多いため、今後はスマ

ホ調査をベースとして調査を行い、従来の交通実態調査方式で取得できていなかったデータの特性を明らかにしていくことなどが期待できる。

4.4. ゲーミフィケーションを導入した交通行動変容アプリの開発と試行

(1) はじめに

モビリティマネジメント（以下MM）は、個人のモビリティ（移動）が社会にも個人にも望ましい方向に自発的に変化することを促す交通政策である。紙やWebを用いた事例が多く存在しているが、コストや調査主体側の負担等、様々な課題も存在している。この課題に対して、佐藤、円山²⁹⁾は、スマートフォン(以下スマホ)アプリでMMを行った。また参加者からは、スマホ・アプリのゲーム性を高めることでMMの効果の向上が期待できるという意見が出されている。

本節では、佐藤、円山の開発したアプリを発展させ、ゲーミフィケーションを導入した交通行動変容を促すスマホ・アプリを開発する。ゲーミフィケーションとは、「レベルアップ」、「スコア化」、「ランキング」などのゲーム的な機能で、人々のサービスなどへの興味・関心、愛着心、忠誠心を高める技術である³⁰⁾。本研究では、利用者の1日の歩数を計測し、行動評価というスコア化を行い、参加者の歩数のランキングを調査対象者全員にメールで配信するシステムとしている。

(2) 開発システムの概要

1日の歩数を計測できる歩数計アプリを開発した。まず利用者は、ニックネーム、年齢、性別、その日



図4.4.1 開発アプリの画面例

クルマを利用した時間を入力する。その日の歩数と、歩数に応じた消費カロリー、評価、アドバイスが表示される。また、過去 10 日間の歩数を振り返ることもできる。調査対象者の意識の変化を促すために、移動手段別の CO2 排出量と消費カロリーのグラフがアプリの中に表示される。開発アプリの画面例を図 4.4.1 に示す。また、歩数のデータとその日クルマを利用した時間の情報をメールで送信できるように設定している。

今回開発したアプリは、iPhone5s から搭載されている専用チップ、M7 コプロセッサを利用している。このチップにより、歩数計アプリをインストールする直近の 1 週間分の事前の歩数を取得可能である。また、アプリがバックグラウンドで起動していても歩数データが取得可能である。

(3) 試行調査概要

2014 年 12 月 19 日（金）から 26 日（金）の 8 日間、熊本大学の学生 21 名を対象に調査を行った。ランキング機能を用いる施策群（10 名）と、ランキング機能を用いない制御群（11 名）の 2 グループに分けた。施策群には今回開発したアプリを利用してもらい、制御群には既存の歩数計アプリを利用してもらった。施策群には、調査期間中毎日メール送信を依頼し、その情報をもとに歩数ランキングを作成し、それをメールで配信した。また、調査後の交通行動と行動意識の変容を検証するために、調査前後にアンケートを実施した。

(4) 調査結果

a) 歩数の変化

施策群の調査前と調査期間中の歩数を比較すると、平日の一人当たりの歩数（歩／人・日）は約 1,000 歩増加した(図 4.4.2)。個人ごとに見てみると、調査対象者の 8 割に歩数の増加が見られた。歩数が増加した要因は事後アンケートの結果、距離の短い移動であれば徒歩への移動手段が変更したためであることが確認された。

b) 実際の交通行動変化

実際に少しでも交通行動に変化があった人の割合は、制御群では約 27%に対し、施策群では 70%であった(図 4.4.3)。この 2 つを母比率の差の検定を行ったところ、 $P=0.0502$ であり統計的有意差は見られなかったが、サンプル数を増やすことで有意差が見られる可能性はある。

c) 性格による行動変化

今回ランキング機能を導入するにあたり、競争心の強い人にはランキング機能が効果的であるのではと考え、アプリ利用者の競争心尺度を測定するために事後アンケートでいくつかの質問を行った。その質問のひとつである、「ゲームを仲間とする時、協力プレイと対戦型プレイどちらが好きか」への回答別に、個人の歩数の変化率をまとめたものを図 4 に示す。それぞれの歩数変化率の平均値の差の検定を行ったところ、 $P=0.033$ (<0.05) であった。このこと

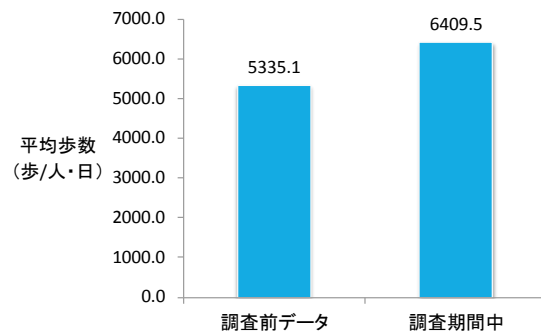


図 4.4.2 施策群の歩数比較

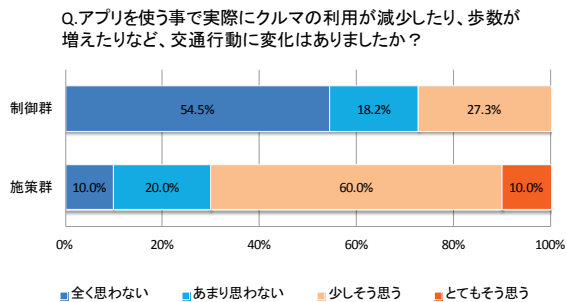


図 4.4.3 実際の交通行動変化

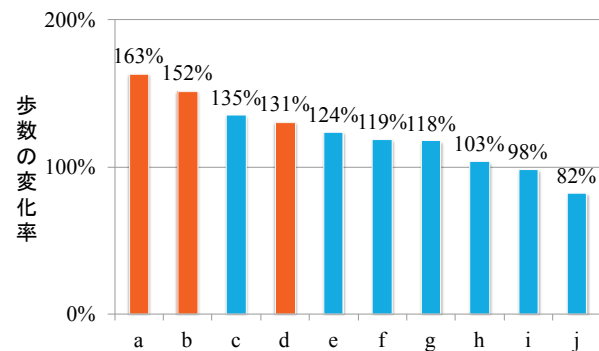


図 4.4.4 個人別の歩数の変化率

(橙：対戦型を好む人、青：協力型を好む人)

から対戦型プレイを好む人は変化率が高くなる傾向があり、競争心の強い人にランキング機能が有効であると示唆される。図 4.4.4 は左から歩数の変化率の高い順になっている。

(5) 本節の成果

- 1) 本研究はランキングというゲーミフィケーションを導入したスマホ・アプリを開発した。ゲーム性を高めたアプリはより気軽に利用してもらうことができ、様々な人の参加を増やせる可能性がある。
- 2) 今回の調査では、対戦型ゲームを好む人にランキング機能が効果的であることが分かった。今回の調査のように、調査対象者の属性だけでなく、性格についても検討することでより MM の効果を高めることが出来る可能性があると考えられる。

第5章 スマホ調査の実用化に向けたガイドライン案の作成

本章では、第2～4章で述べた、平成24～26年度実施のスマホ調査の経験を踏まえて、スマホ調査の実用化に向けたガイドライン案を作成する。まず、5.1. で、熊本における調査の実査の経験から得られた留意点を整理し、5.2. で、紙やWeb調査と比較した場合のスマホ調査の特徴を整理する。5.3. の、国内外のスマホ調査の動向の整理を踏まえて、5.4でガイドラインの作成方針を示し、5.5にガイドラインの素案を示す。

