

Bluetoothを活用した一般道路における 旅行時間計測技術の研究

山中 亮¹・我部 新²・神谷 大介³・宮国 敏秋⁴・菅 芳樹⁵・米須 俊彦⁶

¹正会員 琉球大学理工学研究科総合知能工学専攻 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)
E-mail:k188673@eve.u-ryukyu.ac.jp

²学生会員 琉球大学修士課程 大学院理工研究科 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)
E-mail:k188481@eve.u-ryukyu.ac.jp

³正会員 琉球大学准教授 工学部 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)
E-mail:d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

⁴正会員 株式会社中央建設コンサルタント (〒901-2126 沖縄県浦添市宮城5丁目12番11号)
E-mail:tmiyaguni@cyuo.co.jp

⁵非会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003大阪府市北区堂島 1-5-17)
E-mail:suga@refrec.jp

⁶非会員 内閣府沖縄総合事務局開発建設部道路建設課課長補佐 (〒900-0006沖縄県おもろまち2-1-1)
E-mail:komesu711@ogb.cao.go.jp

近年、我が国ではBluetoothのMACアドレスを検知する技術が進展し、旅行時間、OD、経路、交通量計測など、Bluetoothを活用した交通計測技術の研究が進められている。特に、高速道路ではBluetoothを用いた所用時間提供システムが本格導入されるなど、実装化が進められてきている。

本研究では、自動車交通のみならず、歩行者・自転車の混入、沿道施設への立ち寄り等、様々な交通現象が混在する一般道路を対象に、Bluetoothを活用した旅行時間計測技術の検討を行った。同時期に観測された実測交通データと比較をおこなった結果、Bluetoothを用いた旅行時間計測では、一般道路の沿道状況によっては適用可能性が高いことが確認できた。

Key Words : Bluetooth, MAC address, travel time

1. はじめに

旅行時間は、道路の交通状況を示す重要な指標として、道路交通のサービス評価や、適切な交通マネジメントを実施する上で必要とされている¹⁾。従来、一般道路では特定日に実測した車両の旅行時間をもって旅行速度の算定を行っていた。しかし、代表的な値としての信頼性や、調査コスト等様々な課題があった。近年では、ETC2.0プローブデータや、民間事業者がカーナビ等を活用して収集している民間プローブデータ等、常時収集しているデータを活用した旅行時間の算定技術が確立されてきている。しかしながら、データのオープン化(地方自治体での活用等)や、地方においてはETC2.0の搭載車が限定的なこともあり、分析するにあたり必要となるサンプル数

が確保できないなどの課題もある。

研究対象地域である沖縄においては、自動車道の延長が短くETC搭載のメリットが県外と比べて少ないこともあり、ETC2.0の搭載は平成30年2月現在で6,687台(全国平均は99,188台)にとどまっている状況²⁾である。さらには、離島部等の地域では、ETC2.0プローブ情報を収集するITSスポットも存在していないこともあり、データの収集そのものがない地域も存在する。

一方で、我が国でもカーナビゲーションや携帯電話等Bluetooth搭載機器の普及を背景に、欧米諸国を中心に実施されているBluetoothのMACアドレスの検知を技術が進展しつつある。既往研究¹⁾では、BluetoothのMACアドレス検知を交通量調査に活用する利点として、個人情報の識別が困難であること、汎用性があり導入コストが安価

