

# 人流把握のための Wi-Fi パケットセンサー 射程距離に関する研究

大野 沙知子<sup>1</sup>・中村 俊之<sup>2</sup>・薄井 智貴<sup>3</sup>・手嶋 茂晴<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 名古屋大学 未来社会創造機構 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail:sachi\_ono@coi.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学 未来社会創造機構 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail:tnakamura@mirai.nagoya-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 名古屋大学大学院 経済学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail:tomo.usui@nagoya-u.jp

<sup>4</sup>非会員 名古屋大学 未来社会創造機構 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)  
E-mail:teshima@coi.nagoya-u.ac.jp

Wi-Fi 対応のスマートフォンなどの機器が発信している Probe Request を受信する Wi-Fi パケットセンサーにより収集されるデータは、設置の高さや屋内外の設置位置、設置周辺の建物の密集度合、人や自動車の密度などにより影響を受けることが既往研究で報告されている。本研究は、Wi-Fi パケットセンサーにより収集されるデータの射程距離をスマートフォンより収集される GPS 位置情報との同期により求めること目的としている。本稿では、街中に設置した Wi-Fi パケットセンサー13 箇所から射程距離の特徴について、受信距離ならびにカーネル密度推定法を用い分析した結果を報告する。

**Key Words:** *Wi-Fi packet sensing system, GPS data, Range distance, big data*

## 1. はじめに

現在では、鉄道駅構内やコーヒーショップ、ファーストフード店、商業施設、観光施設、宿泊施設など、街中を移動しているの多くの場所に Wi-Fi スポットが設置され、私たちはスマートフォンやタブレット、ラップトップパソコンを接続し、インターネットやメールを行うことが可能な環境が整ってきた。スマートフォンやタブレット等の Wi-Fi 通信機器は、電源がオンになっていれば、スタンバイ状態においても、基地局との通信を行っており、30秒から2分程度の時間間隔で Wi-Fi 管理パケットとして ProbeRequest を発信しており、機器固有の ID として MAC アドレスが含まれている。

こうした機器の特性を生かし、Wi-Fi パケットセンサー (AMP センサー: Anonymous Mac address Probe sensor) を設置し、人の分布や流動状況、滞留時間等の観測することで地域活性化や観光振興、防災等に活用する機運が高まってきている。

上善ら<sup>1)</sup>は、Wi-Fi パケットセンサーによる商業施設での人流の計測、高速道路での車流の計測の実例を示し、より良い計測のための課題を整理している。回遊行動や観光行動、パターン把握を試みた研究として、神戸市での歩行者を対象とした岡平・川名<sup>2)</sup>、函館市を観光流動把握を対象とした小橋川

<sup>3)</sup>、奈良県長谷寺賛同での観光客の滞在時間特性把握を試みた壇辻ら<sup>4)</sup>、飛騨高山を対象に滞留時間や施設移動実態の分析を試みた廣川ら<sup>5)</sup>、京都府北部地域天橋立地区を対象に長期間の常時観測を行った浅尾ら<sup>6)</sup>、同地区での観光流動の特徴をクラスタリングにより把握を試みた伊藤ら<sup>7)</sup>、沖縄・北部半島における観光周遊パターンとして、観光地間 OD 表とトリップチェーン推計を試みた中西ら<sup>8)</sup>など多くが挙げられる。Wi-Fi 位置情報収集を想定し、3次元ネットワークにおける移動経路手法の提案を行った後藤・羽藤<sup>9)</sup>の研究や Musa ら<sup>10)</sup>は実際の Probe Request を収集し、Viterbi アルゴリズムを適用した移動経路を推計した研究も存在する。

こうした数多くの既往研究は Wi-Fi パケットセンサーより収集されるデータを前提に活用方法として、分布や流動、滞留時間の把握、トリップチェーン、移動経路の推計を試みる内容であった。

一方で、Wi-Fi パケットセンサーにより収集されるデータは当然のことながら、Wi-Fi パケットセンサーより発信される Probe Request により基地局と接続されたデータであることから、Wi-Fi パケットセンサーの設置位置 (例えば、設置の高さや屋内か屋外か)、設置周辺の建物の密集度合、人や自動車の密度により、データ収集精度が異なることが指摘されている。

