

# Bluetooth検知技術を活用した交通量推定

坪田 隆宏<sup>1</sup>・吉井 稔雄<sup>2</sup>・藤井 浩史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 愛媛大学助教 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)  
E-mail: t.tsubota@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 愛媛大学教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)  
E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪府北区中之島3-2-18)  
E-mail: fujii-hr@oriconsul.com

本研究では、同一条件下に設置された複数のBluetoothスキャナによって検知されたMACアドレス数の観測結果を用いた交通量推定手法を提案する。交通流中に含まれるBluetooth装備車の数、ならびにスキャナにより検知されるMACアドレス数は、それぞれBluetooth端末の装備率、ならびにスキャナの検知率に基づくランダムサンプリングの結果と言える。従って、単一のスキャナによる検知数は確率的なバラつきを有し、それに基づく交通量の推定は困難と考えられる。

本研究で提案する交通量推定手法では、MACアドレス検知数のバラつきを考慮する為、複数のスキャナによる観測結果を使用する。提案手法では、ある時間幅に現れるMACアドレス検知数にポアソン分布を仮定し、検知されたMACアドレス数の尤度が最大となるように交通量を推定する。実交通における計測データを用いた検証では、提案手法により±10%前後の誤差率で交通量の推定が可能であることが明らかとなった。

**Key Words :** Bluetooth, MAC Address, Traffic Volume Estimation

## 1. はじめに

適切な交通マネジメントの実施、検討には交通状態の把握が必要となる。交通流は3つの状態量、すなわち交通量と速度、密度によって表現されるが<sup>1)</sup>、交通状態の推定には任意の2つの状態量を観測する必要がある。主な観測手法として、車両感知器を始めとする固定型センサーによるものと、プローブ情報等の移動体データを活用する手法が挙げられる。固定型センサーを用いる場合、センサー設置断面を通過する車両の交通量と速度が得られるものの、センサーの設置や維持管理に要するコストが高く、発展途上国や地方道への適用には課題がある。一方、移動体データを用いる場合、同一車両の通過時刻を複数地点感でマッチングすることにより、車両の速度情報を安価に得られる<sup>2,3,4)</sup>。しかしながら、移動体データを使用する場合、観測対象がプローブカー等の情報通信端末を持つ車両に限られる為、交通量の推定が困難であり、移動体の観測による交通状態の把握には至っていない。本研究では、移動体観測による交通状態の把握を目指し、移動体データからの交通量推定手法の開発を目的とする。

次章において、Bluetoothスキャナを用いたMACアドレ

ス検知の特徴を考察し、本研究において提案する交通量推定手法の位置づけを示す。

## 2. MACアドレス検知数と断面交通量の関係

Bluetooth スキャナを用いた交通流観測では、Bluetooth 端末の発するシグナルを受信する機器を路側等に設置することで、車載 Bluetooth 端末の発する MAC アドレスを検知する。スキャナは通過する全ての Bluetooth 端末のシグナルを検知するわけではなく、検知漏れが発生し、その検知率は交通流状態やスキャナの設置状況に依存することが知られている<sup>5,6)</sup>。このような Bluetooth スキャナを用いた交通流観測によって得られる MAC アドレス数は、以下で説明するような二段階の無作為抽出による結果と解釈することができる。

いま、スキャナの設置断面を通過する交通流に Bluetooth 端末搭載車が装備率 $r_e$ の割合で一様に混入していると仮定する。このとき、集計時間幅 $\Delta t$ に断面を通過する Bluetooth 端末搭載車数は、断面交通量から確率 $r_e$ で無作為抽出することで得られる確率変数と解釈でき、その期待値 $\lambda_e$ は式(1)によって表される。

$$\lambda_e = r_e q \Delta t \quad (1)$$

ただし、 $q$ は交通流率とする。

次に、スキャナの検知率が $r_d$ で表されるとき、集計時間幅 $\Delta t$ に検知される MAC アドレス数についても、Bluetooth 端末搭載車の中から確率 $r_d$ で無作為抽出された結果の確率変数と解釈され、その期待値 $\lambda_d$ は式(2)のように計算される。

