

スマホ・アプリを利用した 熊本都心部回遊調査の分析

野原 浩大朗¹・井村 祥太朗²・福所 誠也³・円山 琢也⁴

¹正会員 熊本県庁 (〒862-8570 熊本市中央区水前寺6-18-1)

²学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)
E-mail: 134d8804@st.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 佐賀県庁 (〒840-8570 佐賀市城南1-1-59)

⁴正会員 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)
E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

紙面による交通調査の代替手法として、スマートフォン(スマホ)・アプリ型交通調査が開発・試行されている。調査対象者の募集法、謝礼の設定法なども含めて、この新たな調査手法の留意点・課題整理が求められている。2013年冬に熊本市中心市街地の来街者を対象に、対象者自身のスマホを利用した熊本都心部回遊調査が実施された。本研究の目的は、この調査結果から、スマホ・アプリ型の交通調査の可能性と課題を整理し、そのデータを利用した分析を行うことである。具体的には、取得した回遊軌跡データから、移動・滞在判別手法と移動圏域算出手法を提案し、生存時間モデルで回遊時間をモデル化する。そして、参加者の属性による移動圏域、回遊時間、謝礼への意識の違い等を示す。

Key Words : *smartphone-based survey, reward policy, downtown walker survey, duration model*

1. はじめに

紙面による交通調査の代替手法として、スマートフォン(スマホ)・アプリ配布型交通調査が国内外で開発・試行されている。GPS型携帯電話などの位置計測機器を利用したプローブ・パーソン調査(以下、PP調査)の研究¹⁾と実務への適用は、日本が世界に先行した分野であるが、スマホ・アプリ型PP調査は、さらなる展開が期待されている。

スマホ型PP調査は、調査対象者が普段利用しているスマホの画面で、配信サイトから調査アプリをダウンロードし、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量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PP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期待されている²⁾。

一方で、調査対象者の募集法、謝礼の設定法なども含めて、この新たな調査手法の留意点・課題整理が求めら

れている。

2012年秋に、熊本都市圏パーソントリップ調査(以下、熊本PT調査)と連携してスマホPP調査が試行実施された。また、2013年冬には、熊本市中心市街地でまちなかを回遊している人を対象に、スマホを用いた熊本都心部回遊調査(以下、くまもとまち歩き調査と呼ぶ)が実施された。この2つの調査は、調査参加者自身のスマホを利用している。PP調査で参加者自身のスマホを利用した事例は限られており、その経験等の蓄積・共有が求められる³⁾⁹⁾。

そこで、本研究は、スマホ・アプリを利用した実施したくまもとまち歩き調査の企画・実施と結果の基礎分析を報告することを目的とする。また、参加者のスマホで得られたPPデータの分析手法として、移動・滞在判別手法を提案し、くまもとまち歩き調査で取得したPPデータを用いた分析例を示す。また、この調査に対する調査参加意識を分析する。スマホPP調査においてどの程度の謝礼が必要か、どのような広報手段が有効かの傾向を把握する。さらにスマホPP型調査と既存の紙調査の比較や課題を整理することも試みる。

2. 回遊調査概要

本章では、スマホ・アプリ型で行ったくまもとまち歩き調査および、そのプレ調査の概要をまとめる。

(1) まちなか回遊プレ調査概要

スマホ型回遊調査を行う上でどのような問題点・課題があるかを事前に把握するためにプレ調査を実施した。

a) 調査内容

携帯端末やタブレット端末がどのくらいバッテリーを消費するか、また地下や建物内に入った時のGPSの挙動を確認する。スマホ (iPhone, Android端末) 及びタブレット端末 (Nexus7) が回遊を行っている際にどれだけバッテリーを消費するのか、またGPSの精度はどれくらいで取得できるのか確認する。

b) 調査方法

Nexus7を4台、iPhone 2台、Android 2台に交通調査用のアプリをインストールし、実際にアプリを利用し回遊行動を記録する。この際、各端末は事前に充電を行い、バッテリー残量を最大にしておく。調査開始とともにバックグラウンドで動作させ、5分ごとにバッテリーの消費を確認し記録する。また実際の行動記録を地図に記入し、観測された軌跡データとの比較を行う。実際の回遊行動の際に考えられる地下通路や店の中の観測がどのようになっているのかを検証する為に、このような箇所を多く通過することにし、観測データとの違いをみる。

c) 調査に用いたデバイス

調査に用いたデバイスについての詳細を表-1 に示す。今回の調査に用いた端末は大きく3つのグループに分けられる。タブレット端末であるNexus7、スマホのiPhone5とAndroid端末の3種類である。Nexus7とAndroidはトランスフィールド社作成のアプリを用い、iPhone5は熊本大学の円山研究室で開発したものをを用いる。

今回のスマホ調査に用いたスマホEとGについては試用期間が1年を超えているためバッテリーの持ちが若干悪くなっていることが考えられる。Nexus7は同時期に一括で購入したため、バッテリーの消耗についてはほ

表-1 プレ調査に用いたデバイス一覧

	デバイス	備考
A	nexus7	
B	nexus7	
C	nexus7	
D	nexus7	
E	iPhone5	試用期間1年
F	iPhone5	試用期間5ヶ月
G	Android	試用期間2年
H	Android	試用期間3ヶ月

ぼ変わりがないと想定される。

(2) くまもとまち歩き調査概要

a) 調査モニター

今回調査では調査モニターを事前登録型と当日登録型の2通りで募集した。事前登録型はポスターやチラシに記載されたURLやQRコードから登録サイトにアクセスし、事前に性別や年齢等の情報を登録した上で参加する方法である。当日登録型は調査当日にまちなかの駐車場や駐輪場、公共交通乗降場で20人/日程度の学生による調査参加依頼(まちなかキャッチ)を行い、現地で登録サイトにアクセスし参加してもらう方法である。どちらのモニターにも登録時にIDとパスワードが割り振られ、IDから個人属性の区別を行う。

b) 調査方法

調査のメインはスマホアプリの「スマくま」を用いた位置情報の取得である。参加者個人のスマホにアプリをインストールしてもらい、スマホのGPS機能を活用し、測位を行う。スマホを所持していない高齢者を中心とした方々にはタブレット端末(Nexus7)の貸出を行い調査に参加していただいた。出発時にボタンを押してもらい調査中はアプリを起動した状態で回遊を行う。回遊終了後にまちなか4箇所(主な来街入り口付近、図-1)に設けられたポートに立ち寄ってもらい、アプリの到着時にボタンを押してもらう。

また、スマホ調査への意識を調べるため回遊終了後のポートにてヒアリングによる事後アンケートも行う。ポートでは、粗品(まちなかで使える500円の商品券、くまモンボールペン)の受け渡しを実施して調査が終了となる。

c) 調査日程

調査は2013年11月23, 24, 30日、12月1, 7, 8日の計6日間の週末に行われた。まちなかキャッチは午前10時から午後5時を基本に行われ、ポートは午前10時から午後7時の間で開かれていた。いずれの日も天候に恵まれ、まとまった雨や雪などはなかった。

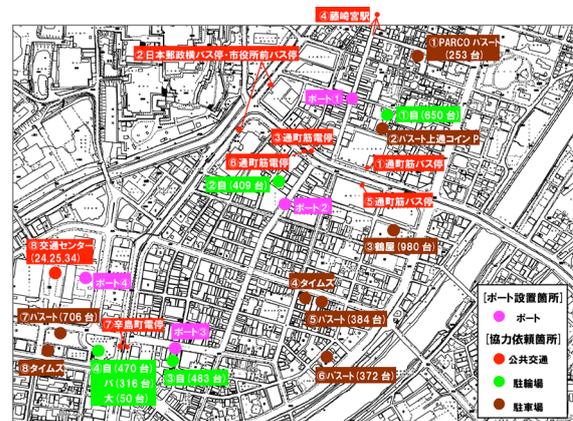


図-1 ポートの位置



図-2 調査広告用ポスター

表-2 OS別の取得情報

	iPhone	Android
取得情報	緯度 経度 時刻	緯度 経度 時刻 加速度
対応 OS	iOS5.0～	Android2.2～
位置情報更新	10m 毎	10秒 毎

