

高速道路におけるBluetoothを用いた 交通流計測の取り組み

田名部淳¹・割田博²・松下剛³・萩原武司⁴

¹正会員 株式会社地域未来研究所 交通情報研究室（〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島1-5-17）

E-mail: tanabe@refrec.jp

²正会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部 ITS推進課（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）

E-mail: h.warita1116@shutoko.jp

³非会員 西日本高速道路株式会社 関西支社 阪奈高速道路事務所（〒583-0033 大阪府藤井寺市小山9-3-1）

E-mail: t.matsushita.ab@w-nexco.co.jp

⁴正会員 阪神高速道路株式会社 計画部 調査課（〒541-0056 大阪府大阪市中央区久太郎町4-1-3）

E-mail: takeshi-hagihara@hanshin-exp.co.jp

モバイル機器の普及を背景として、諸外国ではBluetoothのMACアドレスを路側で把握することで所要時間計測やOD計測など交通流計測に活用する試みがなされている。このような交通流計測手法の有用性・適用可能性はBluetoothを搭載したモバイル機器の普及状況に依存するため、対象とする地域や路線によって取得できるデータ・情報の質や量も異なると考えられる。本研究では、首都高速道路、西日本高速道路、阪神高速道路など多様な高速道路を対象として実際にBluetoothのMACアドレスを観測した。実環境における観測データに基づいて断面交通量に対するデータ抽出率を算定・比較するとともに、地点間でMACアドレスのマッチングを行って得られた所要時間や経路選択率について分析・考察する。

Key Words : Bluetooth, 高速道路, 所要時間計測, OD調査

1. はじめに

わが国の高速道路においては車両感知器による交通流計測が主流であるが、近年のICTの普及を受けて各種のプロブデータや料金収受用に整備されたETC等を用いて交通流計測に活用する動きが顕在化しつつある。様々なデータ収集手段が存在する中で、安価で簡便な交通流計測手法として世界各国でBluetoothの活用が注目されている。Bluetoothは1994年にスウェーデンのエリクソン社によって開発された短距離無線通信規格である。使用する周波数帯は2.4GHz帯であり、数mから数十m程度の距離において情報機器間で情報をやり取りする際に用いられることが一般的であり、携帯電話、スマートフォン、カーナビをはじめとする多様なデジタル機器への装備が進んでいる。

Bluetoothを用いた交通流計測に関しては、海外で多くの先行事例が報告されている。最も早い段階で報告されたのは米国・インディアナ州交通省によるトライアルである。調査はインディアナポリスにおいて2008年1月から2月にかけて実施され、BluetoothのMACアドレスをマ

ッチングすることで所要時間を算出している¹⁾。OD計測への適用可能性を検討した事例としては、オーストラリア・クイーンズランド州交通省による取り組みがあげられる²⁾。この事例では、起終点間に経路が複数存在するようなネットワークは対象としておらず、単一路線のランプ間あるいは交差点間を「OD」として定義している。同時にAVIを設置してOD交通量を計測し、Bluetoothによって得られたOD交通量との比較を行っているが、統計的検定の結果、2つのOD比率は同じとは言えないという結論に至っている。高速道路を対象とした研究結果に着目すると、ETC（EZPass）やAVIによる計測結果との比較を通じて、これらの機器とほぼ同程度の精度で所要時間計測が可能であることが示されている^{3,4)}。一般道路における事例分析では、Bluetoothの通信可能距離が数十m程度あることに起因した所要時間計測上の課題が指摘されている⁵⁾。わが国における観測事例としては、阪神高速道路及び大阪市内の一般道路を対象とした実験があげられる⁶⁾。観測時間は極めて短いですが、環状線を介した放射路線間でMACアドレスをマッチングして得られた所要時間は、車両感知器データからタイムスライス法で算

出した値とよく整合していたとの報告がなされている。

Bluetoothは携帯電話、スマートフォン、カーナビ等へ標準的に装備されるようになっており、2013年に国内で発売されたスマートフォンへの搭載率は約84%、2014年1月時点で発売されている自動車メーカーの純正ナビゲーションシステムへの搭載率は約91%に達しており、今後益々増加することが予想されている。

以上のように、わが国でもBluetoothを活用できる環境が徐々に整いつつあるが、国内でBluetoothを用いて交通流計測を試みた事例はわずか1例のみである。今後、このような計測手法を広く活用していくためには、事例の蓄積と課題の明確化が必要不可欠であると考えられる。本研究では、首都高速道路、西日本高速道路、阪神高速道路におけるBluetoothによる交通流計測事例の紹介を通じて、所要時間計測や経路選択率の算定可能性について考察する。

2. Bluetoothを用いた交通流計測

(1) 交通流計測の基本的な考え方

Bluetoothを用いた交通流計測の基本的な考え方は、極めてシンプルである。道路利用者が所持しているスマートフォン等からBluetoothのMACアドレスを観測し、地点間でマッチングすることで、所要時間や経路選択状況を観測するという方法である（図-1）。

通信規格としてのBluetoothを特徴づけるのは、マスター・スレーブの概念である。Wi-Fiのようにアクセスポイントが存在せず、1台のマスターが最大同時7台までのスレーブをコントロールすることで通信を行っている。通信を確立する際に、マスターとなるデジタル機器は、スレーブとなるBluetooth搭載機器を探索するため、近傍にあるMACアドレスの一覧を取得するという手順を踏む（MACアドレスを取得できるのは、Bluetooth機能をオンにしているデジタル機器のみである）。MACアドレスは、ネットワーク上でノードを識別するために設定されているLANカードなどのネットワーク機器のハードウェアに一意に割り当てられる物理アドレスであり、48ビットの符号で表現される。最初の24ビットがベンダーID、次の8ビットが機種ID、最後の16ビットがシリアルIDとなることが一般的である。

