

# Wi-Fiパケットセンサーを用いた 沖縄本島における観光周遊行動の実態把握†

田中 謙大\*<sup>1</sup>・神谷 大介\*<sup>2</sup>・福田 大輔\*<sup>3</sup>・五百蔵 夏穂\*<sup>3</sup>・柳沼 秀樹\*<sup>4</sup>・  
菅 芳樹\*<sup>5</sup>・山中 亮\*<sup>6</sup>

観光客の周遊行動の実態を明らかにするにあたり、アンケート等の既存調査方法には、限られた期間しか調査できない等の課題がある。本研究では、安価に継続的な調査を行うことが可能な Wi-Fi パケットセンサーを用いて沖縄本島内の観光周遊行動の実態把握を行った。調査機器を空港、クルーズターミナル、主要観光地等に設置し、ユニーク ID のクレンジング条件を適切に限定することで、クルーズ船、空港国内線・国際線・格安航空会社ターミナルといった一次交通手段別の来沖観光客の周遊データを構築した。その統計分析より、周遊行動パターンには一次交通手段によって有意な差異が存在することが明らかになった。また、数は少ないものの、同一の観光客に対して ETC2.0 プロブデータにより得られるレンタカーによる移動軌跡と Wi-Fi パケットセンサーにより得られる駐車後の周遊行動をマッチングできることも確認された。

キーワード：Wi-Fi パケットセンサー、観光周遊行動

## 1. はじめに

近年の Visit JAPAN や地方創生施策の推奨等からも分かるように、観光振興は国や地方自治体における重要施策の一つである。特に、本研究の対象地域である沖縄県では、新規航空路線の拡充や格安航空会社 (LCC: Low Cost Carrier) の参入、クルーズ船の来訪増等により、観光客 (特に外国人観光客) 数が近年急増している (図 1) [1]。従来は、レガシーキャリアの航空路線を利用した国内観光客が中心であったが、近年はインバウンド観光客が増加し、LCC やクルーズ船利用等、多様な観光客が訪れるようになった。これを受けて沖縄県では、2021 年の観光客数 1,200 万人を目標に、大型イベントや MICE の開催等、観光客増加施策を継続的に講じている。

他方、沖縄県内の道路では深刻な交通渋滞が社会問題となっており、観光客の満足度を低下させる要因にもなっている (図 2) [2]。そもそも沖縄県の自動車依存度は極めて高く、人

口増加が今後も続く傾向であることや、レンタカー利用の観光客数が増加していく状況を鑑みると、交通渋滞の問題はさらに深刻化していくことが懸念される。そのような中、適切な交通基盤整備を行うことに加え、自動車から公共交通機関への転換や観光客数が相対的に少ない観光地への需要分散といった交通需要マネジメントの観点から交通施策を検討することが重要視されている。こうした施策を検討する上では、事前事後での観光交通状況の比較が必要であり、そのためには観光客の周遊行動データを収集・蓄積していく必要がある。また、こうした

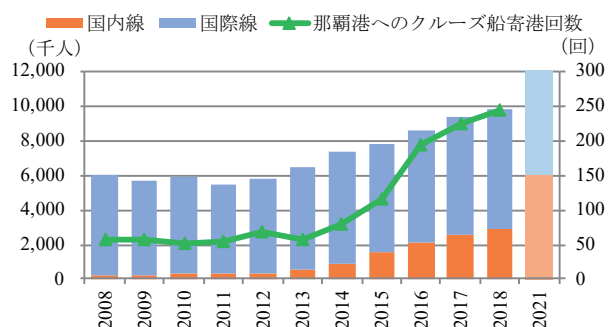


図 1 沖縄県への入域観光客数の推移  
(データ出典：沖縄県 [1])

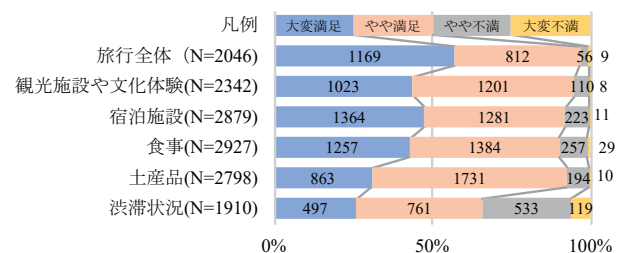


図 2 観光客の満足度 (データ出典：沖縄県 [2])

† Analysis of the Tourists' Travel Behavior Using Wi-Fi Packet Sensor: A Case Study in Okinawa Main Island  
Kenta TANAKA, Daisuke KAMIYA, Daisuke FUKUDA,  
Natsuho IHOROI, Hideki YAGINUMA, Yoshiki SUGA,  
and Ryo YAMANAKA

\*1 株式会社社長  
Chodai Co., Ltd.