5.1. 平成24年～平成26年度調査の実査の留意点の整理

(1) 調査参加者の募集法・謝礼の設定法

スマホ調査は、アプリのインストール作業などが必要であり、通常の紙・Webの調査と同様な参加者募集法では、十分なサンプル・サイズが確保できないことが心配される。第2章で述べた平成24年度実施の調査では、謝礼無しでの郵送依頼法で、13,297世帯に依頼して、97名の参加であり、参加率の指標では1%を切る。一方、第3章では、平成25年度実施の調査では、500円の商品券を謝礼として準備し、対面型の依頼を中心とすることで、休日6日間で1,086サンプルを得ている。平成26年度実施の調査では、雪だるま型の調査参加者の募集で、5日間の中期間の調査に謝礼図書カード3,000円で参加者を30名確保している。

分析に有効となるサンプル・サイズを確保するためには、対面型の依頼や適切な謝礼の準備が必要となる場合が多いと考えられる。スマホ・アプリを一般のアプリ・マーケットに公開し、各種調査会社に依頼してモニター型で参加者を募るという方法もありうる。この場合も費用が必要となり、また、モニター型で収集したサンプルのランダム性などには留意

が必要であろう。

サンプルの母集団代表性に配慮する際には、第2章に記述した調査参加選択行動モデルが有効と考えられる。第3章の調査では、概して街なかを回遊している人に10名に声をかけて、1名が参加する状況であった。参加者の属性データ等はわかるが、非協力者の大まかな属性データが把握できると、サンプルの偏りなどが検討できる。また、第3章では、同じ対象地におけるインタビュー型の回遊調査との比較分析も示した。これら既存の調査との比較などもサンプルの偏りの検討には有効である。

(2) アプリの設計・開発・公開法

平成24年度調査では、調査実施の直前までiPhone版のアプリの審査が通過していないという状況が生じていた。通常の紙・Web型の調査と異なり、スマホ・アプリの調査は、調査主体の他にも、アプリ・マーケットに調査の実施可能性、成功が左右されるという課題がある。アプリ・マーケットで配布できるアプリにも、制約がかかることがおおく、本来の交通調査とは別のところで労力を要することに留意が必要である。プレ調査を含めた調査期間の設計を余裕持つて行うことや、アプリ開発を外注する場合、その会社との連携が重要となる。

調査の企画・主体・委託者側は、スマホのユーザーであることは多いが、開発者であることはほぼない。スマホのユーザーの視点で、他の商用アプリとの比較で、機能やデザインの充実化を要望することができ、それを実装できる開発者が限られていることや、実装作業の困難性を理解していないことも少なくない。調査実施側とアプリ開発者側が協力する体制をつくり上げることも重要である。

(3) スマホのバッテリー問題

スマホのバッテリーの稼働時間が短く、GPSを起

動させるアプリを利用することで、その問題がより深刻化するという課題も開発当初から指摘されていた。平成24年度の調査では、参加者自身の保有のスマホで、バッテリーが切れることで、本来のスマホの機能（通話など）が出来なくなることへのクレームへの対応として、バッテリー残量が少なく（10%~20%以下）であれば、アプリが強制終了する設計としている。平成25年度、平成26年度調査では、希望者にモバイル・バッテリーを貸与している。

スマホのバッテリー問題は、端末の性能向上とともに改善される事項とも考えられる。ただし、GPSの測位間隔、バックグラウンドでのデータの捕捉性、データの送信間隔、加速度センサーの利用法など、アプリの設計において十分留意すべき事項であることには変わらない。また、普段からスマホのバッテリー対策として、「位置情報サービスをOFF」にしている利用者もいる。この場合、位置情報サービスをONにすることを確認する必要がある。

(4) スマホに慣れない参加者への対応

スマホに慣れた参加者を対象に、長期間調査する場合と、スマホに慣れていない方も含めて参加者を増加されることを重点化した場合で、留意すべき点は異なる。例えば、スマホに慣れた参加者では、当然のこととして知っている事項を、慣れていない人には適切に指示する必要がある。

誰でも簡単に参加できるように、出発・到着ボタンのみのアプリを利用する場合でも、参加者がスマホの電源を切る、フライトモードにするなど意図せずに、アプリを終了させてしまう場合があることに注意が必要である。

限られた参加者を対象に、長期間調査を実施する場合は、説明会を開催し、不明な点を聞き、調査途中のデータも確認しながらの実行が可能である。一方で、単発の参加者を増やした調査では、それらが難しいことに依存した課題もあることを理解しておくべきである。

(5) 個人情報保護

アプリのプライバシー・ポリシーを構築することは、アプリ・マーケットに位置情報を利用するアプリを公開する際には、要求事項となっている場合もある。アプリの利用規約も含めて、的確な文書を公開し、それを遵守することが求められる。分析者および分析補助者を含めた個人情報保護への意識を徹底すべきである。

事故やトラブルが発生することは、当該調査への影響だけでなく、類似調査への信頼性を損なうことにもつながるため、厳重な注意が必要である。大規模な調査を実施する場合に、プライバシー保護については、典型的に質問される内容である。質問者に納得いただける答えを、わかりやすく、示せる準備をすべきである。

(6) 貸与型端末の有効性

平成26年度の回遊調査では、スマホを保持していない層の動きを把握するためにタブレット型端末であるNexus 7 (2012年モデル)を貸与した。これは、Nexus 7は、GPS付きでありながら、Wifi型端末であれば、当時の市場価格でも1台2万円を切り、コストパフォーマンスが高いと判断したためである。ただし、以下の点で、課題が残った。

- ・今回のアプリでは、Wifiに接続していないと、データが送信されない設定であったため、現地で、モバイルWifiルーターなどを準備したが、接続不良などで、少なくないデータが欠損した。

- ・GPSが起動するまでに時間が要するため、位置情報の精度が一部不十分であった。スマホに付属したGPS端末では、携帯電話の基地局の情報も利用しながら位置を特定するため、精度が高いが、GPSのみでの位置特定は、時間を要する（いわゆるコールド・スタート）場合がある。

- ・レンタル型のスマホは、当時、高価格であったため採用していない。ただ、その利用や3G/4G通信が可能でタブレット端末の準備が効果的である可能性がある。また、データ送信が出来ない場合はアプリ内にデータを一時保存し、次回接続後にデータをまとめて送信する仕様でアプリを設計することが望ましい。貸出端末においては返却ポートにモバイルWi-Fiルーターもしくはテザリング可能なスマートデバイスを準備し、調査終了時に確実にデータ送信を行う必要がある。また、レンタル端末の盗難対策も必要である。

5.2. 各種調査の特徴の整理

GPS 携帯電話などをレンタルする形式による既存のプローブ・パーソン調査は、紙媒体調査と比較して、1) 調査対象者の負担が少なく、2) 長期間の調査が可能で、3) 調査対象者の記憶に頼らないので正確であり、4) 特に経路情報などの精度の高い結果が得られることが知られている。ただ、大規模サンプルで実施するには端末のレンタル費用、通信費用がかかるという課題があった。スマホ・アプリ配布型の調査では、調査対象者の普段利用しているスマホを利用すれば、基本的に追加の通信費用がかからないという特徴がある。また、最近、急速に精度が向上しているスマホの音声入力機能を利用すれば、トリップ目的情報や手段情報の追加入力により容易になるという可能性がある。(表 5.1.1)。第4章で示しているように、スマホ調査ではトリップの出発・到着時刻が正確になることも特徴である。