望月ら<sup>11)</sup>は、Wi-Fi パケットセンサーにより収集されるデータの基本特性として、Wi-Fi パケットセンサーでの Probe Request 受信時の信号強度 (RSSI) の距離減衰を調査している。そこで得られた知見として、12m の距離 70db 程度の RSSI を受信可能であり、それ以上離れると、それほど変動は少なくなる知見を得ている。また、5m の距離において間に障害物 (人) が入る場合や持ち方を変えて計測しており、正面や側面でスマホを保有した場合に RSSI は高いが、背面に保有 (人の体越しに計測)、ポケットに入れると 15db 程度低下することや屋内ではこうした影響は反対側の壁で反射もあり生じにくいとの知見を得ている。この望月らの検証は Wi-Fi パケットセンサーを 0, 40, 60, 80m の地点に設置し、端末を 3m 間隔で移動させながら、各移動地点での 1 分間 Probe Request を収集する基本性能評価実験を通じて得られた結果であり、非常に有益な知見である。

そうした背景、既往研究を踏まえて、本研究では、実際の街中において、Wi-Fi パケットセンサーはどれくらいの距離までデータ収集が可能なのか (本研究では以降、射程距離と呼称) を検証することを目的としている。

本研究の特徴として、スマートフォンを活用し、Probe Request の発信を Wi-Fi パケットセンサーで収集されるデータと、スマートフォンの GPS により収集される位置情報を活用し、検証している点である。具体的には、収集時刻の同期から、収集された GPS 位置情報に Wi-Fi パケットセンサーでの収集有無を紐づけ、GPS 位置情報と Wi-Fi パケットセンサーの設置位置から射程距離を算出している。

## 2. 実験の概要

### (1) Wi-Fi パケットセンサーの概要

本研究で用いる Wi-Fi パケットセンサーを図-1 に示す。センサーのサイズは、17cm×8cm×5cm 程度であり、Raspberry Pi ならびに Wi-Fi アダプタを搭載している。長時間駆動のために、携帯バッテリーを使用するが、今回の実験では、AC 電源から直接電源供給を行い、13 台を豊田市中心市街地に商店の協力のもと設置した (設置位置は図-2 参照)。

Wi-Fi パケットセンサーで取得するデータの一例を表-1 に示す。各設置位置での MAC アドレス取得結果を表-2 に示す。本研究で用いるセンサーは、既往研究で使用されているセンサーと同様に、スマートフォンなどの機器から発信される Probe Request を受信し、機器ごとに与えられた固有のアドレス (以下、MAC アドレス) をリクエスト時刻ならびに RSSI とともに記録している。なお、MAC アドレスは、発信端末固有であるため、取得時に一方方向に匿名化している。ただし、Wi-Fi パケットセンサーの射程距離を分析するために実験機器として用いた端末については、分析の過程で識別できるようにしている。



図-1 本研究で使用する Wi-Fi パケットセンサー



図-2 Wi-Fi パケットセンサー設置位置

表-1 Wi-Fi パケットセンサーで観測する項目と取得例

datetime	sensor name	MAC アドレス	RSSI
2017/10/14 9:12:06	gsMR02378	06d5b620fab0886ad	-73
2017/10/14 9:12:09	gsMR02378	c38f607f95e8575f25	-83

表-2 MAC アドレス取得結果 (2017年 10月 14日)

	設置場所名	MAC アドレス数
1	八百宗	22,357
2	十一屋	12,541
3	Ecoful Town	3,859
4	かもめ堂	43,098
5	勇吉屋	10,050
6	ヤマヤ	5,424
7	ホンダ薬局	4,011
8	そぶ川屋	13,902
9	コモ・スクエア	18,369
10	みなみ	6,782
11	牧美容室	27,907
12	すずき	6,623
13	参合館	44,655

(2) Wi-Fi パケットセンサーの設置概要

設置条件は、表-3 の通りである。設置位置ならびに周辺環境が、射程距離に影響を与えると仮定し、設置場所を選定、AC 電源の使用に協力いただける商店に設置をした。

(3) 射程距離の調査概要

Wi-Fi パケットセンサー取得するデータでは、緯度経度の情報を持たないため、どの範囲を受信をしているか不明である。一般的に Wi-Fi は、100m 以上の距離が受信可能といわれており、周辺環境が受信数に影響を与える。Wi-Fi パケットセンサーの射程距離を求めるために、2017 年 10 月 14 日（土）に、3 名の調査者が GPS 機能を搭載したスマートフォンとともに、Wi-Fi パケットセンサー周辺を回遊した。このスマートフォンでは、位置情報をリアルタイムに取得する仕様であり、約 1 秒ごとに位置情報を取得し、名古屋大学のサーバーに格納している。取得するデータは、表-4 に示すとおりである。以下の章では、Wi-Fi パケットセンサーで収集されるデータと、スマートフォンに搭載した GPS により収集される位置情報を活用し、射程距離を検証する。図-3 には、GPS で取得したデータと Wi-Fi パケットデータで取得したデータの同期結果を示している。