従って、近傍に存在するBluetooth搭載機器のMACアドレスを探索するためのAPIを発行し、取得したMACアドレスをタイムスタンプとともに蓄積する機能を有するアプリケーションをインストールしたスマートフォンやタブレット端末を路側に配置すれば、高速道路上を走行する車両のMACアドレスを観測することが可能である。

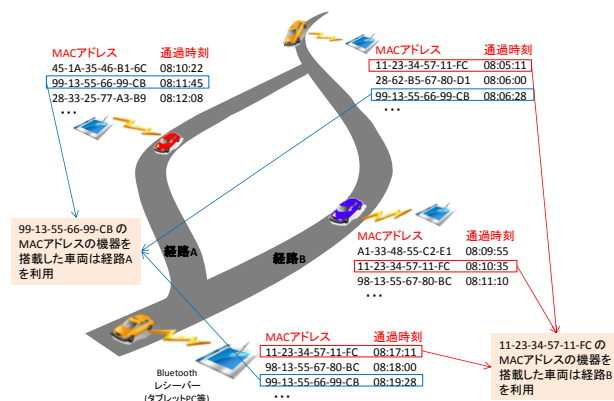


図-1 Bluetoothによる交通流計測のイメージ

(2) データクレンジング

Bluetoothを用いた交通流計測の考え方はシンプルであるが、取得したデータから所要時間や経路選択率を算定する際には、データをクレンジングするという手順を踏む必要がある。

Bluetoothの通信可能距離は、クラスにもよるが概ね数m～数十mである。従って、実環境においてMACアドレスを取得する際には、高速道路利用者が所持するデジタル機器だけでなく、並行する一般道路を通行する車両・歩行者が所持するデジタル機器、あるいは観測地点近傍の施設に設置されたプリンター等の固定されたデジタル機器のMACアドレスを同時に観測してしまうことになる。このような一般道路利用者や固定機器の影響は、特に都市内で交通流を計測する際に問題となる。最終的に地点間でマッチングを行うことに鑑みれば、固定機器のMACアドレスは単一地点でしか観測されないため、これをクレンジングする必要性はないとも言える。しかしながら、高速道路を利用する車両に対するMACアドレス抽出率を算定しようとする場合には、これら固定機器のMACアドレスを含めると抽出率を過大に評価することになってしまう。また、一般道路を通行する車両・歩行者などの移動体に付随したデジタル機器は、複数の地点で観測される可能性があるため、MACアドレスのマッチング及びマッチング結果から算定される所要時間や経路選択率にも影響を与えることが想定されることから、これをクレンジングすることが必要不可欠である。

データクレンジングの基本的な考え方は、同一のMACアドレスを初めて取得した時刻と最後に取得した時刻の差分（＝存在時間）をとり、ある閾値以上の場合には固定機器から発信されたMACアドレスと見なすというものである。並行する一般道路を通行する車両・歩行者が所持するデジタル機器のMACアドレスについても、高速道路の旅行速度が一般道路を走行する車両や自転車・歩行者の旅行速度よりも速い場合には、同じ考え方を適用することで一定のクレンジングが可能であると考えられる。実際の観測データをプロットした図-2をみ

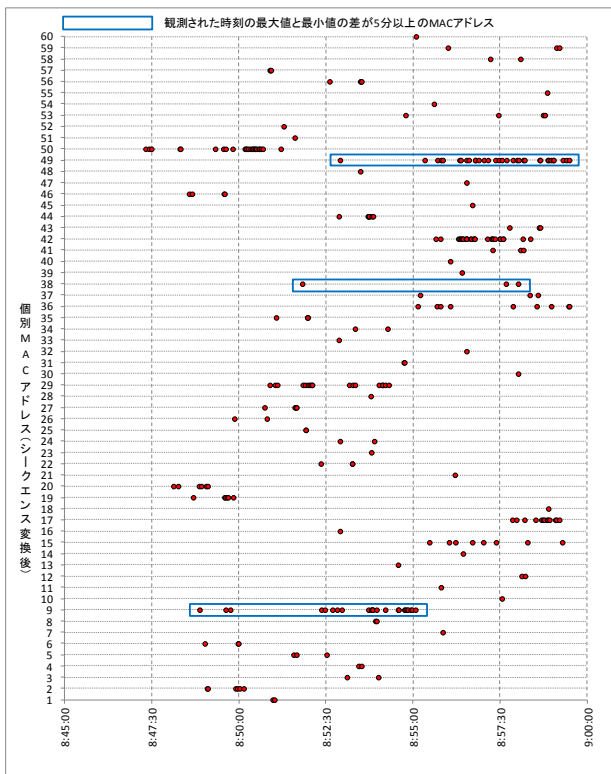


図-2 同一地点におけるMACアドレスの観測事例

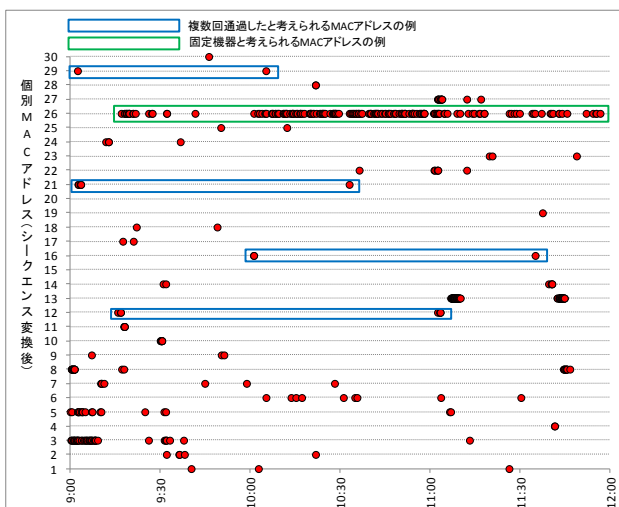


図-3 同一地点におけるMACアドレスの観測事例

ると、短時間しか存在しなかったMACアドレスと、比較的長時間にわたって観測されたMACアドレスとが混在している状況が確認できる（図中では、一例として、初めて取得した時刻と最後に取得した時刻の差分が5分以上のMACアドレスを囲って表示している。シークエンス番号の9, 38, 49が該当）。従って、閾値を適切に設定すれば、この手法に基づいたデータクレンジングは十分可能であると考えられる。

