スマートフォン型交通調査の開発・試行・改良

野原　浩大朗[1]・円山　琢也[2]

[1]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丁目39番1号）
E-mail:121d8821@st.kumamoto-u.ac.jp

[2]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丁目39番1号）
E-mail:takumaru@kumamoto-u.ac.jp

2012年秋に，熊本都市圏パーソントリップ調査と連携してスマホPP調査が試行実施された．その際のアンケートでは，調査対象者のスマホを利用するため，バッテリー消費を懸念する声が多かった．今後，スマホ型PP調査の実用化に向けて，対象者の抵抗が少ない低消費電力型への改良が求められる．

そこで，本研究は，スマートフォン型交通調査の開発と試行の経緯を整理して紹介したのち，①低消費電力，②高速な接続制御の2つの特徴を持つBluetooth通信を用いた新たな交通調査手法のアイディアを提案する．そして，既存のGPSを用いた位置情報取得手法と比較することを目的とする．さらに，それぞれの消費電力の特性も分析し，今後のスマホPP調査の低消費電力化に向けた基礎的な知見を得ることをめざす．

Key Words : *smartphone, probe person survey, Bluetooth, low battery consumption*

1. はじめに

都市圏レベルの交通実態を把握するために，我が国では，道路交通センサス，パーソントリップ調査 (以下，PT 調査) を代表とする大規模な調査がなされてきた．PT 調査は，一般には聞き慣れない「トリップ」などの用語の理解が必要な複雑な調査であり，訪問留置・訪問回収方式が原則であった．しかし，近年はオートロック・マンションの増加により訪問調査が困難になり，信頼できる優秀な調査員を大量に確保するための費用もかかるといった多数の課題により，現在，PT 調査は多くの都市圏で郵送配布・郵送回収方式に移行している．また，全国的に回収率の低下が見られるようになり，回収率の低下を防ぐためには，より調査対象者の負担が少ない交通調査手法が求められる．

一方で，全世界で急速に普及が進むスマートフォン（以下，スマホ）は，超小型の高性能 PC と位置づけられ，これらスマホでは GPS 等による位置情報取得機能が利用できる．また，これまでに取り組まれた 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，スマホのアプリを利用することで，この PP 調査はさらに展開できる．

スマホ型 PP 調査は，調査対象者が普段自分が利用しているスマホの画面で，配信サイト[*1)] 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なりうる．[1)]

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．その際のアンケートでは，調査対象者のスマホを利用するため，バッテリー消費を懸念する声が多かった．今後，スマホ型 PP 調査の実用化に向けて，対象者の抵抗が少ない低消費電力型への改良が求められる．

そこで，本研究は，まず，実都市圏で大規模に実施したスマホ PP 調査の開発と試行の経緯について整理して紹介し，今回の調査で得られた結果から，世界的に研究されているスマホ PP 調査の課題や知見を紹介する．また，その課題への対策の１つとして，①低消費電力，②高速な接続制御の２つの特徴を持つ Bluetooth 通信を用いた新たな交通調査手法のアイディアを提案する．そして，既存の GPS を用いた位置情報取得手法と比較することを目的とする．さらに，それぞれの消費電力の特性も分析し，今後のスマホ型 PP 調査の低消費電力化に向けた基礎的な知見を得ることもめざす．

2. 熊本PT調査と連携したスマホPP調査の開発と導入

(1) スマホ PP 調査のシステム

本研究で開発したスマホ PP 調査のシステムの概念を図-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(被験者)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・利用法を通知され，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．被験者は，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なりうる．

図-1　スマホ PP 調査システムの概念図

(2) スマホ PP 調査で用いたアプリの開発

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**）．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．