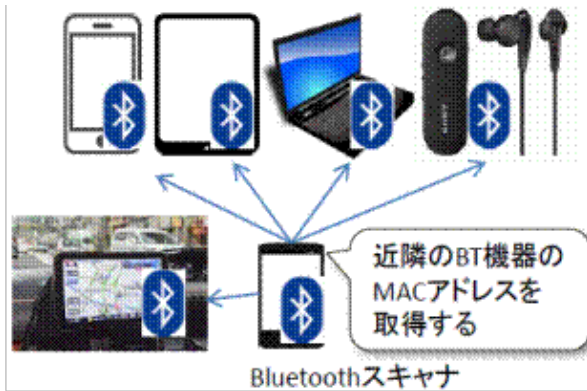


図-1 BluetoothのMACアドレス検知のイメージ

であること、収集されるデータ総量が少なく、データ通信・処理コストが安価で済むことがあげられている。欠点として、十分なサンプル数が確保できない場合には、旅行時間の計測が不可能なことであること、検出されるMACアドレスは必ずしも自動車による移動車が携帯している機器であるとは限らず、スクリーニング等の処理が必要であること、などの課題があげられている。このような特徴がありながらも、近年では、高速道路においてBluetoothを用いた所用時間提供システムが本格導入³⁾されるなど、実装化が進められてきている。

このことから、既存のETC2.0プローブ情報システムの活用が難しい地方部や地方自治体において、安価かつ信頼性の高い交通流計測技術の実装化が必要とされている。

以上の認識の下、本研究では、自動車交通のみならず、歩行者・自転車の混入、沿道施設への立ち寄り等、様々な交通現象が混在する一般道路を対象に、Bluetoothを活用した旅行時間の精度検証を行い、計測技術の検討を行った。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

移動体からのBluetoothのMACアドレス検知技術及び検知技術を活用した交通観測技術の研究は、国内でもこれまでにいくつか行われてきている。

北澤ら⁴⁾は、BluetoothのMACアドレスを計測・記録して旅行時間計測を行うための調査システムについて検討するとともに、実環境で容易に利用可能な計測ツールの開発を行っている。さらに、一般道路や都市高速道路を対象として旅行時間の観測を行っており、適用可能なシステムであることを確認している。しかしながら、一般道路において、安定的な旅行時間が取れていることは確認されているものの、実旅行時間との比較は行われていない。

検知技術について、西内ら⁴⁾は、MACアドレスの受信機の設置方法について、発信機と受信機間の距離と受信機正面の確度がMACアドレスの検知率に影響を与えることを検証し、受信機側の指向性を考慮することの重要性が示唆されている。坪田ら⁵⁾は、Bluetooth端末を搭載した車両の走行実験を行い、検知確率に影響を与える要因を明らかにし、検知確率推定モデルの提案を行っている。結果、既往事例で報告されている事例に加えて、新たに端末の進行方向性やスキャナの設置高さ、タイムアウト時間が検知確率に優位に影響を与えることが示唆されている。

検知技術を活用した交通観測技術について、尾高ら⁶⁾は、BluetoothのMACアドレス捕捉調査を実施し、各箇所における捕捉状況、OD及び経路、所要時間の交通計測状況について分析を行い、一般道路の交通流計測におけるBluetoothの適用可能性が確認されている。しかしながら、各区間の旅行時間の最頻値が10分未満であり、近距離の検証にとどまっている。坪田ら⁷⁾は、同一条件下に設置された複数のBluetoothスキャナが検知するMACアドレス数の観測結果を用いた交通量推計手法の提案を行っている。提案手法では、ある時間に現れるMACアドレス数にポアソン分布を仮定し、検知されたMACアドレスの尤度が最大となるように交通量の推定を行っている。実交通データによる検証では、最大16%、最小1%の誤差率で交通量の推定が可能であることが示されている。

本研究では、様々な交通現象や沿道環境の変化が想定される10km以上の長距離の一般道路を対象として、Bluetooth調査を用いた旅行時間計測の適用可能性を、実測データを用いて検証することは、新規性が高いものといえる。

3. 調査の概要

(1) 調査箇所及び調査概要

本研究では、沖縄本島地域の主要な渋滞路線である国道58号の那覇市久茂地から宜野湾市伊佐までの区間約12kmにおいて、BluetoothのMACアドレス捕捉調査（以下、Bluetooth調査とする）による旅行時間計測調査を実施した。調査の概要を表-1に、調査設置箇所を図-2に示す。

(2) Bluetooth調査の概要

本研究では、Bluetooth調査に加えて、調査期間及び調査期間の前週に実施された、断面交通量調査（小型、大型、自動二輪、歩行者）及びプローブカー調査（1時間に1台計測）の実測調査も活用した。