3. 収集データの基礎的な集計

(1) Wi-Fi パケットセンサーの受信距離

ここでは、3 名の被験者の回遊結果から、Wi-Fi パケットセンサーの受信距離に関する特徴を整理する。まず、設置場所ごとの受信距離の最大と平均を表-5 に示す。かもめ堂が最も距離が長く、次いで参合館である。距離が短い場所は、ヤマヤ、そぶ川であり、かもめ堂とヤマヤでは 130m も受信距離に差があることがわかる。この結果から、高い位置に設置するほど受信距離が長いことがわかる。

表-4 端末から取得するデータ

ID	日時	緯度	経度
69909fcf538ddb37	2017/10/14 11:30:39	35.0854575	137.159728

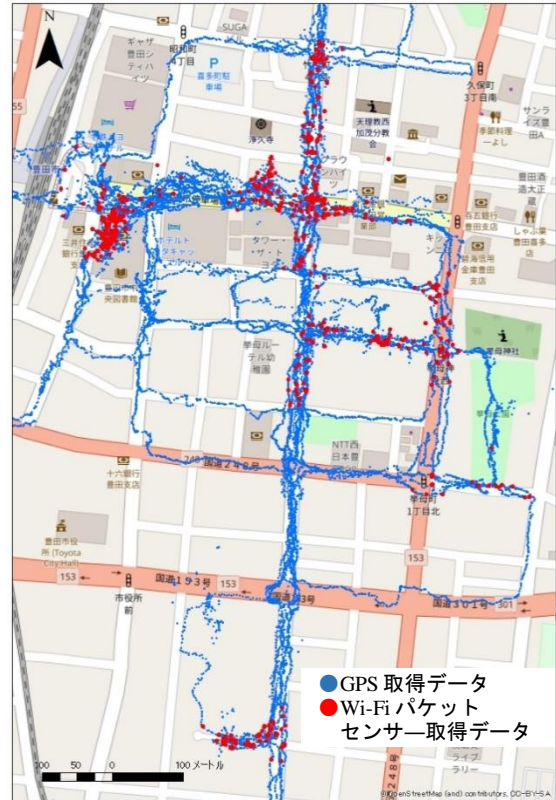


図-3 GPS 取得データと Wi-Fi パケットセンサー取得データの同期

(2) 受信距離の特徴

Wi-Fi パケットセンサーの設置条件から、設置条件別の受信距離に関する特徴を整理する。ここでは、設置位置として屋内外と設置高さの 2 項目を、周辺環境として道路幅員、Wi-Fi パケットセンサーで受信した範囲内にある建物数、そして信号の 3 項目を

表-3 Wi-Fi パケットセンサーの設置条件

		屋内外	高さ(m)	道路幅員(m)	受信範囲内の建物の数(戸)	信号の有無
1	八百宗	内	1.8	5	26	無
2	十一屋	外	1.0	15	19	無
3	Ecoful Town	外	3.0	10	8	無
4	かもめ堂	外	2.0	21	20	有
5	勇吉屋	内	0.0	10	12	有
6	ヤマヤ	外	0.0	15	17	有
7	ホンダ薬局	外	0.0	15	9	無
8	そぶ川屋	内	0.0	10	14	無
9	コモ・スクエア	内	0.0	15	4	無
10	みなみ	外	0.5	5	5	無
11	牧美容室	外	0.0	20	20	有
12	すずき	外	0.0	15	10	無
13	参合館	内	建物 3F	15	16	有



考慮し、重回帰分析を行った。結果を表-6に示す。受信距離については、高さ、道路幅員、建物数が正の係数である。設置位置が高い、あるいは道路幅が広いと見通しがよく遠くまで受信できることがわかる。屋内、信号の有無は負の係数である。屋内設置からは、パケット受信が遮蔽されることが解釈できる。

