

(23) 信号交差点におけるBluetooth MACアドレスを活用したOD交通量推定の精度に対する影響要因分析

中野 慎梧¹・西内 裕晶²

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 関東支社 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail:nakano-sn@oriconsul.com

²正会員 高知工科大学准教授 システム工学群 (〒782-0003 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)
E-mail:nishiuchi.hiroaki@kochi-tech.ac.jp

日本では交通渋滞が社会問題となっており、渋滞対策を行うには現状の交通状態を把握する必要があるが、現在行われている交通状態の把握方法には、コスト面やリアルタイム性の欠如等問題点が多く存在している。一方で、近年のICT技術の進展により、電子機器に固有に設定されているMACアドレスを用いた交通流観測に注目が集まっている。本研究では、Bluetooth機器のMACアドレスを用いた交通流観測に着目し、OD交通量を推計することにより渋滞対策に必要な交通需要を明らかにすることを目的とした。具体的には、シミュレーションを用いてOD交通量推定の精度に影響を与える要因を把握した。また、出力されたデータを用いて、Bluetooth機器の装備率と検知率がOD交通量推定に与える影響を感度分析した。加えて、高知県主要渋滞箇所での実測調査により、実務においてBluetoothを用いたOD交通量推定が可能か考察するとともに、シミュレーションによって把握した要因を精査するとともに、シミュレーションで把握することのできなかった要因を把握した。

Key Words : Bluetooth , MAC address, OD traffic volume, traffic estimation

1. はじめに

近年、日本では道路交通需要の増加や非効率な自動車の利用、運転年齢の高齢化といった様々な要因により交通渋滞が発生している。交通渋滞によって運転時間の増加や物流の遅れが生じ、金銭損失にして年間約15.4兆円、時間損失にして年間100時間の乗車時間のうち、一人当たり40時間という経済効率の低下を招いている。また、渋滞時の走行速度では、平常運転時と比較してCO₂排出量が約60%増加するという報告もあり、環境問題の一要因ともなっている。

交通渋滞対策をするためには、対象となる箇所のOD交通量に代表される交通需要を把握しなければならない。現状として、車両感知器を用いた交通流観測によるものや、道路交通センサスといったアンケート調査や聞き込み調査が主流となっている。しかし、これらの方法にはコストがかかりすぎることや、対象とする場所が限定されてしまうこと、プライバシー面での問題、リアルタイム性の欠如等の様々な問題が挙げられる。

一方で、近年の情報処理コストの低廉化やデータ処理

技術の高度化、GPS搭載機器の普及といったICT技術の発展により、機器ごとで固有に設定されているMACアドレスを活用した交通流観測に注目が集まっている。本研究では、BluetoothのMACアドレスを活用した交通流観測に着目し、一箇所の信号交差点におけるOD交通量を推定することにより、渋滞対策に必要な交通需要を明らかにすることを目的とする。具体的には、シミュレーションと実測調査によりOD交通量の推定をする。その結果から、実務で利用可能か検討する。また、利用可能な交差点の条件について考察する。

2. 先行研究と位置づけ

(1) 先行研究

Bluetoothを活用した交通量推定や旅行時間推定に関する研究について整理する。Wasson.JS^ら¹⁾は、Bluetoothを利用し旅行時間を推定する方法を提唱している。Bhaskar.A^ら²⁾は、Bluetoothデータの取得プロセスやデータを使用した分析精度の信頼性について、TCS(Traffic and

Communication Simulation)と呼ばれる多層シミュレーションを利用し、検証モデルを構築している。北澤ら⁹⁾は、Bluetoothデータを計測して旅行時間を把握するための調査システムについて検討するとともに計測ツールを開発している。また、一般道路や都市高速道路を対象として、Bluetoothを用いた旅行時間計測に関して分析し適応可能かどうかの検証をしている。吉井ら⁹⁾は、取得したBluetoothのMACアドレスを集計したOD交通量を現在パターン法を用いて拡大し、実際のOD交通量を推定する方法を提案している。坪田ら⁹⁾は、二項ロジットモデルによりBluetooth端末の装備率、検知率の推定式を構築している。また、観測により得られたデータ数から交通量を±10%程度の誤差で推定可能な手法を最尤値により提案している。青柳ら⁹⁾は、交通シミュレーションを用いてBluetooth搭載車の混入率がMACアドレスを用いた旅行時間分析に与える影響を分析している。坪田ら⁷⁾や西内ら⁹⁾は、Bluetoothスキャナの設置状況がデータの検知精度に与える要因についてロジスティック回帰分析や重回帰分析を用いて把握している。

