

WiFiパケットセンサーを用いた 歩行観光客周遊行動の二か年比較

寺部 慎太郎¹・一井 啓介²・柳沼 秀樹³・小野 瑞樹⁴・康 楠⁵・田中 皓介⁶

¹正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

²学生非会員 元東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:7614008@alumni.tus.ac.jp

³正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:yaginuma@rs.tus.ac.jp

⁴学生非会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: 7615028@ed.tus.ac.jp

⁵正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:kangnan@rs.tus.ac.jp

⁶正会員 東京理科大学嘱託助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:tanaka.k@rs.tus.ac.jp

観光客の回遊行動の把握は、従来はアンケートによる調査やGPSを用いた調査に依っていたが、近年ではWiFiパケットセンサーを用いた調査がなされている。本研究の目的は、WiFiパケットセンサーを用いて観光回遊行動を把握することである。特に、歩行が主な交通手段である比較的狭い地域内での観光スポット間OD交通量は従来の手法ではなかなか得にくいものである。そこで、1年目と2年目の2日間にわたる成果を比較する。2016年と2017年の2日間のセンサー設置地点間のODパターンを比較したところ、その相関係数は高いものの少数のOD交通量が多いため、必ずしも類似性があるとはいえないことが分かった。

Key Words : *Wi-Fi, travel behavior, tourism attraction, OD pattern, trip distribution*

1. はじめに

観光地における人々の交通行動を把握することは、交通計画・都市計画・マーケティングにおいて重要である。すなわち、観光客がどのような経路で回遊しているか、ある地点ではどの程度の人数がどの程度の時間滞在しているか、といった観光回遊行動の実態を把握することが研究課題とされている。しかし、従来のアンケート調査などでは、リアルタイムでの流動観測や長期間に渡るデータ取得は不可能である。

そこで、WiFi搭載機器が発信するプローブ要求をデータとして蓄積するWiFiパケットセンサーを用い、取得したデータを解析することで、設置地点の滞在人数・時間や回遊経路を明らかにし、観光回遊行動の実態を把握する研究が増えてきた。

本研究の目的は、筆者らもそのような調査方法を用い

て、2日間であるが2か年に渡って同じ規模で同じ時期に調査しているため、その周遊行動の比較を行うことである。特に得られたデータの分析結果の一つであるOD表を用いることとする。

2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

ここでは関連する既往研究のうち、国内で行われた調査や実験で、歩行者や観光客など来訪者の流動把握を行ったものをレビューする。なお自動車の流動を扱った研究は含まない。

(1) WiFiのプローブ要求を人数あるいは人々の動きの計測に用いた基礎研究

WiFiのプローブ要求を人数計測に用いた国内初の研究は、恐らく中野・沼尾(2013)¹⁾である。彼らは、ある空間

内にどれくらいの人々が滞在しているかを計測し、混雑率を推定しようとしている。観測場所を場所移動の有無と入退室制約の有無で区分したうえで、プローブ要求を用いて鉄道車両と教室を事例に混雑度推定を行っている。鉄道車両で混雑レベルを5段階に推定し、目視結果と比較したところ、0.7程度の相関係数を得ている。同様に、教室内で検知できた端末数と在室人数を比較したところ、相関係数は0.87であったという。

また西田ら(2014)²⁾は、ファーストフード店で17日間にわたりセンサーで計測した1時間ごとの観測数(300秒以上滞在を来店と判定)と、POSレジ来店客数の相関係数が0.945であったことを報告している。

WiFiパケットセンサーを複数個設置することで、一か所の人数だけではなく、複数個所間の人々の動きを計測することができる。そのような研究の初期段階のものは、以下の一連の研究が挙げられる。

三神山ら(2013)³⁾は、プローブ要求を用いた人流解析システムの概要を説明し、事前検証実験の結果と、システム構築上の課題について述べている。事前検証は、JR大阪駅の中央切符売り場前で平日の20時から30分間、10178個のプローブ要求を記録している。そして、システムの計算負荷、電波強度の考慮、電源確保の必要性について述べている。

望月・上善ら(2014)⁴⁾は、人流の時空間分布を把握するための汎用システム構築の現状について、人の滞留量や流動量について、実数値と推計値の誤差を2割程度となることを目指していること、事前研究調査によって、1分間の通行者数約500人の大阪地下街に設置したセンサーで、平日昼間に1時間に350件程度のプローブ要求を取得できることを確認していること、携帯端末の保持位置や障害物の有無が電波強度に与える影響があったことなどを報告している。

望月・鬼倉ら(2014)⁵⁾では、グランフロント大阪のナレッジキャピタル内アクティブラボ(2014年1月の2日間、6台のセンサー)と、大阪電気通信大学の四條畷キャンパス(同年2月の2日間、10台のセンサー)において、センサーを用いた人流の傾向把握ができることを確認している。結果は、建物内でのセンサー間移動や、キャンパス内の建物間の移動とその時刻分布として集計している。