通常の PP 調査は、大規模には実行しにくいのに対して、スマホ調査は大規模化が可能である。ただ、サンプルの偏りの問題は解決されていない。スマホ調査でも、粗いゾーン単位で時間帯別 OD 表程度の粗い情報を取得するものと、少数サンプルで詳細なデータを取得するものの2方向のデータの質を志向することがありうるだろう。

表 5.1.1 各交通調査手法の比較

	紙面調査	プローブ・パーソン調査 (既存 PP 調査)	スマホ・アプリ配布型調査
調査対象者の負担	大	小	小
調査運用費用	大	中 (配布機器の貸料, 通信費)	中
調査期間中の問い合わせ体制	通常	必要	必要, 重要
調査結果の検証費用	通常	重要	特に重要
調査初期投資	基本	既存のもの利用可	アプリ開発費など
精度	低い	高い	高い
データ処理の労力	紙から数値データへ	処理技術の高度化	処理技術の高度化が必要
信頼性	低い	高い	高い
調査日時	秋の平日	複数日可	複数日可
経路	難しい	取得可	取得可
バス停・IC・発着時刻	精度低い	取得可	取得可
目的	記入	入力	入力 (音声入力等)
手段	記入 (アンリンクト・トリップの抜け落ち)	入力 or 加速度等判定	入力 or 加速度等判定
回答サンプルの偏り	若年層の回答少ない	同意してもらえる方	スマホの所持者のみ
謝礼の方法	通常の方法	郵送・手渡し等 レンタル端末の返却と交換など	多様 スマホのポイント等も活用可能

5.3. 国内外のスマホ調査の動向

交通調査のためのスマートフォンのアプリは、最近多数、開発、公表されている。我が国における事例としては、(株)トランスフィールドによるAndroid用アプリ「PP」が2011年10月に発表され、この他、(株)ドーコンによる「毎ログ」³¹⁾、「Bicycle Planner」³²⁾、「つくログ」³³⁾がある。海外では、MIT-シンガポール研究チームによる、「Future Mobility Survey」³⁴⁾、「Cycle Track」などがあり、米国交通学会(TRB)の交通調査委員会 (Travel Survey Committee)がWebで公表しているOnline Travel Survey Manual³⁵⁾にも事例がまとめられている。このように、スマホ・アプリを利用した交通調査の研究は、この分野で注目を集めているトピックであり、競争も激しい³⁶⁾。

2014年11月に開催された交通調査手法に関する国際会議 (10th International Conference on Transport Survey Methods, Nov. 16-21, 2014)では、50件程度の発表の内、スマホ調査の研究が15件程度発表された³⁷⁾。この調査手法が国際的な潮流であることが確認できる。

この会議で多様なスマホ・アプリが開発されていることが紹介されている。異なる点として、デザインなどのユーザ・インターフェイス、出発・到着ボタンを押すのかどうか、取得したデータの修正・追加・削除の可能性 (Webダイアリー、もしくはスマホ上か)、修正したデータのみをサーバにアップするのかどうか、移動手段、目的も移動時に入力するのか、それとも自動判別されたものを後に修正するのか、バッテリー問題に対応して、データ取得間隔を変更可能かどうかなどである。

スマホ調査の課題として会議で議論されていたのは、サンプリングの方法、機種依存への対応、ランダム性の確保、サンプリング・フレームの設定方法、重み付けの方法、セルフ・セレクション問題である。

この他、調査の設計方法、参加者のスマホに慣れているかどうかへの対応、事後的なデータの処理方法、ライブ・ログカメラの利用可能性、端末不保持者への調査の方法、乗り換え地点、データクリーニング、マップ・マッチング、トリップ属性の付与、目的、同乗者人数の考え方などがある。世界各地で同様なアプリを別々に開発しているが、スマホ調査に共通した課題も多いので、経験を共有することが重要と会議でも強調されていた。

5.4. ガイドラインの作成方針

前項で紹介した国際会議での議論にあるように、スマホ調査は、いまだ成熟した技術ではなく、多様な都市でのプロジェクトの経験を共有することが重要である。この意味で、次項では、熊本での経験に基づいて、今後同類の調査を実施する際の留意事項をまとめたガイドライン案を提示する。もちろん、このガイドラインは、決定版ではなく、他のプロジェクトにおけるスマホ調査の実施経験者との情報共有、情報交換を踏まえて、改訂などの作業を行うことが重要である。本プロジェクトに関わっている主体からの意見は盛り込んでいるつもりであるが、反映が十分でない可能性はある。あくまでたたき台として理解いただければ幸いである。また、スマホは、技術の進歩が著しい分野である。このガイドライン案の記載内容の有効期限は、短期間であるものも多であろう。ガイドライン案の使い方としては、ここに記載した細かな事項に従うことよりも、その背後にある基本的な調査に対する姿勢をくみ取っていただければ幸いである。

5.5. スマホ型交通調査の実施ガイドライン (案)

以下に示す。

スマホ型交通調査の実施ガイドライン (案)

平成 27 年 3 月 第 1.1 版 作成
平成 27 年 7 月 第 1.2 版 一部改訂
熊本大学 円山琢也

目次

1. ガイドライン(案)の目的
2. ガイドライン(案)の対象
3. ガイドライン(案)における用語定義
4. 調査実施の準備
 - (1) 調査実施体制
 - (2) 調査のスケジュールング
 - (3) 調査の予算・費用の検討
5. スマホ・アプリの準備
 - (1) 利用するアプリの選択
 - (2) 既存のアプリを利用する場合
 - (3) 新たにアプリを開発する場合
6. 個人情報保護
 - (1) プライバシー・ポリシー・利用規約の準備
 - (2) 調査関係者への教育・指導
7. プレ調査の実施による改良
 - (1) アプリの動作確認
 - (2) 調査全体のプレ調査
8. 本調査の実施時の留意事項
 - (1) 調査前の調査員の教育
 - (2) レンタル端末の有効性
 - (3) 調査実施時の対応
 - (4) スマホに不慣れな参加者への対応
 - (5) インターネット上での評判への対応
9. 調査後の分析方法・分析結果の公開
 - (1) サンプリングへの配慮
 - (2) データの分析・公開

1. ガイドライン(案)の目的

本ガイドラインは、スマホ型交通調査を実施する際に、参考となる留意事項をまとめたものである。

人や車の移動を計測する交通調査は、交通計画・交通政策の立案のための基礎的かつ重要なデータを収集する。道路交通センサスやパーソン・トリップ(PT) 調査などの交通調査は、人や車の動きをトリップ単位で把握している。既存の調査では、回答を紙面に記入する場合や、Web に入力する場合が多い。これらの調査では、移動の記録が調査参加者の記憶に頼っているために、特に出発・到着時刻について正確性が低い、移動の経路情報が把握しにくいなどの課題があった。これらの課題に対応して、GPS 携帯電話などをレンタルする形式によるプローブ・パーソン調査は、紙媒体調査と比較して、1) 調査対象者の負担が少なく、2) 長期間の調査が可能で、3) 調

査対象者の記憶に頼らないので正確であり、4) 特に経路情報などの精度の高い結果が得られることが知られている。ただ、大規模サンプルで実施するには端末のレンタル費用、通信費用がかかるという課題があった。スマホ・アプリ配布型の調査では、調査参加者が自分自身で保有しているスマホに専用の調査アプリをインストールし、その GPS 機能を利用して調査を記録するものである。スマホの契約はデータ通信量に関しては料金定額プランが多いため、調査対象者の普段利用しているスマホを利用すれば、追加の費用がかからないという特徴がある。今後、スマホ調査の活用機会の増加が期待されている。

