

Bluetooth通信を用いた一般道における 交通流動分析データ構築手法に関する研究

尾高 慎二¹・吉井 稔雄²・倉内 慎也³・神戸 信人⁴

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: odaka@oriconsul.com

²正会員 愛媛大学大学院教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

³正会員 愛媛大学大学院准教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: kurauchi@cee.ehime-u.ac.jp

⁴正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-18)

E-mail: kanbe@oriconsul.com

我が国においてBluetoothのMACアドレスを路側で捕捉し、所要時間やOD、経路などの交通流計測についての適用可能性についての研究が進められている。そのような中、本稿では、一般道におけるBluetooth技術による自動車交通の流動把握手法の確立を目的に、MACアドレスマッチングによる交通流動を分析する際のデータ構築の視点として、周回・滞留・立寄りの流動の分割及びMACアドレスの同一移動主体によるダブルカウントの可能性について整理した。そのうち周回・滞留・立寄りの流動分割手法を交差点内においては時間差が信号3サイクル以上、交差点間では平均旅行速度4.0km/h以下を閾値として設定することを提案した。

Key Words : Bluetooth, Traffic Flow Analysis, Travel Time Monitoring, Data Construction

1. はじめに

近年、我が国において、主に高速道路を対象としたBluetoothを活用した交通観測の取り組みが進められており、MACアドレスの捕捉率（断面交通量に対するMACアドレス取得数の比率）、MACアドレスマッチングによる旅行時間及び地点速度、OD計測への適用に向けた研究¹⁾²⁾が進められている。また、一般道においても、捕捉率及びOD、経路、所要時間の計測の適用に向けた研究が進められている⁴⁾。Bluetoothにより取得されるMACアドレスデータについては、1地点の取得データのみでは進行方向は判別できず交通流動の分析データとして利用することはできない。また、一般道においては2地点でマッチングされたMACアドレスデータであっても、2地点間を最短経路で通行する車両だけではなく、周辺を周回する車両や沿線施設へ立寄る車両も混在している可能性が高いことが確認されている。そのため、一般道においてはMACアドレスマッチングにより特定できる流動データ（以下、流動データ）をトリップベースの

データに分割する必要がある。そこで、本研究では、一般道におけるBluetooth技術による自動車交通の流動把握手法の確立を目的に、MACアドレスマッチングによる交通流動を分析する際のデータ構築の視点を整理するとともに、データ構築のための第一段階である流動データからトリップデータへの分割方法について提案する。

2. 交通流動分析データ構築の考え方

本研究において、BluetoothのMACアドレスの取得データから、自動車の交通流動分析を行うためのデータ構築の際に対処すべき内容について整理する。

(1) Bluetooth取得データの内容

BluetoothのMACアドレスを取得する受信機（以下、BTスキャナー）は北澤ら¹⁾が開発した計測ツールを利用している。BTスキャナーにより取得され、交通流動の分析に活用する主な情報は、①MACアドレス（ハッシュ化済）、②取得日時（秒単位）、③機器情報（デバイ

表-1 Bluetoothによる交通流計測方法

データID	MACアドレス(ハッシュ化)	機器コード	取得日時	時間差(秒)	調査時間帯	地点No	流動ID
1	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	7:55:20	63	朝	12	1
2	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	7:56:23	48	朝	11	
3	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	7:57:11	1141	朝	11	
4	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	8:16:12	9	朝	2	
5	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	8:16:21	13	朝	2	
6	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	8:16:34	26	朝	3	
7	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	8:17:00	5	朝	3	
8	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	8:17:05	—	朝	3	
9	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:23:04	20	夕	3	
10	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:23:24	157	夕	2	2
11	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:26:01	88	夕	11	
12	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:27:29	54	夕	11	
13	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:28:23	11	夕	11	
14	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:28:34	8	夕	11	
15	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	17:28:42	3665	夕	12	
16	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	18:29:47	10	夕	12	
17	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	18:29:57	5	夕	11	
18	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	18:30:02	45	夕	11	
19	0039e7a0985dc7c89ce55ede2b611527	1032	18:30:47	—	夕	11	

