

# 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

中西 航<sup>1</sup>・小林 巴奈<sup>2</sup>・都留 崇弘<sup>3</sup>・松本 拓朗<sup>4</sup>  
 ・田中 謙大<sup>5</sup>・菅 芳樹<sup>6</sup>・神谷 大介<sup>7</sup>・福田 大輔<sup>8</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士 (工学) 東京工業大学特任助教 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

E-mail: nakanishi@plan.cv.titech.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

E-mail: h.kobayashi@plan.cv.titech.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

E-mail: t.tsuru@plan.cv.titech.ac.jp

<sup>4</sup>学生会員 琉球大学修士課程 大学院理工学研究科 (〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

E-mail: k168476@eve.u-ryukyu.ac.jp

<sup>5</sup>学生会員 琉球大学修士課程 大学院理工学研究科 (〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

E-mail: k178477@eve.u-ryukyu.ac.jp

<sup>6</sup>非会員 株式会社地域未来研究所 (〒 530-0003 大阪府大阪市北区堂島 1-5-17)

E-mail: suga@refrec.jp

<sup>7</sup>正会員 博士 (工学) 琉球大学准教授 工学部 (〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

<sup>8</sup>正会員 博士 (工学) 東京工業大学准教授 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

観光施策の検討において、周遊行動の実態を把握することは重要である。アンケート調査やプローブデータの利用など様々な方法が存在するが、それぞれコストや普及率の問題から十分なサンプル数を得ることは容易ではない。本研究では、パッシブなデータ取得手段である Wi-Fi パケットセンサーを用いた周遊行動把握の可能性を検討する。まず、沖縄本島・本部半島周辺の複数の観光地にセンサーを設置し、観光客が所有するモバイル端末からのプローブクエストデータを複数日にわたって計測した。次に、計測データの基礎分析を行い、プローブクエストの特性を把握した。さらに、来場者数や滞在時間の推定可能性を確認したうえで、複数地点での同一端末の計測情報を用いて観光地間の OD 表とトリップチェーンの作成を行い、一定程度妥当と考えられる結果を得た。

**Key Words :** *Wi-Fi, Travel pattern, Okinawa, OD matrix, Trip chain*

## 1. はじめに

近年、観光産業の振興はますます重要なテーマとなっている。観光施策には、アクセス手段の整備、観光地やその周遊プランの提示など様々な方法が考えられる。これら施策の比較検討にあたっては、現に行われている周遊行動の実態を把握することが望まれる。たとえば、主要な観光地を訪れた観光客に対して周辺の観光地を提示するときに、効果的な推薦を行うための基礎データが必要だからである。

本研究は、観光が主要産業のひとつである沖縄を対象地としている。沖縄では、上述のような観光客の行動実態を把握するためのデータは断片的にしか存在しない。すなわち、目的地選択、経路や周遊の順番の選択、さらに移動手段の選択といった観光客の一連の行動をモデル化するためのデータが不足している状況である。そのため、観光客に対して提案する周遊プラン

や、どの移動経路に対して道路整備や交通手段の確保を行うことが効果的であるかといった検討が困難であるという課題を抱えている。

これまでにも、沖縄県では観光統計実態調査が行われてきた。そこでは、例年 3000 人程度から訪問地や交通手段、旅行回数、同行者、年齢などの個人属性の情報が収集される。また、レンタカープローブ調査のように詳細な移動軌跡を把握できる調査も存在する。さらに、復路の那覇空港において、滞在中の一連の行動を尋ねるアクティビティダイアリー調査の実施実績もある。これらの方法にはそれぞれ利点があるものの、コストや普及率の観点から時空間を網羅するようなサンプル数を得ることが容易でなく、回答が個人の記憶に依存するという問題を有している。一方で、今後の観光振興を考える際には、より安価に十分な数のサンプルを集める重要性は高まってくると考えられる。なぜならば、第一に、自治体等の財政状況を鑑みるに、ア

ンケート等の調査コストを確保し続けることが困難になると想定されるためである。また、第二に、少ないサンプル数では見つからない行動にも重要な要素が含まれている可能性があるためである。すなわち、絶対数は少ないが、特定の客層に評判の良い周遊パターンの発見も、施策実施においては重要となりうるからである。

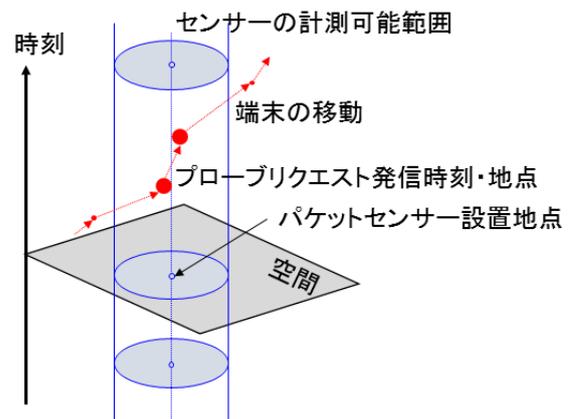
そこで本研究では、パッシブなデータ取得手段である Wi-Fi パケットセンサーに着目する。パッシブな調査は、調査者のコスト負担が少なく、観光客個人の記憶に依存しないという利点を有している。この種のデータには、NTT ドコモが提供する「モバイル空間統計」のように時空間的に網羅的な人口データも存在するが、人口データのみから人々の移動状況を把握することは難しい。これに対し、Wi-Fi パケットセンサーは、後述する方法により、原理的にはセンサー設置地点間の移動データ取得が期待される。すなわち、スマートフォン等のモバイル端末に搭載された Wi-Fi からのパケット発信情報を取得・分析することで、旅行者がエリア内でどのような周遊行動や施設滞在行動を行っているのかを把握できると考えられる。本研究は、このような方法の実用可能性を、沖縄本島の本部半島を対象に行った実験の分析結果をもとに検討することを目的とする。