\*2 琉球大学 工学部  
Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

\*3 東京工業大学 環境・社会理工学院  
School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

\*4 東京理科大学 理工学部  
Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

\*5 株式会社地域未来研究所  
Regional Futures Research Center Co., Ltd.

\*6 株式会社中央建設コンサルタント  
Chuo Kensetsu Consultants Co., Ltd.

表 1 各調査方法の代表的特徴

項目	観光統計実態調査	アクティビティダイアリ	レンタカープローブ	Wi-Fi
属性	○	○	○	×
起終点(OD)	×	○	○	○
移動経路	×	○	○	×
交通手段	○	○	車のみ	×
持続性	△	×	×	○
外国人	○	×	×	○

データは、適切な周遊プランの立案等といった観光マーケティングにおいても、重要な資料と成り得ると期待される。

しかし、沖縄県でこれまで行われてきた主要な観光交通調査(例えば、県が毎年行っている観光統計実態調査 [2]、アクティビティダイアリ調査 [3]、レンタカープローブ調査 [4] 等)は、観光客の周遊行動を明らかにする上で十分なものとはなっていない。例えば、観光統計実態調査は、詳細な旅行者属性を把握できるものの訪問地については沖縄本島を 8 つのゾーンに粗く分けた地域でしか設定されておらず、詳細な起終点 (OD : Origin-Destination) 情報を把握することができない。アクティビティダイアリ調査は、日誌形式で観光客の活動全体の把握を行うもので、OD や経路、手段、活動内容等の詳細な属性把握が可能であるが、回答者の負担の大きさ、調査実施費用の大きさ、外国人観光客への実施の困難さ等の課題が残されている。レンタカープローブ調査は、GPS 機器をレンタカーに搭載して自動車移動時の緯度経度情報を収集するものであるが、レンタカー事業者の協力や旅行者の承諾が必要であることに伴うサンプル数の確保の問題、駐車後の活動の把握の困難さ、観光客全体の約 4 割 [2] に及ぶレンタカー未利用者の活動の把握の困難さ等といった実務上の課題が残されている [5]。

他方、Wi-Fi 通信機能を持つスマートフォン等のモバイル端末機器が急速に普及したことを背景に、モバイル機器の Wi-Fi プローブ情報をセンシング機器により自動収集し、観光周遊の分析用データとして活用する事例が近年増えつつある。具体的には、一般的なモバイル機器がその Wi-Fi 設定をオンにしている時に数秒から数分間隔で周囲に発する Probe Request (以下、PR) を Wi-Fi パケットセンサーにより捕捉するという原理である。こうしたセンサーを交通結節点や主要観光地に多数設置することで、観光客の移動や滞留を推計することが可能となる。センサーの設置・管理・通信費用等は他の調査に比べて安価であり、各観光スポット等に設置することで自動的に大量のデータ収集を行うことが可能である。

これまで紹介した調査方法の特徴をまとめると表 1 のようになる。従来の調査方法は限られた期間でのデータ収集しか行えず、特に外国人観光客のデータを収集することが困難であるといった課題が残されていた。これに対し、本研究では、安価かつ持続的なデータ収集という観点から Wi-Fi パケットセンサーという新たな調査方法に着目する。本研究では、Wi-Fi パケットセンサーを沖縄本島内の複数の施設に長期間設置して収集したデータを用いた検討を行う。特に、島嶼県であるという地理

的特性を活かし、空港及びクルーズターミナルに機器を設置することで、観光客の一次交通手段を明らかにし、一次交通手段の観光周遊行動特性を明らかにすることを主な目的とする。併せて、この Wi-Fi データとレンタカー利用者の走行軌跡情報である ETC 2.0 プローブデータを融合し、観光客の周遊パターンをより詳細に把握することができるかどうかについても検討を行う。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

### 2.1 既往研究の整理

本節では、近年国内で実施された Wi-Fi パケットセンサーを用いた調査に基づいて観光周遊実態把握を行っている関連研究をレビューする。

#### (a) 観光客の特定を試みていない研究

廣川ら [6] は、岐阜県高山市を対象に、調査機器を 12 箇所で 4 箇所に設置して訪問者の行動実態の把握を行い、日別や時間帯別のユニーク ID 数を算出している。