なお、上記クレンジングを行う際には、同一地点を同じ車両が複数回通過する可能性に配慮する必要がある（図-3参照）。このような場合、単純に同一MACアドレ



図-4 計測対象区間とタブレット端末の設置状況

スを初めて取得した時刻と最後に取得した時刻の差分をとると、当該MACアドレスが同一地点に長時間存在したと判別されてクレンジングされてしまうことになる。従って、クレンジングを実施する前に、トリップを分割するという処理が必要になる。トリップ分割処理は、観測データを時系列に並べた上で当該データの観測時刻と次に取得されたデータの観測時刻との差分を取り、この値が閾値以上の場合に別トリップと判定するロジックを適用すればよい。なお、閾値に関しては観測した場所等の特性も勘案して、個別に検討する必要がある。

3. 地方部都市間高速道路における所要時間計測

都市間高速道路における所要時間情報提供は、多頻度で渋滞が発生する都市部区間を中心に2km程度の間隔で設置された車両感知器の観測データをベースに行われている。地方部ではお盆等の交通混雑期を中心に渋滞が発生しているが、インフラ整備に係るコスト面での観点もあり所要時間情報提供は実施されていない。

そこで、Bluetoothによる所要時間計測の簡便性を活かして、地方部都市間高速道路での所要時間情報提供を視野に入れた試験計測を行った。試験対象は、広島市中心部から広島空港への主なアクセスルートを含む山陽自動車道上り線広島JCT→河内間とし、大規模な渋滞が発生するお盆期間を含む平成25年8月10日～9月4日までの26日間、合計4基のタブレット端末を使用して計測した（図-4参照）。

(1) MACアドレス取得状況

図-5に試験計測期間全体の日別・端末別のユニークなMACアドレス取得状況を示す。なお、「ユニークなMACアドレス数」とは、同一端末で同一MACアドレスが5分間以内に複数回取得された場合に、最初に取得されたもののみを残す処理をした後に残ったデータ数を意味しており、これを車両感知器で計測した断面交通量で

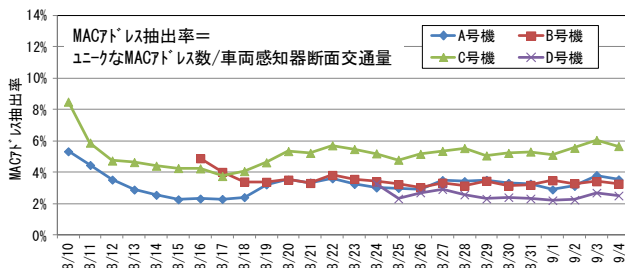


図-5 計測期間全体の各機器別のMACアドレス抽出率

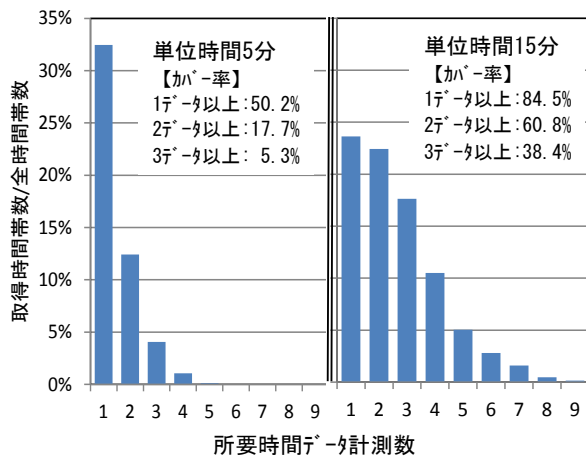


図-6 単位時間あたりの所要時間データ取得数

除したものをMACアドレス抽出率と定義する。電源確保等の準備の関係で、B号機（広島JCT付近289.1KP）は8月16日から、D号機（河内IC付近246.1KP）は8月24日から計測を開始した。C号機（河内IC付近246.3KP）は中央分離帯に設置しており、反対車線（下り線）側のMACアドレスを取得している可能性があり、MACアドレス抽出率が他と比べて高い傾向にあると思料される。A、B、D号機の状態をみると、概ね2%~4%のMACアドレスが安定して抽出できていた。

(2) 所要時間算出

取得されたMACアドレスのデータを広島JCT側（AまたはB号機）と河内IC側（CまたはD号機）とでマッチングさせることにより、所要時間の算出を行った。この区間には3箇所の休憩施設（沼田PA、奥屋PA、小谷SA）があり、SAPAへの立ち寄り影響を排除するため、車両感知器データによるタイムスライス所要時間の最大値（約170分）を参考に、マッチングに適用する閾値を180分とした。

Bluetooth通信で得られた所要時間を利用者へ提供するためには、一定程度の時間間隔で適切に所要時間が計測・取得される必要がある。図-6は渋滞が多く発生する昼間（7時~19時）において、単位時間を5分、15分とした場合の各単位時間別所要時間データ取得数を表したものである。単位時間が5分の場合、1つの所要時間データ