また，それぞれのアプリの仕様を**表-1** に整理する．両アプリは更新方法が異なり，iPhone 版は 100m 移動する毎に位置情報を更新する．iPhone 版の更新距離を 100m に設定した．これは以下の 4 点を考慮して決定したものである．

a) バッテリー消費をおさえるため
b) 調査対象者の行動軌跡を正確に把握するため
c) 調査対象者の選択経路を把握するため
d) 道路情報と位置情報のマッチングを容易にするため

なお，距離規定による更新の強みとして，ある場所に留まっている際に，不必要な位置情報の更新をしない点が挙げられる．

しかし，屋内や電波状況の悪い場合には GPS 情報が不正確になり，不必要な更新をしてしまうことも確認された．

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 で測位する仕様になっている．また，Android 版は交通手段も取得できる．

iOS と Android の 2 つのスマホ OS の違いがアプリの開発に影響しており，以下それを説明する．まず，iOS 現時点では加速度がバックグラウンドで取得できない．調査時に常に起動しておく必要があり，長期間の調査に不適切である．よって，iOS 版では加速度センサーの実装をしていない．

その他に，Android のアプリはリリース時に審査がないが，iOS は Apple の審査があるため，調査用アプリをリリースするまでに日数を要する．その上，審査が通らない場合もあるため，調査計画が立てにくいと言える．

図-2　アプリ画面(左:iPhone 版，右:Android 版)

表-1　調査用アプリの取得情報

	iPhone	Android
取得情報	緯度 経度 現在時刻	緯度 経度 現在時刻 交通手段 加速度
対応OS	iOS 5.0～	Android 2.2～
位置情報更新設定	1回/100m	1回/10秒

(3) 熊本 PT 調査での試行

a) 実施スケジュールと調査対象者の整理

平成 24 年 10 月から 11 月に実査が行われ，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（図-3）を同封した．

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したものである．PT 調査は，熊本市外の熊本県内 4 市 6 町 1 村も対象として実施されたが，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．

図-3 調査依頼書（左：表，右：裏）

表-2 調査実施日と調査依頼数

	期間(2012年)	熊本PT調査世帯数（都市圏全体）	スマホPP調査対象世帯（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

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，20~49 歳代が居住する世帯，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）

b) スマホ PP 調査のサポート体制

今回は，PT 調査と連携した大規模な調査であったため，スマホ PP 調査への不信感が生じないよう，アプリのサポートページを大学のドメインに開設し，プライバシー・ポリシーやわかりやすいユーザーガイドを作成した．また，アプリ開発について掲載された新聞記事へのリンクを作成した．さらに，調査実施期間に調査対象者からの問い合わせに対応するため，熊本 PT 調査の問い合わせ先の調査実施本部にスマホ PP 調査を熟知した学生が常時待機するようにした．

c) スマホ PP 調査で実施した広報活動

今回の調査では，スマホ PP 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．

表-4 実施した広報活動

日付	広報内容
10月8日	ver. 1.0.0 App Store にて配信開始
10月9日	熊本日日新聞に紹介記事掲載
＊ 10月16日	
＊ 10月17日	
＊ 10月18日	ver. 1.0.1 App Store にて配信開始
＊ 10月23日	
＊ 10月24日	熊本日日新聞簡易広告掲載
＊ 10月25日	
10月28日	熊本日日新聞LRTサミット記事掲載

＊は調査実施日

d) 学生を対象とした事前調査

スマホPP調査を実施する前に，熊本大学の社会環境工学科の2年生と3年生を対象として，スマホPP調査と調査に用いるアプリに対して意識調査を実施した．学生は調査の概要を聞き，調査用アプリを試用した．その際のコメントとして，①バッテリー消費の問題，②プライバシーの問題を懸念する声が多かった．その他のコメントとして，高齢者にも使いやすいアプリであることが望まれるという意見や取得されたデータの使われかたが心配という意見があった．これらの詳細は井村ら[2]を参照されたい．

3. スマホ PP 調査の結果

(1) 調査参加者の整理

熊本 PT 調査と連携して実施されたスマホ PP 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 PP 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 PP 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-5**）