規模を拡大した森本・辻本ら(2015)⁶⁾は、グランフロント大阪において2014年11月から2か月間、20台のWi-Fiパケットセンサーを設置して、来訪者数のピークを比較したり、センサー間移動履歴から動線を抽出し、それをフロア上の格子で集計して混雑度を可視化したり、OD表の作成と弦グラフ化をしたりしている。20台のセンサーは、1日あたり約34500件のユニークなMacアドレスを観測し、データ総数は1日あたり約1827000件だったという。そして、施設は7層の大規模商業施設で吹き抜け

があることから、センサーが過大にユーザのプローブ要求を拾ってしまうことなどによる、精度確認を課題に挙げている。

これらの取り組みは、土木計画学研究発表会の場でも2014年から発表されている。

上善ら(2014)⁷⁾は、WiFiパケットセンサーを歩行者や車両の交通流動観測に用いるシステムの概要(ソフトウェア、ハードウェア、プライバシー保護、ストレージサーバー)について説明している。またグランフロント大阪(2014年1月)、大阪電気通信大学四條畷キャンパス(同年2月)における実証実験を紹介しているが、これは望月・鬼倉ら(2014)⁵⁾と同じデータである。

上善ら(2015)⁸⁾は、WiFiパケットセンサーの概要を述べ、これを活用したグランフロント大阪における人流解析(2014年11月から2か月間、20台のセンサー)の事例を紹介し、今後の実用化に向けた課題と展望について論じている。なお、人流解析の事例は森本ら(2015)⁹⁾と同じであるが、使用する機器の性能比較やWiFi端末の機種割合について考察をしていることや、プライバシー保護についても言及していることもこの論文の特徴である。さらに、プライバシー侵害のリスクとリスク低減対策の事例については、西田ら(2018)¹⁰⁾が詳しい。

大野ら(2018)¹¹⁾は、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調べた。豊田市内に設置した13か所の周辺を、3名の調査員がGPS機能を搭載したスマートフォンを保持して回遊したところ、センサーの設置位置や周辺環境に依存するものの、平均的に11-50m程度、最大では159mの距離まで捕捉可能であることを示した。

WiFiパケットセンサーがどれくらいの滞在者数・歩行者交通量を把握可能なかを様々な環境で試している研究が近年は多い。

Kusakabeら(2017)¹²⁾は、WiFiパケットセンサーのデータから旅客のバスターミナル滞在時間を推計する方法を検討している。推計結果をインタビュー調査(n=284)と比較したところ、WiFiパケットセンサーは旅客以外の通過客のデータも取得しているために過小評価であったという。

金子ら(2018)¹³⁾は、船橋駅前に設置したWiFiパケットセンサーと画像解析型カメラセンサーから得られた歩行者の時間交通量を比較している。電波強度による距離判定を併用し、5分以内の連続したプローブリクエストは滞在と判定して歩行者数を計測したところ、データ取得率は約13%だったが、相関係数は0.9と高い。他のケースも総じて、Wi-Fiパケットセンサーのデータ取得率は2~3割程度であり、7.98を補正率として用いることを結論付けている。

大田ら(2018)¹⁴⁾は、京都東山地区の8断面で歩行者や車両交通量とWiFiパケットセンサーのデータ取得数を比較

して、断面交通量を推計するモデル式を構築している。それを目視によるパーソントリップ数と比較したところ、推計値と実測値の乖離は 0.29%~16.23%であったという。

(2) WiFiのプロブ要求を広域の交通流動や観光客の流動把握に用いた研究

上記のような基礎研究を受けて、土木計画学分野では単一の施設内の流動より広域の交通流動や観光客の流動把握に用いる研究が相次いだ。

浅尾ら(2016)¹⁵⁾は、京都府宮津市においてWiFiセンサーを28か所に設置し、携帯電話ネットワークを利用してデータ数を常時確認できるようにしている。交通流動パターン(OD)などを可視化できるようにしたシステムは、浅尾ら(2017)¹⁶⁾で拡充されているが、ここでは駅で30分ごとの乗降客数の実測値と比較しているところが興味深い。それによれば、実測値とWiFiセンサーによるカウントは、時間帯によって大小が逆転することもあるが、概ねの変動は捉えられている。

廣川ら(2016)¹⁷⁾は、高山市内の4か所(駅前と街中の観光案内所、博物館、駐車場)にWiFiパケットセンサーを設置し、2015年5月GWの二週間にわたってデータを取得している。その結果から、滞留時間分布やOD交通量、施設間旅行時間分布を求めている。ここでは、まだ観光客と一般市民を分離できておらず、実数調査との比較は行われていないものの、列車や高速バスの発着時刻とデータ数の時刻変動は関係しており、列車やバスが到着すると増えて発車すると減るということである。

小橋川ら(2016)¹⁸⁾は、函館市内の観光地5か所に2016年7月に設置したWiFiパケットセンサーから得られた一日分のデータを分析している。2か所以上で捕捉されたMACアドレスを旅行者とみなし、時間帯別の来訪者数を集計したり、地点間の所要時間分布を示したりしているが、捕捉率の低さを課題として今後の手法開発が必要だとしている。