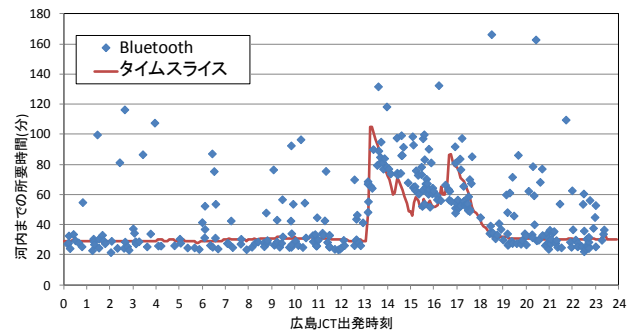


図-7 8月16日の広島JCT→河内間所要時間(全データ)

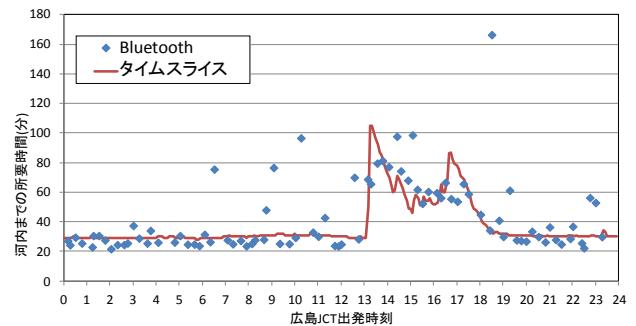


図-8 8月16日の広島JCT→河内間所要時間(15分単位下限値)

が計測できた時間帯が半数程度（カバー率50%）であるが、2データ以上となるとカバー率は18%へ下がった。単位時間が15分の場合は、2データ以上計測できた時間帯が6割程度まで上昇した。計測できた所要時間データには休憩施設立ち寄り車両のものが含まれている可能性を考慮すると、各時間帯で複数の所要時間データが取得されることが望ましい。

(3) 車両感知器タイムスライス所要時間との比較

試験計測区間には、IC間ピッチのループコイル式車両感知器が設置されているほか、情報提供用の管制設備とは独立した渋滞検知目的の画像解析方式による車両感知器が概ね2km間隔で設置されている。そこで、これらの車両感知器で得られた5分間平均速度を使用したタイムスライス所要時間とMACアドレスマッチングにより算出した所要時間とを比較した。

図-7及び図-8はピーク時18kmの事故渋滞が発生した8月16日の比較結果を示したものである。図-7はマッチングできた全データを記載したものであるが、タイムスライス所要時間から大きく乖離したデータも一定程度存在している。SAPAへの立ち寄り等の影響を受けたデータが含まれていると思料される。しかし、下限値は概ねタイムスライス値と近似している。図-8は所要時間取得単位時間を15分として算出した下限値のみを採用したものである。この結果、タイムスライス値から大きく乖離したデータ数は低減されたものの、依然として一定数存在しているため、例えば、SAPAランプ部に計測端末を置

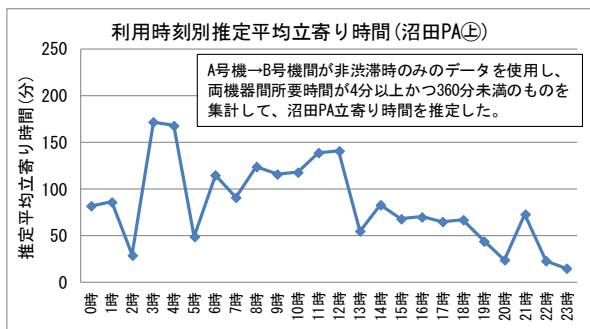


図-9 AB両号機間データによる沼田PA推定平均立寄り時間

表-1 沼田PA（上り線）の平均駐車時間

	MACアドレス マッチング	休憩施設利用実態調査 (H20. 3. 28)		
		小型	大型	全車
昼 (7時~19時) 平均	95	22	58	35
夜 (19時~7時) 平均	69	15	64	47
全日平均	87	21	60	38

くことで、SAPA立寄り車の影響を排除する等によるデータクリーニングを検討する必要がある。

(4) 休憩施設立寄り時間計測

広島JCT付近A号機とB号機の間（4.2km）には沼田PAがある。そこで、AB号機両方のMACアドレスをマッチングさせることにより、休憩施設への立寄り時間を推定することとした。渋滞データにより両号機間が非渋滞時に所要時間4分以上かつ360分未満となっているデータのみを使用して推定した。過去に実施したナンバープレート読み取りによる平日の駐車時間測定結果（平成20年3月28日）と比較すると、夜間の大型車データに対しては近似したものとなっていたが、これ以外は相当な乖離がみられた（図-9、表-1参照）。この結果は、本線に設置したMACアドレス取得用端末から休憩施設立寄り時間を計測することは困難であり、PA駐車場内や出入ランプ部にMACアドレス取得用端末を設置する等、端末設置位置の工夫が必要であることを示唆している。

4. 一般道路（乗継経路）における所要時間計測

阪神高速道路では、ミッシングリンクが解消されるまでの一時的な措置として、料金の2度払いなしに一般道路を介して特定のランプ間を乗り継ぎできる制度が導入されている。このような乗継経路を含めた所要時間情報を提供するために、これまではランプ出入口にAVIを設置して所要時間を計測してきたが、システムコストやナンバー読み精度に関する課題に加え、乗り継ぎする車両が少ない時間帯には所要時間情報を提供できないという