以下、2章では Wi-Fi パケットセンサーによる調査手法の概略を述べる。また、3章では 2016 年 8 月に行った現地調査について説明したうえで、取得データの基礎分析を行う。そして、4章で単一センサーを用いた来場者数や滞在時間の推定を、5章で複数センサー用いた周遊行動把握の検討を行う。

## 2. Wi-Fi パケットセンサーによるデータ取得

Wi-Fi を用いた交通行動調査には、すでに複数の例<sup>1)~6)</sup>がある。これらはいずれも、スマートフォン等の端末が Wi-Fi を利用するためにアクセスポイントにアクセスする際の情報を用いている。まず、アクセスポイント側で得られる情報そのものを用いる手法<sup>1)</sup>がある。当然、アクセスポイントの位置が特定できているので空間精度は高いと考えられるが、プライバシー等の観点から大学キャンパスなど特定の狭域以外で実施することは難しい。

これに対し、本研究で用いるのは、端末がアクセスポイントを「探索する」ときに発信している動的スキャンの情報、具体的にはパケットを収集する方法である。以下では、端末がパケットを発信しアクセスポイントを探索することを「プローブリクエスト」と呼び、その



パケットセンサーの計測可能範囲から発信されたプローブリクエスト(赤・大円)のみが取得される

図-1 プロブリクエストとパケットセンサー

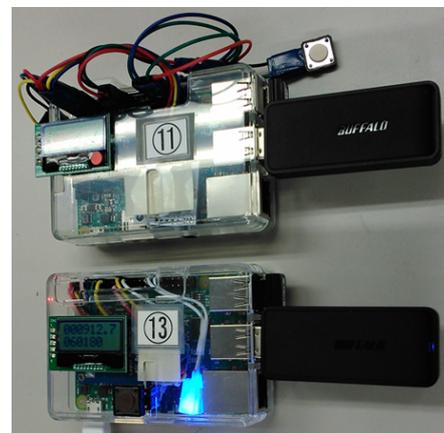


図-2 本研究で使用する Wi-Fi パケットセンサー

リクエストを受信する仕組みを備えたセンサーを「パケットセンサー」と呼ぶ。つまり、Wi-Fi パケットセンサーは、アクセスポイントではないものの、アクセスポイントを探るために飛び交うパケットを受信できるようなセンサーである。したがって、各時刻において、プローブリクエストが届く範囲に存在する端末を検出できる(図-1)。

本研究では、株式会社地域未来研究所が開発したパケットセンサー(図-2)を用いる。このセンサーは、受信したプローブリクエストにおけるリクエスト発信時刻、発信端末固有の MAC アドレス、電界強度を記録する。ただし、MAC アドレスはプライバシーの観点から、受信と同時に一方向ハッシュ関数により匿名化したあとに記録することとする。センサーを入れたボックスの大きさは 20cm × 10cm × 8cm 程度であり、携帯バッテリーによる連続駆動時間は最大 10 時間程度である。仮に AC 電源からの直接電源供給が可能な場所への設置を行えば、原理的には半永続的な調査も可能な仕様となっている。

表-1 調査地点の概要

地点	地点名	施設概要	営業時間	データ利用時間
A	美ら海水族館	水族館	8:30-20:00	8:00-20:00
B	オキちゃん劇場	海洋博公園内のイルカショー劇場	8:30-20:00	すべて(**)
C	エメラルドビーチ	海洋博公園内のビーチ	8:30-19:00	すべて(**)
D	フクギ並木	散策に適した並木道・カフェ	10:00-20:00	8:00-20:00
E	今帰仁城	世界遺産の城跡	8:30-18:00	8:00-18:00
F	瀬底島	海水浴場のある島	9:00-17:30	すべて(**)
G	水納島フェリー	水納島行のフェリー乗り場	8:00-17:00(*)	すべて(**)
H	古宇利島	海水浴場や展望台のある島	8:00-18:00	すべて(**)
I	羽地の駅	特産品直売所のある道の駅	8:00-18:00	9:00-19:00
J	道の駅許田	沖縄道終点の許田 IC 近くの道の駅	8:30-19:00	すべて(**)
K	もとぶ元気村	自然・文化の体験型施設	8:00-18:00	9:00-18:00
L	オリオンハッピーパーク	製造見学が可能なビール工場	9:00-18:00	9:00-18:00
M	ホテルオリオン	リゾートホテル	24 時間	7:00-22:00

(\*) フェリーの始発・最終の時刻

(\*\*) データ利用時間「すべて」: センサーを調査員が携行していたため、データ取得時間は必ず営業時間内

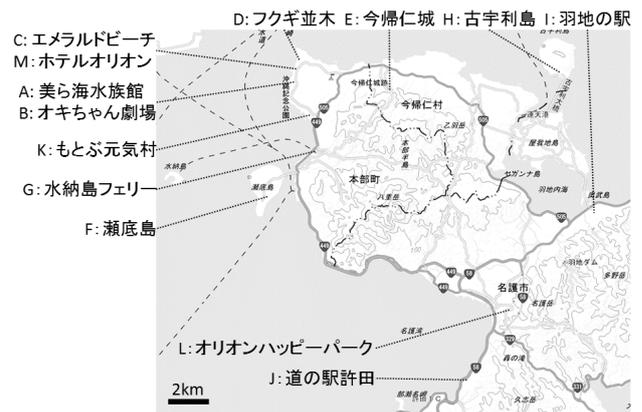
MAC アドレスあるいはその匿名化された変数が端末に固有であることを利用して、端末を有する人の移動を把握する研究がこれまでも行われている。人々の移動や高速道路における旅行時間推定<sup>2)</sup>、自動車交通の旅行時間の計測<sup>3)</sup>、移動経路の推定<sup>4)</sup>、観光客の行動分析<sup>5)6)</sup>などである。