#### 4. カーネル密度推定法を用いた Wi-Fi パケットセンサー射程距離の可視化

本章では、カーネル密度推定法を用いて、Wi-Fi パケットセンサーの射程距離について考察をする。

##### (1) カーネル密度推定法の概要

カーネル密度推定法とは、有限の標本点から全体の分布を推定するノンパラメトリック手法であり、視覚的な分布の比較が可能である。本稿では、Wi-Fi 受信機の周辺環境や設置状況の違いによる射程距離の特徴を捉えることを目的として、2017年10月14日(土)10時~16時の間に位置情報を取得できたMACアドレスについて、カーネル密度推定を行う。カーネル密度の算定にあたっては、分析対象の特性に合わせて、標本点の影響範囲を定義するカーネル関数と、そのカーネル関数の広がり幅を定義するバンド幅を決定する事が重要である。そこで本稿においては、Wi-Fi 通信によるパケットリクエストはデバイスを中心に同心円状に広がり、到達距離により減衰率が増大することを踏まえ、カーネル関数に Gaussian カーネル式(1)を選定した。また、バンド幅の決定は、従来経験則によるものが多く、選び方の目安として標準偏差と標本点数  $n$  から算出する方法や単純探索法など様々なものが提案されているが、本稿では、周辺地形等を鑑みて簡易的に 15(m)とした。カーネル密度推定量  $\hat{f}_k$  を式(2)に示す。

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (1)$$

$$\hat{f}_k(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

ここで、 $h$  は非負の平滑化パラメータであるバンド幅、 $K(x)$ はカーネル関数を表している。

##### (2) カーネル密度推定結果

Wi-Fi パケットセンサーを設置した13箇所すべてのカーネル密度推定結果を図-4に示す。ここから、設置場所ごとの射程距離と、MACアドレス受信が集中する箇所が確認できる。最も密度が高い設置場所は、参合館であり、ついで Ecoful Town である。図-5に示すホンダ薬局の結果にみられるように、範囲は狭くないが、店舗入口の屋外に直置きしており、歩道に面していることもあり、店舗入口を中心に比較的集中してMACアドレスを受信できていることが分かる。一方で、図-6に示す八百宗にみられるように、Wi-Fi パケットセンサーが非連続にMACアド

表-5 各設置場所の受信距離

	場所	最大受信距離 (m)	平均受信距離 (m)
1	八百宗	82.9	49.1
2	十一屋	73.3	29.5
3	Ecoful Town	77.5	33.1
4	かもめ堂	159.1	50.7
5	勇吉屋	42.9	13.5
6	ヤマヤ	28.8	11.3
7	ホンダ薬局	60.3	22.4
8	そぶ川屋	34.3	17.3
9	コモ・スクエア	54.7	32.5
10	みなみ	42.5	16.1
11	牧美容室	90.9	33.7
12	すずき	70.3	21.5
13	参合館	113.2	17.6

表-6 最大受信距離の重回帰分析結果

目的変数	最大受信距離	
説明変数	係数	t 値
定数項	-0.1731	-0.5488
屋内設置	-0.1922	-0.4180
高さ	0.3289	2.6584
道路幅員	0.5068	1.9024
受信範囲内の建物の数	0.2929	1.2885
信号の有無	-0.2984	-0.5658
決定係数 R <sup>2</sup>	0.7014	

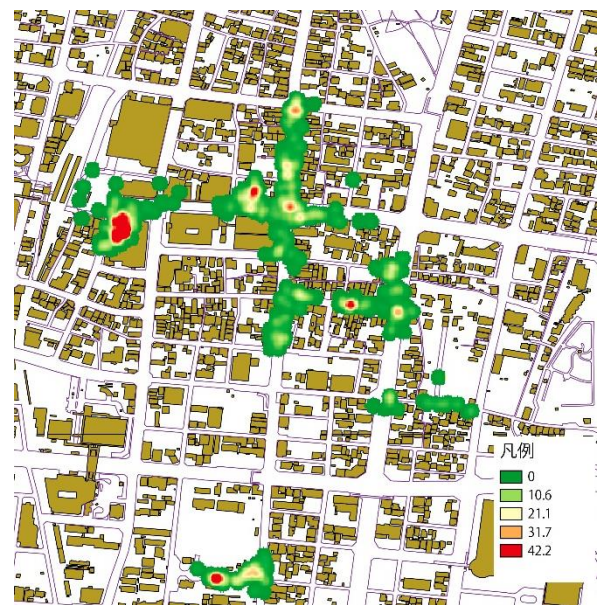


図-4 カーネル密度推定結果の可視化

レスを受信している場所があることがわかる。ここでは設置場所から 100m 程度西に離れた場所が密度が高く MAC アドレスを受信している。カーネル密度推定結果を可視化することで、以上のような Wi-Fi パケットセンサーの特徴を確認した。