ただ、このスマホ調査は、正確性の向上や費用の低下というメリットが強調される反面、新たな技術であるため課題も少なくない。スマホ調査の実用化に向けては、多くの調査経験をもとに、関係者で課題を共有し、克服していく姿勢が重要と考える。

本ガイドラインは、筆者(熊本大学円山琢也)の経験をもとに、スマホ調査における留意事項を記載している。内容についてのご意見や修正事項などのご指摘をいただき、今後このガイドラインの改訂やスマホ調査の改善につなげることで、よりより交通調査や交通計画・政策の立案につなげることができれば幸いである。

2. ガイドライン(案)の対象

調査参加者を一般から募集し、参加者自身の保有するスマホに調査のアプリをインストールすることで実施する交通調査全般を対象とする。

既存の道路交通センサス、PT 調査と同様に都市圏レベルの人や車の移動を基本的な対象としているが、都心部の回遊調査など狭い範囲での調査も念頭においている。

なお、都市間交通や、観光回遊調査などにもスマホ調査は適用可能とは考えるが、筆者の経験が少ないため、それら特有の課題についての記載は今後の課題としたい。

3. ガイドライン(案)における用語定義

スマホ：スマートフォン

アプリ：スマホ上で動作するアプリケーション。ソフト

スマホ調査：調査参加者自身が保有するスマホに専用のアプリをインストールし、スマホの GPS 機能などで移動軌跡情報などを取得する調査。スマホ型交通調査、スマホ型調査、スマホ PP 調査、スマホ・アプリ配布型調査などとも呼ばれる。広義には、スマホを調査参加者に貸与して実施する調査や、スマホのアプリをカウンター代わりにして断面交通量調査を行うものもスマホ調査と呼ぶが、本ガイドラインは、それは含めない。

PP 調査：プローブ・パーソン調査。本ガイドラインでは、GPS つき携帯電話を貸与して実施する調査

をPP調査と呼び、スマホ調査と区別する。
タブレット端末: 具体的には、Nexus 7, iPad, など。
モバイル通信機能, GPS 機能も付属した機種がある。

調査参加者: スマホ調査に参加した人。被験者と呼ばれることもある

4. 調査実施の準備

(1) 調査実施体制

調査主体の構成としては、上位組織として、調査の目的、予算、調査日程、人員配置などを検討・決定する統括的な組織に加えて、アプリの技術開発を行う組織、調査員の教育・配置を行う組織、プライバシー・ポリシーなどの調査の法律面を検討する組織、などがありうる。

調査主体は、行政、(国、地方自治体)、公共団体、大学など研究組織がありうるが、調査主体に含むべき関係者や連携すべき主体がないか確認すべきである。ノウハウをもった大学研究者や国の研究機関、コンサルタントへの外部アドバイスや支援を求めることも有効である。最近のスマホ調査実施事例を参考にすることは有用であり、国内外の研究事例を確認すべきである。

調査を大規模に実施する場合、地元の新聞社などのマスコミへも調査の趣旨などを説明しておくとうまい。都心部調査の場合、地元の商店街組合などステークホルダーを把握し、事前に調査の意義などを十分の説明しておくべきである。

なお、他の調査と比べて、スマホ調査において特に重要なのは、調査部隊の機動力、先進的なことへの取り組みへの熱意である。技術力と熱意のある構成員を巻き込むこと、調査補助員などを含めた構成員の熱意、士気を高めることも求められる。スマホの技術の進歩は著しいが、その技術を把握し、可能であれば、調査に反映したい。例えば、SNS(ソーシャル・ネットワーク・サービス)など、スマホユーザが敏感に反応しうる媒体への広報活動など、迅速な対応ができることである。また、行政が主体になって実施する場合でも、そのような活動への理解が得られるような関係者間での信頼関係構築は、スマホ調査の成功のためには特に重要である。

(2) 調査のスケジュールリング

本調査、調査の分析、分析結果からの政策提案の検討に至るまでの調査スケジュールを設定する。後述するが、本調査の事前のプレ調査・予備調査がスマホ調査においては重要であり、そのための十分な時間を確保したい。ただ、一方で、迅速性と機動力のある調査の実施も重要であり、多少のミスは多めに見て、それよりも毎年調査を実施して、調査を改善しているという姿勢も許容されるべきであろう。

(3) 調査の予算・費用の検討

スマホ調査は、GPS 機器などの賃貸費用などが不

要であるため、既存のPP調査よりも安価で、大サンプルを取得できることが将来的には期待される。ただし、現時点では、多様な機種でも動作を確認できるアプリの開発費、調査参加者の募集時や依頼時の調査員の人件費、調査参加者への謝礼、データの加工などに費用が要するのが実態である。安価な調査が実施できると安易に期待するのは早まった考えであるが、質の高いデータを取得するには、予算が必要であることは認識するべきと考える。

アプリ開発費、データ処理費などは、調査の固定費に相当する。将来的には、スケールメリットが存在しうるレベルになると、一人のサンプルあたりに費用を大幅に削減しうる調査であることには間違いはない。

通信費用については、初期のスマホの契約はデータ通信量に関しては料金定額プランが多かったが、最近の契約は、データ利用料に応じた料金の場合もある。調査に参加することで追加のデータ通信量などの程度発生するのか、それによる追加の費用については、検討が必要である。このほか、個人保有のスマホのバッテリーを消費することへの対応として、調査参加者に謝礼を準備することが望まれる。

行政が関係した調査で、謝礼を設定する場合には、その額の根拠付け、それを利用することで調査が効率化できることを示す必要がある。また謝礼目当てで複数回参加する層への対応も検討しておく必要がある。

謝礼の設定にも工夫の余地がある。地元商店街の協力を得るために、地域限定商品券を謝礼するという判断もありうる。一般には、Amazon ギフトカードをメールで送信するなど可能であろう。アプリの特殊な機能が利用できるなどもありうる。

5. スマホ・アプリの準備

(1) 利用するアプリの選択

スマホ型交通調査で利用するアプリについては、以下の選択肢がありうる。

- a) 既存の健康管理アプリ・ライフログなど交通調査以外のアプリを利用する
- b) 既存の交通調査アプリを利用する
- c) 新たな交通調査アプリを利用する

それぞれに、メリット・デメリットがあり、以下で整理する。

(2) 既存のアプリを利用する場合

a)の既存の健康管理アプリやライフ・ログアプリは、歩数や移動距離を自動的に判別し、アプリによっては、移動手段まで自動判別するものである。商用アプリとして市場競争を勝ち残ってきたアプリには、アプリの性能も、操作性も極めて優れたものがある。アプリによっては、移動の情報も外部出力できる場合があり、調査参加者に、この外部出力デー

タの提供を依頼するという方法がありうる。ただし、このような利用が、そのアプリで許可されるものなのかどうかは、アプリの利用規約などの確認が必要であり、場合によってはアプリの開発者側とも正式な交渉が必要となるであろう。

この方法の利点は、既にそのアプリのユーザである参加者のデータを膨大に入手できる可能性があることであるが、課題として、無料でデータが利用できるとは限らないと考えられること、個人情報が含まれる交通調査データについて、調査主体が管理し得ない第三者のサーバに蓄積され、データの秘密保持などに責任が持てないこと、交通調査に必要なデータ(トリップ目的など)が不足している可能性があることなどである。

b) 既存の交通調査アプリを利用する方法としては、研究者や、開発者を通じて、既に開発されたアプリを利用させてもらう方法である。質の高いアプリが既に開発済みであれば、それを利用できるのは大きな利点である。課題としては、自分が取得したいデータが、既存のデータで取得できるとは限らないことその他、a)と一部同様なことがありうる。アプリの開発という点に時間と労力を割かなくて良いのは大きなメリットであり、今後促進が期待される。ただ、同様なアプリのみの研究が続くと、本来望ましいアプリ構築の検討はできなくなるため、調査の対象と目的を明確にしておくことが望まれる。