スコード)となっている。そのため、1地点のみで取得されたデータのみでは、Bluetooth機器が滞留しているのか、それとも移動しているのか、さらには進行方向についても把握することができない。よって、流動を把握するためには、複数観測地点間によるMACアドレスマッチングが必要となる。

(2) MACアドレスマッチングによる流動IDの設定

一般道における流動データを把握するために、MACアドレスと取得日時(時間帯)を基に以下の手順により流動IDを設定する。まず、各箇所観測されたデータをプール(手順①)し、同一MACアドレスについて、取得日時順に並べ替える(手順②)。次に、調査時間帯(朝、昼、夕)毎に1つのIDとして計上されるように流動IDを設定(手順③)する(表-1)。

(3) 分析データ構築にあたっての課題

一般道においては、図-1に示すとおり、2地点でマッチングされたMACアドレスデータであっても、2地点間を最短経路で通行する車両だけではなく、周辺を周回する車両や沿線施設へ立寄る車両も混在していることが考えられる。よって、一般道においてはMACアドレスマッチングにより特定できる流動データをトリップベースのデータに分割する必要がある。

また、Bluetooth機器はカーナビゲーション(以下、カーナビ)の他、携帯電話やスマートフォン、ヘッドセット、パソコン等多くの電子機器に活用されていることから、取得したデータが必ずしも自動車交通であるとは限らない。さらに、カーナビと携帯電話の両方をBluetooth通信しているような自動車ドライバーは、2つのMACアドレスを同一移動主体が保有していることとなり、流動IDのダブルカウントとなることが懸念される。

上記2つの対処すべき課題に対し、本稿では、先の流

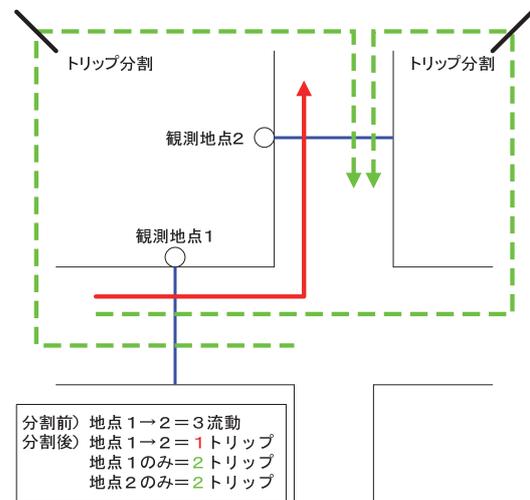


図-1 流動データの分割イメージ

動データからトリップデータの分割方法を対象とする。

3. 流動データの分割手法の提案

(1) 分析データの概要

本研究では、現在、整備が進められている愛媛県松山市の松山外環状道路周辺の国道33号(東側)、市道千舟町古川線(西側)、松山外環状道路(南側)、市道松山環状線南部(北側)に囲まれた地域を対象に、図-2に示す7交差点(①~⑦)、19箇所(No.1~19)において、Bluetoothによる交通流計測調査を行ったデータのうち、①天山交差点及び⑤朝生田西交差点の2交差点、10箇所観測されたデータを使用する。各交差点におけるスマートフォンの配置数を表-2に、調査概要を表-3に、流動データの取得状況を表-4に示す。

MACアドレスの捕捉状況から、流動IDは3,399個設定された。そのうち、各地点において1地点(当該地点)



図-2 調査対象エリア及び分析対象

表-2 交差点別スマートフォン配置数

箇所名		配置数
①	国道33号 天山交差点	5基
⑤	市道 朝生田西交差点	5基
合計		10基

表-3 調査日時及び内容

調査日	平成 26 年 12 月 17 日 (水)
調査時間	合計 6 時間 ・ 7:00～9:00 (朝：ピーク時) ・ 13:00～15:00 (昼：オフピーク時) ・ 17:00～19:00 (夕：ピーク時)
調査内容	・ MAC アドレス取得調査 (交差点：①⑤) ・ 断面交通量調査 (交差点：①⑤) ※自動車類及び二輪車 (原動機付自転車含む) ・ 信号現示調査 (交差点：①⑤) 等