(3) カーネル密度推定結果の特徴

3章(2)受信距離の特徴と同様に、Wi-Fi パケットセンサーの設置条件から、設置条件別のカーネル推定結果に関する特性を整理する。重回帰分析の結果を表-7に示す。カーネル密度推定結果については、高さと信号が正の係数であり、高い設置位置のほうがMACアドレスを受信しやすく、また信号による停止時にMACアドレスを受信しやすいことがわかる。屋内、道路幅員、そして建物数は負の係数であることから、屋内設置や周辺建物が多いとMACアドレスの受信が遮蔽されること、道路幅が広いと交通量が多く、人や自動車などが受信に影響を与えることがわかる。

(4) 射程距離の特徴

受信距離ならびにカーネル密度推定の結果を踏まえ、Wi-Fi パケットセンサー射程距離の特徴について述べる。

受信距離、カーネル密度推定結果ともに、設置が高いと見通し良くMACアドレスが受信でき、屋内設置だと受信が遮断されやすいことがわかる。道路幅員は、建物との距離と交通量と両方が影響を与え、建物までの距離が長いと見通しよく遠くまで受信するが、歩行者や自動車で遮断されるため、受信範囲内のMACアドレス受信が少なくなる傾向がある。また、Wi-Fi 射程範囲内に信号などの停止箇所があるとMACアドレスを受信しやすいといえる。留意として、Wi-Fi パケットセンサーでは、設置場所から100m以上離れた範囲までデータが取得可能なため、道路幅員や建物数などの周辺環境にが影響し、意図と異なる場所でMACアドレスを多く受信している可能性があることを確認した。限られた時間、限られた調査員で実施をした調査ではあるが、Wi-Fi パケットセンサーを用いた人流計測には、設置位置ならびに周辺環境を考慮することは重要であり、例えば店舗前の人流計測のように狭い範囲のデータ取得には、遮蔽物を考慮して、低位置にセンサーを設置するなどの工夫が必要であることを本研究の分析結果からは示すことができる。

5. おわりに

本研究では、実際の街中に設置したWi-Fi パケットセンサーの射程距離について、設置条件を考慮し特徴を把握した。設置位置（屋内外、高さ）ならびに周辺環境（道路幅員、建物数、信号の有無）を考慮することで、ある程度解釈できる結果を得た。ここでは、限られた時間、限られた調査員での調査であり、設置条件として、設置位置2項目ならびに周辺環境3項目のみを取り上げている。射程距離に影響を与える要因は様々であり、交通量や時間帯などを加味して検証することで、よりWi-Fi パケットセンサーの射程距離についての特徴が把握できるものと考えられる。