(3) 新たにアプリを開発する場合

c) 新たな交通調査アプリを利用する場合は、アプリ構築の費用と労力がかかる点が大きなデメリットであるが、自由に調査アプリを設計でき、調査データをもとに、サーバも含めたシステムの構築を検討できる点がメリットである。

新たにアプリを構築する際の留意事項をまとめる。新たに構築する場合でも、調査主体の内部で構築する場合と、調査主体外のアプリ開発者の専門業者に委託する場合があります。

i) OS の選択

現時点のスマホの OS は、Android と iPhone の 2 つが圧倒的なシェアを占めており、すべてのスマホ保持者に対応するためには、2 つのアプリを準備する必要がある。ただ、筆者の知るかぎり、現時点では Android 用のアプリの開発と iPhone 用のアプリの開発には、必要なプログラム言語から大きく異なっており、両方を準備するためには、2 倍の労力を要する。また、iPhone 用は、アプリのマーケットである AppStore にアプリを公開するためには、Apple の審査を通過する必要があることに留意が必要である。iPhone5s 以降であれば、バックグラウンドでも加速度センサーが動作するなど、機種に応じて Android と iPhone の機能は、異なっており、関連の専門書や最新の Web ページを確認することが求められる。

ii) 機能設計

交通調査のアプリとしても多様な設計がありうる。出発、到着ボタンをタップのみから、移動手段、移動目的なども入力するものもある。また、常時バックグラウンドで起動しており、対象者の移動を検知して、GPS などを起動させるという方法がありうる。取得したデータについても、スマホから逐次データに送信する仕様、まとめて送信する仕様、データを圧縮して送信する仕様などがありうる。また、取得データを調査参加者が確認した後にサーバに送信する仕様、調査参加者が修正/削除/追加した後にサーバに送信する仕様などがありうる。交通手段や移動目的などを加速度センサーや GIS の位置情報などから自動的に判別する試みもありうる。先行研究や公開されているアプリを参考にすることが求められる。

重要な事は、高度なアプリの構築のためには、より時間と労力を要するが、その類のアプリを調査参加者が必要としているかどうかは別という話である。参加者を増加させるためには、単純なアプリが有効なこともある。

iii) データの取得間隔

GPS の取得間隔、加速度センサーの取得間隔が、スマホ調査において、データの質に影響する設定値であり慎重に定める必要がある。細かい単位で取得したほうがデータの精度は高まるが、バッテリー消費量が多くなるというトレードオフの関係にある。後述するプレ調査において検討すべき事項である。また、都心部の回遊調査なのか、車両の動きを把握する調査なのかで、必要なデータ取得間隔は異なることにも留意が必要である。加速度センサーの情報で、移動・滞在判別などの活動の自動識別を行う予定であれば、設定したデータの取得間隔で分析が可能かどうか事前に確認するべきである。

iv) 機種依存への対応

端末配布型の PP 調査と異なりスマホ調査調査は、参加者自身のスマホを利用するため、それに依存した問題への対応を十分配慮する必要がある。

例えば、省エネルギー設定が端末独自の設計でされている場合、GPS の機能を利用する交通調査アプリは自動的に終了させられる可能性がある。この他、他のアプリとの相性、同様なアプリを動作させていた場合の状況などを確認するべきである。後述するが、プレ調査の段階でなるべく多量の端末で動作確認をしておくべきである。

また端末に搭載されている GPS、加速度センサーの機種・精度によって、位置情報などの精度は異なりうる。以上のことを踏まえると、調査参加者の端末情報を取得できれば調査の質の担保・確認には望ましい。これは、アプリ上で自動的に取得する設定もありうるが、承諾をえることが必要となる場合もあるので、Apple, Google の開発者規約を確認することが必要である。

スマホの OS のバージョンによって、アプリが動作しないことを避けるため、より多く OS のバージョンには対応したい。

また、OS のバージョンによっては、アプリで位置情報を取得するために条件が厳しくなっている場合もあり、最新の開発者向けの情報を確認することが求められる。例えば、プレ調査時には、問題なく動作していたものが、本調査時には、OS の新しいバージョンが公開されて、既存のアプリでは位置情報が取得できないといった事項が発生しうる。調査対象期間にスマホの OS のバージョン・アップが予定されていないかどうか、それへの対応の必要性などを検討すべきである。例えば、Apple の開発者向けの情報をフォローしておく必要がある。なお、これらの最新の情報は英語で提供される場合が多い。

6. 個人情報保護

(1) プライバシー・ポリシー、利用規約などの準備

プライバシー・ポリシー、利用規約については、既存の文書も参考にしながら作成し、それを遵守することが必要である。プライバシー・ポリシー、利用規約は、公開していることが、アプリの審査時に求められる場合もある。必要に応じて、調査の個人情報管理計画を策定し、関連機関の確認を受けることが望まれる。個人情報保護法、自治体の個人情報保護条例、大学等の個人情報保護規則などに従っていることを確認したい。調査の内容によっては、大学内の倫理委員会などを経ることを要求される場合もあり、準備が必要である。可能であれば、弁護士によるリーガル・チェックを受けることも望まれる。

(2) 調査関係者への教育・指導

分析者および分析補助者を含めた個人情報保護への意識を徹底すべきである。事故やトラブルが発生することは、当該調査への影響だけでなく、類似調査への信頼性を損なうことにもつながるため、厳重な注意が必要である。

個人の特定につながりうる自宅の位置情報は、取得後早めに削除し、個人情報となりえないデータで分析を進めることが望ましい場合もある。不必要にデータの一部を削除することは、データの質を低めることに他ならないが、調査の信頼性を確保していくことを最優先すべきである。

大規模な調査を実施する場合に、プライバシー保護については、典型的に質問される内容である。質問者に納得いただけるような、わかりやすく、答えられる準備をすべきである。

7. プレ調査の実施による改良

他の交通調査においても同様であるが、プレ調査、予備調査は、スマホ調査の実施において特に重要である。

(1) アプリの動作確認

アプリの動作確認は、まず、アプリ開発者チーム内で、なるべく多くの端末で動作確認を行うべきである。利用が想定される古い機種や販売されて間も

ない新機種についても確認できることが望ましい。

取得されたデータで、想定している分析を事前にひと通り実施するべきである。例えば、移動滞在判別や、手段判別を調査後に実施する場合に、必要な位置情報の精度や、加速度の取得間隔が十分かを確認するべきである。

プレ調査は、調査対象地域で実施すべきで、建物内外の影響で、GPS 情報がとれるかどうかなどについても事前に情報を整理しておきたい。

以上を踏まえて、このことで、アプリの設定を改良する。

(2) 調査全体のプレ調査

アプリの開発者チーム以外の人に依頼し、調査の依頼から、アプリ動作確認、などの調査一連の流れを体験してもらい、感想や、トラブル事例を収集する。通常の調査参加に必要なデータ通信量をもとに、一般的なスマホのデータ通信料の契約で追加料金などが発生しないのかも確認したい。

調査参加者への依頼もプレ調査を実施するべきである。例えば都心部回遊調査への参加者を当日に勧誘する場合は、どの程度の参加率が見込めるのかが想定できる。また、必要な謝礼なども検討できる。