表-5　スマホ PP 調査の参加者

内容	調査結果
スマホPP調査対象者	13,279世帯
調査協力者（ID確認済）	97人
アンケート回答者（任意）	57人

今回のスマホ PP 調査の依頼では，スマホ PP 調査だけでなく，紙面・WEB による通常の PT 調査への協力も強く依頼した．参加者の内訳を**表-6** に整理した．

表-6　スマホ PP 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 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	合計
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		13	13	2	28
	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
	小計		5	3	1		9
合計			5	42	39	11	97

この結果，調査依頼書が配布された世帯で，スマホ PP 調査に参加した人の内 60 人が紙面・WEB 調査にも参加しており，28 人がスマホ PP 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が面倒な紙面・WEB 調査は参加しないがスマホ PP 調査なら参加するという人々であり，今後のスマホ PP 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 PP 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 PP 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関わらず，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．

(2) スマホ PP 調査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-7** 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．はじめ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はなく，今回の調査が強制でなく，「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．

一方で，協力したいという住民の申し出が 3 件あった．その他，①アプリのインストール方法，②ID の入力方法，③機種依存による作動エラー等の問い合わせがあった．

表-7　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PP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

(3) スマホ PP 調査と熊本 PT 調査の平均トリップ数の比較

スマホ PP 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-8** に整理した．

この結果から，スマホ PP 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 PP 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．

表-8　スマホ PP 調査と熊本 PT 調査の平均トリップ数

		男性	女性	合計
スマホPP調査	サンプル数	28	22	50
	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
AとBの平均値の差の検定（t値）		1.44	4.04	3.14
		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%）

(4) アンケート結果の整理

スマホ PP 調査対象者に，Web アンケートでスマホ PP 調査に参加するにあたり，不便な点を尋ねたところ（選択・自由記入），**表-9** の結果が得られた．

表-9　調査アプリの不便な点（回答者 57 人）

	全回答数	iPhone版	Android版	備考
バッテリーの持ちが悪かった	9	5	4	多重回答可 選択形式
プライバシーに関して	6	4	2	
GPS精度に不満	6	3	3	
忘れることがあった	1	0	1	

アプリ内では GPS を常に取得している状態であるた

め，不使用時と比較すると，バッテリーの消費は大きくなる．この点が今後のスマホ PP 調査の本格実施において最も懸念されることがわかった．

GPS の消費電力が大きいことがプローブ・パーソン型の調査の課題の一つであることは古くから認識され，指摘さてきた点である（例えば文献 3)，4），5)）．また，近年のスマートフォンを用いた交通調査の研究では，中野らの自転車通行実態調査の研究 [6]や Cottrill, C．らの Household Interview Travel Survey（HITS in 2012）をシンガポールで実施した研究 [7]がある．さらに，本研究と同様の研究事例として，平川らの研究 [8]がある．これらの研究でも GPS を用いることによるバッテリー消費の問題が指摘されている（例えば文献 1），3），7），9） ）．

したがって，調査で使用する消費電力の問題の解決を目指すことは重要な研究課題である．

4. Bluetooth 通信を用いた交通調査手法の提案

(1) Bluetooth 通信

Bluetooth とはデジタル機器用の近距離無線通信規格の 1 つである．数 m から数十 m 程度の距離の情報機器間で，電波を使い簡易な情報のやりとりを行うのに使用される．また，Bluetooth の最新規格である Bluetooth4.0 は，低消費電力版に対応する規格の Bluetooth Low-Energy(以下，BLE)が採用されている．Apple 社は iPhone4S から BLE を採用した．BLE は従来の Bluetooth に比べて，特に①低消費電力，②高速な接続制御の２つの特徴があるがこれは従来の Bluetooth との間に互換性はない．Bluetooth SIG が公開している資料[*2] によれば，通信速度はアプリケーション層で 305kbps と，Bluetooth Classic[*3]の 2178.1kbps と比較すると大幅に低速である代わりに，ボタン電池 1 つで数ヶ月から数年の稼働が可能な低消費電力を実現できると言われている．また，もう 1 つの特徴である高速な接続制御は，Bluetooth 2.1 では利用開始時に 100ms 以上必要だった接続処理時間が，BLE では 6ms に短縮されている．