プローブクエストに関して一般に分かっていることを以下に記す。まず、実際にプローブクエストが行われる間隔は端末に依存し、かつ、同一端末においても一定間隔とは限らないものの、数秒～数分間隔であることが多い。また、プローブクエストはアクセスを確立するための動作であるので、アクセスポイントとの間に接続が確立し、実際に Wi-Fi 接続が行われている間は、通常は発信されない。さらに、一度に複数個のリクエストを発信する場合がある。これは、過去に接続したことのある複数のアクセスポイントに対して固有のリクエストを同時に発信するためである。射程距離は数百メートルとされているが、これも端末や周辺環境に依存する。したがって、分析にあたってはこれらの特性を踏まえたうえで手法を構築していくことが求められる。

### 3. 沖縄・本部半島における調査と基礎分析

#### (1) 調査の概要

2016 年 8 月 25 日(木)から 28 日(日)の 4 日間にわたって、沖縄・本部半島周辺の 13 地点の観光地にポケットセンサーを設置し、プローブクエストデータを計測した。調査地点を表-1 および図-3 に示す。なお、同



背景図は国土地理院の電子地形図(タイル)を使用

図-3 調査地点(本部半島周辺)

時に観光客へのアンケート調査を 6 地点で実施し、詳細情報の収集も試みている。

調査箇所は、主要な観光スポットであり、調査への協力が得られる地点を中心に選定した。さらに、直射日光を避けるため、日陰かつ突然の豪雨に備えてすぐに待避可能な場所か、屋内の日が差さない場所を選んで設置した。また、なるべく広範囲のプローブクエストを受信するため、可能であれば天井などの高所を選んだ。このとき、個人情報保護への配慮の観点から、必要に応じて Wi-Fi 機能を用いた調査を実施中であることを掲示している。

表-2 地点ごと受信数とユニーク ID 数

地点	地点名	受信数	ユニーク ID 数	受信数の割合	ユニーク ID 数の割合	受信数 ユニーク ID 数
A	美ら海水族館	299281	47555	29.7%	30.2%	6.3
B	オキちゃん劇場	228338	35440	22.6%	22.5%	6.4
C	エメラルドビーチ	61921	10852	6.1%	6.9%	5.7
D	フクギ並木	28346	5340	2.8%	3.4%	5.3
E	今帰仁城	16745	2291	1.7%	1.5%	7.3
F	瀬底島	21440	4245	2.1%	2.7%	5.1
G	水納島フェリー	13426	1694	1.3%	1.1%	7.9
H	古宇利島	75996	15706	7.5%	10.0%	4.8
I	羽地の駅	25549	4748	2.5%	3.0%	5.4
J	道の駅許田	34870	11936	3.5%	7.6%	2.9
K	もとぶ元気村	104500	5924	10.4%	3.8%	17.6
L	オリオンハッピーパーク	34200	4688	3.4%	3.0%	7.3
M	ホテルオリオン	64515	7040	6.4%	4.5%	9.2
合計		1009127	157459	100.0%	100.0%	-

## (2) データの基礎分析

4日間13地点で計1931027回のプローブリクエストが収集された。以降、端末固有のMACアドレスを匿名化したものをIDと呼ぶことにする。そして、リクエストの受信回数ではなく、受信したIDの個数を「ユニークID数」と呼ぶことにすると、全期間・全地点を通してID数は138121個であった。

ここからデータ整理を行っていく。まず、同一端末からのリクエスト発信時刻が1秒以内に複数回行われている場合は、前述のような同時発信だとみなし、1回のリクエストとみなす。その結果、プローブリクエスト数は1009127回となった。そのうえで、以下のような集計を行った。

### a) 地点ごとの集計

地点ごとの受信数とユニークID数の内訳を表-2に示す。受信数は、地点A(美ら海水族館)と地点B(オキちゃん劇場)で全体の半分程度を占めている。さらに、地点K(もとぶ元気村)、地点H(古宇利島)と続いている。ユニークID数も、地点A(美ら海水族館)と地点B(オキちゃん劇場)で全体の半分程度を占めることは一緒である。ただし、そこから地点H(古宇利島)、地点J(道の駅許田)と続き、受信数の多かった地点K(もとぶ元気村)はユニークID数は少ない結果となった。

ここから、以下のようなことが分かる。まず、一般に人気や知名度があり多数の観光客が訪れると想定される地点では多くの観測が得られている。一方で、受信数やユニークID数の割合で言えば1-2%程度しかない地点G(水納島フェリー)や地点E(今帰仁城)であっ

ても、ユニークID数は1500以上となっている。ここに、パッシブなデータ取得手段ならではの特性が表れていると考えられる。

また、(受信数/ユニークID数)の比率、すなわち1端末あたり平均何回のリクエストが受信されたか、に着目すると、地点K(もとぶ元気村)で大きく、地点J(道の駅許田)で小さい。この比率が大きいことは、滞在時間が他の施設よりも長い可能性を示唆する。したがって、両施設の性質として、体験型の施設であるもとぶ元気村と、立ち寄り施設という性質の強い道の駅許田との差が表れていると考察することもできる。ただし、通過交通などの滞在者ではない端末からのリクエストが拾われにくい、常時稼働している端末が多い、などの様々な要因も考えられるため、今後慎重な検討が必要である。

### b) IDごとの集計

IDごとのプローブリクエストの受信数は平均7.3回、最小1回、最大33275回であった。分布を図-4に示す。5回以下しか観測されない端末が圧倒的に多いほか、一部の端末からのリクエスト数が極端に多いことが分かる。前者の一部は、通過交通などの観光・滞在行动を行っていない端末と想定される。また、後者は無人の常時稼働端末や、施設従業員の所有端末等の可能性が考えられる。観光周遊行動の把握という観点からは、このようなデータの除外方法を検討する必要がある。

