

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～

廣川 和希¹・笹 圭樹¹・和泉 範之¹・
絹田 裕一¹・牧村 和彦¹・西田 純二²

¹正会員 一般財団法人 計量計画研究所（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9）
E-mail:khirokawa@ibs.or.jp, ksasa@ibs.or.jp, nizumi@ibs.or.jp, ykinuta@ibs.or.jp, kmakimura@ibs.or.jp

²正会員 株式会社 社会システム総合研究所（〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-22-4-503）
E-mail: nishida@jriss.jp

岐阜県飛騨地方に位置する高山市は、「飛騨の小京都」と呼ばれる国際観光都市である。このため、特に観光繁忙期においては、国の重要伝統的建造物群保存地区に指定されている「古い町並」エリア周辺に人や車が集中し、激しい交通渋滞を引き起こしている。この対応として、一部の地域への集中を是正し、周辺地域へ誘導する各種施策が行われているが、これらの施策の有効性や有用性を評価し、効果的な改善案を検討していくためには、観光客の行動実態を把握する必要がある。

本研究は、交通行動調査の1つとして各地で実証実験が行われている「Wi-Fiパケットセンサー」を活用した調査を高山市街地で試行し、得られた結果から、人の行動実態（滞留および移動実態）の把握の可能性や実務における適用上の留意点を考察したものである。

Key Words : Behavioral Survey , Wi-Fi Packet Sensor , Tourist

1. はじめに

岐阜県飛騨地方に位置する高山市は、人口約9万人の都市である。中心市街地には、国の重要伝統的建造物群保存地区に指定されている「古い町並」を始めとした江戸時代以来の城下町・商家町の姿が保全されていることから「飛騨の小京都」と呼ばれる国際観光都市として知られている。観光客は、年間約430万人（うち36万人は外国人、H27年度実績¹⁾）に上り、特にゴールデンウィークを始めとした大型連休や、春と秋の年2回行われる「高山祭」などの観光繁忙期には、多数の観光客が来訪している。

一方で、市街地の道路や街路に着目すると、幹線道路を中心に激しい交通渋滞が発生している。この主な原因として挙げられるのが、観光客や観光車両の一部地域への集中である²⁾。特に上町地区（上二之町、上三之町）では、町並の通路や近接する駐車場などに容量を超える人や車が集中し、駐車場の入庫待ち車両や、歩行者の道路へのはみ出しなどの状況が散見される。このため、観光客や観光車両の上町地区への偏りを是正し、下町地区など他地域にも分散化させることを目的に、案内看板の

設置といった社会実験が行われている（例えば、飛騨高山「古い町並」とおりゃんせプロジェクト²⁾など）。ただし、これらの施策の有効性や有用性を評価し、効果的な改善案を検討していくためには、観光客の行動実態を精緻に把握する必要がある。

本研究は、これらの背景を踏まえ、高山市街地（JR高山駅の東側半径約2kmのエリア）の観光繁忙期における観光客の行動実態の把握を目的とする。そのため、交通行動調査の1つとして各地で実証実験が行われている「Wi-Fiパケットセンサー」を活用した調査を試行し、調査結果から、人の行動実態の把握の可能性や実務における適用上の留意点を考察する。具体的には、2章でWi-Fiパケットセンサーの概要と調査に関する既往研究を整理し、本研究の位置づけを示す。3章では、高山市街地で行ったWi-Fiパケットセンサーを活用した調査の概要と、調査結果から人の行動実態を分析する。4章では、3章の調査および分析結果から、Wi-Fiパケットセンサーによる人の行動実態の把握の可能性や実務における適用上の留意点を考察する。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本章では、Wi-Fiパケットセンサーの概要とセンサーを用いた調査の既往研究を整理し、本研究の位置づけを示す。

(1) Wi-Fiパケットセンサーの概要

スマートフォンをはじめとする多くの電子機器には、インターネットへ接続するためのWi-Fi機能が搭載されている。このWi-Fi機能は、スタンバイ状態でもインターネットへの接続を行うため、「Wi-Fi管理パケット (Probe Request)」を常時発信している。Wi-Fi管理パケットの発信頻度は、機器により異なるが、おおよそ30秒～2分間隔であり、機器ごとにユニークに割り振られた固有のID (MACアドレス) が含まれている。