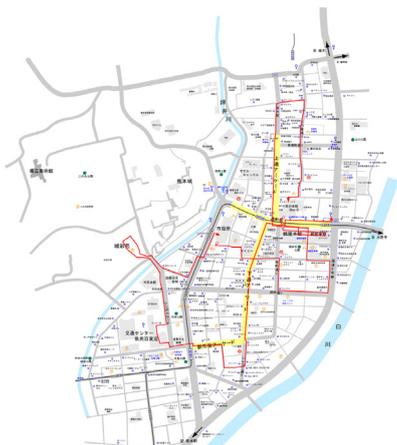


図-3 プレ調査の実際の移動経路

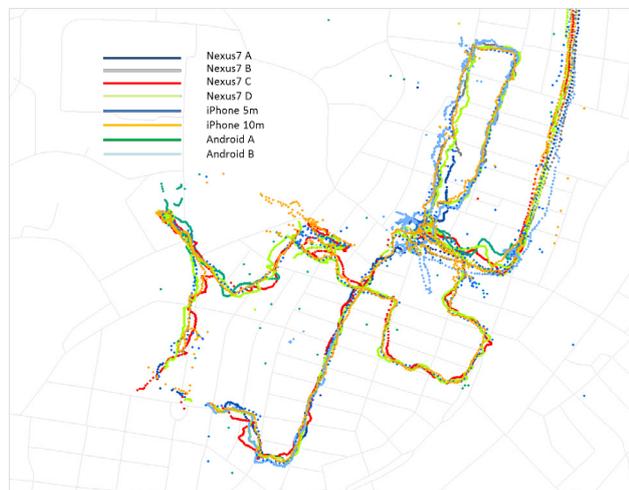


図-4 全デバイスの位置情報

d) 広報

調査を行うにあたり、大学関連の施設を中心として事前に多様な手段で広報を行った。図-2が広報用のポスターである。今回、公共交通機関の各事業者に協力頂き、バスや市電の車内や停留所に張り出しを行っている。また、熊本日日新聞の記事への掲載、熊本の情報配信アプリ「くまロケ」やFacebookでの告知も行われている。期間中(11月30日)には、くまモンによるまちなかでの広報が行われ、くまモンtwitterによる調査の発信もしている。また、プレ調査の際にも多数の方にチラシ配布を行い周知を図った。

(3) アプリケーションの設定

回遊 PP 調査で使用予定の調査用アプリを OS 別に、基本的な取得情報や設定の違いを表-2 に整理した。両アプリは更新方法が異なり、iPhone 版は 10m 移動するごとに位置情報を更新し、Android 版は一定時間ごとに位置情報を更新する。

3. プレ調査データ分析

プレ調査を行うに当たり、GPS による位置取得に影響が及ぼされると予想される地下通路やアーケード、高層ビルが密集した道を回遊し、特徴や誤差の検証を行った。本章で、それぞれの端末や影響を与えると予想される場所について分析を行う。

(1) 移動経路とGPSデータの比較

a) 全端末の取得情報の比較

プレ調査で実際に通った移動経路を図-3 に示した。また、全デバイスで取得した移動軌跡は図-4 のように表された。全体的には移動の軌跡もある程度の精度で取得れており、実際の移動経路を読み解くことができる。また、実際と離れた位置にプロットされてしまう現象がたびたび発生していることも確認された。

b) 影響を与える場所の分析

取得情報から、アーケードでは精度が落ち、5m～10m 程度の誤差で位置情報が取得されている。特に、上通りアーケードでその傾向が顕著にみられた(図-5)。また、地下通路の移動時には、位置情報更新が止まり、Android 版では地下通過後も位置情報の更新をしないなどの影響を受けやすいことがわかった。これは回遊調査で建物内の地下等を移動した時点から回遊情報が取得できないことが考えられる。

次に、建物内における位置情報の特徴としては、観測が中断され、間違った場所で観測が行われるなどの現象も起きやすいことも確認された。

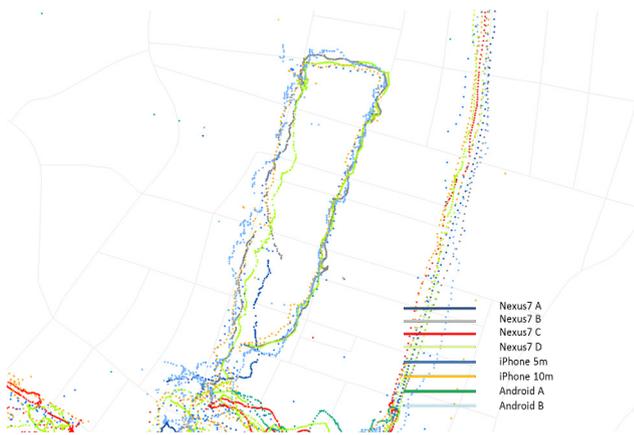


図-5 上通りの位置情報

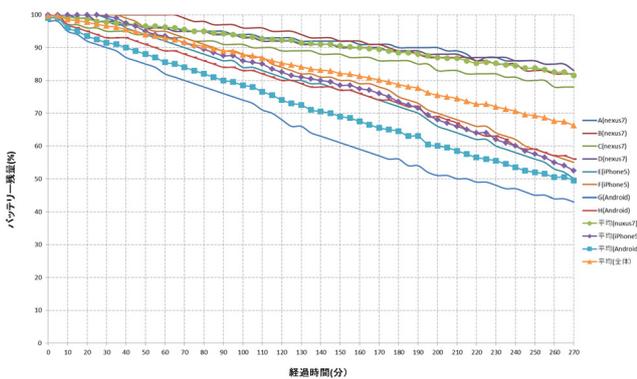


図-6 経過時間とバッテリー残量の関係

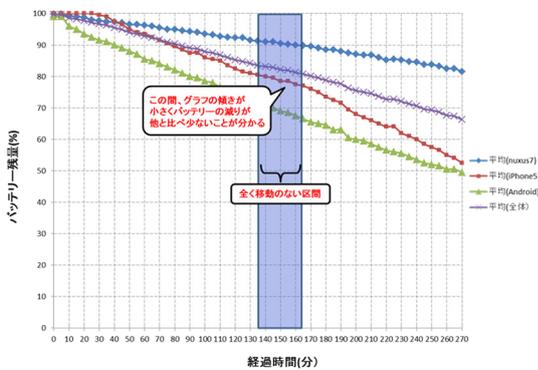


図-7 OS別バッテリー残量の変化

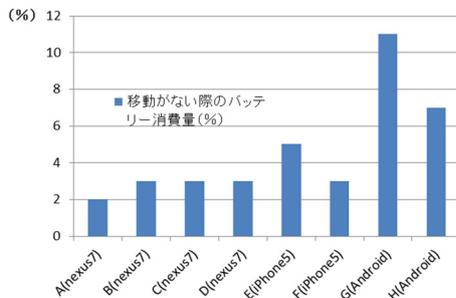


図-8 滞在時の端末毎のバッテリー消費量の比較

(2) バッテリー消費の比較分析

今回のプレ調査では9台の端末を使用してバッテリー

の消費量に関する調査も実施した。2012 年秋に実施されたスマホ PP 調査における参加者アンケートでもスマホのバッテリー消費が特に懸念される点として指摘されていた。2013 年冬の熊本回遊 PP 調査では、調査協力者のスマホを使用するため、調査用アプリのバッテリー消費が端末によってどの程度違いがあるのか検証した。この調査では、1) バッテリー残量 100%の状態から開始、2) 徒歩で中心市街地を回遊、3) スマートフォンの画面は 50%の明るさに設定、4) バックグラウンドで動作するアプリは削除、5) 5 分毎にバッテリー残量の確認、という 5 点を条件に検証を行った。

今回実施した検証では、図-6 からバッテリーの消費が一番小さいのはタブレット型端末の Nexus7 であった。次いで iPhone5/Android 端末であった。まず、Nexus7 のバッテリー消費が小さいのは、タブレット型端末であり、使用できる総バッテリー量が多いからだと考えられる。スマホのバッテリー消費に関しては、基本的に iPhone 版アプリが Android 版アプリよりもバッテリーの消費に関しては優れていることがわかった。これは、アプリの更新の設定が影響していると考えられる。10 秒毎に更新する Android 版アプリは 10m の移動毎に更新する iPhone 版アプリより、滞在時の更新頻度が多いため、その分バッテリーを消費している。

一方、バッテリー残量において特徴的な点を列挙すると、測定開始から 135 分後から 165 分後に着目すると iPhone 端末におけるバッテリーの減りが他の地点と比べ少なくなっていることが図-7 よりわかる。この時間帯は唯一全くの移動が無い区間であり、10m の移動毎に位置情報の更新を行う iPhone 端末は、理論上更新をしないため、他よりバッテリー消費が小さいと言える。よって、街中の回遊では行動パターンとして、食事や休憩等で移動をしないことが考えられるため、決められた時間毎に位置情報を更新する手法よりも、移動距離に応じた更新が、バッテリー消費の面から回遊調査に適していると考えられる。