表-1 調査概要

調査日	平成30年10月9日（火）～12日（金）
調査時間	7時～21時（14時間）
調査内容	Bluetooth調査（10カ所）
他参考データ	<ul style="list-style-type: none"> 断面交通量調査（平成30年10月2日（火）及び11日（木）のみ） プローブカー調査（平成30年10月2日（火）のみ）



図-2 Bluetooth調査機器配置図



図-3 Bluetooth調査機器の状況

Bluetooth調査では、調査地点において、Bluetooth受信機器（スマートフォン端末を活用）を保護ボックスに入れて、照明柱などの道路付属物に添加し、移動体にあるBluetooth機器のMACアドレスの捕捉を行った。調査機器の設置状況を図-3に示す。

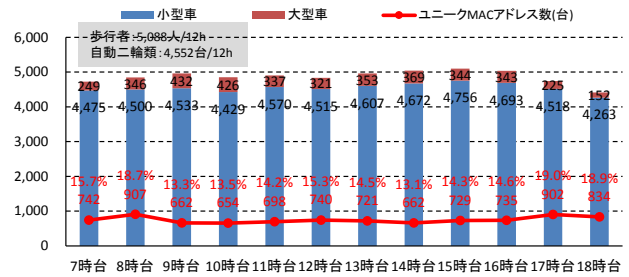


図-4 那覇市久茂地の取得状況

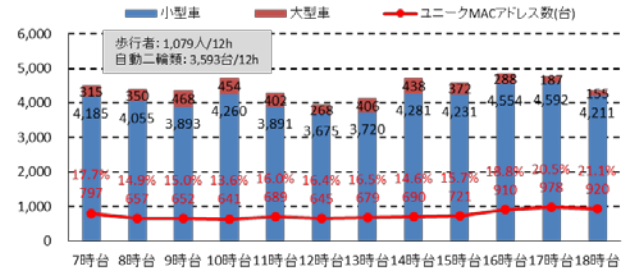


図-5 浦添市城間の取得状況

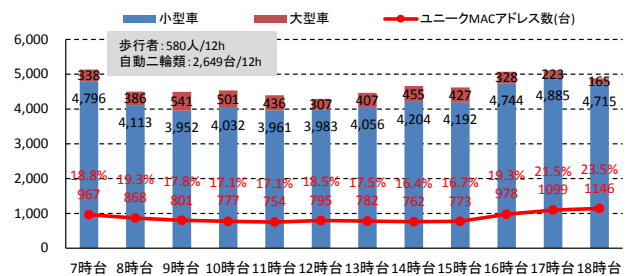


図-6 宜野湾市大謝名の取得状況

4. 調査結果

(1) MACアドレスの捕捉状況

移動体からのBluetoothのMACアドレスの捕捉状況を図-4～6に示す。結果、断面交通量に対して概ね15%～20%前後となっており、時間帯区間によらず、安定的に捕捉されていることが確認できる。捕捉状況は大型車、自動二輪車及び歩行者の交通量にはあまり影響は受けていないものと考えられる。

(2) 旅行時間の算定と分析方法

捕捉されたMACアドレスの時間及び調査箇所の位置情報を用いて、交差点間の旅行時間の算定を行った。算定を行うにあたり、上位15%を明らかに走行以外の状況（立ち寄りなど）にあるとして、棄却判定を行った。

結果を図-6及び表-2に示す。朝ピーク時（7時台～9時台）は、旅行時間のばらつきは大きいものの実測値はおおむね $\pm 1\sigma \sim 2\sigma$ に収まり、実測値との乖離は少ない状