岡平・川名 [7] は、兵庫県神戸市を対象として約 5 カ月間にわたって設置された調査機器から得られたデータの分析を行っている。特に、天候条件や平休日、イベント時による比較を行った上で、休憩・待合施設等の滞在時間創出箇所の決定や、沿道での店舗出店を検討する基礎資料としての利用可能性について考察している。

中西ら [8] は、沖縄県本部半島を対象に、2016 年 8 月 25 日から 4 日間、調査機器を 13 箇所に設置して 3 日間の調査を行っている。アンケートでは得られない OD パターンを Wi-Fi パケットセンサーを用いることで抽出できたことや、アンケートでは殆ど回答が得られなかったような地点においても訪問者がいることを示している。さらに、半島内の観光流動 OD 表やトリップチェーンデータを作成し、周遊パターンを考察している。

#### (b) 観光客の特定を試みた研究

浅尾ら [9] は、京都府宮津市において、調査機器を用いて観光客の周遊行動に関するデータ収集を行っている。機器を 28 箇所に設置し、3 日以内に捕捉されたデータを観光客と分類した上で、観光流動の解析や視覚化手法を例示している。

壇辻ら [10] は、奈良県桜井市初瀬地区を対象に、調査機器を 7 箇所に 3 日間設置して得られたデータの分析を行っている。同時に個人属性、旅行形態、交通手段、観光行動を問うアンケート調査を実施し、その集計結果と空間的特徴を考慮した上で、鉄道利用観光客と自動車利用観光客の特定を行っている。その上で、観光客の行動に関する基本的な情報の一つである滞在時間に着目し、その分布特性を明らかにしている。

遠藤ら [11] は、北海道旭川富良野広域圏を対象に、31 箇所、33 日間の調査で得られたデータの分析を行っている。周遊期間 10 日以内のユニーク ID を観光客と見立て、系列パターンマイニングを利用して観光地間の相関関係の把握を行っている。

小林ら [12] は、遠藤ら [11] と同じデータを用いて、1. 各地点で営業時間内に捕捉、2. 各地点での滞在時間が閾値以内、3. 訪問箇所数が 2 箇所以上、4.7 日以内に捕捉、5. 最初かつ最後