また、IDが何地点で観測されたかの分布を表-3に示す。およそ91%のIDは1地点のみで観測されており、3地点で観測されたIDは2%である。実際の周遊行動

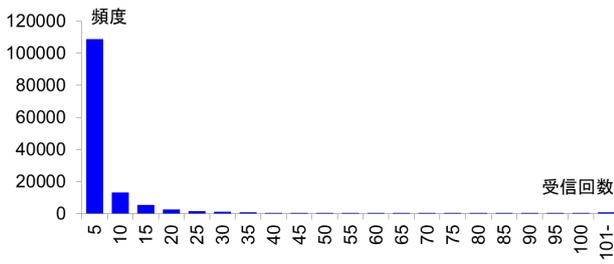


図-4 ID ごとプローブリクエスト受信数の分布

表-3 ID ごと観測地点数の分布

地点数	ユニーク ID 数	割合
1 地点	125524	90.9%
2 地点	8359	6.1%
3 地点	2746	2.0%
4 地点	919	0.7%
5 地点	330	0.2%
6 地点	133	0.1%
7 地点	63	0.0%
8 地点	24	0.0%
9 地点	12	0.0%
10 地点	8	0.0%
11 地点	2	0.0%
12 地点	1	0.0%
13 地点	0	0.0%
合計	138121	100.0%

と比べると直感的には地点数が少ない方に偏っているようにも見受けられる。多数の通過交通を観測している、周遊先がパケットセンサーの設置地点でない、必ずしもすべての地点でプローブリクエストを発信しているとは限らない、など様々な要因が考えられるため、こちらも慎重な検討が必要である。ただし、比率という観点では疑問が残るにせよ、データの多様性という意味では本調査方法の有用性が示されている。すなわち、5 地点以上で観測されている ID の絶対数が 573 あるが、この数を従来型のアンケート調査で獲得するコストは多大であろう。

#### 4. 単一センサーの分析：来場者数および滞在時間の推定

以上の基礎分析を踏まえ、本章では単一センサーからのデータをもとに、各施設の来場者数や滞在時間を推定する方法を検討する。なお、以降の分析では、各施設の営業時間を踏まえたデータ (表-1 参照) のみを用

いている。

#### (1) 来場者数

##### a) 美ら海水族館

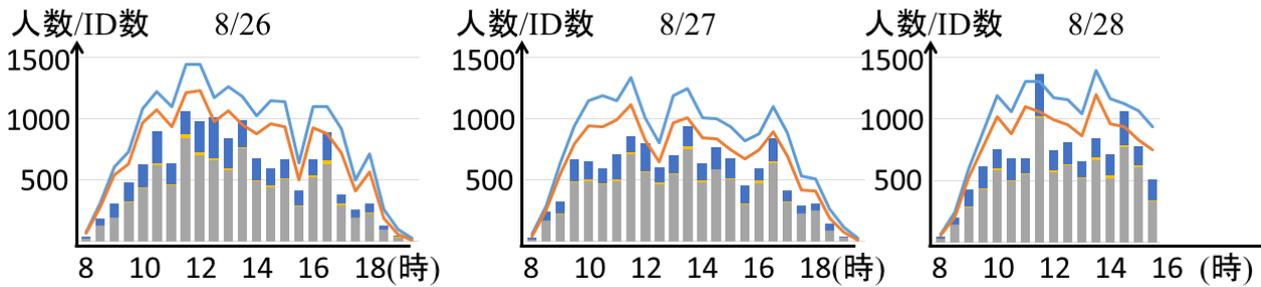
はじめに実際の入館者数が分かっている地点 A(美ら海水族館)において検討する。パケットセンサーを設置していた 4 日間を通してユニーク ID は 47555 個であり、設置時間内に入館者数は 38022 人であった。ここから、センサーが検知した端末数と、実際の入館者数のオーダーが一致していることが確認できた。さらに、ユニーク ID 数と水族館より提供を受けた 30 分ごとの実入館者数とを比較した (図-5)。なお、ユニーク ID の算出方法として、30 分ごとにユニークな ID を数え上げる方法と、4 日間を通してユニークな ID を数え上げる方法の 2 通りを行っている。この結果、入館者数とユニーク ID 数との増減の傾向もおおむね一致していることが確認できた。さらに、入館者数の拡大係数、すなわち (Wi-Fi パケットセンサーによる入館者数/実入館者数) は計 66 個の時間帯において平均 1.35、分散 0.084、中央値 1.32 と比較的安定した数値となった。このことから、何らかの方法でひとたび実入館数を把握できれば、その後は Wi-Fi パケットセンサーを用いた手法でも一定程度の精度で観光客数を推定しうるといえる。

なお、拡大係数が 1 を上回っている理由としては、入館せずにロビーだけ見て帰った観光客、従業員の所有する端末からのリクエスト、1 人あたり複数台の端末所有の影響など様々なものが考えられる。ただし、これらを直接検証することは難しいため、様々な知見や他のデータとの統合により検討を深めることが考えられる。また、最大で 2.5、最小で 0.78 といった値をとっている点について、これらの時間帯に実際に起きていた事象との突き合わせを行うことが望ましいであろう。