図-10 計測箇所位置図

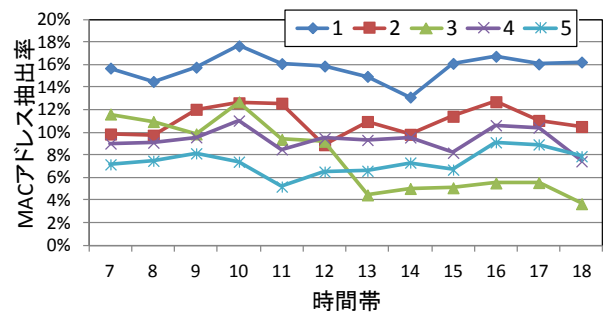


図-11 各計測箇所におけるMACアドレス抽出率

課題が存在した。逆に、乗り継ぎする車両が多い一部区間では乗継経路の混雑による遅れが発生しており、その対策が求められている状況にある。

本章では、上記のような課題に対応するため、乗継経路の所要時間をBluetoothを活用して計測することを試み、常時運用システムへの発展可能性を探った。

(1) 調査の枠組み

阪神高速道路3号神戸線～5号湾岸線間の乗継経路である灘浜住吉川線において、断面交通量調査ならびに走行速度調査と併せて、Bluetoothによる所要時間の試験計測を実施した。実施期間は平成26年2月19日（水）7:00～19:00であり、計測箇所は図-10に示す5断面である。なお、前章とは異なり、路側に設置する計測端末にはスマートフォンを用いた。また、今回は計測端末を各箇所1台のみ配置し、その1台で両方向の所要時間を計測することを試みた。

(2) MACアドレス取得状況

各計測箇所所で取得されたMACアドレス数を同時実施の断面交通量調査結果で除して求めたMACアドレス抽出率を図-11に示す。なお、同一端末で同一のMACアドレスが連続した5分間に複数回取得された場合には最初に取得されたもののみのみを残す処理をしている。

この結果をみると、既往事例⁹⁾のMACアドレス抽出率と比較するとかなり高い値を示している。計測時期がそれほど離れていないことを勘案すると、計測端末の違い（既往事例ではタブレット端末、本調査ではスマートフォン）による影響が考えられ、端末のアンテナ性能がMACアドレス抽出率に大きく影響している可能性

表-2 所要時間が取得された単位時間の割合

	東行		西行	
	単位時間5分	単位時間10分	単位時間5分	単位時間10分
1個以上	81.9%	91.7%	91.0%	100.0%
2個以上	54.9%	80.6%	65.3%	95.8%

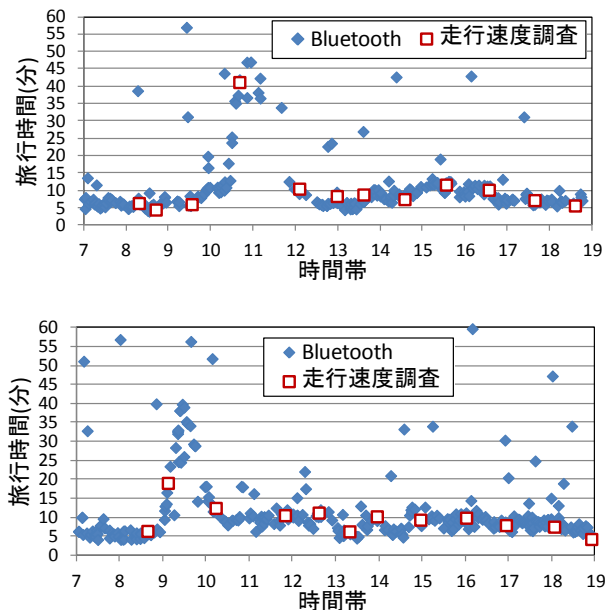


図-12 所要時間算出結果（上段：東行、下段：西行）

がある。なお、計測箇所1の抽出率が他の計測箇所に比べて高くなっている。計測箇所1は交通量の多い交差点近傍であり、断面交通量調査の調査対象方向以外を走行する車両からもMACアドレスを取得していることが影響した可能性が高い。

(3) 所要時間計測結果

計測区間両端部に位置する計測箇所1, 5で取得したMACアドレスをマッチングさせ、所要時間を算出した。まずは、計測時間帯を5分、10分の単位時間に分割し、所要時間が取得された単位時間がどの程度存在したかを整理した。表-2に示すように、単位時間5分でも東行・西行ともに多くの単位時間で所要時間が取得できた。さらに、単位時間10分では、大半の単位時間で2個以上の所要時間を取得することができている。

図-12には計測箇所1, 5から求めた所要時間分布を走行速度調査結果から求めた所要時間とともに示す。東行・西行とも午前中に大きな所要時間変動がみられるが、走行速度調査結果とほぼ等しい所要時間が得られており、精度よく所要時間計測がなされていることが確認された。一方で、同図からは極端に大きな所要時間データもある程度存在していることがみてとれる。