表-4 MACアドレス捕捉状況

No	地点名	捕捉数(台/6h)			取得データレコード数(個/6h)
		当該地点のみ	2地点以上	全体	
1	① 天山 東	55	478	533	932
2	① 天山 西	110	856	966	1,712
3	① 天山 南	109	809	918	2,353
4	① 天山 北	147	452	599	1,615
5	① 天山 中央	147	1,053	1,200	3,440
11	⑤ 朝生田西 東	156	838	994	2,183
12	⑤ 朝生田西 西	211	812	1,023	2,677
13	⑤ 朝生田西 南	76	289	365	1,134
14	⑤ 朝生田西 北	82	284	366	1,398
15	⑤ 朝生田西 中央	91	795	886	2,131
流動ID数		1,184	2,215	3,399	19,575

でしか捕捉されなかった流動IDが合計で1,184個であった。1地点でしか捕捉されなかった流動IDは交通流動分析が困難なデータであるため、分析データからは除外し、2地点以上で捕捉されている流動IDを流動データの基礎データとし、以降の分析に用いる。

(2) 流動データの分割手法

基礎データからトリップデータへ分割すにあたり、以下の2種類の流動に対するトリップの分割を行う。

① 周回流動の分割

(分析対象から一度離脱し、再度捕捉される流動)

表-5 交差点内流動における観測時間差の統計値

項目	単位	①天山	⑤朝生田西	交差点内
流動数	個	2,144	1,606	3,750
平均	秒	151	213	178
最小値	秒	1	1	1
最大値	秒	6,472	6,031	6,472
標準偏差	秒	581	694	633
中央値	秒	21	39	28
85%タイル値	秒	89	125	104
90%タイル値	秒	111	189	142
91%タイル値	秒	119	248	163
92%タイル値	秒	134	399	192
93%タイル値	秒	169	648	289
94%タイル値	秒	255	755	622
95%タイル値	秒	688	1,069	844
96%タイル値	秒	1,040	1,632	1,266
97%タイル値	秒	1,544	2,257	1,823
98%タイル値	秒	2,143	3,156	2,570
99%タイル値	秒	3,427	3,973	3,704

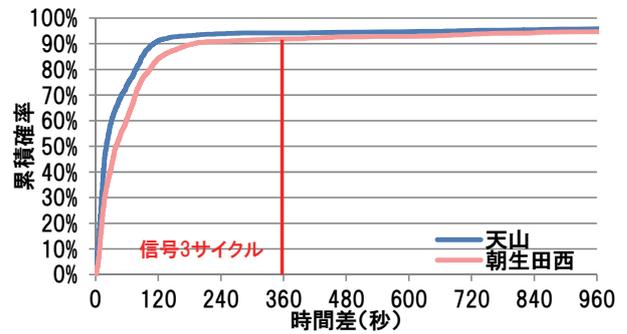


図-3 交差点内流動における観測時間差の累積確率

② 滞留・立寄り流動の分割

(交差点間において、施設等へ立寄る流動)

a) 周回流動の分割

流動データの分割にあたり、交差点内における2地点で観測された時間差(当該地点で最初に観測された時間の差)に着目し、分割に適した閾値を決定する。表-5に交差点別及び交差点内全体における時間差の統計値を、図-3に時間差の累積確率を示す。基礎データの統計値の状況から、最大値が6,000秒(100分)を超過している。また、中央値が交差点内全体で28秒に対し、平均値が178秒、時間差の少ない方からの94%タイル値で、急激に時間差が増加することから、標準偏差や95%タイル値等による分割では、周回流動であると判断することは困難である。よって、交差点内の流動であることから、信号3サイクル以上の時間差が生じている流動については、何かしらの理由でトリップが中断されていると判断することとし、流動データの分割を行う。表-6に分割実施の考え方を示す。なお、対象交差点は、両交差点とも信号サイクル長は120秒サイクルである。

b) 滞留・立寄り流動の分割

交差点間における流動の分割においては、2地点で観

表-6 交差点内の流動分割

【分割前】

データID	取得日時	時間差(秒)	流動	累積時間差(秒)	調査時間帯	箇所No	流動ID
9	17:23:04	20	0302	20	夕	3	2
10	17:23:24	157	0211	157	夕	2	
11	17:26:01	88			夕	11	
12	17:27:29	54			夕	11	
13	17:28:23	11			夕	11	
14	17:28:34	8	1112	161	夕	11	
15	17:28:42	3665			夕	12	
16	18:29:47	10	1211	3675	夕	12	
17	18:29:57	5			夕	11	
18	18:30:02	45			夕	11	
19	18:30:47	-			夕	11	