次に、滞在時における端末毎のバッテリー消費量を比較した(図-8)。この結果から、Nexus7 と iPhone5 のバッテリー消費は小さく、Android スマホはバッテリー消費が大きい。これは図-7 でも示したように、iPhone 版アプリと Android 版アプリの設定の違いが影響していると推測される。

今回の検証における位置情報の取得時間は約 270 分間であり、回遊 PP プレ調査による消費電力は全体平均で 35%程度であることから約 13 時間弱の回遊行動に耐えることがわかる。しかし、調査協力者の端末を使用するため、許容できるバッテリー消費量は限られており、その点もアンケート等で調査する必要がある、結果次第では外付けバッテリーなどの準備が必要となる。また、

表-3 日別サンプル数

11/23(土)	11/24(日)	11/30(土)	12/1(日)	12/7(土)	12/8(日)
124	211	203	247	136	166

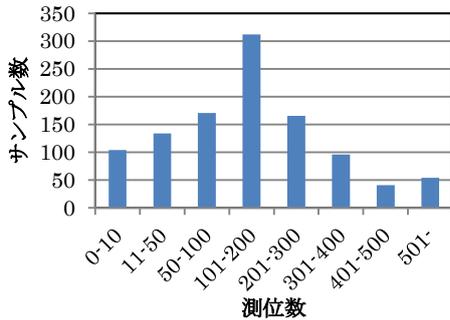


図-9 測位数とサンプル数の関係

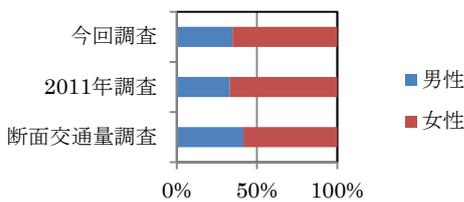


図-10 性別来街割合

注) 2011年調査の出典¹⁰⁾

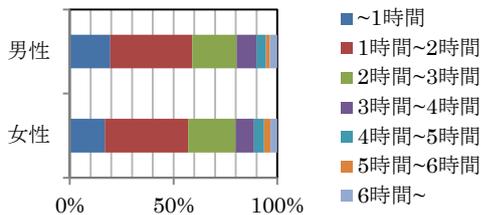


図-11 性別来街滞在時間割合

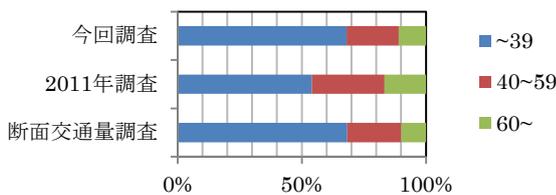


図-12 年齢層別来街割合

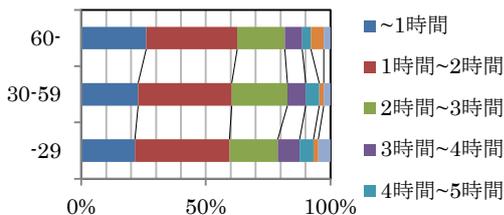


図-13 年齢層別滞在時間割合

常にバックグラウンドで位置情報を取得することでバッテリーの消費を削減すること等の対策が重要であることが確認された。

(3) プレ調査まとめ

プレ調査で確認できたことを以下に示す。

- ・Nexus7 の GPS 機能を用いて移動軌跡を取得できた。
- ・Android 版では地下通路通過中からそれ以後、位置情報の更新がされない場合が確認された。
- ・上通りアーケード内は取得精度が落ちる。
- ・建物内での位置情報は、全ての端末で取得できない。
- ・バッテリーの消費に関しては、Nexus7 が一番バッテリーの持ちがよく、iPhone、Android スマホのバッテリー消費は最大で約 13 時間弱程度であった。
- ・アプリの更新設定は距離規定の方が、回遊行動の調査では有用である。

4. くまもとまち歩き調査データ分析

(1) 参加者属性の基礎集計

今回の調査の目標サンプル数は 6 日間合計で 1,000 としたが、1,086(事後アンケートまで終了のサンプルのみ)のデータを取得することができた。表-3 に日ごとのサンプル数を示す。全体的に日曜日が多い傾向が見られる。今回調査では 12 月 7 日にサンプル数の少ない場所への人員移動および 12 月 8 日に商品券の数を合わせるための調整が行われている。2011 年の紙による回遊調査(2011/11/23(日))¹⁰⁾では 1 日で 608 のサンプルが取得されていることと比較すると本形式での調査では 1 日あたりに取得できるサンプル数は少ないことが分かる。

また、緯度・経度・時刻などのデータをひとまとまりとしたものを測位数 1 する。図-9 に示すように測位数が 10 以下の不良サンプル数が 6 日間合計で 104 ある。このサンプルについては調査参加者のスマホの機種に依存した省電力設定などの影響の可能性が指摘できる。出発・到着の自動化やデータ送信の設定などアプリの改良やアプリの使い方の注意喚起などが今後必要とされる。

(2) 参加者の属性と特徴

参加者属性については事前登録時と事後アンケート時に集計を行った。以下に傾向について述べる。

a) 性別

性別に関する属性情報を図-10に示す。男女比では女性の割合が高く、2011年の回遊調査の傾向とも合致する。また、まちなかでのキャッチにおいて女性の方が協力傾向にあった。性別の滞在時間分布については図-11に示すように男女差はほとんどなかった。

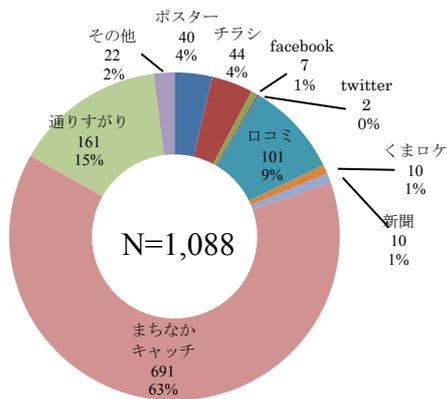


図-14 調査を知ったきっかけの分布

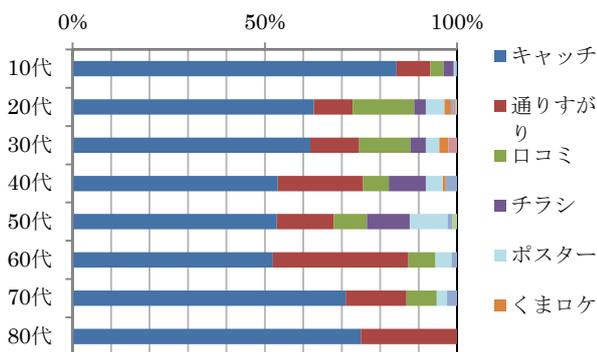


図-15 年齢別の調査を知ったきっかけ

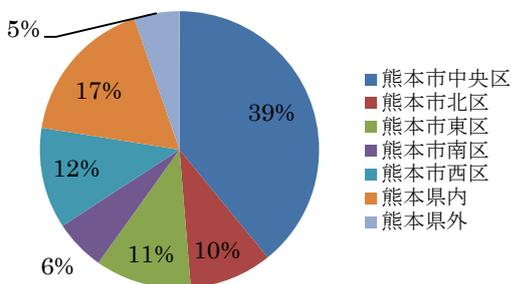


図-16 参加者の居住地

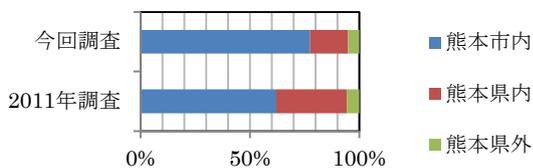


図-17 参加者の居住地の比較

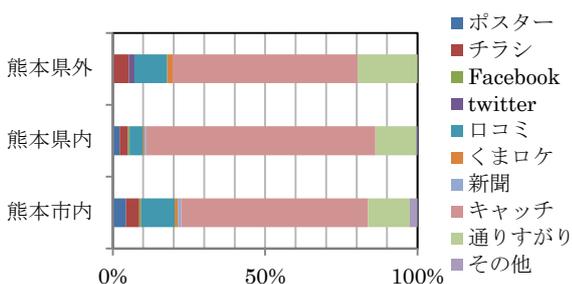


図-18 参加者の居住地と広報手段

b) 年齢

年齢層については図-12に示すとおり16-39歳の層が半分以上を占めており、2011年の回遊調査よりも割合が高い。また、断面交通量調査の割合とも一致する。これはまちなかにいる若年層がもともと多いこととスマホに慣れ親しんでいるため調査に参加しやすいことが要因である。交通手段が自転車の参加者が多いことも若年層が多いことにつながっている。図-13は年齢層別の滞在時間割合である。若年層ほど滞在時間が長い傾向にある。