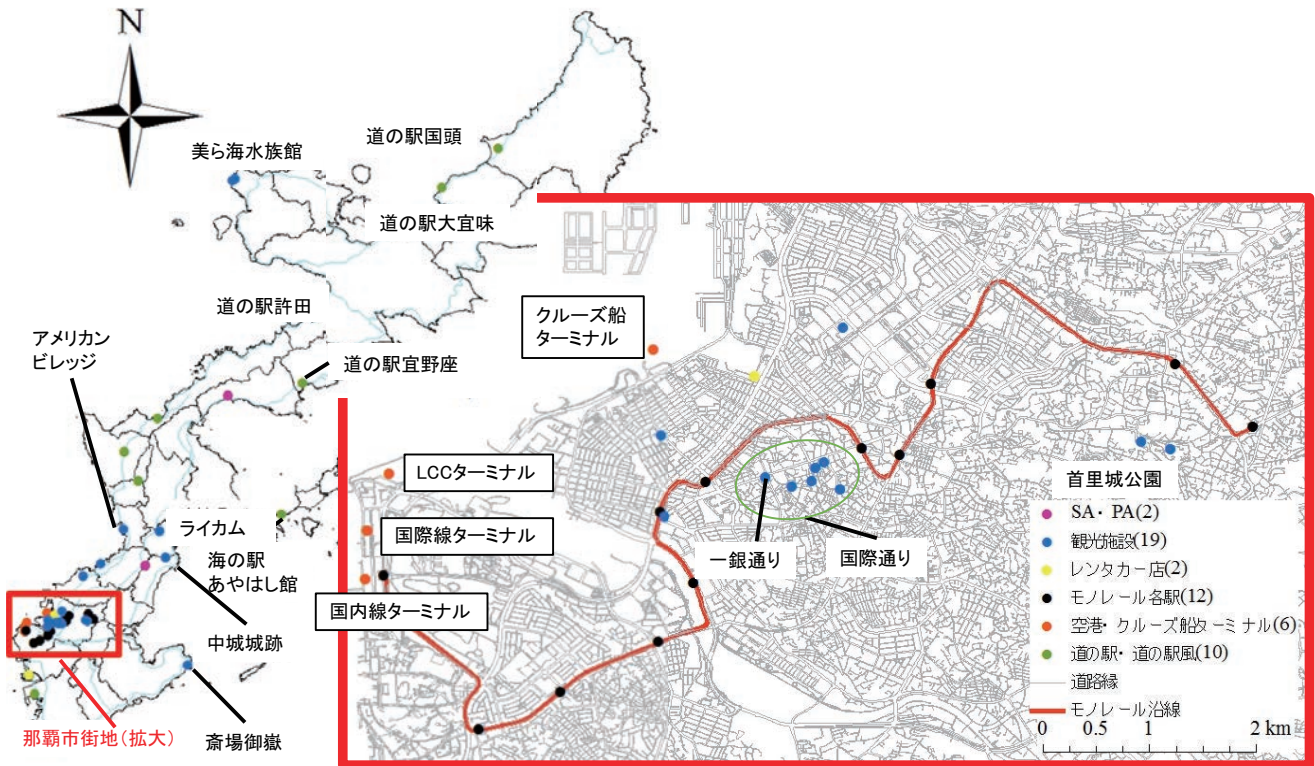


図3 Wi-Fi パケットセンサー設置地点

に空港レンタカー支店で捕捉といった諸条件を予め設定し、全てを満たすユニークIDをレンタカー観光客と定義している。その上で、周遊パターンの将来推計を行うための目的地選択モデル、滞在時間モデル、並びに、周遊選択モデルを構築している。

一井ら [13] は、長野県上高井郡小布施町にて調査機器を27箇所に設置し2日間の観光行動調査を行っている。通過交通を取り除くことを企図して、捕捉日数が1日であり、かつ、捕捉時間が5分以上であるIDを観光客として抽出している。その上で、時間帯別滞在人数、滞在時間分布、観光客のOD表等を作成し、観光周遊行動の実態把握を行っている。

寺部ら [14] は、一井ら [13] が用いたデータと、1年後に同じ場所で行った調査から得たデータを統合し、異なる時点間でのOD交通量の比較を行っている。その結果、相関係数は高いものの必ずしも類似性があるとは言えないことを示している。また、取得データから観光客を抽出する上では、宿泊日数の制限や通過交通の除去のみでは不十分であると結論付けている。

以上のレビューより、Wi-Fi パケットセンサーによる観光調査は数多く実施されており、その適用可能性も既に一定程度確認されていると考えられる。しかし、多くの研究は、ユニークIDの基本的な集計分析にとどまっており、観光客の質的属性的特徴分析等は殆どなされていない。(例えば、旅行者の来訪交通手段別の滞在時間の傾向分析を行った壇辻ら [10] は、Wi-Fi データのみによる検討ではなく、別途行ったアンケート調査の情報を用いている。)

## 2.2 本研究の位置づけ

本研究では、沖縄本島の地理的特徴を活かしたWi-Fiパケッ

トセンサー調査を実施して、来沖観光客のデータを収集する。既往研究において日本人と外国人を区別したものはなく、クルーズ船と航空機利用者との比較を行える点も本研究の特徴である。具体的には、県外からの観光客の入り口となる沖縄本島内の空港(国内線ターミナル・国際線ターミナル・LCCターミナル)及びクルーズターミナルにWi-Fiパケットセンサーを設置し、一次交通手段を予め判別した上でその後の観光客の沖縄本島内の周遊行動についての類型化を試みる。これにより、国内客と外国人客(国際線)、レガシーキャリア利用者とLCC利用者、空港利用者とクルーズ船利用者といった一次交通手段別の観光周遊パターンの特徴を明らかにすることが可能となる。例えば、LCC利用者の方が低所得の観光客が多く、観光消費額も小さいという報告もあり [2, 15]、周遊行動にも差異が存在する可能性がある。また、港湾管理者へのヒアリングによれば、沖縄に接岸するクルーズ船の約8割がカジュアルクラスであり [16]、出港までの時間も限られていることから、クルーズ船観光客は航空機利用者よりも安価かつ時短の周遊行動を行っている可能性も考えられる。本研究を通じて、こうした行動仮説の妥当性を一定程度まで明らかにできるものと期待される。