$$\lambda_d = r_d \lambda_e = r_d r_e q \Delta t \quad (2)$$

従って、スキャナの検知率 $r_d$ と Bluetooth 端末搭載車の装備率 $r_e$ 、ならびに集計時間幅 $\Delta t$ に検知される MAC アドレス数の期待値 $\lambda_d$ が所与である場合、交通流率 $q$ は式(3)によって計算できる。

$$q = \frac{\lambda_d}{r_d r_e q \Delta t} \quad (3)$$

しかしながら、あるスキャナが実際に検知する MAC アドレス数 $n_d$ は、装備率と検知率に応じて交通流中から無作為抽出される結果の確率変数であり、期待値 $\lambda_d$ とは異なる。すなわち、検知実験より得られる MAC アドレス数 $n_d$ は、確率分布に従って出現すると考えられ、断面交通量や装備率、ならびに検知率が同一の条件であっても、収集される MAC アドレス数 $n_d$ は確率的なバラつきを持って得られることが推察される。

そこで、本研究では同一条件下において得られた確率的なバラつきを有する複数の検知結果を用いて、最尤法に基づく交通量の推定手法を提案する。

### 3. 交通量推定手法

#### (1) 推定手法の概要

本研究では同一の観測条件下に設置された複数のスキャナによる MAC アドレス検知数を用いた交通量推定手法を提案する。はじめに、交通量推定手法を構築する際の前提条件を整理する。

ある道路断面に、検知率が互いに等しくなるよう設定された $k$ 台のスキャナを設置し、交通量推定の対象時間帯 $T$ にわたって MAC アドレスを収集する。スキャナの検知する MAC アドレス数は時間幅 $\Delta t$ 毎に集計されるため、各スキャナに対して $l(= T/\Delta t)$ 個の観測結果が得られる。

本研究では、スキャナの検知率と装備率が所与のもと、推定対象時間帯 $T$ の平均交通流率 $q$ を推定する手法を構築する。ここで、スキャナの検知率については交通状況に応じて変動するが<sup>7)</sup>、装備率については推定対象時間帯 $T$ において一定であるとする。

現実には検知率と装備率についても未知である為、はじめにこれらの推定方法を構築する。続いて、推定された検知率と装備率を用いた交通量推定手法を提案する。

#### (2) 検知率の推定

スキャナの検知率については、坪田ら<sup>7)</sup>による計測実験において収集されたデータを用いて検知率推定モデルを構築する。同計測実験は、全長 120m の実験区間を、Bluetooth 通信機能がオンの状態のカーナビを搭載した車両を等速走行させることにより行った。具体的には、スキャナの設定や設置条件、車両の速度を変化させた各種条件下で、北澤ら<sup>4)</sup>により開発された Bluetooth スキャナによる MAC アドレス検知を行った。スキャナは、実験区間の中間地点、すなわち 60m 地点に垂直方向に 2.5m 離れた路側に設置した。これにより、車両が実験区間を通過するという試行に対して、MAC アドレス検知の有無という事象を計測した。実験の詳細は坪田ら<sup>7)</sup>を参照されたい。

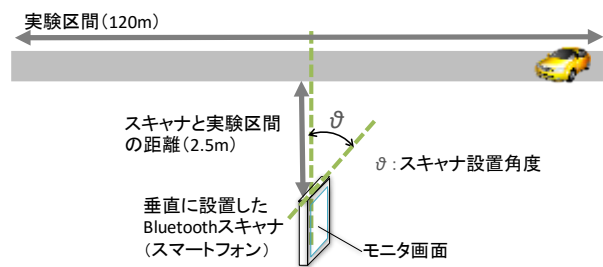


図-1 検知実験概要

実験では表-1 に示す条件のうち、スキャナの設置角度 4 種類、車両走行速度 2 種類、そしてタイムアウト時間 3 種類の組み合わせにより、合計 24 通りの異なる観測条件を設定し、各条件に対して 6 回ずつ、計 144 回の走行を行った。これに対し、上下各 2 台の異なる高さに設置した計 4 台のスキャナにより検知することで、延べ 576 回分の検知試行を行った。