c) 広報・依頼方法

調査終了時のアンケートでどのように調査を知ったのかを参加者に尋ねたところ、図-14に示すように6割以上がまちなかでのキャッチ(20人/日程度の学生によるバス停や駐車場等での調査参加依頼)によるものであった。これは直接的に協力を促すことで参加への意欲が湧き、調査員の説明があるため気軽に参加することができるからである。一方でポスターやチラシなど事前の広報による参加は1-2割程度に留まり、効果が薄かった。スマホ・アプリ型の調査はまだ広く周知されていない手法であり、関心を持った方しか事前の広報では参加しないという傾向が伺える。年齢層ごとの調査を知ったきっかけについて図-15にまとめる。ポスターやチラシは40から50代の層には効果があったものの若年層や高齢層には効果が薄い。

d) 居住地

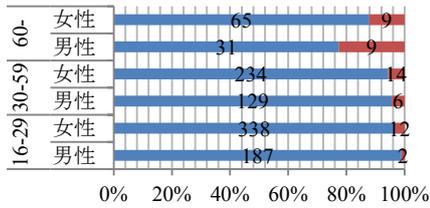
図-16より参加者の居住地は熊本市内で8割弱を占める。図-17に示すように以前の回遊調査においては6割強であったことを踏まえると、熊本市内の参加者割合が多い。広報手段との関わりを見ると図-18から分かるように熊本市内に居住している場合はポスターやチラシなどの広報手段で調査に参加しているが、その他の県内や県外となるとほとんどがまちなかでのキャッチによるものである。事前の広報の効果は市内で留まってしまい、遠隔地では効果が薄いことが分かる。

(2) 参加意向影響分析

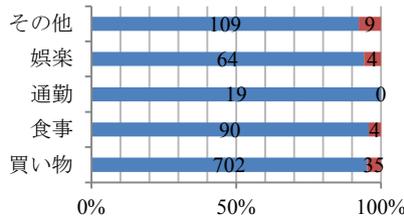
調査終了後、参加者に対し調査に関するアンケートを行い、来年度同様な調査をすると仮定して、以下の内容を探った。

- 1) 謝礼あり(500円の商品券)のスマホ調査と謝礼なしの紙調査の場合、どちらに参加するか。
- 2) (謝礼あり時スマホ調査に参加の方は)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。

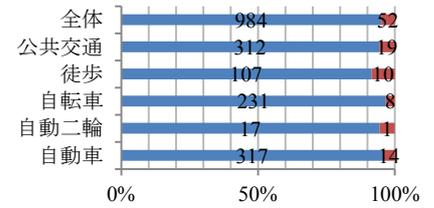
以下に回答結果と傾向について述べる。



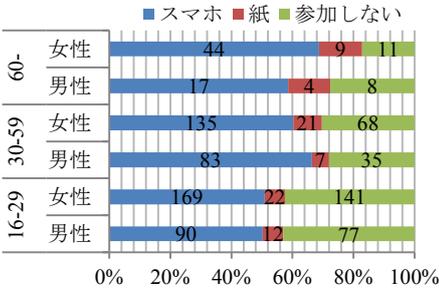
a) 謝礼あり



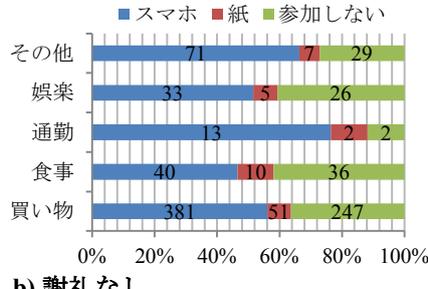
a) 謝礼あり



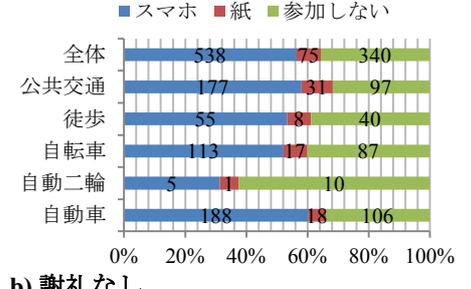
a) 謝礼あり



b) 謝礼なし



b) 謝礼なし



b) 謝礼なし

図-19 性年齢別の調査参加意識

図-20 来街目的別の調査参加意識

図-21 交通手段別の調査参加意識

a) 性年齢別

性年齢別の調査参加意向について図-19に示す。謝礼なし時に若年層において調査に参加しない傾向が見られる。ここで帰無仮説を年齢層での回答の比率について、有意水準を5%として比率の差の検定を行う。謝礼あり時に16-59歳の層と60歳以上の層に分け検定を行うと、比率に差があると認められる ($p=2.4 \times 10^{-8}$)。また、謝礼なし時に16-29歳の層と30歳以上の層に分け調査するか否かでも差が認められる ($p=1.3 \times 10^{-6}$)。一方男女差に関しては、差異が認められなかった。

b) 来街目的

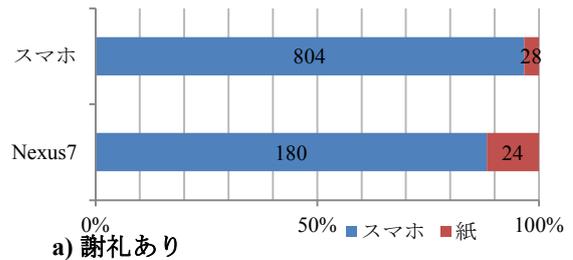
来街目的別の調査参加意向について図-20に示す。来街目的ごとに調査参加意識に差があるか分散分析を行った。謝礼ありの場合に来街目的がスマホ調査と紙調査の選択に影響するかは、有意差がないと判断された ($p=0.22$)。謝礼なしの時は調査に参加するか否かについて来街目的が影響していると判断された ($p=0.042$)。

c) 交通手段

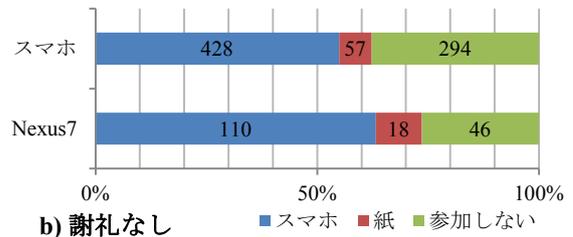
交通手段別の調査参加意向について図-21に示す。謝礼あり時に交通手段の違いは、スマホ調査と紙調査の選択に有意な影響は認められなかった ($p=0.26$)。謝礼なし時は、有意差が認められた ($p=0.046$)。

d) 貸与端末の影響

端末の貸出を行った参加者の調査意識についても分析を行ったところ、謝礼あり時では貸出の方が参加協力度が低く、謝礼無しでは高いという結果となった。(図-22) 今回のタブレットは大きく重いものであったため、参加者にとって煩わしく、謝礼があっても紙調査の方が楽だという意識が生まれてしまったことが要因として考



a) 謝礼あり



b) 謝礼なし

図-22 端末別の調査参加意識

えられる。どちらも謝礼なしの場合は、バッテリーの心配をしなくてよいタブレットの方がスマホ調査への参加意識が高い。

(3) PPデータの基礎分析

b) 測位誤差の分析

くまもとまち歩き調査で得られた取得データには測位誤差が含まれている。これはまちなかはアーケードやビルが立ち並び、GPS機器で取得するため影響を与えるためである。今回観測された測位誤差の分布は図-23に示した。また、まちなかの場所における測位誤差の特徴を視覚化するため、測位誤差が比較的小さい5m以下の測位点と測位誤差が100m以上の観測点をの分布を図-24