本研究で用いるWi-Fiパケットセンサー (AMPセンサー: Anonymous MAC address Probe Sensor) は、電子機器から発信されたWi-Fi管理パケットを受信し、パケット内に含まれるMACアドレスをハッシュ関数で匿名化して、個人の特特定できないようにした状態で記録する機器である (図-1)。

(2) Wi-Fiパケットセンサーを用いた調査の既往研究の整理

Wi-Fiパケットセンサーを用いた調査や研究は、同じような無線通信を行うBluetoothを用いた調査と比較すると事例は少ないが、最近では各地で様々な取り組みが行われている。

西田ら³⁾は、無線通信に使用されるBluetoothとWi-Fiの検知方法の違いを整理した上で、山陽自動車道の三木東-加古川区間を対象とした旅行速度計測や、駅前ファーストフード店での滞留分析を行い、Wi-Fiパケットセンサーの交通移動解析への応用例を示している。

上善ら⁴⁾は、グランフロント大阪の情報提供端末内にWi-Fiパケットセンサーを設置し、人の移動状況を計測した上で、可視化方法を提案している。

浅尾ら⁵⁾は、日本三景の1つである天橋立を中心とする宮津市内を対象に、屋内外を含めた全28箇所にWi-Fiパケットセンサーを設置し、調査を行った上で、パーソナリティ調査等の既存の調査を代替する可能性について考察している。

(3) 本研究の位置づけ

本研究で対象とする高山市街地を含む飛騨高山地域は、年間約430万人の観光客が訪れる国内屈指の観光地である。また、このうち1割を占める36万人が外国人観光客である。アンケート調査やヒアリング調査等の一般的な調査は、国内の観光客が対象となることが多く、外国

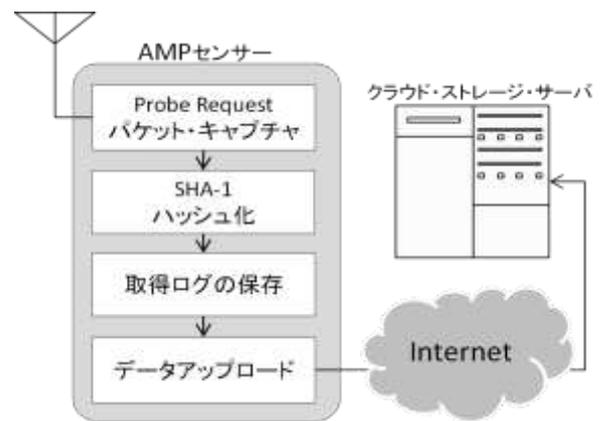


図-1 Wi-Fiパケットセンサーの概要

人を含む多くの観光客の行動実態を把握することは困難である。

「Wi-Fiパケットセンサー」はWi-Fi管理パケットを受信し、自動的にカウントする機器であり、言語に囚われずに外国人を含む多数の観光客の移動実態を調査することができる。また、紙のアンケート調査やヒアリング調査のように、直接観光客と接点を持たずに行動実態を把握出来るため、調査主体の負担が少なく、観光客への負担もない調査である。取得したデータに関するオプトアウト対応 (本人の意に反してMACアドレスなどの情報が取得された場合、希望があればデータを消去する対応) の環境が整っており、プライバシー面やセキュリティ体制も最大限配慮されている。

本研究は、これらの点を踏まえ、観光繁忙期の高山市街地を対象に、Wi-Fiパケットセンサーを用いた調査を試行し、人の行動実態 (滞留および移動実態) の把握の可能性や実務における適用上の留意点を確認するためのものである。