浅尾ら(2016)¹⁵⁾に続いて浅尾ら(2017)¹⁶⁾は、京都府天橋立地区(宮津市)を中心にWiFiパケットセンサーの設置を60台に拡充し、2016年6月から2017年3月まで、一日平均約18万件のデータを収集している。1週間のうち3日以上捕捉された対象を「地元住人」として定義し、それ以外を観光客としている。また一つのセンサーにおいて複数のタイミングで同一の識別子を捕捉した場合「滞留」と判断している。そして、各地で取得されたデータから時間変動、日変動、流動パターン、滞在時間分布を常時観測できるシステムを作り、その出力例を示しながら考察を加えている。

上記と同じセンサーを扱った伊藤ら(2017)¹⁹⁾は、京都府宮津市内31か所(後に11エリアに統合)に設置したWiFiパケットセンサーから得られた2016年1-3月分のデー

タを分析している。一つのMACアドレスについて、観測時間、捕捉日数、捕捉センサー数、観測時刻、時間帯別観測割合、曜日別観測割合など8つの特徴量を付与し、一日当たり14000から31000におよぶそれらのアドレスを非階層クラスター分析によって8つに分類し、それらの属性を類推した。この分析の目的は、調査対象者の属性および移動目的が不明であるほか、移動ではないデータも含まれるという、WiFiパケットセンサーから得られるデータの特徴を、上記の特徴量から類推しようとするものである。さらに、観光に近い行動をしていると考えられる2つのクラスターに、滞り場所と滞り開始時刻を説明変数とする滞在時間モデル(生存時間モデル)を適用している。

中西ら(2017)²⁰⁾は、2016年8月の4日間に沖縄・本部半島の観光地13か所にWiFiパケットセンサーを設置した。得られた約157,000のユニークなMACアドレスのデータから、施設の来場者数や滞在時間が推定可能であることを示し、観光地間のOD表と地点間の所要時間分布、トリップチェーンの集計を行っている。この研究では、実来場者数との比較や、近接センサーの統合、アンケート調査との比較結果が興味深い。

また、壇辻ら(2017)²¹⁾は、奈良県長谷寺参道にWiFiパケットセンサーを7台設置(2016年11月の3日間)し、簡易なアンケート調査も実施(n=213)した。2日以観測されたら、住民や従業員のものとするようなデータクリーニングを行っている。観測ポイントで鉄道利用者(n=100)と車利用者(n=130)を判別し、滞在時間のヒストグラムを描いて比較している。その結果、鉄道利用者の方が滞在時間が長いことが示されている。

エリア内の歩行者交通量や滞在人数などを観光客に限らず推計したものとして、岡平ら(2017)²²⁾は、神戸市内で既存の公衆WiFiアクセスポイントへの接続ログ5か月分を集計し、日時とWiFiアクセスポイントの位置情報から移動経路を推定し、路線別時間帯別の歩行者交通量や駅間の移動手段別の人数、エリアごとの滞在状況などを示している。三宮交差点での時間帯別横断歩行者数を実測値と比較したところ、相関係数が0.978だったという。

さらに2018年になってからは、田中ら(2018)²³⁾は、中西ら(2017)²⁰⁾の調査規模を拡大し、2017年8-9月にWi-Fiパケットセンサーを沖縄本島内の51施設に設置しユニークIDの収集を行った。空港と港湾で取得されたデータによって観光客の特定を行った上で、一次交通手段別の周遊行動を明らかにした。さらに、大型イベントによる効果の把握可能性について示した。続いて五百蔵ら(2018)²⁴⁾は、田中ら(2018)²³⁾と同じデータに確率的ブロックモデルを適用し、観光客と周遊場所の組み合わせからクラスター分類をしている。

一井ら(2018)²⁵⁾は、Wi-Fiパケットセンサーを長野県小布施町内29箇所に設置し、時間帯別滞在人数による各観光スポットのクラスター分析、滞在時間分布の各観光スポットの比較を行った。さらに、観光スポット間のOD表を作成することで町内の観光回遊行動の実態を把握し、それに吸収マルコフ連鎖モデルを当てはめて、観光回遊行動を再現可能であることを確認している。Hidayatら(2018)²⁶⁾は、そのうち周遊バス2台に設置したWiFiパケットセンサーから得られたデータから、乗客のバス停留OD表を作成しようとしている。

このように、WiFiパケットセンサーを用いた研究は、まず、ある一か所にセンサーを設置してそこに来訪あるいは滞在する人数を計測する研究から始まり、続いて複数箇所にセンサーを設置して、その箇所間の人々の動きを計測することに広がったことが分かる。これらの研究は主に情報学分野で進んだが、土木計画学分野では施設内というより数百mから十数kmの間隔でセンサーを設置することで、その地域内の人々の流動、特に観光客の流動を把握しようとする研究が多く行われていることが分かる。

本論文もこのような観光客の流動を把握しようとする研究の一つとして位置づけられる。他の多くの研究に比べて計測の期間や規模は小さいものの、1-2km程度の広がりセンサーを設置して、歩いて移動する人々が多い地域での観光客の周遊行動を把握するものである。さらに、同じ規模で同じ時期に調査しているため、その2か年の周遊行動の比較ができることが特徴である。