(2) Bluetooth 対応デバイスの分類

スマホ PP 調査では，調査対象者のデバイスを使用するため，対応デバイスを整理しておく必要がある．以下に各 Bluetooth の名称を整理し，デバイスの対応状況を整理した．（表-10）

a) Bluetooth Smart

Bluetooth LE による低消費電力モードのみで通信を行うデバイスにあたる．また，Bluetooth Smart Ready デバイスとの間でのみ通信が可能．

b) Bluetooth Smart Ready

Bluetooth LE による低消費電力モードで通信をする子機との通信に対応し，かつ従来の Bluetooth 機器との通信ができるデバイスにあたる．

c) Bluetooth

従来の Bluetooth 通信のみを行うデバイスにあたる．

表-10　iOS デバイスの Bluetooth 対応状況

規格	デバイス
Bluetooth4.0(Bluetooth Smart Ready)	iPhone 4S以降, 新しいiPad(第3世代)
Bluetooth2.1+EDR	iPhone4 iPad2 iPod touch(第4世代)

(3) 提案する低消費電力型のアイディア

熊本 PT におけるスマホ PP 調査では，調査対象者の所持するスマホを用いて各自が位置情報を取得した．しかし，同時・同位置に調査対象者が複数人いる場合 (同様の交通行動をとる人が複数人いる場合)，代表者一名が位置情報を取得すれば全員が GPS を用いた位置情報を取得する必要はない．代表者一人が取得した位置情報をバッテリー消費の少ない Bluetooth で配信することでバッテリー消費量を削減できる (図-4).

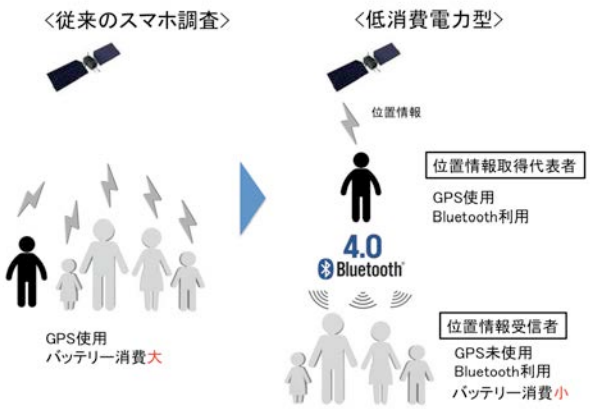

図-4　Bluetooth 通信を用いた交通調査概念図

この考え方を用いると，例えば，複数の乗客が乗り合わせる公共交通機関の利用時に乗客同士で位置情報を共有してバッテリーの消費を抑えることができる．この他，展開のアイディアの例を以下に示す．

a) バスロケーションシステムとの連携

近年バスサービスの向上を目指し，バスロケーションシステムが普及している．これに伴い公共交通機関には位置情報を取得する機器が搭載され始めている．この機器は車両の電源に接続されているためバッテリー消費の心配をしなくて済む．また，この機器を代表の通信機器として，乗客は Bluetooth 通信で位置情報を共有することが可能になれば，乗車時には位置情報取得機能を使用