しかし、Bluetoothを活用した交通量推定や旅行時間推定には、Bluetooth機器の装備率や検知率、交差点形状やODパターン等がOD交通量の推定精度に与える要因を把握できていないという問題点がある。

(2) 研究の位置づけ

前節を踏まえると、Bluetoothを活用した交通流観測に関する研究は存在するものの、実際にBluetoothのMACアドレスを観測をする際に、OD交通量の推定に与える要因については把握し切れていないことが考えられる。そこで本研究は、シミュレーションソフトを用いてBluetoothを活用したOD交通量推定を擬似的に再現し、入力値を変更させることで推定の精度に影響を与える要因を把握する。また、シミュレーションから考察した要因が正しいものか精査するため、Bluetoothスキャナを用いた実測調査を高知県の主要渋滞箇所⁹⁾に指定されている箇所で行う。その結果より、OD交通量の推定精度に影響を与える要因の精査と、実務における交差点でのBluetoothを活用した調査の実現可能性について考察する。

3. 研究概要

(1) シミュレーションを用いたOD交通量推定

本研究では、街路網交通流シミュレーションのAVENUEを用いたOD交通量推定を行い、その結果を感度分析することによりOD交通量推定の精度に影響を与える要因について把握する。シミュレーションを活用することにより、実測データを用いたOD交通量推定の際

の真値、推定誤差やBluetooth機器の検知率、装備率が不明であるという問題点を解決可能である。本研究では、シミュレーションの入力値である交差点形状やODパターンを変更することで、より精度よく推定可能な条件について考察する。また、Bluetooth機器の検知率と装備率を定義し変化させることにより、OD交通量推定をした際の推定値と真値の誤差についてRMSEを算出する。その結果を感度分析することでBluetooth機器の装備率や検知率がOD交通量推定に与える要因について考察する。

(2) 主要渋滞箇所における実測調査

前節で考察された交差点の形状やODパターンといった要因について、実測調査を実施し精査する。具体的には、国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所が指定する高知県主要渋滞箇所⁹⁾から、交差点の形状とODパターンが異なる四箇所を選定し、Bluetoothスキャナを用いた実測調査を実施する。その際に、ビデオカメラを用いて交差点を利用する車のナンバープレートを撮影し、真値となるOD交通量を作成する。Bluetoothスキャナにより検知されたOD交通量と真値のOD交通量によるOD交通量を推定し、RMSEを算出することで推定に影響を与える要因について精査する。

BluetoothのMACアドレスの取得には、株式会社地域未来研究所が開発したBTSearchAPPと呼ばれるアプリをインストールしたAndroidのスマートフォンを用いた。Bluetoothスキャナは、Bluetooth電波を発する機器(スマートフォン、カーナビ、音楽機器等)のMACアドレスを検知するものである。

4. シミュレーションを用いたOD交通量推定

(1) シミュレーションの入力値

本研究では、シミュレーションをする際に交差点形状とODパターン、Bluetooth機器の装備率、検知率を変更させることで、OD交通量の推定誤差に与える影響を把握する。変化させる条件について表-1に示す。

表-1 シミュレーション入力値の条件

交差点形状	T字路
	十字路
	十字路+1
ODパターン	基本OD
	交通量多い
	交通量少ない
	一方向に集中
	一点に集中
検知率	一点のみ少ない
	10%刻みで変化させる
装備率	10%刻みで変化させる

交差点形状は、交差点に接続する道路本数を3本～5本で変化させた。ODパターンは、まず基本となるOD交通量を平成27年度道路交通センサス¹⁰⁾、高知県、一般国道（直轄）、12時間平均交通量から設定し、基本ODと比較して交通量が多い場合と少ない場合のOD交通量を設定した。また、道路ごとに交通量に差がある場合が考えられるため、一方向に集中しているOD交通量（例：南北方向は多いが東西方向は少ない）、一点に集中しているOD交通量、一点のみ少ないOD交通量を設定した。Bluetooth機器の検知率と装備率に関しては、10%刻みで変化させ、10%～100%の間で感度分析した。

(2) 感度分析の結果

本研究では、シミュレーションの総交通量を統一していない為、すべての結果を相対的に考察するために、一台の交通量に対する交通量全体の推定誤差に算出する。

図-1に平均RMSEを総交通量で割った値を比較したものを示す。結果として、交差点の形状に着目した場合、交差点を構成する道路本数が多いほどOD交通量推定の精度がよい結果となった。交通量に着目した場合、交通量が多いほどOD交通量推定の精度がよい結果となった。また、基本ODと比較して、道路ごとに交通量に差がある場合にOD交通量推定の精度がよい結果となった。