3. Wi-Fiパケットセンサーによる実態調査

本章では、2章で整理したWi-Fiパケットセンサーを活用した調査を高山市街地で試行した概要と、調査結果から分析した人の行動実態を整理する。

なお、既往研究などの実績を踏まえ、本研究では、滞留と移動に関連する分析項目として表-1の4項目を設定した。

表-1 本研究の分析項目

滞留	施設の立ち寄り人数
	施設の滞留時間
移動	施設間の移動量
	施設間の旅行時間



図-2 Wi-Fi パケットセンサーの設置場所



図-3 Wi-Fi パケットセンサーの設置例

(1) 調査概要

本研究では、観光繁忙期の中でも特に観光客が集中するゴールデンウィークを対象とし、2015年5月3日(土)～17日(日)にかけての約2週間、高山市街地の主要な観光施設を中心とした4箇所にWi-Fiパケットセンサー(以下「センサー」という。)を設置した(図-2および図-3)。調査に際して、センサーの横に調査の説明文(実施者、目的、内容、設置場所、設置期間、取得するデータと個人情報に関する取扱い、オプトアウトを希望する場合の連絡先を明記)を設置し、調査の周知を図っている。また、調査実施のため、センサーの設置施設には、設置スペースの確保や電源の提供などのご協力を頂いた。

調査で取得したデータは以下の3点である。

- ・ハッシュ化/匿名化後のMACアドレス
- ・データ取得日時(1秒単位)
- ・電波強度

本研究では、このうち、ハッシュ化/匿名化後のMACアドレスと、データ取得日時を用いて、調査期間

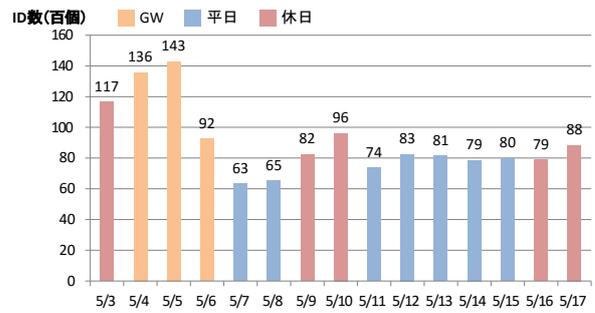


図-4 日別ユニーク ID 数

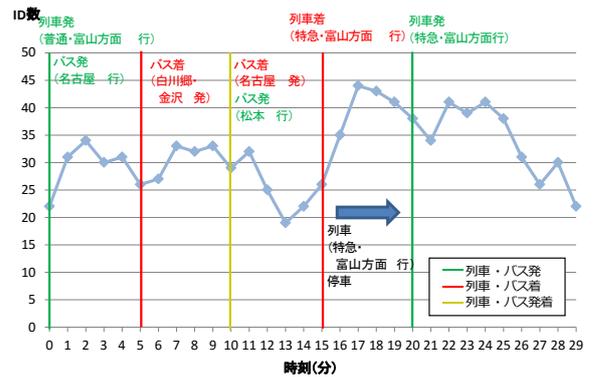


図-5 列車・高速バスの発着時刻とユニーク ID 数
(5月13日(水)12時台, 駅前観光案内所)

中の人の移動実態に関する分析を行う。なお、本来の目的である観光客の行動実態を把握する上では、観光客と地元住民を区分する必要がある。しかし、現時点では明確な区分方法が確立されていないため、本研究では、両者を区別せず、分析を行う。

(2) 調査結果

調査期間中のデータ取得状況を確認するため、日別にユニークなMACアドレスの数を集計する。なお、本研究では、以後センサーで観測され、ハッシュ化/匿名化されたMACアドレスを「ID」という。

集計結果を図4に示す。ゴールデンウィーク中(5月3～6日)は観測されたユニークID数が多く、通常の土日の1.5～1.7倍程度となっている。このうち、5月5日は、約14万のユニークIDを観測しているが、高山市が公表している当日の入込客数が約2.9万人であることから、地元住民を考慮しても一定の割合の観光客の動きを観測できていると考えられる。また、休日に対して平日も同程度のユニークIDが観測されていることから、高山市街地には、平休問わず日々多くの観光客が来訪していることがわかる。

次に、センサーによるID取得の妥当性を確認するため、高山市街地の玄関口である駅前観光案内所で取得したIDを対象に、列車やバスの発着状況の関係を分析する。5月13日の12時台を対象に、1分毎のユニークID