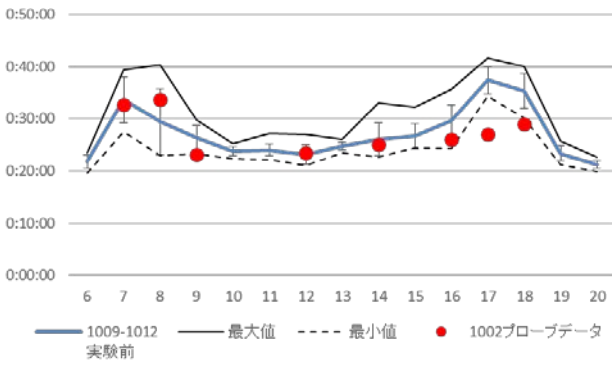


図-6 伊佐～久茂地間の旅行時間算定結果

表-2 伊佐～久茂地間の各時間帯別の実測値との乖離状況

区間	(実測値-平均値 μ)/標準偏差 σ							
	7時台	8時台	9時台	12時台	14時台	16時台	17時台	18時台
伊佐⇒久茂地	-0.21	0.67	-1.35	0.16	-0.32	-1.19	-3.92	-1.88

況である。日中（10時台～15時台）は、旅行時間のばらつきも少なく、実測値は $\pm\sigma$ に収まり、実測値との乖離は少ない状況である。夕ピーク時（16時台～18時台）は、朝ピーク時よりはばらつきは少ないものの、17時台の実測値は $\pm 3\sigma$ に収まらず、乖離が大きい状況であることが確認できる。

5. 精度検証の方法と考え方

宜野湾市伊佐から那覇市久茂地向けの旅行時間を対象に、旅行時間の精度検証を行うにあたり、各区間別（6区間：宜野湾市伊佐～大謝名、宜野湾市大謝名～浦添市牧港、浦添市牧港～城間、浦添市城間～仲西、浦添市仲西～那覇市泊、那覇市泊～久茂地）の旅行時間、標準偏差、最大値・最小値の算定を行い、実測値との乖離が大きい時間帯・区間の抽出を行った。