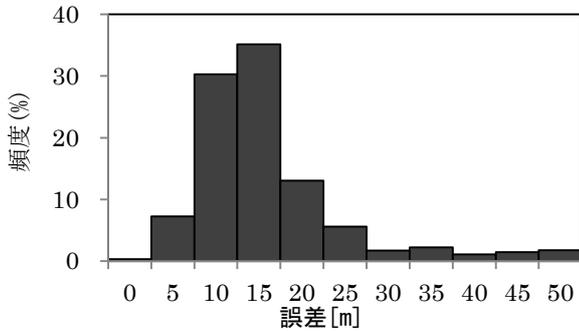


図-23 測位誤差と観測割合

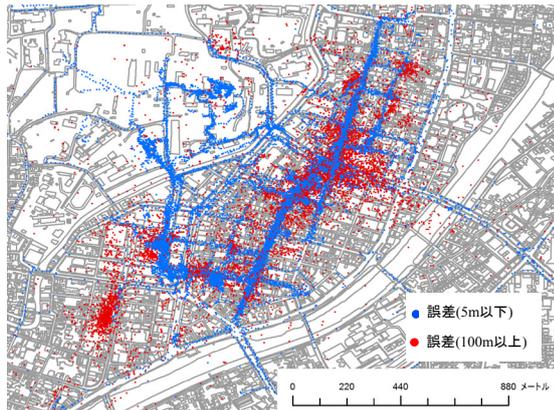


図-24 測位誤差別観測点

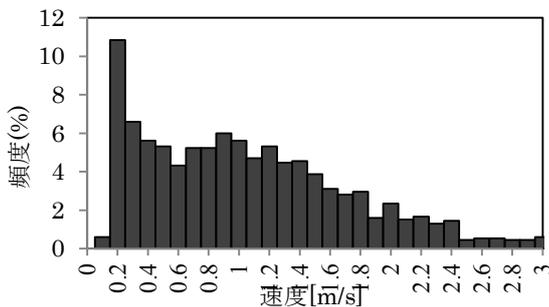


図-25 平均移動速度と観測割合

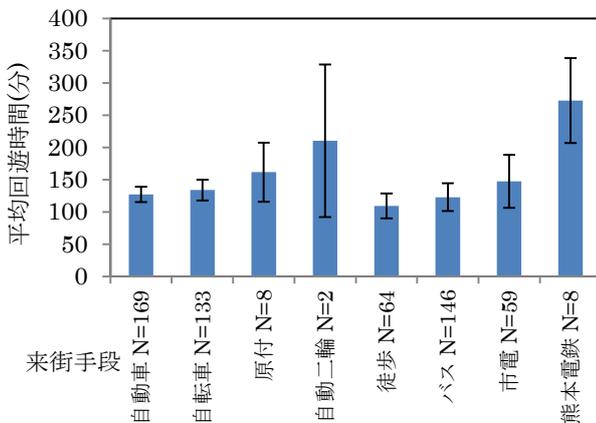


図-26 来街交通手段別回遊時間

に示した。結果としては、平均測位誤差は 13.9mであった。スマホの機種別の情報は取得していないので、端末による測位誤差の特徴は取得データから分析できなかった。図-24 より、アーケード内においても測位誤差が大きいデータと小さいデータがあり、特に大きな測位誤差が目立つことが分かる。また、ビルが密集する通丁筋や交通センター付近で測位誤差が大きい傾向がある。

c) 平均旅行速度の分析

Android 端末で取得した調査参加者の平均旅行速度は 1.15m/s であった。サンプル毎に得られた平均旅行速度を図-25 に示した。このデータでは調査参加者の平均歩行速度は算出できないため、移動と滞在を区別することによって移動時のみのデータから平均旅行速度を計算する必要がある。

(3) まちなかにおける回遊時間分析

くまもとまち歩き調査で取得した Android のデータの回遊時間を用い分析を行った。この回遊時間はアプリの出発ボタンを押してから到着ボタンを押すまでの時間の合計である。ここでは前述の回遊時間にはまちなかを回遊する際の移動時間と滞在時間を合計したものとす。

まず、図-26 に来街交通手段別の回遊時間を示した。熊本電鉄での来街者が回遊時間が一番長く徒歩が短いことがわかった。また、公共交通機関で来街した調査参加者より、自動車や自転車、原付など個人所有の交通手段で来街した人が回遊時間が長い傾向にある。

次に、来街目的別の回遊時間を図-27 に示した。結果として、買い物より食事目的の人が回遊時間が長い傾向があり、観光・娯楽を目的として来街した人の回遊時間が長かった。それに加え、目的数と回遊時間の関係を図-28 に示した。その結果、目的数が多いほど回遊時間も長くなる傾向がわかった。図中で、“I” は 95%信頼区間を指す。

出発時間別の回遊時間を図-29 に示した。結果として、午前中に出発した人が回遊時間が長い傾向があった。最も回遊時間が長かった時間帯は 14 時頃であった。しかし、14 時過ぎから回遊時間は徐々に短くなっていることがわかった。これはくまもとまち歩き調査の各ポートの開設時間が午前 10 時から午後 7 時であり、それまでにポートに立ち寄るように伝えたことが原因として考えられる。年齢・性別と回遊時間を以下の図-30 に整理した。この結果、女性より男性の方が平均回遊時間が長いことがわかった。各世代別では、10 代、20 代では男性の方が回遊時間が長く、30 代、40 代では女性の回遊時間が長かった。特に 50 代と 60 代以上の高齢者に関しては、男性の方が回遊時間が長いことがわかった。

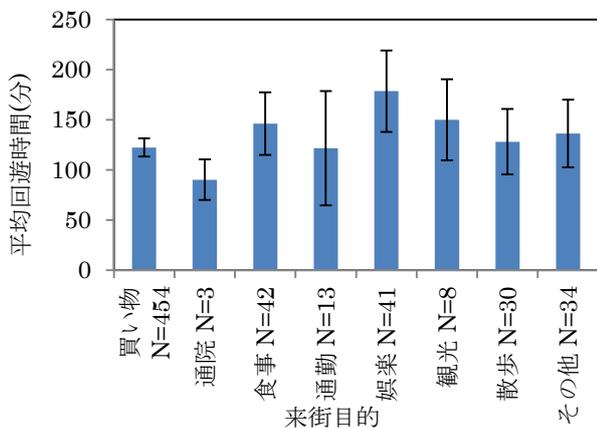


図-27 目的別の回遊時間

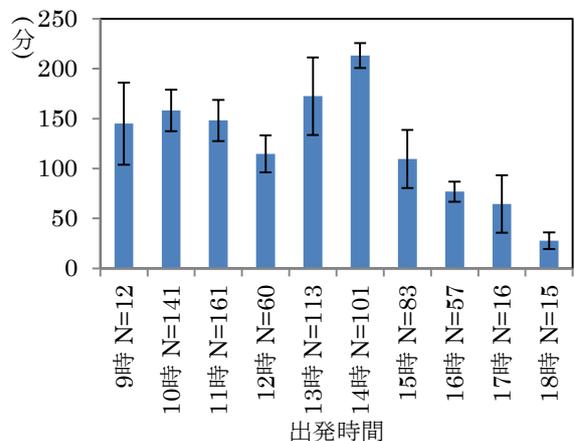


図-29 出発時間別の回遊時間

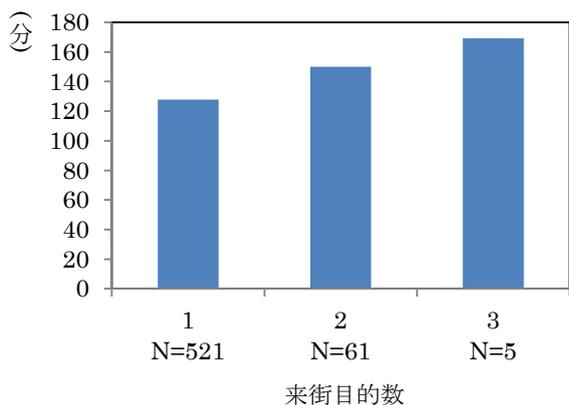


図-28 目的数別回遊時間

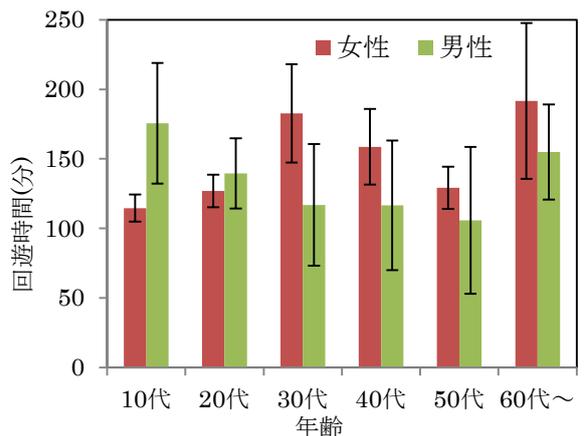


図-30 性別年齢別の回遊時間

居住地とまちなか回遊時間の関係について、図-31より、今回の調査対象地である熊本市居住者と市外の人を来街時間帯別に比較した。結果として、市外居住者の回遊時間が市内居住者より長いことがわかった。また、午前と午後では午前の方が回遊時間が長い結果となった。このことから、来街するために要する負担を考慮すると、移動距離が長い市外居住者は頻繁に来街することが難しいため、回遊時間が長くなっていると考えられる。一方、市内居住者は移動距離が短く、中心市街地までの公共交通機関が整備されているため、来街に要する負担が小さく、頻繁に来街することが比較的容易である。したがって、来街者の居住地と来街時間が回遊時間に影響を与えていると考えられる。