3. 調査の概要

(1) WiFiパケットセンサーの概要

本調査で用いるのはWiFiパケットセンサー、もしくはWiFiスキャナーと呼ばれる機器である。これはWiFi、いわゆる無線LANの技術を応用したもので、WiFiのアクセスポイント(親機)の機能に似ている。

人々が所有するスマートフォンやタブレットなどの携帯情報端末は、WiFiが利用可能な状態になっていると、アクセスポイントを探すために電波を定期的に(一般的には100ミリ秒間隔と言われているが、望月・上善ら(2014)⁴⁾の実験によれば、プローブ要求の送信間隔は、携帯端末の機種ごとに大きく違い、約15-480秒であり、また望月・倉倉ら(2014)⁵⁾ではプローブ要求の間隔を「30秒から120秒程度」、西田ら(2014)²⁾は「30秒から90秒程度」と述べている。)発信する。それをプローブ要求というが、その中には携帯情報端末固有の記号であるMACアドレスが含まれている。一般的なWiFiのアクセスポイントは、プローブ要求を受信すると接続するための情報をプローブ応答として返すので、WiFiに接続する

手続きが始まるが、WiFiパケットセンサーはWiFiに接続することを目的としていないので、プローブ応答を返すことはない。その代わりに、プローブ要求を受信した時刻とMACアドレスを記録するようにプログラムされているので、WiFiパケットセンサーへの電波が届く範囲内(西田ら(2014)²⁾はパケットの飛距離を「200mから350m程度」、大野ら(2018)¹¹⁾は「平均的に11-50m程度、最大では159m」と述べている)に、WiFiが利用可能になっている携帯情報端末が何台存在するかがわかる。

従って、調査終了後にWiFiパケットセンサーの記録を解析して、いくつかのMACアドレスが存在するかを数えれば、調査時間内に何台の携帯情報端末が近くにあったか、すなわち携帯情報端末を所有する人が何人いたかがわかる。さらに、携帯情報端末はプローブ要求を出し続けているので、ある1つのMACアドレスが初めて記録された時刻と最後に記録された時刻の差を取れば、プローブ要求を出す時刻と実際の立ち寄り・立ち去りの時刻の差があるとはいえ、概ねの滞在時間を算出することができる。

なお、本手法は上記のように人々が所有するスマートフォンやタブレットなどの携帯情報端末に依存しているので、いくつかの限界がある。

まず、このような携帯情報端末を所有していない人や、所有していてもWiFiをオフにしている人がいるということである。株式会社ICT総研が2016年9月に実施した調査²⁷⁾によれば、スマートフォン利用者で公衆無線LANを利用する人は調査回答者の39.1%であるという。年々スマートフォン等の所有率は高くなっているとはいえ、WiFiパケットセンサーは携帯情報端末を持っていない人あるいはWiFiを使用できないようにしている人を検知できないので、本手法は滞在人数を過少に推計することとなる。一方、人によってはそのような携帯情報端末を複数所有している場合もある。さらに、道路上の自動車や二輪車の運転者や同乗者が所有する端末や、沿道の建物内に存在する端末でも、WiFiパケットセンサーまで電波が届く範囲内にあれば検知されるので、本手法では逆に滞在人数を過大に推計することとなる。後者の過大推計は、別途交通量調査を実施したり、別の日や別の時間帯に同様の調査をして同一のMACアドレスを除去したりすることである程度は補正できるが、本報告では扱わない。その理由は真値となる実際の観光客数を分析に耐えられる分だけ集めることができないからである。

従って、以降で分析する滞在者数などは、WiFiパケットセンサーで捕捉できた部分を対象としていることに注意する必要がある。本研究では実数の議論はできないが、相対的なパターンとしての観光回遊行動の把握は可能である。

ちなみに、記録されたMACアドレスは、元の情報に

復元することができない一方向秘匿化処理により別の記号に置き換えられているため、個別の観光客のプライバシーを侵害することはない。設置されたWiFiスキャナーには、そのような配慮がしてある機器であることと、WiFiをオフにすることで検知されなくなることで、それでも不安な場合に調査実施者に問い合わせができることが、注意書きとして書かれている。本論文の調査では、プライバシーに関する問い合わせは寄せられなかった。ちなみに、小橋川ら(2016)¹⁸⁾によると、このように収集された情報は個人情報には該当しないとされているが、西田ら(2018)¹⁰⁾によれば、わが国の個人情報保護法では個人情報にあたるか否かはグレーであるが、新しいEUの一般データ保護規則では明確に個人情報に含まれるとされているので、もう個人情報と見たほうが良いとのことである。

(2) 調査場所の概要²⁸⁾

調査場所は長野県小布施町である。同町は人口約11,000人、面積約19km²、人口密度580人/km²である小規模な地方自治体だが、観光地として有名で、年間120万人もが訪れるとされる。

浮世絵美術館である北斎館と、老舗栗菓子店が集まっている町中心部が観光の中心で、町営駐車場の1つと観光バスの駐車場もそこにある。観光客はそこを目指してやってきて、北斎館に加えて、高井鴻山記念館、日本のあかり博物館、栗菓子店、その他の土産物店を徒歩で散策することが多い。それらの広がり半径約200mである。代表的な北斎館の年間入場者数は約125,000人である。