##### b) その他の地点

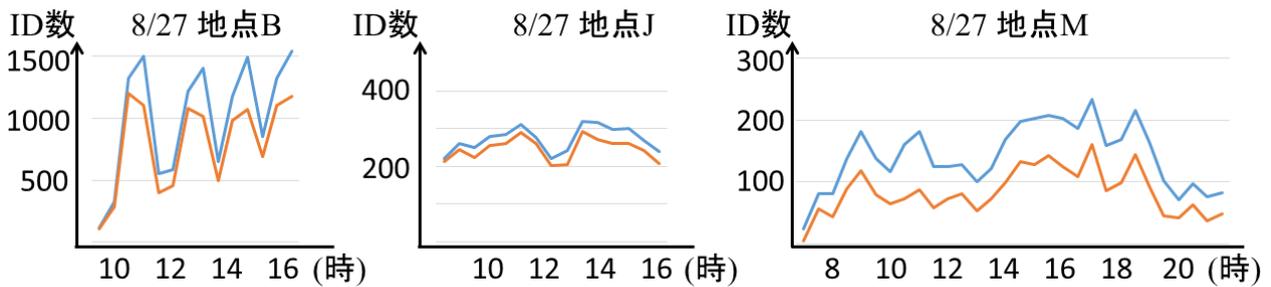
以上の結果をもとに、実際に来場者数が分からない残りの地点についても、同様の分析を行った (図-6)。ここでは、8 月 27 日の結果のうち、特に特徴的なものに言及する。

まず、地点 B(オキちゃん劇場)におけるユニーク ID 数は、イルカショーの開始時刻 30 分前程度から急激に増加し、開始 30 分後を過ぎると急激に減少する。すなわち、来場者はショーの開始にあわせてこの地点を訪れることが確認できる。また、その人数のオーダー感もこの結果から把握できる。つぎに、地点 J(道の駅許田)では、午前と午後にユニーク ID 数のピークがあり、昼 12 時付近にはいったん減少していることが分かる。この地点の立地特性として、朝に那覇方面を出発する、および夕方那覇方面に戻る際の立ち寄り行動が顕著に表れていると考えられる。最後に、地点 M(オリオン



左から8月26日、27日、28日。棒グラフは実入館者数であり、灰色が大人、黄色が中人、青色が小人を示す。折れ線グラフがユニーク ID 数であり、青色が30分ごとのユニーク数、オレンジ色が全期間でのユニーク数である。

図-5 ユニーク ID 数と実入館者数の比較：美ら海水族館



青色が30分ごとのユニーク数、オレンジ色が全期間でのユニーク数である。

図-6 地点 B・地点 J・地点 M におけるユニーク ID 数の時間推移

ホテル)に着目する。ここでは、30分ごとユニーク ID 数に対して、全期間を通したユニーク ID 数が6-7割程度と他の地点に比べると少ない傾向が見られる。これは、ホテルへの宿泊者をはじめとする滞在者の多さを示唆していると考えられる。

## (2) 滞在時間

次に、各地点のセンサーから、観光客の滞在時間の把握に向けた検討を行う。ここでは、受信数・ユニーク ID 数が最大である、美ら海水族館におけるデータを利用する。

### a) リクエスト受信間隔の分布

まず、同一 ID からのリクエスト受信間隔について検討する。前述の通り、ユニーク ID は47555個あった。このうち、複数回のリクエストが観測されているものは30307個存在した。これらについて、同一 ID からの連続するリクエストを観測した時間間隔を算出したところ、中央値15秒、最小2秒、最大253500秒(およそ70時間)となった。その分布を図-7に示す。なお、頻度に大きく偏りがあるため、図を3個に分けている。

この図から、以下のことが推察される。まず、5秒や15秒、30秒といったキリの良い間隔で発信されているリクエストが多数存在する。これは、定期的な間隔でリクエストを行う端末が一定数存在することを意味していると考えられる。また、もし端末が移動せず定期的

にリクエストが来る状況ならば、それはおおむね5分以内に起こるといえる。さらに、数十時間の間隔で受信する分布を見ると、一晩や丸一日、あるいは二晩に相当する時間間隔であるため、これは従業員や定期的に入出入りする業者等の端末の可能性が考えられる。

これらを踏まえると、今後は端末ごとに定期リクエスト間隔を推定することによって、プローブリクエスト間隔がある程度大きいときに、滞在中なのかいったん他の地点に行って戻ってきたのかの判定が確実になると考えられる。また、毎日規則的に表れるプローブリクエストを判別することで、観光客のみを抽出することも可能になる。

### b) 滞在時間の分布

ついで、同一 ID が(最後に観測された時刻)-(最初に観測された時刻)を滞在時間と想定し分布を算出した(図-8)。ここから、ほとんどの端末は数分以内に通過していることが分かる。この結果は、地点 A のセンサー設置地点は水族館の入口ゲートであり、滞在という行動を行いにくい場所であることから自然であろう。ただし、たとえば同じ「5分」というデータであっても、前項で述べたリクエスト間隔によって解釈は異なりうる。すなわち、1分に1度リクエストが期待される端末が、ア)5分間で5回リクエストを送った場合と、イ)5分後に2度目のリクエストを送った場合とでは、推定

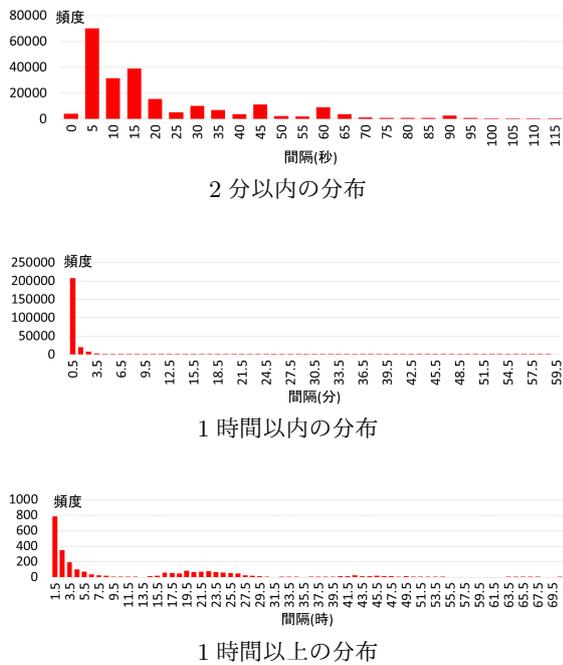


図-7 地点 A におけるプローブリクエスト受信間隔の分布

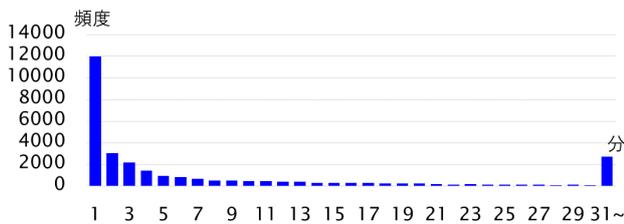


図-8 地点 A における滞在時間の分布

される行動が異なるであろう。ア)はその地点に5分ないし6分程度滞在したと考えられる一方で、イ)はいったんその地点を離れて5分後に再び表れたと考えるほうが自然だからである。