表-1 観測条件一覧

制御項目	観測条件
スキャナ設置高さ (2種)	1.0m, 4.5m
スキャナ設置角度 (4種)	0度, 45度, 90度, 135度
車両走行速度 (2種)	20km/h, 30km/h
タイムアウト時間 (3種)	3秒, 5秒, 10秒

計測によって得られたデータから機器のエラーなどにより不完全となったデータを除外し、570 の検知試行結果を用いて、スキャナによる検知の有無を目的変数とする 2 項ロジットモデルにより、検知率推定モデルを構築した。実験区間を通過する間に MAC アドレスが検知される確率を $r_d$ として式(4)に示す回帰式を用いる。

$$\ln\left(\frac{r_d}{1-r_d}\right) = a_1 d_3 + a_2 d_h + a_3 t + const. \quad (4)$$

ただし、 $d_3$  : スキャナのタイムアウト時間 3 秒ダミー、 $d_h$  : スキャナの設置高さダミー (4.5m (1), 1.0m

(0) ,  $t$  : 実験区間の通過に要する時間[秒],  $a_i$  : 回帰係数,  $const.$  : 定数項を表す. なお,  $t$  は走行速度の影響を表す変数であり, 120m の実験区間通過所要時間を示す.

モデルの推定結果を表-2 に示す. モデルの説明力を示す尤度比は 0.20 以上となり, 概ね良好な推定結果であると言えることから, 得られたモデル式をスキャナの検知率推定モデルとする. ただし, 説明変数  $t$  は 120m の実験区間通過に要する時間[秒]であり, 実験環境に依存する変数となっている. よって, 式(5)に示すように, 変数  $t$  を時間帯  $j$  の平均旅行速度  $v(j)$  [km/h] を用いて書き換えることで, 時間帯ごとの交通状況に応じた検知率を推定する. 最終的に得られた検知率推定モデル式を式(6)に示す.

表-2 観測条件一覧

説明変数	偏回帰係数	P 値
タイムアウト 3 秒ダミー $d_3$	0.68	0.03*
設置高さダミー $d_h$	-0.47	0.00*
実験区間通過に要する時間 $t(j)$ [秒]	0.68	0.00*
定数 $const.$	-3.87	0.00*
サンプル数	570	
尤度比	0.21	

$$t(j) = 120 * 3.6 / v(j) \quad (5)$$

$$\hat{r}_d(j) = 1 / \{1 + \exp\{-0.66d_3 - 1.26d_h + 0.17t(j) - 2.09\}\} \quad (6)$$

### (3) 装備率の推定

装備率の推定に際しては, 交通量が所与である時間帯  $T_0$  を考える. ここで, 時間帯  $T_0$  は交通量推定対象時間帯  $T$  とは異なるものとする. 時間帯  $T_0$  において,  $k$  台のスキャナにより, 時間幅  $\Delta t$  毎に集計された MAC アドレス数の観測結果が  $l_0 (= T_0 / \Delta t)$  個得られているとする.

スキャナ  $i (i = 1, \dots, k)$  が集計時間帯  $j (j = 1, \dots, l_0)$  に検知する MAC アドレス数  $n_i(j)$  が, 期待値  $\lambda_d(j)$  のポアソン分布に従うと仮定する. 集計時間帯  $j$  に観測された断面交通量  $Q(j)$  と検知率  $\hat{r}_d(j)$  が所与である場合, 装備率  $r_e$  の下でサンプル数  $n_i(j)$  を観測する確率  $P(n_i(j)|q)$  は式(7)と式(8)のように表される.

$$\lambda_d(j) = \hat{r}_d(j)r_e Q(j) \quad (7)$$

$$P(n_i(j)|r_e) = \frac{(\hat{r}_d(j)r_e Q(j))^{n_i(j)} \exp(-(\hat{r}_d(j)r_e Q(j)))}{n_i(j)!} \quad (8)$$

いま,  $k$  台のスキャナが時間帯  $T_0$  にわたって収集した延べ  $k \times l_0$  個の観測結果  $\mathbf{N}_0$  が得られているとする. ただし,  $\mathbf{N}_0$  は観測結果の集合であり, 式(9)のように表される.