せずに済み，バッテリー消費量の削減が期待できる．さらに，どの交通機関を利用したか等の情報も容易に取得できるため，公共交通サービスと一体となった交通調査へと発展する可能性がある．

b) 公共交通機関利用者の調査

Bluetooth 通信の機能を持つ交通調査アプリを調査対象者にインストールしてもらい，乗車時と降車時に更新を行う簡単な調査アプリを用いると，公共交通の乗降客調査をスマホ PP 調査で容易にできる可能性がある．

c) カーナビとの連携

自動車乗車時の位置情報はカーナビから Bluetooth 通信で取得する方式にすると，乗車時のアプリの消費電力を削減させることができる．

なお，交通調査に Bluetooth 通信を用いた既存研究には，北澤らの旅行時間調査に関する研究[10]がある．

(4) 新たに追加された機能の整理（OS 別）

2013 年秋に一般リリース予定の iOS 7 では，すべての機能でマルチタスキングが可能になると発表されている．これにより Bluetooth をバックグラウンドで処理が可能になるため，バッテリー消費を低く抑えることが期待される．

Android では，2013 年 7 月に発表された OS の「Android 4.3」（コードネーム：Jelly Bean）において Bluetooth Smart が正式にサポートされた．これまでは機種により Bluetooth Smart への対応は，国内の Android の一部に限られていた．しかし，この OS の更新でスマホ所有者を幅広く対象とすることが可能になる．

(5) Bluetooth 通信を搭載したテストアプリの開発

Bluetooth 通信を実装するにあたり，2011 年 10 月 12 日に iOS5 がリリースされるまでは iOS では①公開された API[*4] がない，②GameKit を使用すればできるが，同時プロファイルであるため，iOS 同士でしか通信ができないという課題があった．一方で Android は Bluetooth 通信の実装はできた．2011 年 10 月 12 日以降，iOS5 から BLE の実装が可能となったが，機器に対してアクセスすることしかできなかった[11]．2012 年 9 月 19 日にリリースされた iOS6 から①iOS デバイスを BLE 機器としての実装，②バックグラウンドの実行③Android/iOS 間の通信が可能となった[12]．

今回の実験で用いたテストアプリは iPhone 版のみを開発した． Bluetooth を利用した通信を行うためのフレームワーク[*5] として「Core Bluetooth フレームワーク」と「Game Kit フレームワーク」の２種類が Xcode[*6] に用意されている．開発にあたり，Bluetooth 通信の設定を簡略化するため，Core Bluetooth フレームワークを用いた．このフレームワークを利用すれば，周囲にどのような BLE 端末があるか調べ，いずれかの端末を接続/切断し，アプリケーション内でデバイスの属性を読み書きし，データ通信や変更通知を受け取れるよう登録するなど，多様な処理ができる．テストアプリの開発には CoreBluetooth.framework を使用した．

図-5 の左側に示した画面（位置情報取得代表者）は，GPS を利用して取得した情報を表示したものである．また，右側は GPS を使用せず，Bluetooth 通信によって位置情報を取得し，表示したものである．取得情報は熊本 PT 調査時に実施したスマホ PP 調査で取得した情報と同じ緯度・経度・現在時刻である．

図-5 Bluetooth テストアプリ画面

(6) テストアプリの説明

これまではテストアプリの概要と仕様について説明をしてきたが，本項では代表者デバイスと受信者デバイスの Bluetooth への接続から位置情報取得までの流れをそれぞれ説明する．

a) 位置情報取得代表者デバイス

1) テストアプリを起動し，Bluetooth 通信を許可する．
2) 周囲の Bluetooth 通信可能な iOS デバイスが検索され，**図-6** のようにデバイスの一覧が表示される．
3) 検索されると**図-7** のように表示され，「Accept」を押し接続が開始される．
4) 「Button」をタップすると GPS 機能を用いて位置情報の取得を開始する．

図-6 接続可能デバイスの選択画面

図-7　接続許諾画面

b)　位置情報受信者デバイス

1) テストアプリを起動し，Bluetooth 通信を許可する．
2) 検索された画面（図-6）の中で代表者デバイスを選択する．
3) 代表者デバイスが「Accept」を押すと代表者デバイスと接続し，Bluetooth を用いた位置情報の取得が開始される．