したがって、Wi-Fi 調査で得たデータを滞在時間判定に用いるためには、端末ごとのリクエスト間隔、もしくは他のデータの併用により現実性を高めることが望まれる。また、今回は地点 A のようにそもそも滞在しにくい地点での分析だったため、今後は滞在が期待される地点のデータにおいても同様の検討を行う必要がある。

## 5. 複数センサーの分析：観光周遊パターンの把握

前章では、単一地点のポケットセンサーから取得したデータについて分析を行った。本章では、複数地点で取得したデータを統合的に分析し、本研究の目的である周遊パターンの把握に向けた検討を行う。前章でのリクエスト受信間隔に関する議論を踏まえ、引き続

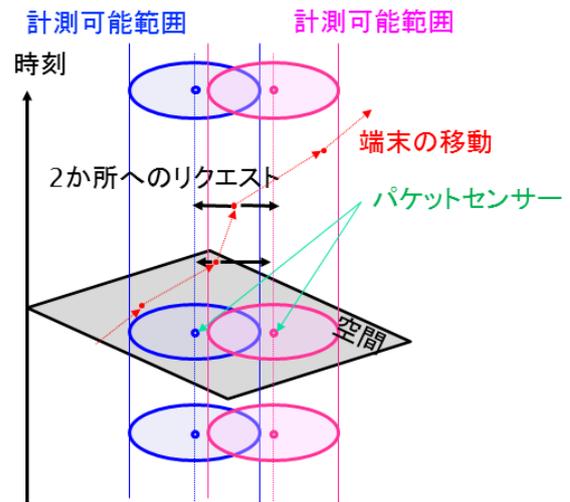


図-9 複数箇所にプローブリクエストが届く場合

き各施設の営業時間内だけを抽出したデータを用いる。

### (1) OD 推定

Wi-Fi 調査による OD 表は、同一の ID が複数地点で観測されたときに、観測された時刻の順に OD 移動をカウントしていくことにより生成する。そのため、OD 表の対角成分 (同一センサーが届く範囲での別地点への移動) については今回は検討しない。サンプルとなる ID 数は表-3 の 2 地点以上で観測された 12597 個、移動総数は 28804 個である。実際に作成された OD 表を表-4 に示す。

一見するとおおむね良さそうな結果が得られているが、地点 AB 相互間や、地点 CM 相互間の移動数がその他の OD ペアに比べて非常に多い。地点 AB についてはもともとの受信総数も多いため理解できるものの、地点 CM 間は異常値と捉えるほうが妥当であろう。このため、データを精査したところ、これらの地点相互における移動所要時間が数秒程度となるものが多数発見された。これは、図-9 に示すように、ある地点から複数のポケットセンサーに同時にプローブリクエストが到達することにより発生している現象だと解釈できる。同様の現象は、比較的近接して設置した 5 地点、ABCDM 相互間でみられた。

そのため、以降ではこれら 5 地点のデータはすべて「地点 A(海洋博公園)」とまとめてみなしたうえで、あらためて OD 表を作成した (表-5)。発着数の多い地点は地点 A(海洋博公園)、地点 H(古宇利島)、地点 J(道の駅許田) である。また OD の多いペアもこれら 3 地点間を行き来するものである。すなわち、多くの OD は本部半島全体を一周するように、高速道路の終点付近にある道の駅許田から海洋博公園、古宇利島という周回ルート上に存在することが分かる。それ以外の地点

表-4 OD 表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	計
A 美ら海		5486	339	270	114	55	55	577	204	451	143	103	234	8031
B 劇場	2678		255	186	68	26	45	526	112	299	83	68	229	4575
C ビーチ	319	241		120	10	7	8	84	42	73	22	15	3747	4688
D 並木	261	90	118		31	8	4	102	31	70	14	9	77	815
E 今帰仁	124	44	6	28		0	1	50	8	18	4	5	17	305
F 瀬底	102	45	12	8	12		1	27	4	29	4	2	6	252
G 水納	25	24	4	5	1	0		8	8	16	4	0	2	97
H 古宇利	919	415	64	118	68	16	8		144	209	22	22	43	2048
I 羽地	199	110	35	35	5	9	7	152		127	8	9	23	719
J 許田	737	287	57	80	35	14	17	297	81		26	45	44	1720
K 元気村	173	66	26	23	2	6	10	23	14	30		17	22	412
L パーク	172	68	16	15	12	8	4	25	15	74	9		8	426
M ホテル	245	161	4053	74	17	2	3	53	19	57	26	6		4716
計	5954	7037	4985	962	375	151	163	1924	682	1453	365	301	4452	28804