$$\mathbf{N}_0 = \begin{Bmatrix} n_1(1) & \cdots & n_1(l_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_k(1) & \cdots & n_k(l_0) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

このとき, 観測結果  $\mathbf{N}_0$  が得られる尤度, ならびに対数尤度は, それぞれ式(10)と式(11)で表される.

$$L(r_e) = \prod_{j=1}^{l_0} \prod_{i=1}^k \frac{(\hat{r}_d(j)r_e Q(j))^{n_i(j)} \exp(-(\hat{r}_d(j)r_e Q(j)))}{n_i(j)!} \quad (10)$$

$$\ln L(r_e) = \sum_{j=1}^{l_0} \sum_{i=1}^k [n_i(j) \{\ln r_e + \ln(\hat{r}_d(j)Q(j)) - (\hat{r}_d(j)r_e Q(j)) - \ln(n_i(j))\}] \quad (11)$$

交通量が所与である時間帯  $T_0$  における装備率の推定値は, 式(12)の対数尤度を最大化する装備率  $\hat{r}_e$  として与えられる. すなわち,

$$\frac{\ln L(r_e)}{dr_e} = \sum_{j=1}^{l_0} \sum_{i=1}^k \left[ \frac{n_i(j)}{r_e} - \hat{r}_d(j)Q(j) \right] = 0 \quad (12)$$

より,

$$\hat{r}_e = \operatorname{argmax} L(r_e) = \frac{\sum_{j=1}^{l_0} \sum_{i=1}^k n_i(j)}{\sum_{j=1}^{l_0} \sum_{i=1}^k \hat{r}_d(j)Q(j)} \quad (13)$$

と計算される.

### (4) 最尤法による交通量推定手法

スキャナ  $i (i = 1, \dots, k)$  が集計時間帯  $j (j = 1, \dots, l)$  に検知する MAC アドレス数  $n_i(j)$  が, 期待値  $\lambda_d(j)$  のポアソン分布に従うと仮定する. 期待値  $\lambda_d(j)$  は式(2)と同様に検知率と装備率によって表され, 集計時間帯  $j$  の交通状況における検知率を  $\hat{r}_d(j)$  とし, 装備率については  $\hat{r}_e$  で一定であるとする. 式(14)のように計算できる.

$$\lambda_d(j) = \hat{r}_d(j)\hat{r}_e q \Delta t \quad (14)$$

このとき, 交通流率  $q$  の下でサンプル数  $n_i(j)$  を観測する確率  $P(n_i(j)|q)$  は式(15)のように表される.

$$P(n_i(j)|q) = \frac{(\hat{r}_d(j)\hat{r}_e q \Delta t)^{n_i(j)} \exp(-(\hat{r}_d(j)\hat{r}_e q \Delta t))}{n_i(j)!} \quad (15)$$

いま,  $k$  台のスキャナが観測時間  $T$  にわたって収集した延べ  $k \times l$  個の観測結果  $\mathbf{N}$  が得られているとする. ただし,  $\mathbf{N}$  は観測結果の集合であり, 式(16)のように表される.

$$\mathbf{N} = \begin{Bmatrix} n_1(1) & \cdots & n_1(l) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_k(1) & \cdots & n_k(l) \end{Bmatrix} \quad (16)$$

このとき, 観測結果  $\mathbf{N}$  が得られる尤度, ならびに対数尤度は, それぞれ式(17)と式(18)となる.

$$L(q) = \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^k \frac{(\hat{r}_d(j)\hat{r}_e q \Delta t)^{n_i(j)} \exp(-(\hat{r}_d(j)\hat{r}_e q \Delta t))}{n_i(j)!} \quad (17)$$

$$\ln L(q) = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k [n_i(j) \{ \ln(q) + \ln(\hat{r}_d(j) \hat{r}_e \Delta t) - (\hat{r}_d(j) \hat{r}_e q \Delta t) - \ln(n_i(j)) \}] \quad (18)$$