(3) OD交通量推定に影響を与える要因の考察

本稿では、前節で得られたOD交通量推定に影響を与えると考えられる要因について考察する。交通量が多いほど精度がよくなった理由として、真値が多ければ多いほど検知可能な車が多く、OD交通量を推定する際の精度の向上に繋がったと考えられる。交差点を構成する道路本数が多いほど精度がよくなった理由として、本研究ではシミュレーションで真値を設定する際に、ひとつの道路を走る交通量を統一したため、道路本数が多くなればなるほど交通量が多くなる。その結果、精度よくなったと考えられる。道路ごとに交通量に差があった場合に精度がよくなった理由として、得られたデータを拡張する際に値が真値に収束しやすくなるためだと考えられる。

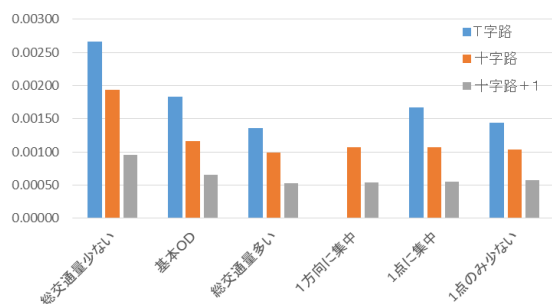


図-1 平均 RMSE/総交通量

5. 主要渋滞箇所における実測調査

(1) 調査場所の選定

前章で考察した要因について精査するために、実測調査を行った。対象とする交差点は、国土交通省四国地方整備局土佐国道事務所が指定する高知県主要渋滞箇所から交差点形状とODパターンの異なる四箇所を選定した。四箇所の交差点について選定条件を表-2に示す。

(2) 調査概要

調査は交差点に出入りする車を対象とし、歩道にBluetoothスキャナとビデオカメラを設置することで、MACアドレスの取得と、真値となるOD交通量を作成するためのナンバープレートの撮影をする。Bluetoothスキャナは三脚を用いて固定し、高さを1m、タイムアウト時間を3秒に設定した。調査は平日の通勤時間前後の午前6時30分～午前8時30分までとした。

(3) 調査の結果

四箇所の信号交差点における調査の結果を表-3に示す。取得されたデータをもとにBluetoothのMACアドレスによるOD表と真値のOD表を作成し、各信号交差点の推定結果を比較することでOD交通量推定に影響を与えると考えられる要因について考察する。交差点ごとの真値と推

表-2 対象交差点選定条件

交差点名	交差点形状	交通量の差	流入の有無
高知市北久保16番地交差点	T字路	交通量同じ	少ない
高知市高須308番地交差点	十字路	交通量同じ	少ない
高知市小倉町1番地交差点	十字路+1	差がある	多い
高知市若松町1436番地交差点	十字路	差がある	多い

表-3 実測調査結果

交差点名	総交通量(台)	総取得ユニークMACアドレス数	全体捕捉率
高知市北久保16番地交差点	3,920	164	4%
高知市高須308番地交差点	7,664	289	4%
高知市小倉町1番地交差点	6,033	408	7%
高知市若松町1436番地交差点	4,489	464	10%

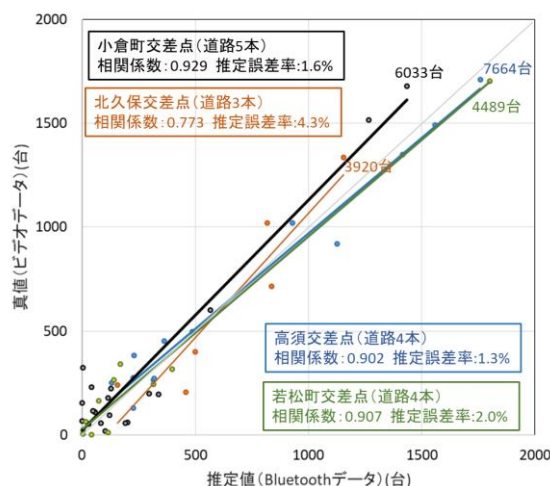


図-2 真値と推定値の比較

定値の比較を図-2に示す。結果として、シミュレーションと同じく交差点の形状に着目した場合、交差点を構成する道路本数が多いほどOD交通量推定の精度がよい結果となった。交通量に着目した場合、交通量が多いほどOD交通量推定の精度がよい結果となった。また、どの交差点でも相関係数が高く推定誤差率が低いため、Bluetoothを用いた信号交差点におけるOD交通量推定が有用であると考えられる。