表-5 海洋博公園統合後の OD 表

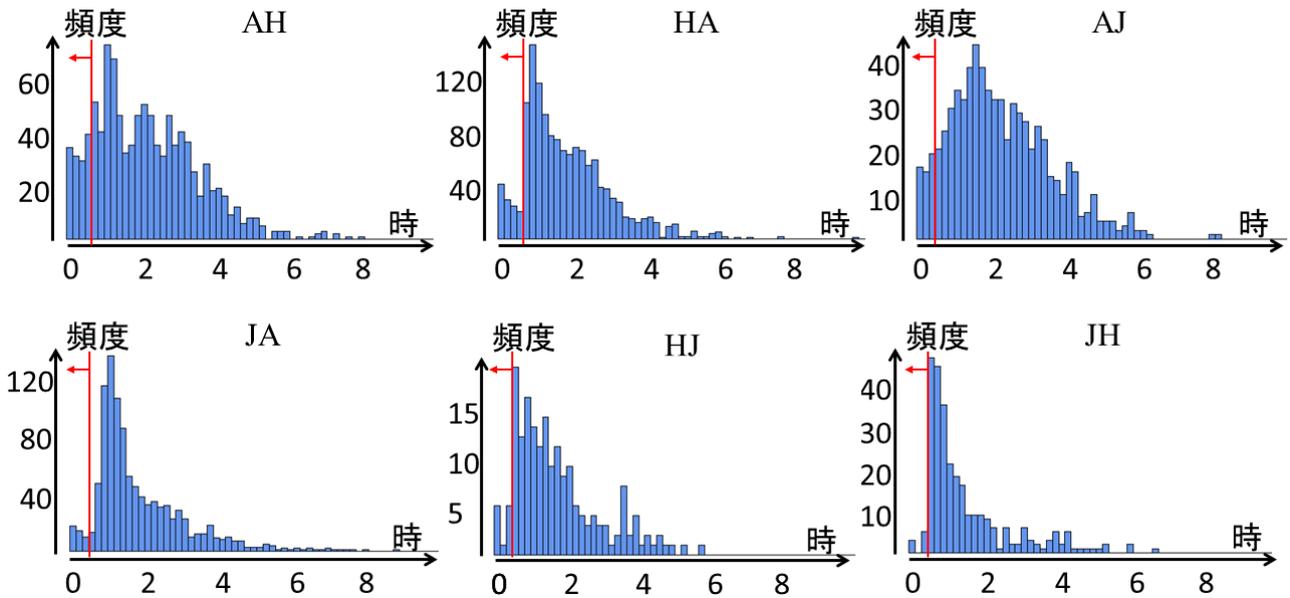
	A	E	F	G	H	I	J	K	L	計
A 海洋博公園		240	98	115	1342	408	950	288	201	3642
E 今帰仁城	219		0	1	50	8	18	4	5	305
F 瀬底島	173	12		1	27	4	29	4	2	252
G 水納島フェリー	60	1	0		8	8	16	4	0	97
H 古宇利島	1559	68	16	8		144	209	22	22	2048
I 羽地の駅	402	5	9	7	152		127	8	9	719
J 道の駅許田	1205	35	14	17	297	81		26	45	1720
K もとぶ元気村	310	2	6	10	23	14	30		17	412
L オリオンハッピーパーク	279	12	8	4	25	15	74	9		426
計	4207	375	151	163	1924	682	1453	365	301	9621

についても、海洋博公園を発着地とする OD が多いことから、本部半島における観光周遊行動は海洋博公園を拠点として行われていることが確認できる。このことは、経験的な知識と比較しても妥当な結果であろう。さらに、本調査により、海洋博公園以外の観光地を訪れた観光客の量的把握が一定程度可能になったといえる。

ただし、地点 A を統合した OD 表においても、なお OD 移動の所要時間が非現実的なほどに短いものが存在していた。たとえば、20km 程度離れている地点 AJ 間を 6 秒で移動しているようにみえるデータが存在する。以下に述べるように、このようなデータが発生する理由は現時点では不明である。もちろん、非現実的な移動はデータ全体から見ればごく少数であることが、地点 AHJ 相互間での移動所要時間のヒストグラムを見

ても確認できる(図-10)。ゆえに、所要時間に閾値を設けて除外するなどの対応を行えば実用上は問題ないだろう。

具体的に非現実的な移動を行う ID のデータを確認したところ、多くの場合に複数回・様々な OD ペアにおいてそのような移動が確認された。これは、なんらかの理由により 2 つ以上の端末に同一の ID が付与された状態で、周遊行動が同時並行していると考えるのが妥当であろう。この理由として、センサーからは同一の MAC アドレスにみえる端末が存在する、センサーが想定していない MAC アドレスが存在するために匿名化する際に同一の ID に置き換わる場合がある、MAC アドレスのランダム化の影響により同一の MAC アドレスが端末間で入れ替わる、などの説明が論理的には可



赤線は通常想定される所要時間を示している。これより短いものは異常値と考えられる

図-10 地点 A・H・J 相互間の所要時間分布

能である。しかし、仮にこれらのイレギュラーな事象が起きるとしても、それが特定の調査エリア・調査日で複数検出される理由は現時点では不明である。

(2) トリップチェーン推定

つぎに、トリップチェーンの列挙を行った。これは、複数地点で観測された ID について、その観測された順をツアーとして整理したものである。前項で述べた地点 ABCDM の 5 地点統合前のデータを用いると、たとえば「BAMCBCMCMBCMCMCMCMCMCM…」というような、現実を表しているとはいえないチェーンが多数発生するため、ここでも統合後のデータで分析する。当然、前項の最後に述べたように、なおも所要時間が異常に短いデータが含まれている場合には、そこから得られるトリップチェーンも周遊回数が不当に多いものとなる。ただし、繰り返しになるが、このようなデータは全体から見ればごく少数であり、実用上はあらかじめ除外する対応を取れば良いと考える。