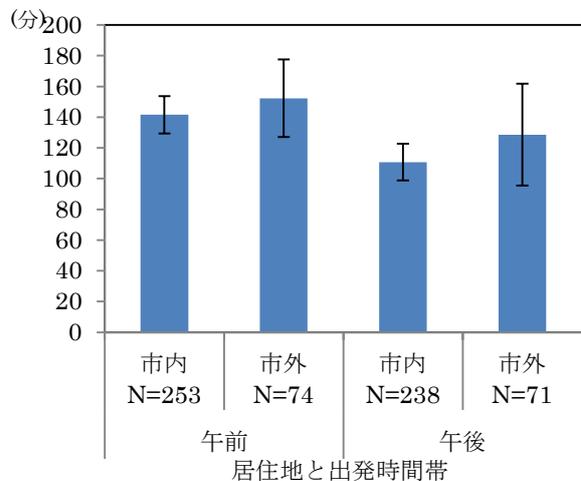


図-31 居住地別回遊時間

6 スマホPPデータを基にした移動・滞在判別

(1) 移動・滞在判別手法の概要

a) 位置情報による判別

まず、観測データ n_i から前後 f 点の2点間の距離 d が判定距離内にあるとき、観測データ n_i を滞在と判別する。また、観測された前後 f 点が観測データ n_i の測位誤差 σ の範囲内にあるとき、観測データ n_i を滞在と判別する。一方、観測データ n_i から前後 f 点の2点間の距離 d が判定

距離より大きい場合、移動と判別する。また、観測された前後 f 点が観測データ n_i の測位誤差 σ より大きい場合には移動と判別する。この位置情報による判別手法の概要を図-32に示す。移動と滞りの2種の状態を表-4に記載した。移動は歩行や走行（小走りや全力疾走を含む）など足での移動を指し、滞在は食事や買い物時の静止区間とみなした。

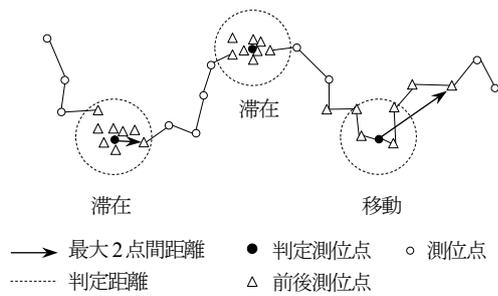


図-32 移動・滞在判別手法の概念図

表4 移動と滞りの定義

状態	対象区間
移動	歩いた区間, 1分以内の信号待ち等も含む
滞在	食事や買い物での静止区間, 食事中などで体からスマホが離れた場所に置いた

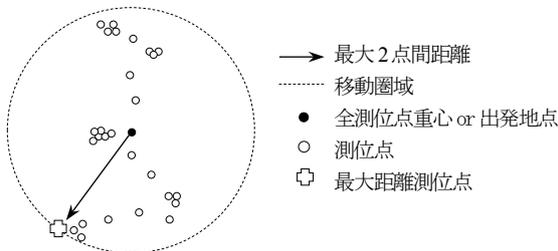


図-33 移動圏域算出手法の概念図

さらに、移動と滞りの判別後に1分以内の滞在はすべて移動として処理する。そして、移動時間と滞在時間で各サンプル毎に集計する。

b) 加速度による判別

観測された3軸加速度のデータ処理として、池谷ら¹¹⁾に従い、重力加速度の除去を行う。次に、正規化した3軸合成加速度ベクトルを閾値 U によって移動と滞りの判別を行う。このときの閾値については次の項で検証する。また、移動については1分以内の信号待ちなども含むため、1分以内の滞りに関しては移動と判別する。

c) 移動圏域算出手法

観測データから来街者の移動圏域を算出する2つの提案手法を以下に述べる。1つは、全観測点の重心から最大2点間距離を移動圏域とする方法である。もう一方は、来街場所である出発地点から最大2点間距離を移動圏域とする方法である。このとき、前後2点間の移動速度が5m/s以上の観測点および、2点間の距離が100m以上の観測データは除去した。これにより測位誤差を移動圏域として算出することを除去した。(図-33)

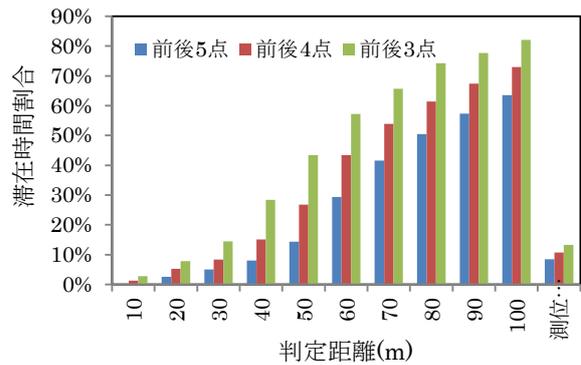


図-34 判定距離別滞在時間割合

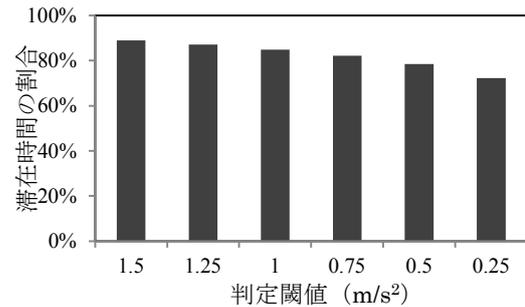


図-35 判定閾値別滞在時間割合

(2) プレ調査データへの移動・滞在判別分析の適用

本節では、2013年11月10日に実施したプレ調査で取得した10サンプルのデータを基に、前節で説明した手法を用いて分析する。

a) 位置情報を基にした移動・滞在判別

判定距離として基準観測点からの距離が10m~100mの10m間隔で設定した。また、基準観測点の測位誤差で判定をし、移動と滞りを判別した。その滞在時間が回遊時間に占める割合を図-34に示した。その結果、判定距離が長くなるにつれて滞在時間が占める割合は大きくなっている。しかし、測位誤差で判別をした場合は前後の点の数にかかわらず、回遊時間に占める割合は10%程度となった。

b) 加速度情報を基にした移動・滞在判別

加速度データから3軸合成加速度を計算し、重力加速度ベクトル除去後のデータを使用した。判定閾値として0.25~1.5m/s²の間で0.25間隔で移動と滞りを判別した。この結果を回遊時間に占める滞在時間の割合として図-35に示した。これより、判定閾値が小さくなるにつれて回遊時間に占める割合は小さくなるのがわかる。

ここで、2つの手法を比較したときに、判定閾値0.25のときに、回遊時間に占める滞在時間の割合が70%となる。一方、位置情報を基にした判別手法では、判定距離が70m~90mとなっていることがわかった。