町中心部から約600m離れたところに、おぶせミュージアム・中島千波館、さらに1.0~1.5km離れたところに、岩松院、浄光寺、農産物を直売・加工直売する6次産業センター、フローラルガーデンおぶせ、温泉施設がある。この地域の代表的な観光施設である岩松院の年間入場者数は約89,000人である。

公共交通機関によるアクセスは、長野電鉄の小布施駅が町中心部から約600m離れたところにあるが、駅から中心部への動線上に観光施設や土産物屋がなく、賑わいは見られない。同駅の列車本数が一日96本(週末)、年

間乗降客数は約65万人である。

町の南西部には上信越自動車道の小布施PA(パーキングエリア)スマートIC(インターチェンジ)と、それに併設されたハイウェイオアシス、道の駅があり、小布施町に訪れる観光客だけでなく、長野県北部などで観光した帰路に立ち寄る高速道路利用者も多い。小布施PAスマートICの日平均利用台数は、約2,700台である。

これらの観光目的地を訪れるには、徒歩又はレンタサイクル、自家用車で移動するか、町営の周遊シャトルバス「おぶせロマン号」を利用する。この周遊シャトルバスは、12-3月は運休するものの、それ以外の観光シーズンの平日は1日7便、休日は1日14便運行されている。小布施ハイウェイオアシスを起点に、小布施駅、町中心部、町営駐車場、上記の主要な観光目的地に設けられた8か所のバス停(うち5か所は復路でも通過する)を回り、約50分で一周する。一日中乗り降り自由の周遊券が300円である。筆者らが2016年10月の休日に調査したところ、1便当たり2~48人の乗降客が利用していた。

(3) 調査日時

調査日は、2016年10月29日(土)から30日(日)と、2017年10月21日(土)から22日(日)の4日間である。この時期は行楽シーズンでもあり、名産の栗をはじめ、様々な種類の果物も店頭に並ぶことから、一年で来訪者数が最も多い。WiFiパケットセンサーは数週間以上の継続調査も可能だが、本調査は電源が確保できずバッテリーを使用せざるを得ない場所に設置することもあるため、また自作機器の安定動作確認のため、さらには日帰りが主である観光客の周遊行動を把握する目的のため、週末である土日を調査期間に選んだ。観光施設や店舗の開閉時刻の前後

表-1 WiFiパケットセンサーの設置場所

施設種類	施設名	設置箇所	営業時間
美術館・博物館	北斎館	受付横	9:00-17:30(17:00受付終了)
美術館・博物館	日本のあかり博物館	受付内	9:00-17:00
美術館・博物館	おぶせミュージアム・中島千波館	受付脇売店横	9:00-17:00
美術館・博物館	おぶせ森園牧夫美術館	受付前	10:00-17:00
寺社・仏閣	岩松院	受付前	9:00-17:00(16:45受付終了)
寺社・仏閣	浄光寺	ふもとの山門内	終日
物販・食事	小布施堂本店	カウンター内	9:00-17:00
物販・食事	小布施堂傘風楼	カウンター内	9:00-17:00(一部7:30から)
物販・食事	竹風堂小布施本店	出入口横	8:00-19:00
物販・食事	桜井甘栞堂・茶蔵(さくら)	店舗外壁	9:00-16:00
物販・食事・庭園	フローラルガーデンおぶせ	出入口横	9:00-17:00(一部21:00まで)
物販	サンクセールワイナリー小布施店	陳列棚上	9:00-17:00
物販	小布施屋(6次産業センター)	出入口横	9:00-17:00
物販・食事	道の駅オアシスおぶせ	店舗中央レジ横棚上	9:00-20:00(トイレと自販機は終日)
物販	JANAがの農産物直売所おぶせSHOPおぶせ	店舗外壁	8:30-17:00
日帰り温泉・畜	おぶせ温泉(あけびの湯)	受付横	6:00-22:00
日帰り温泉	おぶせ温泉(くぬぎの湯)	受付内	10:00-22:00
観光案内所・食事	ア・ラ・小布施ガイドセンター	出入口横	9:00-17:00
観光案内所・物販・喫茶	小布施駅 観光案内所	案内所内窓際机上	9:00-17:00
駐車場・広場	北斎館バス駐車場	三館共通券売り場内	9:00-16:00は有人
駐車場	北斎館東町駐車場	料金所内	9:00-17:00は有人
駐車場	町営森の駐車場	受付横	8:30-17:15は有人
駐車場	町営松村駐車場	受付外壁	9:30-17:00は有人
街路・通路	栗の小径	植え込み内	終日
街路・通路	桜井甘栞堂駐車場付近街路	植え込み内	終日
街路・通路	松葉屋本店から大日通りへの小径	店舗外壁	終日
街路・通路	やましち山野草店内の小径	建物外壁	終日
公共交通	周遊シャトルバス1号車(おぶせロマン号)	左前方	9:50-17:10
公共交通	周遊シャトルバス2号車(おぶせロマン号)	運転席上部	10:20-17:40