推定対象時間帯 $T$ における平均交通流率 $q$ の推定値は、式(19)の対数尤度を最大化する交通流率 $\hat{q}$ として与えられる。すなわち、

$$\frac{\ln L(q)}{dq} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \left[ \frac{n_i(j)}{q} - \hat{r}_d(j) \hat{r}_e \Delta t \right] = 0 \quad (19)$$

より、

$$\hat{q} = \operatorname{argmax} L(q) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k n_i(j)}{\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \hat{r}_d(j) \hat{r}_e \Delta t} \quad (20)$$

と計算される。

#### 4. 計測実験

##### (1) 計測実験概要

3章で構築した交通量推定手法の検証を行うため、車両の出入りのない単路部区間において検証データの収集を行った。調査は愛媛県松山市郊外に位置する両側2車線道路において、車両の出入りのない450mの区間を選定し実施した。図-2に示すように、区間の始点と終点の2箇所に観測地点（地点A、地点B）を設け、各地点にBluetoothスキャナを各3台と、ビデオカメラを各1台設置した。計測項目を表-3に整理する。計測方法の詳細は次節で説明する。

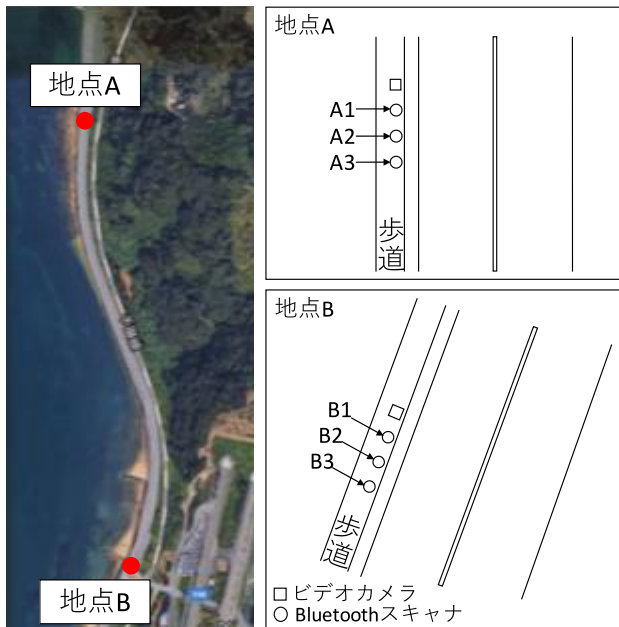


図-2 計測実験区間の概要

表-3 計測項目一覧

計測項目	計測方法
MACアドレス数	Bluetoothスキャナ
断面交通量	ビデオカメラ
2地点間の旅行速度	

##### (2) 計測方法

###### a) Bluetoothスキャナによる計測

MAC アドレス数の計測には、検知率推定モデルの構築の際と同様に、北澤ら<sup>4)</sup>により開発されたスキャナを使用した。同スキャナの検知可能範囲は最大で約 100m とされているのに対し、本調査で対象とする道路幅員は約 7m であることから、十分に調査断面をカバーできていると言える。

スキャナは合計 6 台使用し、2つの計測地点に 3 台ずつ配置した。設置方法については、式(6)に示される検知率推定モデルに従い、検知率が最大になるように設定した。具体的には、6 台のスキャナ全てに対し、設置高さを 1.0m、タイムアウト時間を 3 秒に設定した。

###### b) ビデオカメラによる計測

ビデオカメラの映像をもとに、各計測地点における断面交通量を計測した。また、2地点間でナンバープレートマッチングを行うことにより、通過車両の平均旅行速度を計測した。

##### (3) 計測結果

計測実験は2016年12月28日、午前7時から10時にかけて実施した。機器の不具合やビデオカメラのバッテリー交換の為にデータが欠損した時間帯を除いた結果、以下に示す3つの時間帯の計測結果が得られた。