数をまとめた結果を図-5に示す。列車やバスが到着するとユニーク ID 数が増加し、出発するとユニーク ID 数が減少している様子が確認できる。電子機器の Wi-Fi 管理パケットの発信頻度が、おおよそ 30 秒~2 分間隔である点を考慮すると、人の滞留状況をおおよそ把握できていると考えられる。

(3) 滞留・移動実態の分析

調査期間中のデータから人の行動実態を把握するため、滞留と移動のそれぞれの状況について分析する。分析は、平日、休日、観光繁忙期それぞれの特徴を把握するため、代表的な3日間（平日：5月13日（水）、休日：5月17日（日）、観光繁忙期：5月4日（日））を対象とした。

a) 滞留実態

1) 市街地滞留時間

市街地における人の滞留時間を把握するため、設置した4箇所のセンサーで1日のうち最初と最後に観測された ID の時間差を市街地の滞留時間と定義し、その分布を把握する。

集計結果を図-6と図-7に示す。市街地の滞留時間は、期間や日時に依らず、10 分以内の短時間の滞在が多くなっている。さらに 0 分のような 1 施設で 1 度しか観測されていないサンプルも 3 割程度みられる。これは、センサーの設置位置が市街地の中でも比較的狭域なエリアであり、設置位置以外を訪れている観光客も一定数存在することを示唆している。今後、センサーの設置範囲を広域にしたり、密度を向上させることで、より多くの観光客の市街地の滞留時間を把握できると考えられる。

2) 施設滞留時間

市街地滞留時間と同様に、施設ごとのセンサーで連続して観測された ID の最初と最後の時間差を当該施設の滞留時間と定義し、その分布を把握する。

多くの観光客が集積する「古い町並み」に立地している「まちかど観光案内所」の集計結果を図-8と図-9に示す。市街地全体と比較すると、10 分以内の比較的短時間のサンプルの割合が多く、おおよそ 5 割程度となっている。また、0 分のような 1 度のみしか観測されていないサンプルも 3 割程度みられる。ここから、「まちかど観光案内所」周辺への来訪者は、一か所に留まるよりも周辺を回遊している割合が高いことがわかる。

b) 移動滞留実態

1) 施設間移動量（OD 量）

市街地における人の移動量（OD 量）を把握するため、施設間で観測された個々の ID が移動したとき、その施設間を移動したと定義し、日別や時間帯別の OD 量を把握する。