そこで、単位時間10分であれば十分に所要時間データが得られていることを踏まえ、10分の単位時間で最小の所要時間のみを採用するとともに、この10分の単位時間

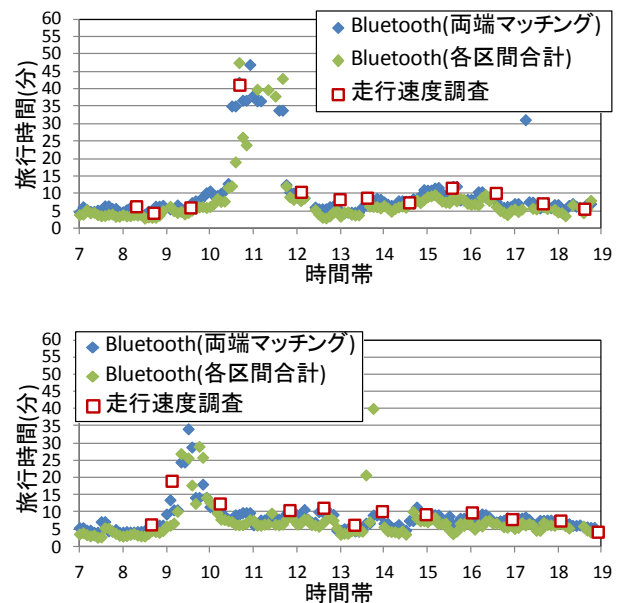


図-13 単位時間10分での最小値のみを用いた所要時間算出結果（上段：東行、下段：西行）

を5分ずつ移動させることにより、所要時間の更新間隔を5分とすることを考えた。そのようにして整理した結果を図-13に示す。なお、同図には計測箇所1, 5から求めた所要時間と併せて、隣接する各計測箇所間でマッチングして得られた所要時間を足し合わせることによって算出した値も併せて示している。単位時間10分の中での最小値のみを採用することにより、極端に大きな所要時間データが概ね除外されることが確認された。また、計測箇所1, 5で算出した結果と各区间で算出したものを足し合わせた結果を比較すると、全体的に各区间で算出したものを足し合わせた結果の方が少し小さくなっている。これは各計測端末で同一MACアドレスが複数取得された場合には最初に取得された時刻のみを採用する処理を施していることに起因している。各端末の通信可能範囲に入った段階でMACアドレスを取得していることとなるため、信号停止等の影響もあまり受けることなく、各区间での最短の所要時間が積み上げられていることによるものと判断される。

以上のように、当該乗継区間では、区間両端部に1台ずつ端末を設置するだけで、両方向の所要時間計測が充分可能であることが明らかとなった。

5. 都市高速道路におけるOD計測

これまでの分析は、取得したBluetoothのMACアドレスを地点間でマッチングすることで主に所要時間を算出することを目的としている。所要時間計測に関しては、データ処理上の課題はあるものの、現時点におけるMAC



図-14 計測箇所位置図

アドレス抽出率でも十分に実用に耐えうる所要時間を算定できる可能性があることを示した。

一方、第1章でレビューしたように、海外においては所要時間計測だけでなくOD計測にBluetoothを活用することを試みた事例が散見される。現在、首都高速道路のETC利用率は90%を超過している。これは、利用台数の90%超のランプ間OD交通量を日々把握可能であることを意味する。しかしながら、一部の区間を除いて本線上にはDSRCアンテナが設置されていないため、ランプ間の利用経路を日々把握することはできない状況にある。Bluetoothを適切に配置することで、サンプルベースではあるが利用経路を把握することができれば、交通管制・交通管理に活用することが可能となる。本章では、首都高速道路の都心環状線関連交通をターゲットとして、Bluetoothによって経路選択率を観測することを試みる。

(1) 調査の枠組み

OD間に複数経路が存在する首都高速道路3号渋谷線～6号向島線間を対象としてBluetoothのMACアドレスを取得できる計測端末を4箇所に配置し、都心環状線の内回り経由・外回り経由の経路選択率を算定することとした。具体的な計測箇所は、①3号渋谷線渋谷駅付近、②都心環状線憲政記念館前、③都心環状線万年橋付近、④6号向島線駒形PAである（図-14参照）。調査日は平成25年11月28日（木）であり、時間帯はAM（9:00～13:00）、PM（15:00～19:00）である。各計測箇所に調査用アプリケーションをインストールしたスマートフォン3台とタブレット端末1台を配置した。

(2) MACアドレス取得状況

取得したMACアドレスを第2章で述べた方法を用いてクレンジングしたユニークなMACアドレス数を、車両感知器で計測した交通量で除すことでMACアドレス抽出率を算定した（表-3、図-15）。集計単位時間は5分で

表-2 計測箇所ごとのMACアドレス抽出率

時間帯	指標	①渋谷駅付近	②憲政記念館前	③万年橋付近	④駒形PA
AM	平均値	10.4%	10.4%	6.1%	7.4%
	最小値	6.5%	7.4%	1.9%	4.0%
	最大値	16.1%	13.7%	10.7%	13.7%
PM	平均値	11.7%	10.3%	6.6%	8.1%
	最小値	7.0%	7.2%	3.6%	3.5%
	最大値	17.9%	14.2%	10.7%	14.3%

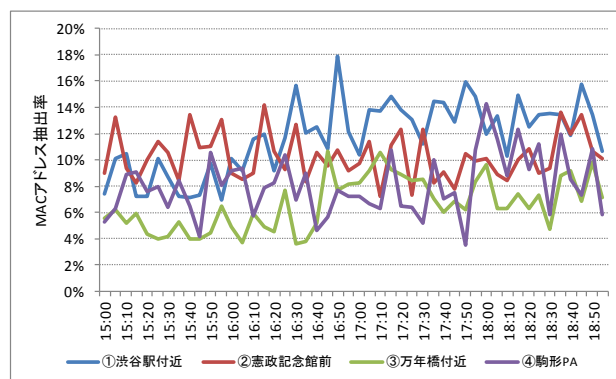
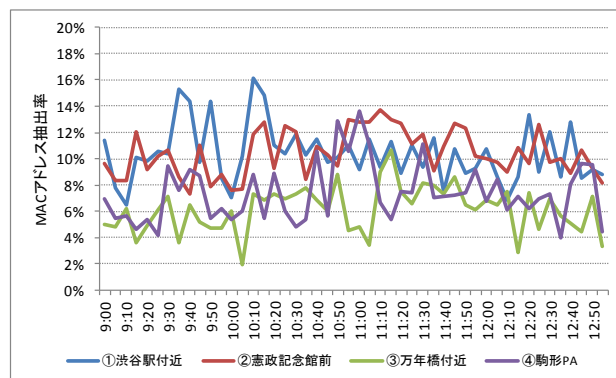


図-15 MACアドレス抽出率（上段：AM，下段：PM）

ある。

MACアドレス抽出率は計測箇所による差異が大きく、①渋谷駅付近と②憲政記念館前で概ね10%前後、④駒形PAが約7～8%、最も低い③万年橋付近で約6%となっている。①渋谷駅付近は国道246号が並行する箇所計測していることから、一般道路を走行する車両や歩行者のデータを完全にはクレンジングできていない可能性が高い。例えば、16:30以降は常に10%超の高い水準で推移しているが、これは帰宅する歩行者が増加する時間帯と重なっている。一方、④駒形PAは一般道路等の影響がほぼない計測環境であることから、現時点における首都高速道路のMACアドレス抽出率は概ね8%程度であると推察される。なお、③万年橋付近のMACアドレス抽出率が低い理由については不明であるが、いずれの地点でも同じ機種のスマートフォン・タブレット端末を使用していることから、Bluetoothの電波受信状態が悪くなかったことが影響していると考えざるを得ない。