8. 本調査の実施前・実施時の留意事項

(1) 調査前の調査員の教育

調査依頼や問い合わせ電話への対応を行う調査員への教育が重要である。調査の趣旨を正しく理解し、必要に応じて自分のコトバで説明できるようになっている必要がある。

また、調査員は自分がスマホを利用しており、アプリのインストールなどへの知識をもっていることが望ましいので、大学生などが有望である。Android は、端末によって (アン) インストールの方法が異なり、調査員の入念な教育が必要である。

問い合わせ電話への対応時においても、まず通常の担当者で判断できる内容、少し高度な内容、最終的に調査責任者が対応する内容と分類しておくことが望ましい。また、電話にかぎらず、メールなどでの問い合わせへの、迅速に丁寧に対応できる対応としておく必要がある。

調査のネーミングも重要である。熊本の事例では、「まち歩き調査」では、親しみを持ってもらうことを意図していたが、単に歩けば良いと思われ、普段とは異なる回遊行動をした方も散見された。何を目的にした調査なのかをわかりやすく説明できるネーミングがあると良い。

(2) レンタル端末の有効性

スマホを保持していない層への対応としてレンタル端末貸与は有効である。ただし、どのような端末を準備するかは検討が必要である。Wifi 型のタブレット端末は、GPS 機能を付属しても価格が安く、ス

マホのアプリも動作するため有望に思えるが、データの送信がきちんと行えるかどうかなどの動作確認をしておくべきである。GPS のみの端末では、GPS が起動するまでに時間が要するため、位置情報の精度が一部不十分であった。スマホに付属した GPS 端末では、携帯電話の基地局の情報も利用しながら位置を特定するため、精度が高いが、GPS のみでの位置特定は、時間を要する場合がある。レンタル端末を利用する場合には、盗難防止にも万全を期す必要がある。

(3) 調査実施時の対応

調査期間内においても、アプリの致命的なエラーなどが発生したときへの対応として、アプリの開発者が待機しておく必要がある。ただし、調査期間内において、バグ対応であっても、アプリのバージョン・アップを行うことは原則として避けるべきである。

第一の理由は、バージョン・アップには、開発、アプリの審査、配布に時間がかかることがあるためである。さらに、最新版のアプリにバージョン・アップするかどうかは、ユーザが判断することであるため、バージョン・アップされない可能性もあるためである。

第二に、複数のバージョンのアプリが存在して、得られたデータがどちらのバージョンのアプリであるのかが混同し、分析結果の適切な解釈に影響を与える可能性があるためである。

第三に、バージョン・アップしたアプリに別のバグが混入する可能性があるためである。これは、再度の入念なプレ調査を実施することで対応できる。

判断が難しいのは、プレ調査、予備調査で改良すべき点が発見されたが、本調査までの時間があまりない場合である。アプリ開発者の作業時間確保の見通しを立てて判断することが望まれる。

(4) スマホに不慣れな参加者への対応

以下の様な参加者がいた場合、基本的に依頼は中止するべきである。

- ・ アプリの対応外の古い OS のバージョンを利用している場合
- ・ アプリのインストールに必要な ID、パスワードを知らない場合 (Google account, Apple ID など)
- ・ スマホの容量に余裕が無い場合

参加者自身の保有するスマホで実施するという事は、このように多様な参加者、端末を想定することなのである。

(5) インターネット上での評判への対応

スマホ・アプリの性質上、そのアプリの評価をユ

ーザが容易にアプリのストアなどに書き込める仕組みとなる。

既存の郵送や Web 型の調査では、調査本部への問い合わせがされていた内容を、直接、Web 上でだけでも閲覧できる状態で書き込まれる可能性があることに留意しておく必要がある。

レビューの内容は、好意的なものに限らず、アプリが使いにくいなどの批判的な内容となりうる。これらに対しては、アプリをなるべく使いやすく、かつ使いたいものとするのが、事前にまず求められる。一方で、アプリの改善に関するレビューの内容については、可能な範囲で即時に対応できる体制としておく必要がある。

また、基本的に、Web 上に書き込まれる情報に一喜一憂しない姿勢が調査実施主体側には求められるであろう。

9. 調査後の分析方法・分析結果の公開

(1) サンプリングへの配慮

現時点では、スマホ調査は、ランダム・サンプリングとは程遠いアプローチが取られる事が多い。少なくとも、どのように調査参加を依頼したのかは把握しておくべきと考える。調査を依頼して、拒否された人の大まかな属性だけでも把握しておくこと、本来の母集団に対して、得られたサンプルがどのように偏りうるのかの検討をつけることができる。依頼に対する協力率も把握しておくことと良い。

くまもとまち歩き調査の場合、依頼者 10 人に対して 1 人程度の協力率であった。また、家族連れが参加しやすい、男性成人一人歩きは参加しにくいなどの傾向の情報が、調査員から得られている。これらの調査参加傾向を、システムティックに把握しておくことと良い。

ただ、ランダム・サンプリングでなくとも、有用な分析は行える場合もあることは強調しておきたい。

(2) データの分析公開

多くの関係者の協力のもと実施している場合が多いため、調査結果について、速報的に公開するとよい。特に個人が特定されない分析がされていること、また、そのような分析でも、対象地域の特性を把握するのに、既存の調査では取得が困難な有用なデータが得られていること、政策につながることを継続的に発信できると、再度の調査実施、改善、政策課題への対応がしやすくなる。

第6章 研究成果のまとめと今後の課題・展望

6.1. 3年間の成果のまとめ

(1) スマホ・アプリ配布型交通調査手法の開発とPT調査と連携した調査実施

平成24年度秋の熊本都市圏PT調査と同時に、スマホ型交通調査を実施した。アプリについて、iPhone版とAndroid版の両方を準備し、1万世帯を超える世帯に依頼した試みは、2012年当時において、世界的にも先進的な事例といえる。平成24年度調査では、謝礼を準備できなかったこともあり、参加者は97名にとどまったが、平成25年度は、都心部回遊調査を、スマホ調査型で500円の謝礼を準備して実施し、1,086名のサンプルを確保した。また平成25年度には、貨物車プローブ調査をスマホ調査で実施し、7社21名の参加を得た。

(2) スマホ調査への参加有無を含めた交通調査参加選択行動分析

スマホ調査の結果を母集団に拡大するためには、参加者にどのような偏りが生じているのかなどを精査することが重要である。

この視点で、平成24年度のスマホ調査の参加者を見ると、男性、30～40歳、単身世帯、公的サービス業の従事者が多いことが分かった。また、スマホ調査の参加者の平均トリップ数は、PT調査の平均値よりも高く、これは、属性の偏りを考慮しても高い値であった。

また、PT調査に参加するか否か、参加する場合は、紙媒体で回答するか、Webで回答するか、さらにスマホ調査に参加するかどうかを記述するモデルの構築を試みた。このモデルは、高齢者がPT調査に参加する傾向であること、単身世帯は不参加傾向であることが表現できている。また、低層住居専用地域と中高層住居専用地域に住む人がPT調査に参加傾向で、特に低層住居専用地域に住む人の参加率が高いこと、つまりマンション居住者の調査参加率の低下を間接的に表現したモデルとなっている。

(3) スマホ・アプリの技術的改良・データ分析の検討

スマホ・アプリの技術的改良については、以下の点の検討を実施した。本報告書では割愛しているがBluetooth技術を利用したアプリの省電力化のアイデアを提案し、それを実証している²⁾。また、モビリティ・マネジメントのスマホ・アプリへの展開を示し、歩数計とランキング機能を組み合わせることで、アプリの利用者を増加させようことを示した。