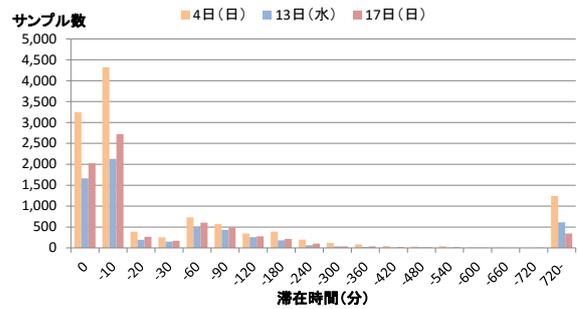


図-6 市街地の滞留時間分布

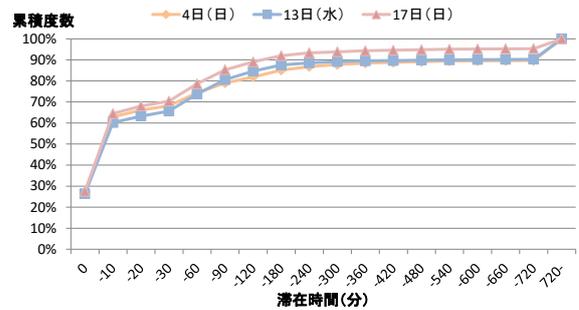


図-7 市街地の累積滞留時間分布



図-8 まちかど観光案内所の滞留時間分布

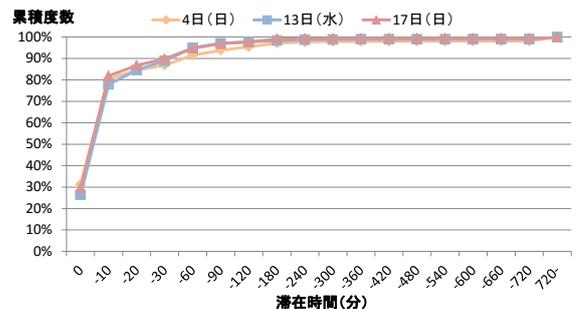


図-9 まちかど観光案内所の累積滞留時間分布

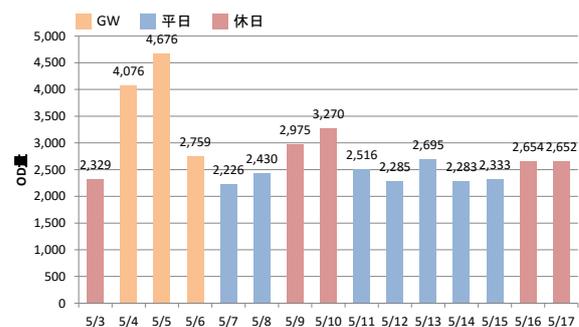


図-10 日別 OD 量

日別 OD 量を図-10に示す。日別 OD 量は、5月5日が最も多く、おおよそ 4,700 トリップとなっている。また、日別 OD 量の平日や休日、ゴールデンウィーク中などの関係は、図4で示した日別ユニーク ID 数とほぼ同様の傾向を示している。

次に、ゴールデンウィーク中の5月4日を対象に、9～11 時台、12～14 時台、18～21 時台の施設間 OD 量を図-11、図-12、図-13にそれぞれ示す。9～11 時台は、「まちかど観光案内所」と「神明駐車場」間の OD 量が最も多く、次いで「まちかど観光案内所」と「駅前観光案内所」間の OD 量が多くなっている。また、12～14 時

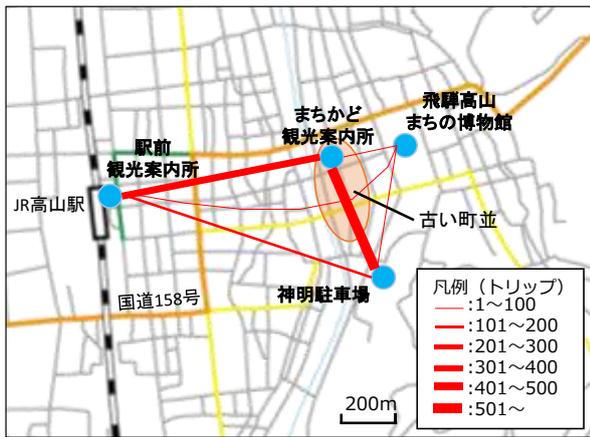


図-11 OD量 (5/4 9～11時台)

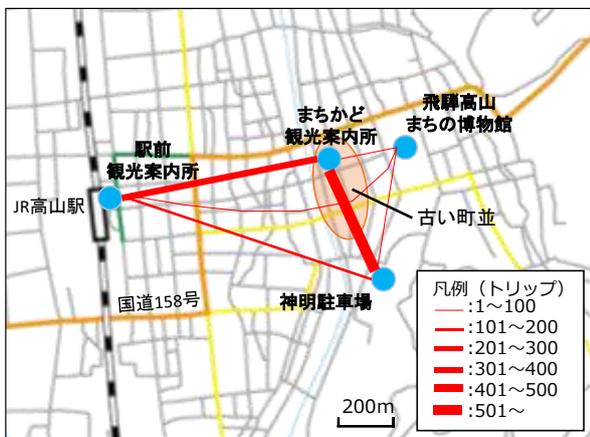


図-12 OD量 (5/4 12～14時台)