【分割後】

データID	取得日時	時間差(秒)	流動	累積時間差(秒)	調査時間帯	箇所No	流動ID
9	17:23:04	20	0302	20	夕	3	2
10	17:23:24	157	0211	157	夕	2	
11	17:26:01	88			夕	11	
12	17:27:29	54			夕	11	
13	17:28:23	11			夕	11	
14	17:28:34	8	1112	161	夕	11	
15	17:28:42	3665			夕	12	
16	18:29:47	10	1211	3675	夕	12	
17	18:29:57	5			夕	11	
18	18:30:02	45			夕	11	
19	18:30:47	-			夕	11	

測された時間差の情報だけでは、交差点内と同様の傾向を示す。そこで、交差点間は距離の影響もあるため、分割に適した閾値を設定するにあたり、2点間の平均旅行速度に着目する。表-7に方向別及び交差点間流動全体における平均旅行速度の統計値を、図-4に平均旅行速度の累積確率を示す。基礎データの統計値の状況から、最大値が最小値が1.0km/hを下回っている。中央値が交差点間全体で24.1km/hに対し、平均値も24.3km/hとなっている。また、旅行速度の遅い方からの8%タイル値が3.9km/hとなっている。これらの結果から、当該区間は、交通量が多く、渋滞も発生する上、沿道施設も多い区間であることから、標準偏差やタイル値により閾値を決定するのは困難である。そこで、徒歩より遅くなる速度（概ね渋滞状況下の旅行速度）4.0km/h（所要時間：約850秒）を閾値として流動を分割する。よって、交差点内の流動であることから、信号3サイクル以上の時間差が生じている流動については、何かしらの理由でトリップが中断されていると判断することとし、流動データの分割を行う。表-8に分割実施の考え方を示す。

(3) 分割結果

前項の方法により分割した流動ID数の変化の結果を表-9に示す。分割前における基礎データの流動ID数は2,215個であったが、分割により2,565個と増加した。しかしながら、流動を分割したことにより、1地点のみでしか捕捉されないIDも発生する。よって、分析に利用するデータとしては、分割後においても2地点以上でマッチングされているものを利用することで交通流動分析のためのデータを構築することが、有効であると考えられる。

表-7 交差点間流動における平均旅行速度の統計値

項目	単位	①天山→朝生田西	⑤朝生田西→天山	交差点間
流動数	個	595	472	1,067
平均	km/h	23.1	25.9	24.3
最小値	km/h	0.7	0.6	0.6
最大値	km/h	82.9	75.5	82.9
標準偏差	km/h	11.2	14.4	12.8
中央値	km/h	22.8	26.0	24.1
1%タイル値	km/h	1.0	0.7	0.9
2%タイル値	km/h	1.3	0.9	1.0
3%タイル値	km/h	1.9	1.0	1.1
4%タイル値	km/h	2.4	1.1	1.5
5%タイル値	km/h	2.9	1.2	1.9
6%タイル値	km/h	3.7	1.4	2.3
7%タイル値	km/h	5.4	1.6	2.9
8%タイル値	km/h	8.3	2.2	3.9
9%タイル値	km/h	12.2	2.4	6.0
10%タイル値	km/h	13.1	3.6	7.9
15%タイル値	km/h	15.0	13.3	14.6