また、スマホ調査結果の特性を活かしたデータ分析として、カーネル密度推定、カーネル移動圏推定、機械学習手法による移動滞在判別についての基礎的な分析を実施した。

平成25年度には、30サンプルを対象に、5日間で、紙調査、Web調査、スマホ調査を比較する調査を実施し、それら調査手法の違いに伴う結果の違いについての考察を深めた。

(4) スマホ調査のガイドライン案の作成

平成24～26年度の3年間で実施したスマホ調査の経験をもとに、他の類似調査の参考となるガイドライン案を作成した。スマホ調査の実査で検討すべき課題は、アプリの設計・開発・公開法、スマホのバッテリー問題、スマホに不慣れな参加者への対応、個人情報保護の考え方、貸与型端末の有効性、アプリのバグへの対応、機種依存問題、謝礼の考え方などがある。これらは、国内外のスマホ調査の研究でも共通の課題としてとらえられている場合がおおく、調査の経験を共有することが重視されていることを確認した。この経験の共有においても構築したガイドライン案をたたき台にして検討することが有効と考えられる。

(5) 発展的利用者均衡モデルの実用化と改良提案

平成24-25年度の研究として、短期の予測の利用を前提としたトリップ・チェーン型均衡モデルを長期の予測に利用可能とするための考え方を提案した。平成26年度は、委託研究の内容から外れているため、

本報告書には記載していないが、2時点のPTデータを利用して、提案手法を検証する方法を提案し、実際に熊本都市圏のデータで検証も試みている³⁸⁾。

(6) 高度な交通分析技術を理解する専門家の人材育成

本研究プロジェクトと連携して実施していた熊本都市圏PT調査の関連の会議・打合せを含めると、地元行政担当者、コンサルタントなどとの打合せ等を、3年間で延べ150回程度実施している。これらの打合せ等によって、スマホ調査に限らず、高度な交通調査・分析・予測技術に対する理解度の向上につながっていると期待される。

6.2. 今後の課題・展望

(1) 回遊行動データなどスマホ調査結果を利用した活動行動分析の高度化

都心部回遊行動データ分析については、スマホ調査データの特性を活かしたより高度な分析が可能である。移動・滞在判別についても、より詳細な活動分類での判別や、滞在時間モデルについても、離散・連続モデルの適用などが挙げられる。必要な加速度データの密度や、教師データの作成法などについて、平成25年度の調査データから得られている教訓も多いため、それを反映した継続的な調査実施も望まれる。

(2) 調査参加選択モデルの応用

調査参加選択行動分析は、交通調査の回収率が全国的に低い状況において、無回答バイアスの影響精査のためにも、より取り組むべき価値のある研究テーマである。本プロジェクトで提示した方法は、全国他都市でも適用可能である。他都市での適用検討との比較分析なども興味深い。また、参加選択モデルを利用した調査結果の拡大方法についても検討を深める必要がある。

(3) アプリの技術的改良：自動入力・簡易入力・スマホ上での情報修正

本研究で開発したのアプリは、時刻と緯度経度、加速度情報を取得するのみであったが、交通手段やトリップ目的等の属性情報を自動的に付与するための技術開発に取り組みたい。加速度センサーからの情報から交通手段を判別する先行研究は存在するが、バス・鉄道の路線図情報などの既存の多様な情報、過去の自己の移動軌跡(属性付与済み)を利用した移動属性を付与する技術に取り組みたい。誤った情報が含まれる移動軌跡について、スマホ上での修正や削除を可能とする機能を付与させたい。また、加速度センサーの利用により、移動の発着の入力漏れを防ぐ機能も実装することが望まれる。

また、留学生の母国での交通調査アプリの活用や、外国人観光客への周遊調査に向けてアプリを多言語

化することも有効であろう。

(4) 調査に参加するインセンティブ付与のあり方の検討

健康増進アプリとの連携など、交通調査アプリを利用することが被験者に直接的にメリットとなるような仕組みを検討したい。スマホ上でポイントが付与されるなど、スマホならではの仕組みがありうると考えられる。本年度に提示した、ランキング機能などのゲーミフィケーションの機能を導入することはスマホ・アプリと親和性が高いと考えられる。

(5) スマホ調査の経験の共有によるガイドライン案の改訂

現在、国内外でスマホ型交通調査の研究は活発に行われているが、共通の課題も多い。調査実施の経験や課題解決に向けた取り組みを共有することが重要である。本報告書で提示したスマホ調査のガイドライン案をたたき台として、よりより交通計画/交通政策立案に向けた、望ましいスマホ調査の可能性と限界の整理を行うことが望ましい。関係者の議論をもとに、ガイドライン案を改訂し、公開していくことが、スマホ調査への信頼感を高めることにもつながると考える。