5.　Bluetooth 通信を用いたテストアプリの検証

(1)　検証方法

テストアプリを用いて，A：従来のスマホ調査と同様に GPS で位置情報を取得する場合，B：Bluetooth 通信を用いて位置情報を取得する受信者，C：従来のスマホ調査と同様に位置情報を取得し，Bluetooth 通信を行う代表者の３つの方法においてバッテリー消費量にどの程度の違いがあるのか検証する．また，実験時の条件として以下の 5 つを設定した．

1) バッテリー残量 100% の状態から開始
2) スマートフォンの画面は 100% の明るさに設定
3) バックグラウンドで動作するアプリは削除
4) 常にアプリを起動
5) 90 分間のバッテリー消費量を比較する

以上の条件の中，2 つの交通手段 (自動車，徒歩)で検証を行い，経過時間に伴ったバッテリー消費量の変化を分析する．

(2)　バッテリー消費のログの測定方法

Xcode には Instruments[13]という機能がある．この機能を用いると，アプリのバッテリー消費レベル，CPU 使用量，デバイスの操作記録，ネットワークとの通信記録を調べる事ができる．　しかし，この機能だけでテストアプリが実験開始時から何%のバッテリーを消費したのかは確認できないため，実験に用いたデバイスの画面にバッテリー残量を示し，随時確認する方法を用いた．

(3)　位置情報の取得方法による比較

交通手段別に実験日の条件を表-11 に示した．どちらも同じ条件で実験をすることができた．また，表-12 には実験で使用した各デバイスの機種，使用期間，総充電回数をまとめた．実験デバイスについては C（従来のスマホ調査+Bluetooth）のデバイスは長期間使用しており，バッテリーの総充電回数も他のデバイスと比較して明らかに多い．したがって，今回の実験ではデバイスによるバッテリーの差は考えないこととする．今回得られた結果を A，B，C の３つのバッテリー残量の推移を図-11，図-12 に示す．

表-11　実験日の条件

交通手段	実験日時	天気	実験時間(分)	平均速度(km/h)
自動車	2013/5/1	晴れ	90	29.0
徒歩	2013/5/2	晴れ	90	3.9

表-12　実験デバイスの概要

調査手法	機種	使用期間	充電回数
A (従来のスマホ調査)	iPhone5	1ヶ月	20
B (Bluetooth)	iPhone5	3ヶ月	40
C (従来のスマホ調査+Bluetooth)	iPhone5	7ヶ月	197

バッテリー消費量の推移を見ると，C がバッテリー残量の変化が早く，次に A，　B の順でバッテリー残量の変化が早くなっていることがわかる．このことから，Bluetooth 通信で使用するバッテリー消費量は位置情報機能で使用するバッテリー消費量より少ないことがわかり，Bluetooth 通信を用いた位置情報取得が低消費電力型スマホ PP 調査には有効であるといえる．