(4) その他要因との関係性の考察

シミュレーションにおいて考慮することの出来なかった要因について、調査時に得られたデータより考察する。本研究では、大型車混在率と渋滞流に着目し整理した結果を表-4、図-3に示す。結果として、大型車混在率が高いほど相関が良いという結果が得られた。要因として、交通容量が下がり渋滞しやすくなることから、スキャナ前の交通流が停滞している状況が増加し、Bluetoothを捕捉しやすい状況となっていると考えられる。また、渋滞時には捕捉率が高くなっており、BluetoothのMACアドレスを捕捉しやすくなっていることが明らかとなった。要因として、車群の速度が低下しスキャナが捕捉可能な時間が増加するためと考えた。

7. 終わりに

本研究では、シミュレーションを用いて OD 交通量推定へ影響を与える要因を考察した。その結果、交通量の多さ、交通量の差、交差点の形状という 3 つの要因が影響を与えることが明らかとなった。また、四箇所の信号交差点における実測調査により、シミュレーションで得られた OD 交通量推定に影響を与える要因について精査するとともに、大型車混在率と渋滞流が与える影響につ

表-4 大型車混在率と推定誤差の比較

調査交差点	交通量	大型車数	混入率	推計誤差率	相関係数
交差点1	3920	220	5.6%	4.29%	0.712
交差点2	7664	669	8.7%	1.31%	0.902
交差点3	6030	444	7.4%	1.45%	0.932
交差点4	4488	389	8.7%	1.96%	0.907

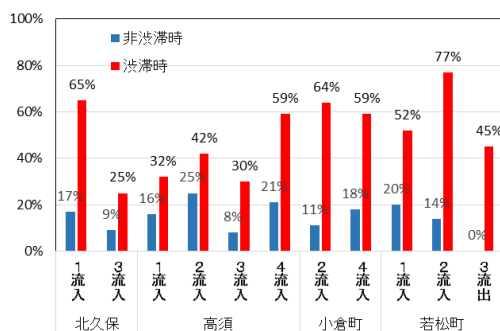


図-3 渋滞時と非渋滞時の捕捉率

いて把握した。また、相関係数と推定誤差率から、Bluetooth 端末を利用した信号交差点における OD 交通量推定は有用であると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、株式会社地域未来研究所の菅芳樹様よりアプリケーションを使用させていただいております。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Wasson.J.S,Sturdevant.J.R and Bullock.D.M : Realtime travel time estimates using media access control address matching, ITE Journal ,Vol.78 , pp.20-23 , 2008.
- 2) Bhaskar.A and Chung.E : Fundamental understanding on the use of Bluetooth scanner as a complementary transport data, Transportation Research PartC ,Vol.37 , pp.42-72 , 2013.
- 3) 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・論文集 ,Vol.31 , pp.501-508, 2014.
- 4) 吉井稔雄, 西内裕晶, 塩見康博, 尾高慎二, 倉内慎也 : Bluetooth スキャナを用いた MAC アドレス観測による OD 交通量推定方法,土木計画学研究・講演集 ,Vol.52, CD-ROM, 2015.
- 5) 坪田隆宏, 吉井稔雄, 藤井浩史 : Bluetooth 検知技術を活用した交通量推定,土木計画学研究・論文集 ,Vol.74, pp.1283-1289, 2018
- 6) 青柳達也, 石坂哲弘, 安藤正志 : Bluetooth MAC アドレスによる交通状態推定方法の検証—実測とマイクロ交通シミュレーションを用いて—,土木学会年次学術講演会講演概要集 ,Vol.72, pp.195-196, 2017.
- 7) 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方向を考慮した MAC アドレスの検知確率推定モデル,交通工学論文集 ,Vol.3, pp.37-43, 2017.
- 8) 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, Vol.71, pp.40-46 , 2015.
- 9) 国土交通省-四国地方整備局,第 22 回 高知県渋滞対策協議会説明資料, < http://www.skr.mlit.go.jp/tosakoku/information/public_comment/kaigisiryu_22.pdf >(入手 2019.05.15)
- 10) 平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査集計表 交通量整理表, < <http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/data/pdf/syuukei04.pdf> >(入手 2018.11.30)