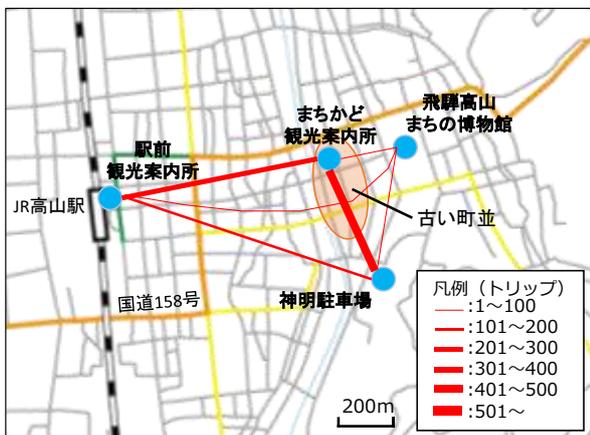


図-13 OD量 (5/4 18～21時台)

台と比較しても同程度の OD 量が観測されている。このことから、高山市街地では、ゴールデンウィーク中は、午前の時点で市街地内に相当量の移動が発生していることがわかる。また、18～21 時台においても移動がみられ、夜間においても、古い町並周辺では一定量の人移動が発生していることがわかる。

2) 施設間旅行時間

施設間の旅行時間を把握するため、移動前の施設での最後の観測時間と、移動後の施設の最初の観測時間の差を施設間の旅行時間と定義し、日別の施設間旅行時間を把握する。

「駅前観光案内所」と「まちかど観光案内所」間の日別旅行時間を図-14、図-15、図-16にそれぞれ示す。両施設間の距離は約 800m であり、徒歩での所要時間は約 10 分と想定される。図に示した3日間のそれぞれのピーク旅行時間は、ゴールデンウィークの5月4日が 16～18 分、平日の5月13日が 12～14 分、休日の5月17日が

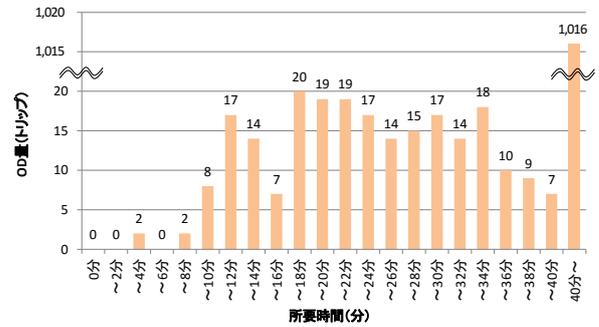


図-14 施設間旅行時間分布 (5月4日 (日))

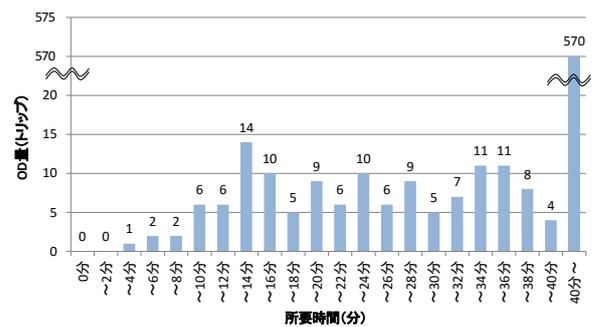


図-15 施設間旅行時間分布 (5月13日 (水))

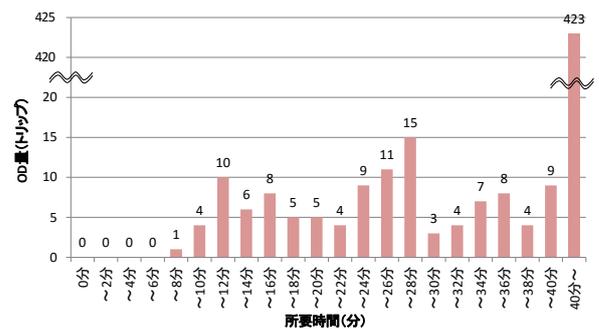


図-16 施設間旅行時間分布 (5月17日 (日))

26～28 分となっており、平日に比べ、ゴールデンウィークや休日の旅行時間が長い傾向となっている。これは、移動中に沿道店舗等に立ち寄っている可能性を示唆していると考えられ、密にセンサーを設置することで、この間の移動実態も把握できると考えられる。

4. 分析結果に基づく人の行動実態の把握の可能性と実務における適用上の留意点

本章では、3 章の調査および分析結果から、高山市街地を対象とした Wi-Fi パケットセンサーによる人の行動実態（滞留および移動状況）の把握の可能性や実務における適用上の留意点を考察する。