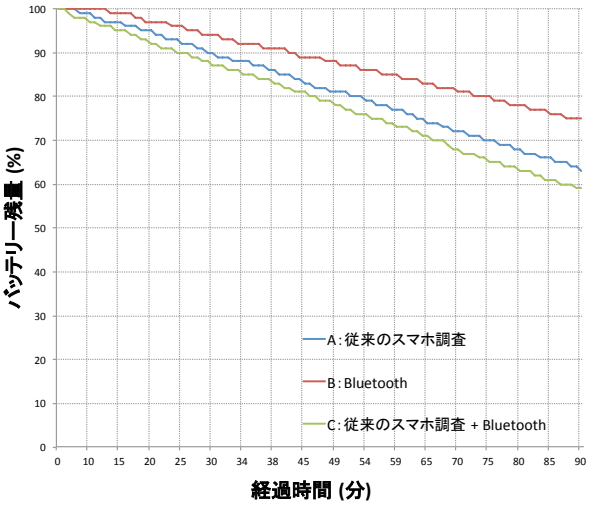

図-8　自動車移動時のバッテリー残量の推移

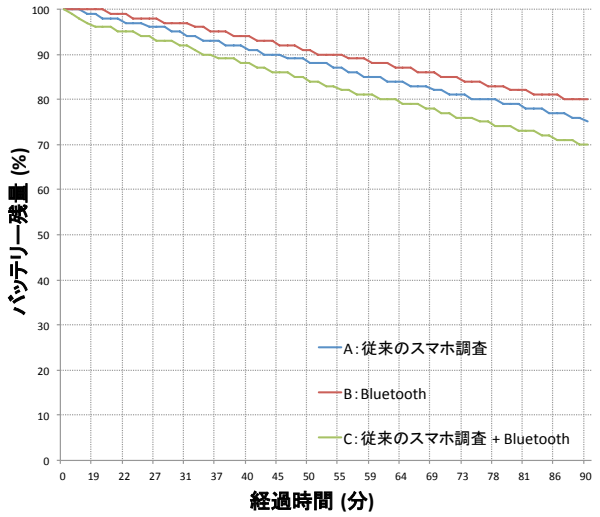

図-9　徒歩移動時のバッテリー残量の推移

(4)　交通手段による比較

高速で移動する自動車と低速で移動する徒歩の場合でバッテリーの消費量を分析すると，**表 13** と**図-8**，**9** から，交通手段が変わればバッテリーの減り方に違いがあることがわかった．自動車を用いた移動の場合は，徒歩で移動した場合と比べ，同じ時間内におけるバッテリーの減りが早い．テストアプリの開発の段階で iPhone 版は 100m 毎に位置情報を更新する仕様になっているため，移動速度が大きい自動車は徒歩と比べ同じ時間に位置情報の更新回数が多くなることから，バッテリー消費に影響を与えている事が考えられる．

表-13　交通手段別のバッテリー残量（90 分時）

	A（従来のスマホ調査）	B（Bluetooth）	C（従来のスマホ調査 + Bluetooth）
自動車	66	76	61
徒歩	75	80	70

したがって，徒歩のような低速度の移動の位置情報を取得する場合は位置情報取得機能を用いても Bluetooth 通信を用いて位置情報を取得する方法もバッテリー消費量の削減効果が小さいことがわかる．

今回の結果から，交通手段に移動速度が大きい自動車や公共交通機関を利用している人の位置情報を取得する場合にはバッテリー消費を削減でき，有効であると考えることができる．

また，同じ条件にするために実験時には画面の明るさを100%にしていること，アプリを常に起動していたことが，バッテリー消費に少なからず影響している．したがって，バックグラウンドでのBluetooth通信の実装が可能となれば，バッテリー消費をさらに抑えることができる．条件を変化させて，実験の回数を増加させるなどの再実験の結果も今後報告したい．

6.　おわりに

本研究では，熊本 PT 調査と連携して実施したスマホ PP 調査のアプリの開発から試行を整理し，スマホ PP 調査参加者の特徴とスマホ PP 調査に対する参加者のアンケート結果や問い合わせ内容を分析した．その結果，謝礼や追加の調査費用を要せず約 1%の参加率を得ることができたこと，スマホ PP 調査の課題として，特にバッテリー消費の問題やプライバシーの問題，サンプルの偏り，サンプルを増やす施策の必要性がわかった．

次に，スマホ PP 調査の課題で特に懸念されたバッテリー消費の対策として，Bluetooth 通信を用いた低消費電力型の調査手法を提案し，テストアプリを開発した．そして，既存の調査手法と消費電力の使用量を検証した．その結果，交通調査に使用する消費電力を削減できることがわかった．