も観光客が訪問することが多いことから、実際には前日の金曜日に機器の設置を終え、調査終了翌日の月曜日に機器を回収しているため、基本的にはどの日も24時間のデータが得られるような観測を行っている。

(4) 設置場所

設置場所は表-1に示す29か所である。これらは多くの観光客が目的地とする施設であり、美術館・博物館、寺社・仏閣、物販店、飲食店、温泉、観光案内所などの観光施設、駐車場や駅、高速道路インターチェンジなどの交通結節点、周遊シャトルバス等、小布施町を観光で訪れる場所を網羅している。これらは施設の種類の多岐にわたること、3章2節で述べた小布施町の地域的な広がりやを考慮した。さらに、歩行観光客が多いことから、特に有名な小径や周遊の主要動線となる街路も含めた。これらの設置場所選定にあたっては、小布施町産業振興課にも助言をもらっている。各施設管理者に調査への協力を依頼し、設置許可が得られたところが最終的な設置場所である。

4. 調査結果

(1) データのクリーニング

調査で得られたデータは、観光客以外のデータも含まれた状態である。そこで、以下に示すようにデータのクリーニングを行い、データ分析の準備を行う。

a) 観光客以外の除外

観光客の観光回遊行動を対象とするため、データに含まれる観光客以外のデータを除外する必要がある。小布施町は比較的規模の小さい観光地であり、基本的には日帰りで訪れる観光客が多い。そこで、データのうち複数日に渡って取得されたMACアドレスを除くことで、観光客以外のデータを分析対象から除外する。

b) 通過交通の除外

データには設置地点の滞在客のみならず、店舗周辺の通過交通などのデータが含まれてしまっている。そこで、設置地点において5分以上連続してデータが得られた場合のみ、そのデータを滞在と見なし、それ以外のデータを除くことで通過交通のデータを分析対象から除外する。また、時間において2度通過したデータが滞在として扱われることを防ぐため、プローブ要求から次のプローブ要求までの間隔が10分未満であったデータのみを滞在とし、10分以上間隔が空いたデータは通過交通として除外する。

(2) データの集計結果

前節に書いた方法でデータがクリーニングできると、様々な集計が可能になる。基本となるデータは、各施設

に設置されたWiFiパケットセンサーが、どのMACアドレスを、いつ捉えたかという記録であるから、それらを集計すれば、時間帯ごとの来訪者数や滞在時間、OD表を知ることができる。

以降の分析では個別の(ユニークな)MACアドレスを観光客とみなして、議論を進める。もちろん、3章1節で述べたように観光客数を過大にも過少にも推計しうるため注意が必要であるが、本報告で述べた方法で得られる範囲において、実数とは異なるものの推計された観光客数という意味である。

a) 滞在時間分布の計算例

ある施設に設置されたWiFiパケットセンサーから得られたデータにおいて、個別のMACアドレスごとに、初めて記録された時刻と最後に記録された時刻の差を取り、それが5分未満であるものを除くと、ある観光客がどれくらいの時間その施設に滞在していたかがわかる。

ここでは例として、物販施設と温泉施設のヒストグラムを図-1と図-2にそれぞれ示す。

これを見ると、物販施設においては20分未満の滞在がほとんどである一方で、180分以上の滞在者もいることが分かる。この180分以上の滞在者は施設の特徴からは実際の来訪者とは考えにくく、従業員、近隣の駐車場で休憩している人、近隣住民、施設内外に存在するPCやプリンタなどの観光客に関係ない情報機器などが、含まれてしまっているためと考えられる。

この考察からは、前節の方法でデータをクリーニングして観光客以外を除外しようとしたものの、複数日に渡って取得されたMACアドレスを除くだけでは除外しきれないことを示している。

温泉施設の方は、ピークが5-10分にあり、10-20分の滞在者も多い。これらの滞在者は、受付付近に設置された

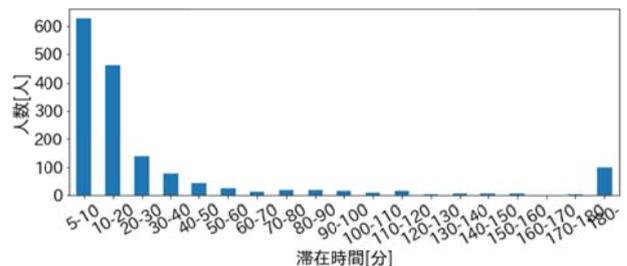


図-1 ある物販施設における来訪者の滞在時間分布

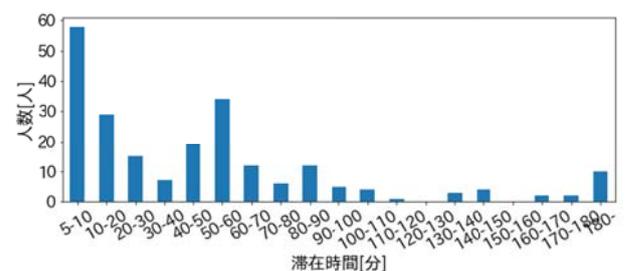


図-2 ある温泉施設における来訪者の滞在時間分布

WiFiパケットセンサーで入退場のどちらかのみで記録されたため、あるいは、入浴後に受付近くで休憩をしていた時間が記録されたため、短い滞在時間になったと考えられる。50-60分には2番目に大きなピークがあり、この前後の滞在時間分布は、概ね実態を反映しているものと考えられる。