※天山交差点と朝生田西交差点間の距離は944m（DRMデータ）として旅行速度を算出。また、タイル値は旅行速度の遅い方からの値である。

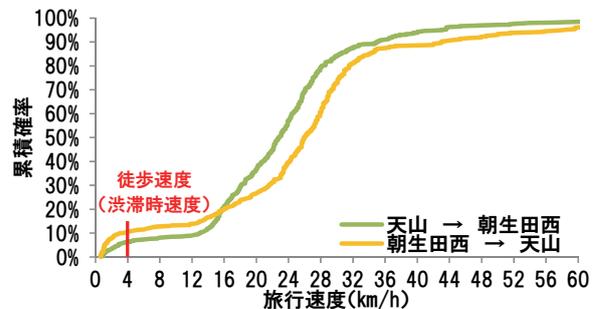


図-4 交差点間流動における平均旅行速度の累積確率

表-8 交差点間の流動分割

【分割前】

データID	取得日時	時間差(秒)	流動	累積時間差(秒)	調査時間帯	箇所No	流動ID
1	7:55:20	63	1211	63	朝	12	1
2	7:56:23	48			朝	11	
3	7:57:11	1141	1102	1189	朝	11	
4	8:16:12	9			朝	2	
5	8:16:21	13	0203	22	朝	2	
6	8:16:34	26			朝	3	
7	8:17:00	5			朝	3	
8	8:17:05	-			朝	3	

【分割後】

データID	取得日時	時間差(秒)	流動	累積時間差(秒)	調査時間帯	箇所No	流動ID
1	7:55:20	63	1211	63	朝	12	1
2	7:56:23	48			朝	11	
3	7:57:11	1141	1102	1189	朝	11	
4	8:16:12	9			朝	2	2
5	8:16:21	13	0203	22	朝	2	
6	8:16:34	26			朝	3	
7	8:17:00	5			朝	3	
8	8:17:05	-			朝	3	

※閾値：40 km/h 以下は時間差で約 850 秒以下として分割

8. おわりに

本研究では、一般道におけるBluetooth技術による自動車交通の流動把握手法の確立を目的に、MACアドレスマッチングによる交通流動を分析する際のデータ構築の

表-9 分割前後の流動ID数の変化

No	地点名	捕捉数(台/6h)				増減 (2地点以上)
		分割前 (2地点以上)	分割後			
			当該地 点のみ	2地点 以上	全体	
1	①天山 東	478	22	470	492	-8
2	①天山 西	856	31	858	889	2
3	①天山 南	809	20	823	843	14
4	①天山 北	452	26	458	484	6
5	①天山 中央	1,053	16	1,073	1,089	20
11	⑤朝生田西 東	838	18	851	869	13
12	⑤朝生田西 西	812	37	816	853	4
13	⑤朝生田西 南	289	31	276	307	-13
14	⑤朝生田西 北	284	17	287	304	3
15	⑤朝生田西 中央	795	26	802	828	7
流動ID数		2,215	244	2,321	2,565	106

視点を整理するとともに、データ構築のための第一段階である流動データからトリップデータへの分割方法について提案を行った。それらの結果、流動データをそのまま利用する際には、周回や沿道施設等への立寄り等による流動が含まれており、交通流動の分析を行うにあたっては、データクリーニングする必要があることを交差点内の流動と交差点間の流動について、統計値により示した。また、交差点内の分割の閾値を信号3サイクル、交差点間の分割の閾値を旅行速度4.0km/h（徒歩程度）の実交通の状況に応じた閾値を提案し、流動の分割後の交通流動分析の基礎データを構築した。しかしながら、今回

は、データ構築における1つの方法しか提案できておらず、もう一方のMACアドレスの同一移動体の影響（ダブルカウント）の除去方法及び除去後の交通流動分析の実施による分析結果の比較検討まで至っていない。

今後は、上記の課題に対する分析手法を確立するとともに、分析結果の検証方法について研究を進めていく所存である。

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, 2014.
- 2) 田名部淳, 割田博, 松下剛, 萩原武司: 高速道路における Bluetooth を用いた交通流計測の取り組み, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.49, 2014.
- 3) 萩原武司, 河本一郎, 西剛広, 田名部淳: Bluetooth を用いた地点速度計測の可能性, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol.51, 2015.
- 4) 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 (CD-ROM), Vol.51, 2015.

(2015. 7. 31 受付)

A STUDY OF DATA CONSTRUCTION METHOD FOR TRAFFIC FLOW ANALYSIS IN ROAD USING BLUETOOTH TECHNOLOGY

Shinji ODAKA, Toshio YOSHII, Shinya KURAUCHI and Nobuto KANBE