結果を図-7～12及び表-3に示す。

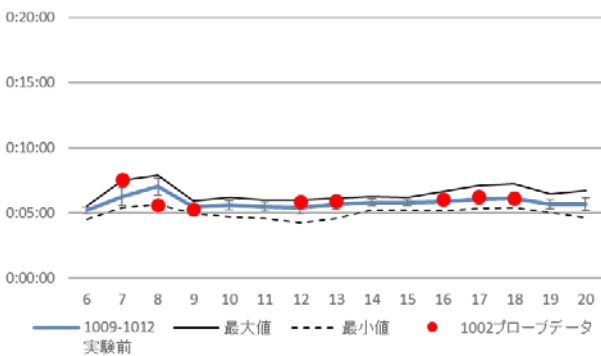


図-7 伊佐～大謝名間の旅行時間算定結果

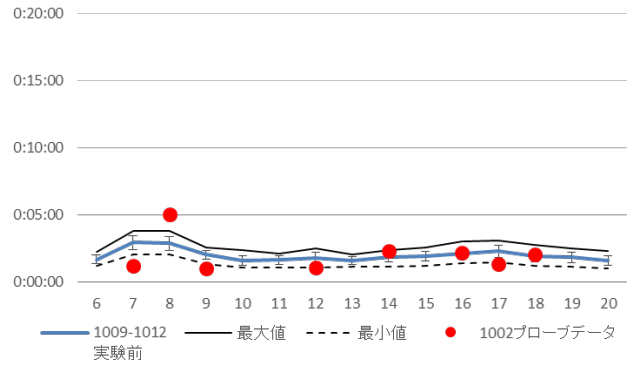


図-8 大謝名～牧港間の旅行時間算定結果

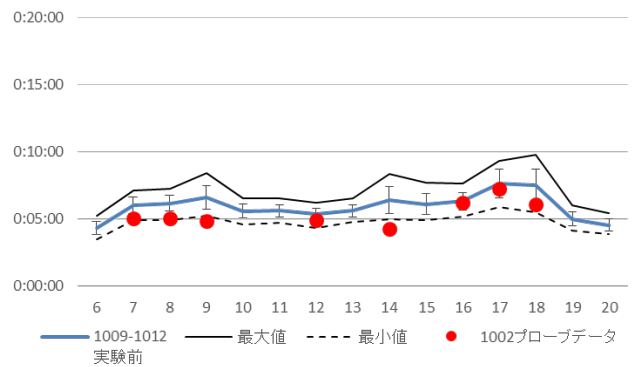


図-9 牧港～城間間の旅行時間算定結果

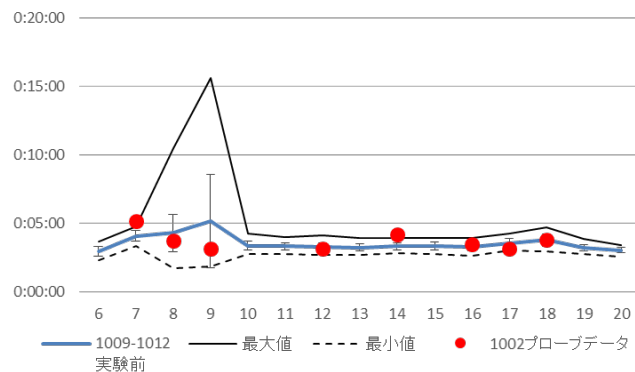


図-10 城間～仲西間の旅行時間算定結果

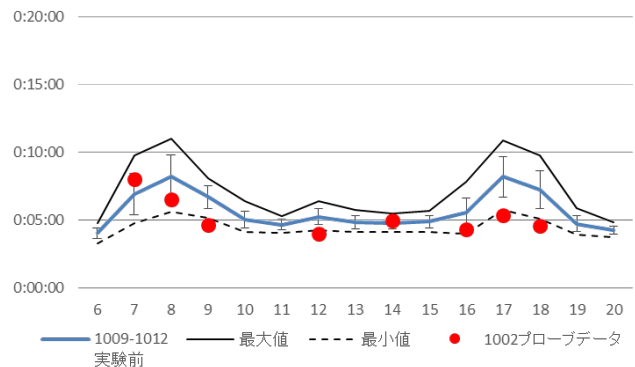


図-11 仲西～泊間の旅行時間算定結果

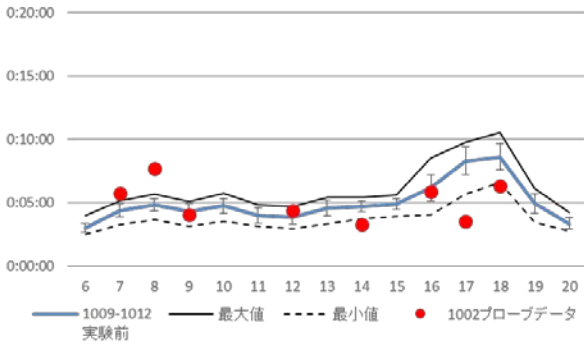


図-12 泊～久茂地区間の旅行時間算定結果

表-3 各区間の時間帯別の実測値との乖離状況

区間	(実測値-平均値 μ)/標準偏差 σ							
	7時台	8時台	9時台	12時台	14時台	16時台	17時台	18時台
伊佐⇒大謝名	1.90	-2.14	-0.81	0.97	0.31	0.45	0.32	0.10
大謝名⇒牧港	-3.44	4.06	-2.88	-1.89	1.43	0.24	-2.02	0.22
牧港⇒城間	-1.61	-1.93	-2.06	-0.96	-2.12	-0.15	-0.38	-1.20
城間⇒仲西	2.63	-0.43	-0.58	-0.36	3.39	0.78	-1.29	0.07
仲西⇒泊	0.75	-1.03	-2.43	-2.14	0.47	-1.09	-1.90	-1.89
泊⇒久茂地	2.56	5.74	-0.35	0.94	-3.34	-0.33	-4.35	-2.23

大謝名～牧港区間の7時台及び8時台、泊～久茂地区間の8時台、14時台及び17時台が、 $\pm 3\sigma$ 以上の値を示したことから、実測値との乖離が大きいと判定した。