b) 滞在時間分布と通過交通除外の閾値の関係

ここで、前節の通過交通の除外で用いられた5分未満という閾値について考えてみよう。この閾値は、本来は感度分析によって決める必要がある。すなわち、閾値が短いとWiFiパケットセンサーの前を通り過ぎただけのような通過観光客を含める可能性が高くなり、過大推計につながる。一方、閾値が長いと短時間の来訪者を含めないことになり、過小推計につながる。またこの閾値は、比較的短時間で買い物や済むことの多い物販店や、数十分の滞在者が多いと思われる美術館・博物館、1時間を超えることの多い温泉施設など、施設の種類によって異なる。さらに、この閾値は、同じ種類の施設でもWiFiパケットセンサーの設置位置によって異なる。公道に近い施設入口に設置した場合は、通過者など非入場者も捕捉している可能性があり過大推計につながる。非入場者の影響がないような公道から離れた場所に受付がありそこに設置した場合でも、入場券を購入するなど受付を通過するのが短時間であれば、滞在中はWiFiパケットセンサーの捕捉範囲内にいないため、過小推計につながる。一方で主要な滞在所を考慮して、例えば美術館・博物館内の展示室にWiFiパケットセンサーを設置するのも、施設全体の滞在時間を把握することにはならないため過小推計につながる。

従って、施設の種類のWiFiパケットセンサーの設置場所を考慮したうえで、閾値を変化させながら、実際の来

訪者数と比較して適切な値を定める必要がある。本報告では、実際の来訪者数が時間帯別に得られていない閾値の感度分析ができないため、便宜的に5分とした。

c) OD表の算出とその比較

データから施設ごとの来訪者を、すべて合わせて来訪時刻別に並べ替えると、観光客がどの施設からどの施設へ移動したかがわかる。すなわち、トリップチェーンがわかる。これをアンリンクト・トリップにして、出発地と目的地で集計するとOD表が作成できる。

ここでは例として、2016年と2017年の2日間ずつを合算したOD交通量について、対応するODペアごとに散布図にしたものを図-3に示す。OD交通量の対応するペアで見ると相関係数は0.90だが、散布図を見ると、少数トリップがほとんどを占めており、いくつかのOD交通量が大きくなっていることが分かる。

5. おわりに

本研究では、長野県小布施町にてWiFiパケットセンサーを用いて観光客の周遊行動を調査した。その結果、滞在時間分布を例示し、滞在時間分布と通過交通除外の閾値の関係について考察した。続いて、OD表を作成して、2016年と2017年の2日間のODパターンを比較したところ、その相関係数は高いものの少数のOD交通量が多いため、必ずしも類似性があるとはいえないことを明らかにした。

本調査手法から得られるデータは、データクリーニングの手法や集計の手法など、考慮すべき課題が多く残されており、それらを一つずつ解決していくことが望まれる。

参考文献

- 1) 中野隆介, 沼尾雅之: 無線 LAN アクセスポイントへの検索要求を用いた屋内混雑度推定手法, 日本データベース学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 121-126, 2013.
- 2) 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, 第49回土木計画学研究発表会・講演集, 216_1-9, 2014.
- 3) 三神山駿, 森本哲郎, 白濱将太, 上善恒雄: ProbeRequet を利用した人流解析システム, 第12回情報科学フォーラム (FIT2013) 講演論文集, M-010, 2013.
- 4) 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, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 2014-UBI-4 (45): 1-8, 2014.
- 5) 望月祐洋, 鬼倉隆志, 福崎雄生, 西尾信彦: Wi-Fi パケット人流解析システムの実環境への適用, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, 1249-57, 2014.
- 6) 森本哲郎, 辻本悠佑, 白浜勝太, 上善恒雄: Wi-Fi パケットセンサを用いた人流解析と可視化, データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015) 論文集, 2015.
- 7) 上善恒雄, 三神山駿, 辻本悠佑, 望月祐洋, 西尾信