得られたトリップチェーンを回数順に並べたものが表-6 である。参考のために、1 地点のみで観測され、チェーンになっていない ID 数と、3 地点以上を巡るチェーンのみに着目したのも併記した。すでに考察したように、ほとんどの周遊は海洋博公園をベースに行われていることが鮮明に分かる。また、地点 J → H → A というような、半島を一周するチェーンも比較的多く存在しているなど、おおむね妥当と考えられる結果が得られている。今後は、より長いチェーンに着目したうえで、似ているチェーンをパターンとして抽出する手法へ展開が可能だと考えている。

表-6 トリップチェーン別の回数

全体	回数	≥3 地点	回数	1 地点	回数
HA	933	JHA	131	A	89286
JA	770	AHA	87	H	12652
AH	736	JAH	55	J	9315
AJ	525	JAJ	52	K	5099
AE	150	AHJ	43	F	3922
LA	134	AJA	41	L	3550
JHA	131	AKA	39	I	3431
KA	117	H AJ	38	E	1701
EA	102	IHA	27	G	1505
HJ	101	AHI	26		
JH	96	AIA	26		
FA	93	HEA	25		
IA	92	AEA	20		
AI	91	AEH	17		
AHA	87	ALA	16		
...	...	...	...		

(3) アンケート結果との比較

前述の通りこの調査と同時にアンケート調査を行ったため、その結果との比較を行った。アンケートには 342 グループからの回答を得た。ここでは、特に OD についての比較を行うため、アンケート結果から作成した OD 表を示す(表-7)。なお、アンケート調査では「水納島フェリー」を明示的な目的地の候補として挙げていないため、残りの地点について示している。

表-7 アンケート調査による OD

	A	E	F	H	I	J	K	L	計
A	36	13	6	25	1	0	1	1	83
E	22	0	2	16	0	0	0	0	40
F	8	2	0	4	0	0	0	0	14
H	15	11	4	0	0	0	2	0	32
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	3	1	1	4	0	0	0	1	10
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	1	1	0	0	0	0	0	0	2
計	85	28	13	49	1	0	3	2	181

アンケート調査と Wi-Fi 調査の主たる違いは、以下の 2 点であろう。第一に、得られるサンプル数である。実際に、「羽地の駅」のようにアンケートのサンプル数ではほとんど訪問地として回答を得られない地点においても、一定数の訪問者が Wi-Fi 調査からは確認できる。すなわち、従来手法で把握しようとするればサンプル数を増やすしかなくコストが多くなるような観光地において、提案手法を用いれば、無視できない量の入込客の存在を比較的容易に検知できる可能性が示唆されている。また、第二に、アンケート回答者が観光地として認識していない滞在地への立ち寄り行動の把握である。具体的な例として、アンケート調査では、「道の駅許田」→「海洋博公園」の OD が非常に少ない。しかしながら、Wi-Fi 調査によれば、前述の通りこの区間には多数の OD が存在している。両結果の相違は、アンケート調査のサンプル数が不十分という可能性もあるが、アンケート回答者が立ち寄ったはずの「道の駅許田」を訪問地として認識していないことも理由だと思われる。実際の観光施策を検討するうえで、このような休憩滞在行動の時空間的な分布状況を知ることが重要であろう。このことから、提案手法の観光客の詳細な行動把握に対する有用性がうかがえる。

## 6. おわりに

本研究では、観光客の周遊パターン把握に向けて、Wi-Fi パケットセンサーを用いた手法を検討した。沖縄・本部半島の 13 地点に 4 日間設置したセンサーで取得したデータを用いて、来場者数および滞在時間推定を通してデータの特性分析を行った。そのうえで、OD 表やトリップチェーンを実際に作成した。実際の来場者数やアンケート調査の結果、および経験的な知識との比較を通して結果の一定程度の妥当性を確認するとともに、今後の調査実施やモデル化に向けた方針を得

た。特に、通過交通など観光客以外の判別、端末固有のプロブリエスト間隔の特定、複数センサーに同時にリクエストが届く場合の処理、所要時間が極端に短い不自然な OD への対処等が課題となる。

本研究では、Wi-Fi のデータのみを用いて推定することを重視したが、今後は当然のことながら他のデータとの統合を行っていききたい。Wi-Fi 調査のみでは把握の難しい事柄として、センサーを設置していない場所への周遊や地点間の移動手段判別があげられる。種々のデータ統合を行ったうえで、周遊パターンの抽出を行い、最終的には目的地選択行動等とも連動した観光施策評価に適用可能な一連の手法構築に繋げることが望まれる。

謝辞： 本研究は「ETC2.0 プロブ情報等を活用した”データ駆動型”交通需要・空間マネジメントに関する研究開発」(研究代表：福田大輔・道路政策の質の向上に資する技術研究開発)の一環として行われたものである。調査の実施にあたり、内閣府沖縄総合事務局開発建設部より多大なるご支援を頂戴した。また、各調査実施箇所の管理者の皆様にもご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) Danalet, A., Tinguely, L., de Lapparent, M., and Bierlaire, M.: Location choice with longitudinal Wi-Fi data, *Journal of Choice Modelling*, Vol.18, pp.1-17, 2016.
- 2) 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, Vol.14, No.4, pp.505-511, 2015.
- 3) Bhaskar, A., Tsubota, T., and Chung, E.: Urban traffic state estimation: Fusing point and zone based data, *Transportation Research Part C*, Vol.48, pp.120-142, 2014.
- 4) 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.
- 5) 小橋川嘉樹, 藤生慎, 高田和幸, 高山純一, 中山晶一郎: Wifi 電波を用いた観光客行動分析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.
- 6) 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.

(2017. 4. 28 受付)

Understanding Travel Pattern of Tourists from Wi-Fi Probe Requests:  
A Case Study in Motobu Peninsula, Okinawa

Wataru NAKANISHI, Hana KOBAYASHI, Takahiro TSURU, Takuro MATSUMOTO,  
Kenta TANAKA, Yoshiki SUGA, Daisuke KAMIYA and Daisuke FUKUDA