- 時間帯A：7時00分～7時25分
- 時間帯B：8時45分～9時10分
- 時間帯C：9時20分～10時00分

各時間帯における断面交通量とMACアドレス検知数、ならびに断面交通量に対するMACアドレス検知数の割合（捕捉率）を表-4に整理する。



表-4 断面交通量と MAC アドレス数の計測結果

時間帯	断面交通量 [台]	スキャナ別のMACアドレス数[個] (捕捉率[%])					
		A1	A2	A3	B1	B2	B3
A : 7:00~7:25	333	24 (7.2)	19 (5.7)	18 (5.4)	19 (5.7)	21 (6.3)	15 (4.5)
B : 8:45~9:10	264	14 (5.3)	12 (4.5)	14 (5.3)	16 (6.1)	13 (4.9)	14 (5.3)
C : 9:20~10:00	432	32 (7.4)	17 (3.9)	19 (4.4)	20 (4.6)	21 (4.9)	21 (4.9)

5. 交通量推定手法の検証

(1) Bluetoothスキャナ検知率の推定結果

式(5)と式(6)に基づき, Bluetoothスキャナの検知率 $r_d$ を推定する. 計測実験では2地点に各3台, 合計6台のスキャナを設置した. 設置条件のうち, 検知率に有意な影響を与える項目, すなわち設置高さやタイムアウト時間は全スキャナで同一の条件となるようにしている. 具体的には, 式(6)中のタイムアウト3秒ダミー $d_3 = 1$ , 設置高さダミー $d_h = 1$ となるように設置した.

実験区間の通過に要する時間 $t(j)$ については, ナンバープレートマッチングにより得られた平均旅行速度を用いて, 式(5)より算出した. なお, 集計時間幅 $\Delta t$ は5分間とした. 図-3に計測区間の5分間平均速度と, 5分毎に算出されたスキャナ検知率の推定値 $\hat{r}_d(j)$ を示す.

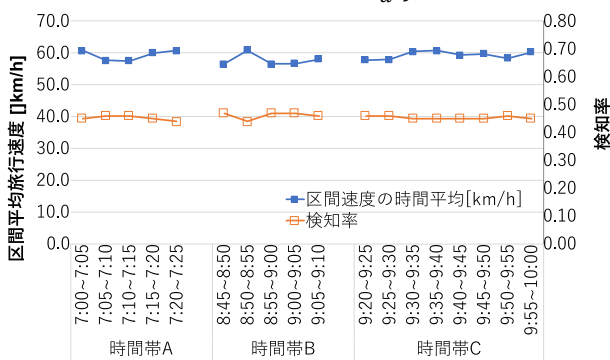


図-3 計測実験区間の概要

(2) 装備率の推定結果

続いて, 式(13)に従って装備率 $r_e$ の推定を行なう. 装備率は, 交通量が所与である時間帯 $T_0$ において推定するが, ここでは計測実験によって断面交通量が得られた各時間帯, すなわち時間帯A, 時間帯B, ならびに時間帯Cに対して推定する.

装備率の推定では, 断面交通量の5分間集計値 $Q(j)$ と各スキャナが検知したMACアドレス数の5分間集計値 $n_i(j)$ , ならびに5分毎に推定されたスキャナの検知率 $\hat{r}_d(j)$ を用いる. 推定に使用するMACアドレス数の観測数について, 時間帯Aを例に取り説明する. スキャナ数 $k$ については, 全ての時間帯において6台となっている. 一方, 集計時間帯数 $l_0$ については時間帯によって異なるが, 時間帯Aは25分間である為, 5分毎に集計されたMACアドレス数の観測結果 $n_i(j)$ が5( $= 25/5$ )個得られ

ていることになる. 従って, 時間帯Aの装備率については, 合計30( $= 6 \times 5$ )個のMACアドレス観測結果を使用することになる. 他の時間帯についても同様に考えると, 時間帯Bは30個, 時間帯Cは48個のMACアドレス観測結果に基づいて, 装備率の推定を行なう.

各時間帯における装備率の推定結果 $\hat{r}_e$ を表-5に示す.

表-5 装備率の推定結果

時間帯	装備率の推定値 $\hat{r}_e$
A : 7:00~7:25	0.13
B : 8:45~9:10	0.11
C : 9:20~10:00	0.11

(3) 断面交通量推定結果

最後に, 式(20)を用いて断面交通量の推定と, 推定精度の検証を行なう. ここでは, 交通量が所与の時間帯 $T_0$ において推定された装備率を用いて, 時間帯 $T_0$ とは異なる時間帯 $T$ の交通量を推定する.