(1) 分析結果に基づく人の行動実態の把握の可能性

観測された 1 日当たりのユニーク ID 数と観光入込客数の比較や、駅前観光案内所で観測された ID と列車やバスの到着時間の比較を行い、Wi-Fi パケットセンサーによる調査で観光客の動きを観測できることを確認した。また、取得した ID と取得日時から人の行動実態に関する分析を行い、行動実態の把握の可能性が高いことを確認した。これらの結果は、高山市街地における Wi-Fi パケットセンサーによる人の行動実態の把握の可能性が高いことを示している。ただし、本研究における調査では、高山市街地の 4 箇所を対象にセンサーを設置しているため、より詳細に人の行動実態を分析するためには、センサーの設置範囲と密度を向上させる必要がある。

(2) 実務における適用上の留意点

既往研究や本研究における分析結果から実務における適用上の留意点を整理する。

まず、地域特性を踏まえた適切な調査実施期間の設定に留意が必要である。本研究で対象とする Wi-Fi 管理パケットから生成する ID は、電子機器固有の ID であり、一定期間調査を行うことで、時間や曜日といった変動を捉えることが可能となる。また、課題である観光客と地元住民の区分も、一定期間連続で取得されている MAC アドレスを地元住民として区分する方法などが既往研究⁹⁾でも提案されている。一方で、一定期間 MAC アドレスを取得することで、個人をその移動パターン等から類推しうるリスクが増大することも既往研究で指摘⁹⁾されている。このため、プライバシーや個人情報保護の観点に十分に留意しつつ、適切な調査実施期間を設定する必要がある。

また、分析を行う際の移動の定義にも留意が必要である。本研究では、観測されたセンサーが切り替わった時点で次の施設へ移動した、と定義し分析を行っているが、

今後センサーの設置密度を上げた場合、移動の定義を設定する必要があり、既往研究^{たとえ⁷⁾}などを参考に分析内容に応じた移動の定義を設定する必要がある。

5. まとめ

本研究では、高山市街地における観光客の行動実態の把握を目的に、交通行動調査の 1 つとして各地で実証実験が行われている「Wi-Fi パケットセンサー」を活用した調査を試行し、滞留や移動といった人の行動実態を日別や時間帯別に把握できることを確認した。また、分析結果から、人の行動実態の把握の可能性や実務における適用上の課題を考察した。

今後は、センサーの設置エリアを他のエリアにも拡大し、センサーの設置密度を向上させた上で、人の滞留や移動実態を把握し、高山市街地の観光需要の平準化に向けた施策の検討に活用していく予定である。また、交通量調査を始めとした他の調査結果と合わせて、来訪手段による観光地の回遊行動の差異や、道路の交通渋滞に対する人の移動による影響などを分析していく予定である。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、高山市にはセンサーの設置場所や電源の提供など、データ収集に関して多大なご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高山市商工観光部観光課：平成 27 年観光統計，<http://www.city.takayama.lg.jp/shisei/1000062/1004915/1006941/1007406.html>，2016.07 入手
- 2) 飛騨の匠街道推進協議会：「古い町並」とおりゃんせプロジェクト，http://www.cbr.mlit.go.jp/takayama/shokai/pdf/h22/h22_1104.pdf，平成 28 年 7 月アクセス
- 3) 西田純二，足立智之，牧村和彦，森本哲郎，上善恒雄：Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析，土木計画学研究・講演集，2014.06
- 4) 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，2015.06
- 5) 浅尾啓明，森本哲郎，望月祐洋，西田純二，安東直紀：Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析，土木計画学研究・講演集，2016.06
- 6) 上善恒雄，三神山駿，辻本悠佑，望月祐洋，西尾信彦，西田純二：交通流動センシングのための Wi-Fi パケットセンサーの開発と性能実験，土木計画学研究・講演集，2014.06
- 7) 松島敏和，橋本浩良，高宮進：スマートフォンによるプローブパーソン調査の高度化に向けた移動手段判別手法の開発，土木計画学研究・講演集，2014.11

(2016. 7. 29 受付)