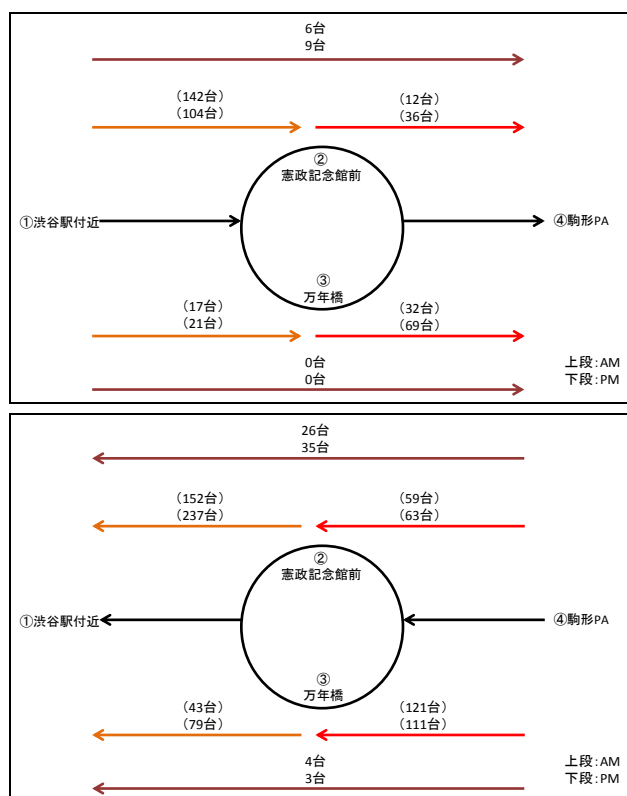


図-16 地点間マッチング台数

(3) 経路選択率

データクレンジング後のMACアドレスを設置箇所相互でマッチングし、設置箇所間のマッチング台数を算出した（図-16参照）。

3号渋谷線→6号向島線方向についての地点間マッチング結果をみると、①→②→④あるいは①→③→④といった3地点で観測できた台数は極めて少ない。特に、③を経由する経路についてはAM・PMともに1台もマッチングできていない。前節で言及したように、③万年橋付近のデータ取得率が低いことがマッチング結果に影響を与えている可能性が高い。また、2地点間でマッチングされた台数でも、100台以上マッチングできているのは①→②のみで、他のペアについては数十台程度のマッチングしかできていない。

逆方向の6号向島線→3号渋谷線方向についても、④→②あるいは④→③→①といった3地点で観測できた台数は少ないが、3号渋谷線→6号向島線方向に較べるとデータ数は多い。2地点間でマッチングされた台数についても、④→③あるいは④→②などは3号渋谷線→6号向島線方向よりはデータが多くなっている。この結果をみると、6号向島線上り側に設置された駒形PAの駐車場から観測を行ったことで、下り方向のデータが十分に取得できなかった可能性がある。

マッチング台数が少なかった理由は、上述のように計測箇所に起因する要因以外にも考えられる。既往研究⁶⁾でも示されているように、市販のスマートフォンやタブ

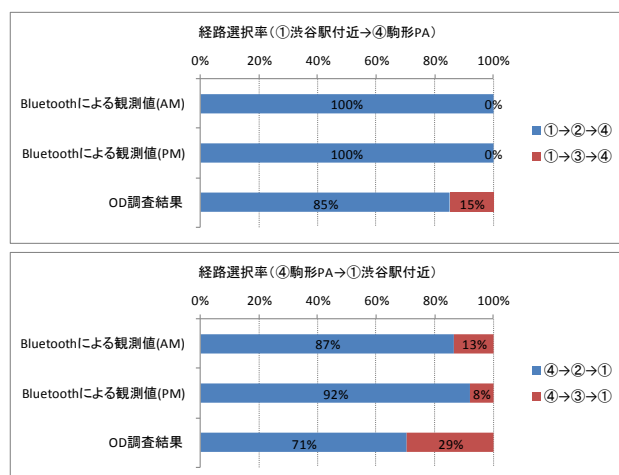


図-17 Bluetoothに基づく経路選択率（3号渋谷線→6号向島線）

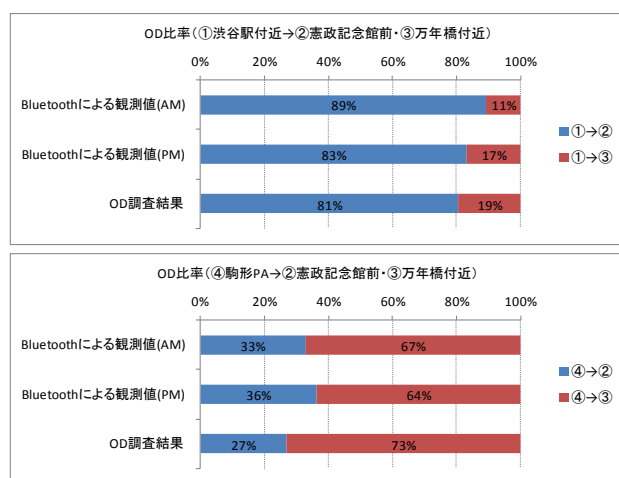


図-18 Bluetoothに基づくOD比率

レット端末を観測機器として使った場合、数十cmの距離にデジタル機器を置いた場合でも100%の確率でMACアドレスを取得することはできていない。ある1箇所で見られる/観測されないがランダムに決まると想定すると、今回のように1台の車両が3箇所全てで観測できる確率はかなり低くなってしまうことが大きく影響していると思料される。