参考文献

- 1) 石田東生: 危機にある大規模交通調査, 交通工学, Vol.46, No.2, pp.1~2, 2011.
- 2) 野原浩大朗, 円山琢也: スマートフォン型交通調査の開発・試行・改良, 第 48 回土木計画学研究発表会・講演集, #132, 2013.11
- 3) 井村祥太郎, 松田佳佑, 野原浩大朗, 円山琢也: スマートフォン型交通調査の参加者の属性と意識分析, 第 48 回土木計画学研究発表会・講演集, #133, 2013.11
- 4) 円山琢也, 平原雄太郎: スマホ調査を実施した PT 調査における調査参加選択行動モデルの構築, 第 49 回土木計画学研究発表会, 2014.6.
- 5) 高橋勝美, 平見憲司, 森尾淳, 西野仁: 我が国のパーソントリップ調査の無回答状況とその要因に関する考察, 第 39 回土木計画学研究発表会・講演集, #283, 2009.
- 6) 円山琢也: スマホ・アプリ配布型大規模交通調査の可能性, 交通工学, Vol. 48, No. 1, pp. 4-7, 2013.
- 7) 井村祥太郎, 松田佳祐, 野原浩大朗, 円山琢也: スマートフォン型交通調査の参加者の属性と意識分析, 第 48 回土木計画学研究発表会・講演集, 2013
- 8) 小嶋文, 久保田尚: 調査主題への関りからみたサイレント層の生成と特徴-地区交通問題に関する調査を対象として-, 土木学会論文集 D, Vol. 64, No. 3, pp.367-379, 2008.
- 9) 小嶋文, 久保田尚: 社会科学分野におけるサイレント層研究の現在と交通計画への適用, 第 39 回土木計画学研究発表会・講演集, 2009.
- 10) 張峻屹, 土屋善之, 藤原章正: 自主申告型交通行動調査の受容性, 交通工学, Vol. 46. No. 2, pp.37-42, 2011.
- 11) 山本俊行, 森川高行: 地域間競争を考慮した買物頻度モデルの構築, 都市計画論文集, 48(3), 459-464, 2013.
- 12) 山形 耕一: パーソントリップ調査における調査不能誤差と層別拡大に関する研究, 土木学会論文報告集, No.343, pp.121-129, 1984.
- 13) Maruyama, T., Mizokami, S., and Hato, E.: A smartphone-based travel survey trial conducted in Kumamoto, Japan: An examination of voluntary participants' attributes, *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting Compendium of Papers*, #14-0997, Washington D.C. 2014.
- 14) 円山琢也, 照屋尚大: 選挙投票率と PT 調査参加率の比較分析, 第 51 回土木計画学研究発表会, 2015.
- 15) 伊藤創太, 羽藤英二: 観測規模と精度が異なる PT/PP データを同時に用いた活動場所選択モデル, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 46, 2012.
- 16) Ito, S. and Hato, E.: Combined estimation of activity generation models incorporating unobserved small trips using probe person data, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 10, p.525-537, 2013.
- 17) 円山琢也, 宮原進, 三ヶ尻祐司, 佐藤嘉洋: 郵送型 PT 調査における動的な予備調査票の投入手法の提案, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号(特集号 B), pp.B_76-B-81, 2015.2.
- 18) 野原浩大朗, 福所誠也, 井村祥太郎, 円山琢也: スマホ・アプリを利用した熊本都心部回遊調査の分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, 2014.
- 19) 荒木雅弘, 溝上 章志: まちなか回遊行動の詳細分析と政策シミュレーションのための予測モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, 2013.
- 20) 溝上章志: まちなかでの回遊行動を測る-調査と分析方法のフレームワーク-, 都市計画, Vol.63, No.6, pp.64-67, 2014.
- 21) 西野至, 西井和夫: 京都観光周遊行動データを用いたハザード閾数型滞在時間モデル, 都市計画論文集, 35, pp. 727-732, 2000.
- 22) 辰巳浩, 堤香代子: 福岡市都心部における休日の回遊行動に関する研究: JR 博多シティの開業にともなう回遊行動および意識の変化, 都市計画論文集, Vol.48-3, pp. 951-956, 2013.
- 23) 氏原岳人, 阿部宏史, 入江恭平, 有方聡: 二極の特性の異なる商業エリアを有する中心市街地内の回遊行動の実態分析:岡山市の中心市街地を事例として, 都市計画論文集, Vol.49-3, pp.801-806, 2014.
- 24) 古谷 知之: 携帯型位置情報端末を用いた観光行動動態の時空間データマイニング: 箱根地域を事例として, 都市計論文集, Vol.41-3, pp.1-6, 2006.
- 25) 大山雄己, 羽藤英二: ボロノイ分割ネットワークを用いた逐次移動-滞在選択モデル, 都市計画論文集, Vol.48-3, pp.1107-1112, 2013.
- 26) 大山雄己, 福山祥代, 羽藤英二: 活動欲求を考慮した離散-連続モデルによる小滞在発生メカニズムの分析, 都市計画論文集, Vol 49-3, pp. 375-380, 2014.
- 27) 井村祥太郎, 佐藤貴大, 円山 琢也: スマホアプリ型回遊調査のデータ特性と SVM による移動滞在判別の基礎分析, 第 50 回土木計画学研究発表会, 2014.
- 28) 総務省情報通信政策研究所「平成 25 年 情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査」平成 26 年 4 月
- 29) 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, 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
- 30) 神馬豪, 石田宏実, 木下裕司: 顧客を生み出すビジネス新戦略ゲーミフィケーション, 2012.
- 31) 平川貴志, 松田真宜, 山本郁淳, 有村幹治, 仲田田: クラウド型プローブパーソンシステムの交通課

- 題への適用とその応用可能性, 土木計画学研究・講演集, Vol. 47, 2013.
- 32) 中野 達也, 山本 彰, 小林 寛, 橋本 雄太, 高宮 進: スマートフォンを活用した自転車通行実態調査に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 2013.
- 33) 松島敏和, 橋本浩良, 高宮進: スマートフォンによるプローブパーソン調査の高度化に向けた移動手段判別手法の開発, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, 2014.
- 34) Cottrill, C., Pereira, F. C., Zhao, F., Dias, I., Lim, H. B., Ben-Akiva, M. and Zegras, C. Future Mobility Survey: Experience in Developing a Smartphone-Based Travel Survey in Singapore. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2354, pp.59-67, 2013.
- 35) Transportation Research Board's Travel Survey Methods Committee. *The On-line Travel Survey Manual: A Dynamic Document for Transportation Professionals*, Chapter 26 Using Smartphones for Travel Behavior Studies, <http://www.travelsurveymanual.org/>
- 36) Nitsche, P., Widhalm, P., Breuss, S., Brändle, N. and Maurer, P.: Supporting Large-scale Travel Surveys with Smartphones – A Practical Approach, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 43(2), pp. 212-221, 2014.
- 37) 以下, 10th International Conference on Transport Survey Methods 2014 における関連発表リスト <https://www.regodirect.com.au/isctsc10>
- Fang Zhao, Ajinkya Ghorpade, Francisco Pereira, Christopher Zegras and Moshe Ben-Akiva: Stop detection in smartphone based travel surveys, #51.
- Lara Montini, Andreas Horni, Nadine Rieser-Schüssler and Kay W. Axhausen: Comparison of Automated Travel Diaries Generated from Smartphone Data and Dedicated GPS Devices, #88.
- Richard Ellison, Adrian Ellison, Stephen Greaves and Chris Standen: Harnessing smartphone sensors for tracking location to support travel data collection. #16.
- Kalan Nawarathne, Fang Zhao and Francisco Pereira: The impact of GPS based outdoor activity detection on smartphone battery life. #87.
- Rudi Ball, Kalan Nawarathne, Rui Baltazar, Francisco Câmara Pereira, Chris Zegras and Moshe Ben-Akiva: Battery Patterns and Forecasting in a Large-scale Smartphone-based Travel Survey, #97.
- Thi-Huong-Thao Pham, Philippe Marchal, Jean-Loup Madre and Jimmy Armoogum: How to improve GPS post-processing with additional information?, #147.
- Stephen Greaves, Richard Ellison, Adrian Ellison, Dean Rance, Chris Standen, Chris Rissel and Melanie Crane: A Web-Based Diary and Companion Smartphone app for Travel/Activity Surveys. #21.
- Catherine Morency and Pierre-Leo Bourbonnais: Patterning Web Respondent Behaviours from 10 Web-based Origin-Destination Surveys. #121 .
- João de Abreu E Silva, Francisco Pereira, Fang Zhao, Christopher Zegras and Moshe Ben-Akiva: The implementation of information-based mobility management measures in a smartphone travel survey. Conceptual and methodological issues related with its design. #103.
- Hamid R Safi, Mahmoud Mesbah and Luis Ferreira: Comprehensive Framework for a Smartphone-based Prompted-recall Travel Survey. #4.
- Carlos Carrion, Rudi Ball, Francisco C. Pereira, Maya Abou Zeid, Moshe Ben-Akiva and Chris Zegras: An econometric analysis of the differences between a smartphone-based survey and a traditional travel survey. #85.
- Martin Berger, Mario Platzer and Rudolf Schamberger: Field evaluation of a smartphone-based travel behavior data collection app “SmartMo”. #95.
- Tom Thomas, Karst Geurs, Marcel Bijlsma and Maarten Streefkerk: Evaluation of travel behaviour data collected by smartphones: first results of the Dutch Mobile Mobility Panel project. #86.
- Ajinkya Ghorpade, Shuang Shuang, Fang Zhao, Francisco C Pereira, P. Christopher Zegras and Moshe Ben-Akiva: Quality of web based prompted recall responses in smartphone based travel survey. #96.
- Stephen Greaves, Mark Davis and Stephen Roddis: Improving recall of travel using smartphone capabilities #20.
- João de Abreu E Silva, Francisco Pereira, Fang Zhao, Christopher Zegras and Moshe Ben-Akiva: The implementation of information-based mobility management measures in a smartphone travel survey. Conceptual and methodological issues related with its design. #103.
- 38) 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, 第 35 回交通工学研究発表会, 2015.8.