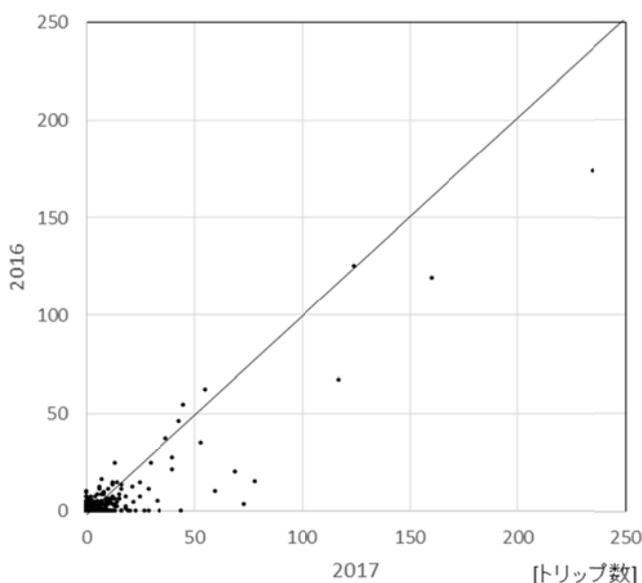


図-3 2016年と2017年のOD交通量の比較

- 彦, 西田純二: 交通流動センシングのための Wi-Fi パケットセンサの開発と性能実験, 第 49 回土木計画学研究発表会・講演集, 49:252_1-7, 2014.
- 8) 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, 第 51 回土木計画学研究発表会・講演集, 16_1-10, 2015.
 - 9) 森本哲郎, 白浜勝太, 上善恒雄: Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法, 情報科学技術フォーラム講演論文集 14 (4): 505-11, 2015.
 - 10) 西田純二, 宇野伸宏, 倉内文孝, 中川義也, 望月祐洋: Wi-Fi パケット観測の精度と個人情報保護, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 02-09, 2018.
 - 11) 大野沙知子, 中村俊之, 薄井智貴, 手嶋茂晴: 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, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 18-01, 2018.
 - 12) Kusakabe, T., Yaginuma, H., and Fukuda, D: Estimation of Bus Passengers' Waiting Time at a Coach Terminal with Wi-Fi MAC Addresses, The 11th International Conference on Transport Survey Methods, 2017.
 - 13) 金子俊之, 松下雅典, 森谷武浩, 齋藤育門: Wi-Fi パケットセンサーデータを活用した公共空間の面的な人流解析, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 02-08, 2018.
 - 14) 大田香織, 大村真輝, 辻堂史子, 浅尾啓明, 西田純二: Wi-Fi 歩行者流動センサによる計測値からの実数推定手法, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 02-07, 2018.
 - 15) 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, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.2104-2110(15-05), 2016.
 - 16) 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, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, 03-03, 2017.
 - 17) 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～, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.1180-1185 (162), 2016.
 - 18) 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, 第 54 回土木計画学研究発表会・講演集, 83, 2016.
 - 19) 伊藤伸, 倉内文孝, 安東直紀, 西田純二: Wi-Fi パケットセンサーデータによる観光行動把握の可能性に関する研究, 第 56 回土木計画学研究発表会・講演集, 158, 2017.
 - 20) 中西航, 小林巴奈, 都留崇弘, 松本拓朗, 田中謙大, 菅芳樹, 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, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, 45-03, 2017.
 - 21) 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 -奈良県長谷寺参道における試み-, 都市計画論文集 52 (3), pp.247-254, 2017.
 - 22) 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, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, 42-03, 2017.
 - 23) 田中謙大, 神谷大介, 中西航, 我部新, 福田大輔, 山中亮, 五百蔵夏穂, 柳沼秀樹, 菅芳樹: 沖縄本島内の主要観光地における滞留・回遊特性に関する分析, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 01-14, 2018.
 - 24) 五百蔵夏穂, 田中謙大, 中西航, 神谷大介, 菅芳樹, 福田大輔: Wi-Fi パケットセンシングによる沖縄本島観光周遊パターンの特徴抽出, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 01-15, 2018.
 - 25) 一井啓介, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 康楠, 田中皓介: Wi-Fi パケットセンサを用いた散策型観光地における観光回遊行動の把握, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 01-16, 2018.
 - 26) Hidayat, A., Terabe, S., and Yaginuma, H.: Wifi-Scanner Technologies for Obtaining Travel Data about Circulator Bus Passengers, A Case Study: Obuse, Nagano Prefecture, Japan, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, doi.org/10.1177/0361198118776153, 2018.
 - 27) 株式会社 ICT 総研: 2016 年公衆無線 LAN サービス利用者動向調査, <http://ictr.co.jp/report/20160913.html> (2017/12/08 取得)
 - 28) 小布施町企画政策課: 統計でみる小布施町の姿, 平成 28 年度版 (2018.7.31 受付)

TOURISTS BEHAVIORAL SURVEY USING WIFI PACKET SENSOR: COMPARISON OF OD MATRIXES

Shintaro TERABE, Keisuke ICHII, Hideki YAGINUMA, Mizuki ONO, Nan KANG
and Kosuke TANAKA

Understanding travel behavior is an important factor for tourism study. The questionnaire survey is the conventional approach to understand the travel behavior. However, these techniques are difficult to observe in the real time and investigate for the long period of time. Therefore, the travel survey using Wi-Fi is considered instead of those techniques. Our final goal is to develop the method of travel behavior survey using Wi-Fi scanner. We conducted two days survey in 2018 and 2017 in Obuse town in Japan. We analyzed Wi-Fi scanner's data into the duration time distribution and the number of visitors' distribution. Origin and destination (OD) matrix for four days were compared. We found that those OD patterns are not similar to each other due to the existence of smaller OD trips, although correlation is 0.90.