6. 分析結果と考察

5.で示したように、概ねの時間・区間においてはBluetooth調査の算定値と実測値との乖離が小さいことが確認できた。

以下に、乖離が大きい2区間の要因について考察を行う。大謝名～牧港区間は、図-13に示すよう、立体交差点区間であり実測のプロブカーは本線の高架区間を走行し、Bluetooth調査機器は立体高架下の側道部に設置した区間である。また、那覇向けの側道部にはバスレーンが7時半から9時まで設置されていることもあり、短い区間でありながらも、本線の高架区間と側道部の旅行時間のばらつきが大きい区間であることも、要因として考えられる。

泊～久茂地区間は、図-14に示すよう、那覇市の中心部に位置し、他の区間と比べて信号交差点間隔が非常に短い区間であり、朝ピーク時にはバスレーンが設置されている区間でもある。また、沿道に宿泊施設も多く、停車帯も一定の幅員が確保されており一時停止のタクシーやレンタカーの存在が確認できること、コンビニ



図-13 大謝名～牧港区間の状況



図-14 泊～久茂地区間の状況

エンスストアなど一時立ち寄りの用途が多い商業施設が比較的多数立地していることなど、走行状態ではない車両が本区間には多く存在していることが、Bluetooth調査の算定値と実測値の乖離が大きい要因として考えられる。

7. おわりに

本研究では、Bluetoothを活用した一般道路における旅行時間計測技術を検証するにあたり、区間・時間で分割し、実測のプロブカーの旅行時間と比較検証を行った。結果、概ねの時間・区間において、安定的にサンプルが取得でき、実測との乖離も大きくないことから、一定の

環境下においては、一般道路でもBluetoothを活用した旅行時間計測の適用可能性は高いと考えられる。

なお、今後の課題として、比較対象が実測のカープローブ調査結果を活用しており、1時間に1台の走行データであり、対象とする時間・区間の平均的な旅行時間を示しているとはいえない状況である。このことから、ETC2.0プローブデータや民間プローブデータ等の常時取得されている平均的なデータとの比較を行うことが必要であると考えられる。

また、中心市街地部など走行状態ではない車両が多く存在する区間においては、適切な調査機器の配置や、走行状態にはないサンプルを棄却する判定技術の研究が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 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, 土木学会論文集 D3(土木計画学)Vol.70, No.5 pp.501-508, 2014.
- 2) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構: セットアップ件数の推移 ETC2.0(DSRC), <https://www.etc.jp/fukyu/etc2/index.html>
- 3) 中日本高速道路株式会社: Bluetooth (R) を用いた所要時間提供システムの開発と本格導入について ~工事規制による影響の最小化に向けた取り組み~, <http://www.c-nexco.co.jp/>
- 4) 西内 裕晶, 塩見 康博, 倉内 慎也, 吉井 稔雄, 菅 芳樹: 移動体データ取得のための Bluetooth MAC アドレス検知の指向性に関する基礎分析, 土木学会論文集 F3(土木情報学)Vol.71, No.2 pp.40-46, 2015.
- 5) 坪田 隆宏, 吉井 稔雄, 藤井 浩史, 河野 侑奈: Bluetooth スキャナの指向性と設置位置を考慮した MAC アドレスの検知確率推定モデル, 交通工学論文集 Vol.3, No.2 pp.37-43, 2017.
- 6) 尾高 慎二, 吉井 稔雄, 倉内 慎也, 神戸 信人: Bluetooth 通信を用いた一般道における交通流計測の適用可能性の研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.51, 2015.
- 7) 坪田 隆宏, 吉井 稔雄, 白柳 洋俊, 藤井 浩史: Bluetooth 検知技術を活用した交通量推定, 土木学会論文集 D3(土木計画学)Vol.74, No.5 pp.1283-1289, 2018.

(2019.3.10 受付)

STUDY OF THE TRAVEL TIME MEASUREMENT ON ORDINARY ROAD USING BLUETOOTH SENSOR

Ryo YAMANAKA, Arata GABE, Disuke KAMIYA, Tosiaki MIYAGINI,
Yoshiki SUGA and Toshihiko KOMESU