はじめに, 時間帯Aにおいて推定された装備率を用いて時間帯B, および時間帯Cの交通量を推定した結果を表-6に示す. 各時間帯で, それぞれ11%と13%の誤差率で交通量が推定された.

表-6 交通量推定結果 (時間帯Aの装備率使用)

時間帯	推定交通量[台]	観測交通量[台]	誤差率
B : 8:45~9:10	235	264	-0.11
C : 9:20~10:00	374	432	-0.13

同様に, 時間帯Bの装備率を用いて時間帯Aと時間帯Cの交通量を推定した結果を表-7に, 時間帯Cの装備率を用いて時間帯Aと時間帯Bの交通量を推定した結果を表-8に示す. いずれの結果においても, 時間帯Aの交通量は誤差率10%以上の推定結果になったのに対して, 時間帯Cと時間帯Bについては, 精度良く推定され, 誤差率はそれぞれ1%と3%であった. この結果は装備率の推定結果(表-5)からも推察できる. すなわち, 時間帯Bと時間帯Cの装備率は共に11%程度であるのに対し, 時間帯Aでは13%となっている. この装備率の差異については時間帯同士の連続性が影響していると考えられる. つまり, 時間帯Bと時間帯Cについて, 間に10分の隔りがあるものの, 概ね連続しているのに対し, 時間帯Aは

時間帯Bとは80分、時間帯Cとは115分もの隔たりを持つことが一因と考えられる。すなわち、時間帯Bと時間帯Cは連続していることから、観測される交通流に含まれるBluetooth端末搭載車の搭載率も概ね似通っていることが想定される。従って、互いの時間帯に推定された装備率を用いた場合であっても、比較的良好な交通量の推定が可能であったと考えられる。一方で、時間帯Aについては残りの2時間帯と大きく隔たっていることから、交通流中の車種構成、すなわちBluetooth端末搭載車の装備率も異なり、交通量の推定精度に影響したものと考えられる。

表-7 交通量推定結果（時間帯Bの装備率使用）

時間帯	推定 交通量[台]	観測 交通量[台]	誤差率
A : 7:00~7:25	376	333	0.13
C : 9:20~10:00	263	260	0.01

表-8 交通量推定結果（時間帯Cの装備率使用）

時間帯	推定 交通量[台]	観測 交通量[台]	誤差率
A : 8:45~9:10	386	333	0.16
B : 9:20~10:00	271	264	0.03

## 6. おわりに

本研究で行った観測調査は、観測時間が短く、交通流から得られた検知サンプル数が少ない。そのため、交通量推定に際し仮定した「スキャナが交通流からランダムにサンプルを検知する」「装備率は時間帯によらず一定」といった条件の検証を十分に行うことができていない。今後、同一観測地点で複数日に渡り本研究と同様の観測

調査を行い、観測される検知サンプルにおいて仮定した条件が成り立つか検証が必要である。

## 謝辞

本研究の計測実験に際し、(株)地域未来研究所よりBluetooth計測アプリをご提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 北村隆一, 飯田恭敬: 交通工学, オーム社, 2008.
- 2) Wasson, J.S., Sturdevant, J.R. & Bullock, D.M.: Real-Time Travel Time Estimates Using MAC Address Matching, Institute of Transportation Engineers Journal, Vol. 78, pp. 20-23, 2008.
- 3) Haseman, R.J., Wasson, J.S. & Bullock, D.M.: Real-Time Measurement of Travel Time Delay in Work Zones and Evaluation Metrics Using Bluetooth Probe Tracking. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2169, pp. 40-53, 2010.
- 4) 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.
- 5) 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, 第51回土木計画学研究・講演集, 2015.
- 6) 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, 2016.
- 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.

## A METHOD FOR ESTIMATING TRAFFIC VOLUME USING BLUETOOTH DETECTION

Takahiro TSUBOTA, Toshio YOSHII and Hiroshi FUJII