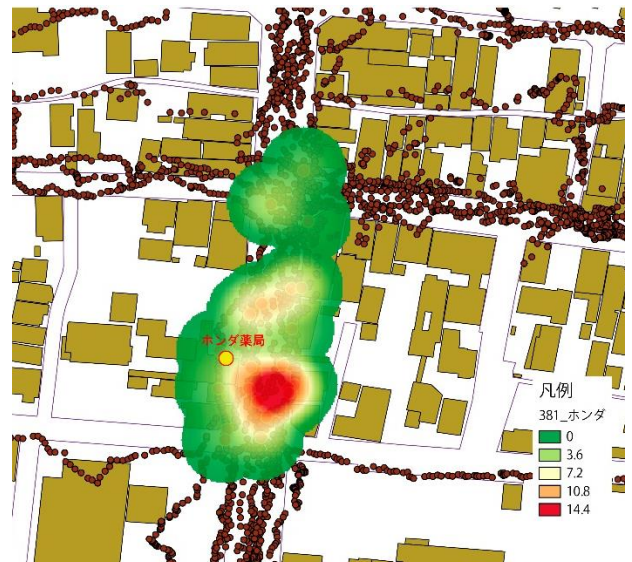


図-5 カーネル密度推定結果の可視化  
ホンダ薬局の例

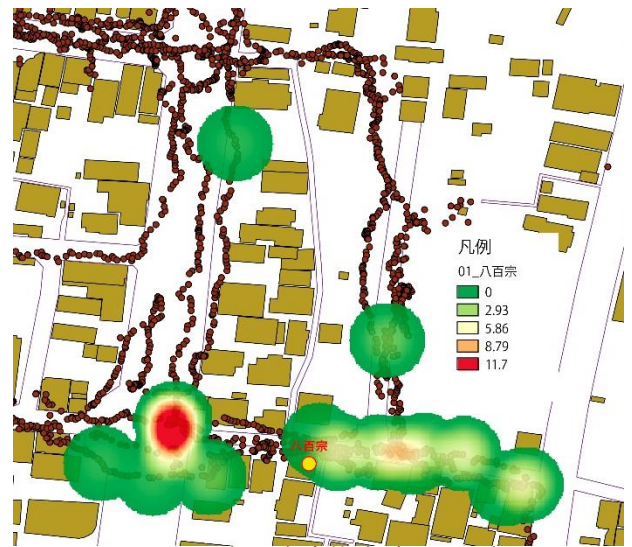


図-6 カーネル密度推定結果の可視化  
八百宗の例

表-7 カーネル密度推定結果の重回帰分析結果

目的変数	カーネル密度推定結果	
説明変数	係数	t 値
定数項	-0.4967	-1.1812
屋内設置	-0.0523	-0.0864
高さ	0.3105	1.8824
道路幅員	-0.2989	-0.8418
受信範囲内の 建物の数	-0.4199	-1.3856
信号の有無	0.4563	0.6490
決定係数 R <sup>2</sup>	0.4694	

今後の展開として、Wi-Fi パケットセンサーで取得したデータを詳細に分析するが、ここで得られた知見を考慮し、分布や流動、滞留時間の把握、トリップチェーン、移動経路の推計を試みる予定である。

## 参考文献

- 1) 上善恒雄,森本哲郎,足立智之,松下剛,西田純二: Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動の計測, 土木計画学研究・講演集 Vol.51,pp.16\_1-16\_10, 2015.
- 2) 岡平孝司, 川名義輝: 神戸市における Wi-Fi データを活用した歩行者行動分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.55, 42-03 (1-6), 2017.
- 3) 小橋川嘉樹, 藤生慎, 高田和幸, 高山純一, 中山晶一朗: Wifi 電波を用いた観光客行動把握に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.54, pp.638-642, 2016.
- 4) 壇辻貴生, 杉下佳辰, 福田大輔, 浅野光行: Wi-Fi パケットデータを用いた観光客の滞在時間特性把握の可能性に関する研究, 都市計画慧遠文集 Vol.52, No.3 pp.247-254, 2017.
- 5) 廣川和希, 笹圭樹, 和泉範之, 絹田裕一, 牧村和彦, 西田純二: Wi-Fi パケットセンサーを用いた人の行動実態の把握～観光都市・飛騨高山での活用に向けて～, 土木計画学研究・講演集 Vol.54, pp.1180-1185, 2016.
- 6) 浅尾啓明, 西田純二, 安東直紀, 前田繁: Wi-Fi パケットセンサーによる交通常時観測システムの実用化, 土木計画学研究・講演集 Vol.55, pp.03-03(1-7), 2017.
- 7) 伊藤伸, 倉内文孝, 安東直紀, 西田純二: Wi-Fi パケットセンサデータによる観光行動把握の可能性に関する研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.56, pp.158(1-7), 2017.
- 8) 中西航, 小林巴奈, 都留崇弘, 松本拓朗, 田中謙大, 菅芳樹, 朝倉康夫, 神谷大介, 福田大輔: Wi-Fi パケットセンサーによる観光周遊パターンの把握可能性: 沖縄・本部半島における検討, 土木計画学研究・講演集 Vol. 55, pp.45-03 (1-11), 2017.
- 9) 後藤祥孝, 羽藤英二: Wi-Fi 位置情報データを用いた 3 次元ネットワークにおける移動経路の推計, 土木計画学研究・講演集 Vol.54, pp.1186-1192(163), 2016.
- 10) Musa, A. B. M., and Eriksson, J.: Tracking unmodified smartphones using Wi-Fi monitors, Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, pp.281-294, 2012.
- 11) 望月祐洋,上善恒雄, 西田純二,中野秀男, 西尾信彦: Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MBL-70 No.45, 2014.

(2018. 4. 27 受付)

STUDY ON RANGE DISTANCE BY WI-FI PACKET SENSOR  
FOR FLOW MONITARING SYSTEM

Sachiko ONO, Toshiyuki NAKAMURA, Tomotaka USUI, Shigeharu TESHIMA