今後の課題として，①提案した手法をバックグラウンドで使用できるアプリを開発し，消費電力をさらに削減し，その際の特徴を詳細に分析すること，②2012 年の熊本 PT 調査で用いた調査用アプリに Bluetooth 通信の機能を追加し，さらなる検証を行うこと，③調査対象者の負担が少ない調査手法を開発することが求められる．

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や関係各位，また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．

補注

*1 Android 系スマホは Google Play，米 Apple 社 iPhone 系であれば App Store 等のアプリ・マーケット．

*2 Bluetooth Technology Special Interest Group http://developer.bluetooth.org/KnowledgeCenter/TechnologyOverview/Pages/v4.aspx

*3 Bluetooth 2.1 + EDR や ver3.0 + HS など従来の Bluetooth 規格．

*4 Application Program Interface：アプリケーションから利用できる，オペレーティングシステムやプログラミング言語で用意されたライブラリなどの機能の入り口となるもの．

*5 Apple 社は，フレームワークと呼ばれる特殊なパッケージとして，ほとんどのシステムインターフェイスを提供している．フレームワークは，共有ダイナミックライブラリとそのライブラリをサポートするために必要なリソース（ヘッダファイル，画像など）を含む 1 つのディレクトリ．

*6 iPhone のアプリケーション開発には通常 Xcode を用いる．これはソフトウェアを開発するための Apple の統合開発環境である．

参考文献

1) 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.
2) 井村祥太朗, 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.
3) 中里盛道, 大森宣暁, 円山琢也, 原田昇: GPS携帯電話を用いたアクティビティダイアリー調査に関する研究, 第24回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 261-264, 2004.
4) 金杉洋, 黒川茂莉, 村松茂樹, 関本義秀: 携帯電話基地局通信情報の行動分析への適用可能性把握, 第32回交通工学研究発表会論文集, pp.309-315, 2012.
5) 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)
6) 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.
7) 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 Smart-Phone-Based Travel Survey in Singapore. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, TRB, National Research Council, Washington, D.C. *forthcoming* 2013.
8) 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.
9) Nohara, K., Matsuda, K. and Maruyama, T. Development of Smartphone-based Travel Survey Method: Preliminary Results in Kumamoto, Japan, presented at The 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, #3242, 2013.7
10) 北澤俊彦, 塩見康博, 田名部淳, 菅芳樹, 萩原武司: Bluetooth通信を用いた旅行時間計測に関する基礎的分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, 2013.
11) 加藤寛人,吉田悠一,藤川宏之,西方夏子,関川雄介,高丘知央: iOS5プログラミングブック,インプレスジャパン, 2012.6.
12) 加藤 寛人, 藤川 宏之, 高丘 知央, 西方 夏子, 吉田 悠一, 関川 雄介: iPhoneアプリ開発エキスパートガイド iOS 6対応, インプレスジャパン, 2013.4.
13) Instrumentsユーザーガイド, P68-69, 2012.09.19. https://developer.apple.com/jp/devcenter/ios/library/documentation/InstrumentsUserGuide.pdf

(20013. 8. 2 受付)

DEVELOPMENT, TRIAL, AND IMPROVEMENT OF A SMARTPHONE-BASED TRAVEL SURVEY METHOD

Kotaro NOHARA, Takuya MARUYAMA

Trial implementation of smartphone-based travel survey cooperated with the Kumamoto Metropolitan Area person trip survey was coducted in Autumn 2012. Questuonnaires for the participants revealed that they felt anxious about battery consumption because this survey use their participants' smartphone. Then, the improvement to low battery consumption aiming to reduce burden will be required future development of smartphone-based survey.

The objectives of this paper are 1) to describe the dvelopment and implementation of a smartphone-based travel survey and 2) to propose an idea of the new travel survey method using the Bluetooth with two features. They are 1) low power consumption, 2) high-speed connection control. Then, we compare the proposed method with existing GPS-based method. Furthermore, we analyze the characteristic of battery consumption and obtain the basic knowledge to reduce battery consumption of future smartphone-based travel survey.