移動・滞在判別の手法について、今後より検討を進めたい。

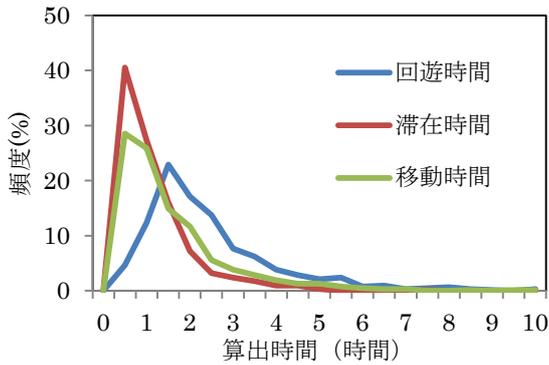


図-36 移動・滞在判別後の回遊時間

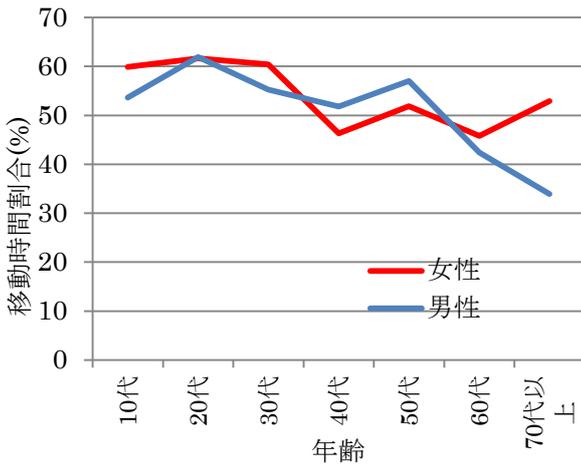


図-37 性別年齢別移動時間割合

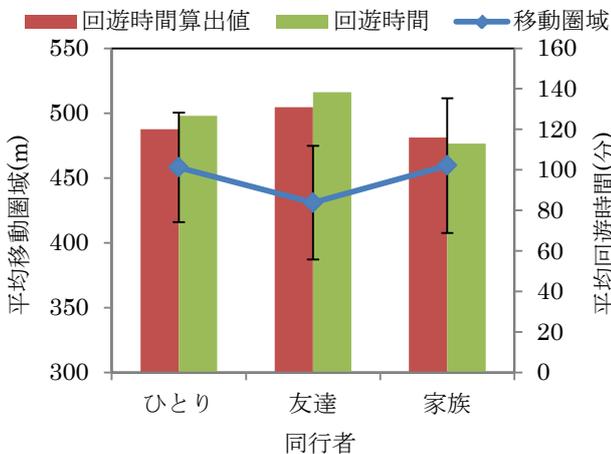


図-38 同行者別回遊時間と移動圏域

(3) PPデータをもとにした滞在時間分析

本研究では、位置情報を基にした移動・滞在判別手法を用いて、くまもとまち歩き調査で観測したPPデータを分析する。

まず、データクリーニングを行う。人間が歩く一般的な速度は1.5m/s程度であり、まちなかを5m/s以上で回遊するデータは一般的ではないため、それらの観測点を除去したデータを分析に用いる。次に、本研究での移動・滞在判別の判定距離は70mに設定し、各サンプル毎の滞

在時間と移動時間を算出した。これらの滞在時間の分析結果を以下に述べる。

サンプル毎に集計した移動・滞在時間を合計した値を回遊時間とし、それぞれの算出結果を図-36に示した。滞在時間と移動時間は1時間前後で一番多く算出されていることがわかる。また、多くが2時間から3時間程度回遊しており、4時間以上の回遊は少ないことがわかる。

年齢別の回遊時間に占める移動時間の割合を図-37に示した。この結果、高齢者ほど回遊時間の内、移動に占める割合が低くなっていることがわかる。このことより、高齢者の回遊行動として、20代や30代の若い世代よりまちなかを回遊していないことがわかる。

次に、同行者と滞在時間、移動圏域について述べる。図-38に示したように、ひとりで来街した人と家族で来街した人は友達と来街した人 비해回遊時間が短いことがわかった。また、移動圏域では友達と来街した人が短かった。このことより、友達と来街した人は狭い圏域に長く滞在する傾向があるといえる。その他、移動・滞在判別後にそれぞれの項目の回遊時間を算出した結果とAndroid端末で取得した回遊時間に差があるが、データクリーニング等で除去したデータが影響していると考えられる。

次に、年齢と移動圏域の関係について分析した結果を図-39に示した。来街者の平均移動圏域は約532mであった。これは測位誤差も含まれているため、真値より大きく算出されると考えられる。そのため、実際の移動圏域は平均移動圏域の値より小さいと言える。図-39より年齢が上がるにつれて移動圏域は狭くなっている。また、滞在数については特に変化は見られなかった。前述の滞在箇所数把握手法で算出した滞在箇所を来街者の目的地とすると、滞在箇所数を帰宅トリップを除いたまちなかで発生したトリップ数として考えることができる。これにより、連続した観測データから位置情報と時刻から調査対象者のトリップが把握でき、さらなる交通調査手法の展開が期待される。

主要交通施設別(バス停、電停、駅)の来街者の移動圏域を図-40、図-41に示した。水道町で降車した人の移動圏域が大きく、辛島町電停や郵政局前で降車した人の移動圏域が短いことがわかった。また、熊本電鉄の藤崎宮駅で降車した人の移動圏域が大きい原因として、駅から商店街の中心部まで距離があるため、移動圏域が大きくなっていると考えられる。

スマホPP調査では、紙調査では調査参加者にとって負担であった地図への記入や行動を思い出して答えることなく、移動圏域や滞在箇所、短いトリップを観測データから把握できる。また、詳細な来街時間や出発地点、移動・滞在時間も把握できることからスマホPP調査は調査対象者への負担を少なく実施できている。

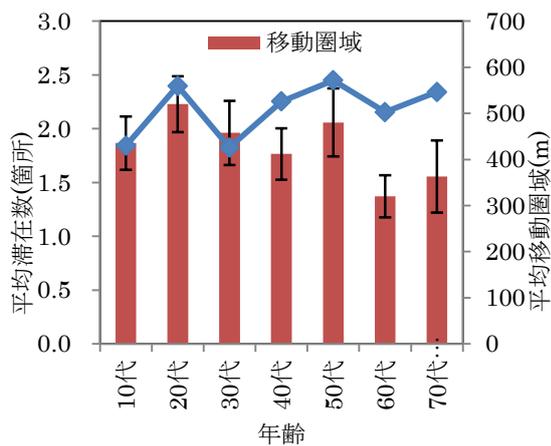


図-39 年齢別の移動圏域・滞在箇所数

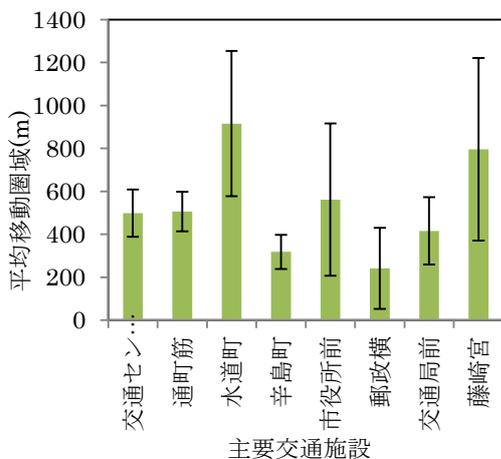


図-40 主要交通施設別の移動圏域

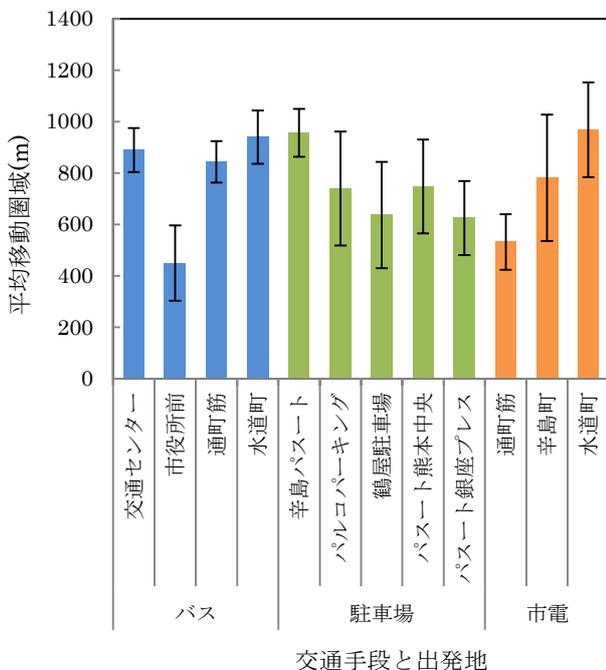


図-41 主要交通施設交通手段別移動圏域

(4) スマホPPデータを基にしたまちなか回遊時間時推定モデル

a) 滞在時間モデル

回遊時間を求めるために、ワイブル分布を仮定した生存関数を利用し、回遊時間モデルの構築を図る。生存関数とは、生存状態から時間 t が経過した後に死亡状態へ移行する割合を算出する関数である。これより、生存状態をまちなかに滞在している状態、死亡状態をまちなかを離れる状態と考えると、来街した時刻から時間 t の経過と共に減少した滞在者の人数を表現できる。