次に、マッチング結果から経路選択率を算出し、OD調査結果と比較した（図-17、18参照）。比較の対象は、①渋谷駅付近→④駒形PA、④駒形PA→①渋谷駅付近とする。しかしながら、これらのOD間には前述のとおりマッチングできた台数が極めて少なかったことから、①渋谷駅付近及び④駒形PAからの流態に着目し、①渋谷駅付近→②憲政記念館前と①渋谷駅付近→③万年橋付近のOD比率、及び④駒形PA→②憲政記念館前と④駒形PA→③万年橋付近のOD比率についても検証対象とした。

①→③→④という経路にマッチングされた車両が無かったため、①渋谷駅付近→④駒形PAについては比較が困難である。逆方向の④駒形PA→①渋谷駅付近に関しては、Bluetoothによって観測された経路選択率は、OD調

査結果と較べると③万年橋付近を経由する経路の分担率が15~20%程度低い。③万年橋付近のデータ取得率が低かったため、このような結果になったと考えられる。しかしながら、②憲政記念館前を経由した経路を選択する利用者が多いという大まかな傾向については整合的な結果が得られた。

次に、①渋谷駅付近→③万年橋付近のOD比率についてみると、OD調査結果のOD比率が19%であるのに対し、Bluetoothによる観測値は11~17%となっており、それほど大きな差異はない。また、④駒形PA→③万年橋付近のOD比率に関しても、OD調査結果が73%であるのに対し、Bluetoothによる観測値は64~67%である。いずれの場合も、Bluetoothによる観測値がOD調査結果のOD比率を下回っていることから、③万年橋付近のMACアドレス抽出率が低かったことが影響していると推察される。

5. まとめ

本研究では、地方部都市間高速道路、都市高速道路、都市高速道路の乗継経路となっている一般道路を対象としてBluetoothを用いた交通流計測を行い、現状におけるMACアドレス抽出率、および所要時間計測やOD計測への適用可能性について考察した。本研究で得られた主な知見をまとめると以下のとおりである。

- 市販のスマートフォン・タブレット端末を用いた場合でも、電源さえ確保できれば1ヶ月程度の連続調査が可能である。
- 断面交通量に対するMACアドレスの抽出率は、観測に用いるスマートフォン・タブレット端末のBluetooth用アンテナの性能に依存する。本研究で用いたスマートフォンで計測した場合のMACアドレス抽出率は計測箇所・時間帯によっても異なるが、概ね5~10%程度である。
- 山陽自動車のようにMACアドレス抽出率が2~4%前後の場合でも、集計単位時間を15分にすれば、全時間帯の約85%で所要時間が得られる。乗継経路となっている一般道路のようにMACアドレス抽出率が5~10%程度確保されれば、集計単位時間を5分としても、全時間帯の80~90%で所要時間情報を生成することができる。
- MACアドレスのマッチングによって得られた所要時間にはSAPAへの立ち寄り車両と思われるデータが含まれているが、単位時間あたりの最小値を代表値と見なした場合、車両感知器あるいは走行速度調査から得られた所要時間とほぼ整合した結果

が得られる。

- 本研究で用いた市販のスマートフォン・タブレット端末の場合、計測箇所を通過したBluetooth搭載車両を100%観測できるわけではない。従って、経路選択率算定のように3箇所以上のマッチングが必要となるケースでは、分析に耐えうるマッチング台数が得られない可能性が高い。一方、2地点間のマッチング結果から算定可能なOD比率の場合には、既存のOD調査とも比較的整合した結果が得られる。

市販のスマートフォン・タブレット端末を用いた簡便的なシステムでも、所要時間計測に関しては十分に実用的な結果が得られる可能性が高いことを確認できたことは本研究の大きな成果である。今後、MACアドレスマッチング結果から立ち寄り車両あるいは一般道路を走行する車両等のデータをクリーニングする手法について検討することが必要である。一方で、OD計測に関しては簡便的なシステムでは限界があることが示唆された。海外のように専用アンテナを用いることで、課題をクリアすることも一つの方向性ではあるが、安いコストで手軽に交通流を計測できるという利点を失うことになる。既存スキームの効率的・効果的な運用方法等について、一層の検討が望まれる。また、取得したMACアドレスをオンラインでサーバに送信し、リアルタイムにマッチング処理を行うようなシステム拡張についても今後の課題の一つであろう。

参考文献

- 1) Wasson, J.S., Sturdevant, J.R., Bullock, D.M.: Real-time travel time estimates using media access control address matching, *ITE Journal*, Vol. 78, No. 6, pp.20-23, 2008.
- 2) Blogg, M., Semler, C., Hingorani, M. and Troutbeck, R.: Travel time and origin-destination data collection using Bluetooth MAC address readers, *Proc. of Australasian Transport Research Forum*, 2010.
- 3) Pennsylvania Department of Transportation: Bluetooth Travel Time Technology Evaluation Using the BlueTOAD, 2010
- 4) Muhammed, R., Egemalm, A.: Travel Time Estimation based on Bluetooth Sensors: Results from a Comparative Field Test, *Proc. of 9th ITS World Congress*, CD-ROM, 2012
- 5) Tsubota, T., Bhaskar, A. and Chung, E.: Simulation analysis toward the use of Bluetooth data for signalized arterials, *Proc. of 2nd International Workshop on Traffic Data Collection & its Standardization*, 2011.
- 6) 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, CD-ROM, 2013.

EMPRICAL STUDY ON TRAFFIC FLOW MONITORING IN EXPRESSWAY
USING BLUETOOTH TECHNOLOGY

Jun TANABE, Hiroshi WARITA, Takeshi MATSUSHITA and Takeshi HAGIHARA