時点 t において個人 n がまちなかにいる確率 $S(t)$ は以下になる。

$$S(t) = \exp(-\lambda t^\alpha) \quad (1)$$

よって、ある時点 t において個体 n がまちなかから離れている確率 $F(t)$ は次式で表わされる。

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t^\alpha) \quad (2)$$

また、その確率密度関数は次式で表わされる。

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

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、この値が大きくなるほど滞在時間が短くなることを示す。パラメータ λ は分布の形状を決める形状パラメータであり、この値が小さいほど、早い時間に急激にまちなかから離れる確率が高くなることを示す。一般的な生存関数では指数分布を用いるが、本研究では分布の形状を決定する形状パラメータを考慮することができ、滞在時間を詳細に表現できるワイブル分布を仮定する。 $\alpha > 1$ の場合、ハザード比は時間の経過と共に増加する。一方、 $\alpha \leq 1$ の場合ハザード比は時間の経過と共に減少する。 $\alpha = 1$ の場合は指数分布で、ハザード比は一定である。

本研究では、既存研究¹²⁾を参考に、上記のパラメータ λ を以下のように定式化した。

$$\lambda = \exp(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n) \quad (4)$$

ここで、 x_i は現在時刻や個人属性などの説明変数である。

b) 滞在時間モデルの推定結果

取得したすべての参加者における滞在時間モデルを推定した。推定結果をみると、分布の形状を決める形状パラメータには、説明変数として出発時刻、市外ダミー、友達ダミー、年齢、性別、定数項を入れている。パラメータが正であるほど滞在を打ち切りやすい(滞在時間が短くなる)ことを意味している。形状パラメータは小さ

い値になるほど早期に急激にまちなかから離れる確率が高くなることを意味する。表-14の推定結果より、居住地が市外の早い時間に来街した人ほど回遊時間が長くなることを示している。これは、前述した図-31の結果と同じ傾向を示している（表-5）。

表-5 回遊時間推定モデル推定結果

説明変数	推定値	t値
市外ダミー	-0.1423	-2.128
性別ダミー	0.0646	1.091
年齢	0.0667	0.3875
友達ダミー	-0.0760	-1.181
出発時間	1.975	6.587
定数項	-1.912	-9.834
形状母数 α	1.415	-12.67
最大対数尤度	-1071	
サンプル数	648	

この推定結果を基に、くまもとまち歩き調査で取得した実測値と理論値を比較した（図-42）。特徴としては、実測値の回遊時間は1.5時間をピークに減少している。一方、回遊時間推定モデルから推定した回遊時間では、1時間前後をピークとして緩やかに減少している。また、理論値は実測値よりも回遊時間を30分程度短く表現していることもわかった。今後さらに改良を進めたい。

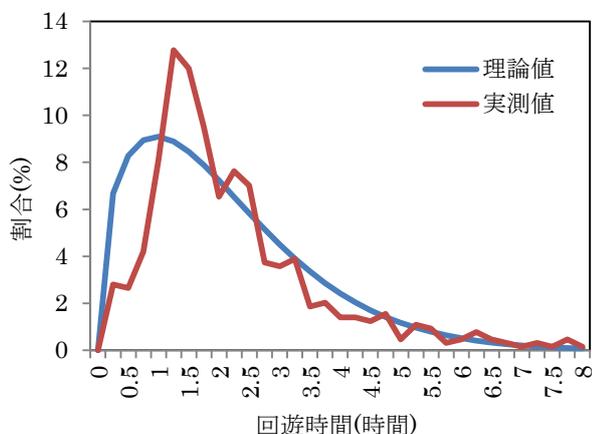


図-42 推定値・実測値の回遊時間分布

7. 結論

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) 2012 年秋の熊本 PT 調査と連携して実施したスマホ PP 調査のアプリを、都心部回遊調査においても利用できる仕様に改良した。
- 2) スマホ・アプリを用いた 2013 年の熊本都心部回遊調査を実施し 1086 サンプルのデータを取得した。
- 3) 取得したスマホ PP データの分析手法として、位置情報と加速度情報を用いた移動・滞在判別手法を提案し、

算出した値の特徴や課題を示した。また、滞在箇所数を把握することで、取得が難しかったまちなかでのトリップの算出ができるようになった。

- 4) まちなかの行動実態を把握するための移動圏域算出手法を提案し、年齢や出発地別の移動圏域の変化を示した。
- 5) まちなか滞在時間を推定するモデルを構築した。
- 6) 丁寧な依頼と謝礼を準備することで、スマホ・アプリ型調査でも大規模なサンプルを確保できることが分かった。
- 7) 調査への参加意識に関しては、謝礼の有効性が参加者の属性ごとに差異があることを示した。
- 8) タブレット端末を貸し出すことがスマホを所持していない高齢者のサンプルの取得に有効であることを示した。

今後の展望としては、費用を抑えながらも効率的に調査参加者を増やすことが必要となる。今回の調査では用紙などの費用が抑えられた一方、広報や謝礼、人件費で同等以上の費用がかかっている。また、調査自体やアプリに関しても改良の余地がある。課題と対策について今回調査よりわかったことをまとめると、

a) 謝礼

謝礼に関しては多くを望んでいない方もいるため、費用を抑えながらも謝礼の種類を準備することで参加者の満足感を得ることができると考える。特に、謝礼に対しての反応が大きい若年層や友達と来街している方向けに考慮した対策を考える必要がある。

b) 広報

効果的な広報とするため、能動的に見る必要性が高い費用を抑えることが重要である。ポスターやチラシによる効果は大きくなかったことと調査内容の周知が十分でなかったことを考慮すると、定期的かつ大規模な説明会や結果報告を行うことが有効と考えられる。広報手段として 40 代、50 代は他の年代と比べ、チラシやポスターを見て調査に参加していることがわかった。

c) アプリ

参加者がより操作を分かりやすく楽しむことのできるアプリの画面や機能の追加・変更、“いいね!”ボタンや画像投稿、コメント等との組み合わせによる調査内容の充実などが期待される。

その他の今後の課題として、調査対象者の負担が少ない調査手法を開発すること、提案した移動・滞在判別手法は測位誤差や移動状態を考慮せず、画一的に判別をしているため、スマホで取得した加速度情報を組み合わせたより詳細な移動・滞在判別手法の開発すること、スマホ PP データを用いた各種分析手法を検証し、調査の実施からデータ分析までの一体的なスマホ型交通調査を確立し展開することが挙げられる。

謝辞：熊本スマホ PP 調査の共同実施機関である熊本県土木部道路都市局都市計画課・熊本市都市建設局都市政策課の皆様，及び国土交通省道路局新道路技術会議による研究助成に感謝します。また，調査員として協力いただいた熊本大学学生諸氏，調査実施全般の協力をいただいた熊本大学 佐藤嘉洋氏，(株) 福山コンサルタント熊本事務所の皆様，(株) トランスフィールドにも深謝いたします。もちろん本稿の内容に含みうる誤りの責任は筆者のみにあります。

参考文献

- 1) Hato, E. Development of behavioral context addressable loggers in the shell for travel-activity analysis, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 18(1), pp. 55-67. 2010.
- 2) 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.
- 3) 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, 2013.
- 4) TRB Travel Survey Methods Committee: “The On-line Travel Survey Manual: Chapter 26 Using Smartphones for Travel Behavior Studies”, <http://www.travelsurveymanual.org/>. (2013年5月閲覧)
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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, Rio de Janeiro, Brazil, #3242, 2013.7.
- 9) 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, 2013.
- 10) 溝上章志: 商店街歩行者通行量及び消費・回遊動向調査報告書, 2012
- 11) 池谷直紀, 菊池匡晃, 長健太, 服部正典: 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク 108(138), 75-80, 2008.07.10.
- 12) 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関数型滞在時間モデル, 都市計画論文集, 35, pp727-732, 2000.

(2014. 4. 25 受付)

ANALYSIS OF VISITOR'S BEHAVIOR SURVEY IN DOWNTOWN KUMAMOTO USING SMARTPHONE APPLICATION

Kotaro NOHARA, Shotaro IMURA, Masaya FUKUSYO and Takuya MARUYAMA

Smartphone-based travel surveys are developed and conducted as alternative to paper-based survey. The points of attention and challenge for this new survey should be summarized including recruiting method of participants and reward policy. We conducted visitors' behavior survey in downtown Kumamoto in winter 2013 using owners' smartphone. The objectives of this paper are 1) to summarize the possibilities and challenges of smartphone-based survey by this experience and 2) to analyze the collected data. We propose a move-stay detection method and a move-area computation method and estimate a duration model of stay in downtown area using the data. Finally we show how the move-area, duration of stay, and reward effects differ by participants' attributes.