## 3. Wi-Fi パケットセンサーを用いた観光周遊行動分析

### 3.1 調査の概要

本研究では、2017年8月6日~2017年9月19日の44日間、図3に示す沖縄本島内の空港やクルーズターミナルといった沖縄を訪れる観光客の主要ゲートウェイ、モノレール駅やレンタカー店、SA・PA、道の駅といった交通結節点、美ら海水





図4 Wi-Fi パケットセンサー

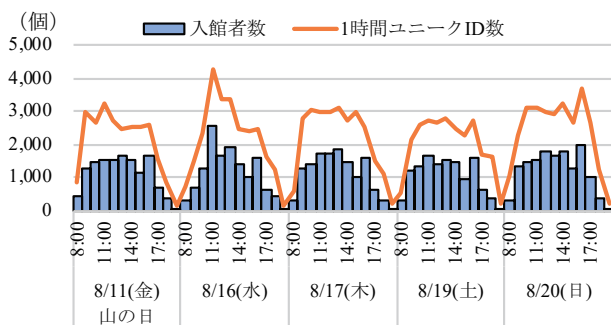


図5 美ら海水族館におけるユニーク ID 数と入館者数の推移の比較

水族館や国際通り、アメリカンビレッジ、イオンモール沖縄ライカムといった沖縄本島を代表する観光施設に、株式会社地域未来研究所が開発した Wi-Fi パケットセンサー (図4) を設置し、データ収集を行った。調査を行うにあたり、施設管理者に対する調査概要の説明およびプライバシーポリシーの提示を行った。また、本調査機器では PR 取得と同時に MAC アドレスの匿名化処理がなされ、その上で PR が記録される。

本研究では、匿名化した MAC アドレスをユニーク ID と称し、ユニーク ID、PR 受信時刻、機器番号 (施設 ID) の情報を主に用いて分析を行う。

### 3.2 取得データの精度の検討

中西ら [8] と同様に、本研究でも、Wi-Fi パケットセンサーにより取得したデータの妥当性を示すための精度検証を行った。まず、入館者数の実績データが得られた美ら海水族館を対象に、1 時間帯毎に捕捉されたユニーク ID 数と入館者数との比較を行った。その結果を図5に示す。ユニーク ID 数と入館者数の増減傾向は類似しており、二つのデータの相関が高いことが分かる。なお、1 時間ユニーク ID 数と入館者数を除した値の平均値は 0.44 であった。比率が 1 以下であるのは、美ら海水族館に入館しない観光客や観光客以外 (例、水族館スタッフ等) のデータが含まれているためであると考えられる。既存調査では不明であった個別施設の訪問率等が明らかになることや、多くのデータを取得できる点を踏まえれば、標準偏差が 0.05 と相対的に小さいことから、本研究で用いるデータは周遊行動把握において安定かつ十分な精度を有していると考えられる。

次に、国際通りの中心地点に位置する一銀通りに設置された機器からの収集データを用いて、大型イベントである万人のエイサー踊り隊実施日、並びに、毎週日曜日の午後で開催され

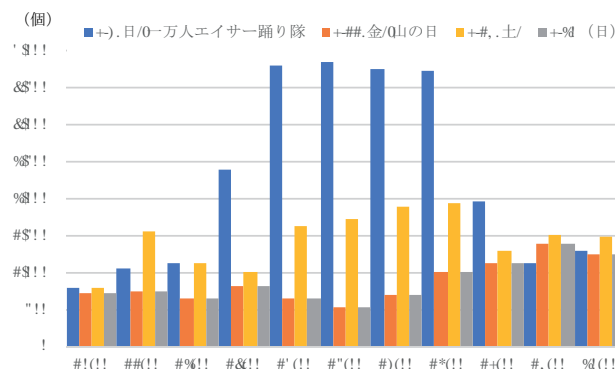


図6 国際通りにおける時間帯別ユニーク ID 数の推移 (休日におけるイベントの有無と内容の違い)

ているトランジットモール、祝日と土曜日のユニーク ID を図6に示す。これより、エイサーイベント時には平日の 2~3 倍の数のユニーク ID が国際通りで捕捉されていることが分かる。一方、トランジットモールが実施される日曜日は普段の土曜日や祝日と比べてユニーク ID 数が少ない。トランジットモールが始まって 10 年が経過した後の検討会において、普段より人通りが少なくなっていることや売り上げが減少していることが指摘されている。これらを踏まえると、本調査によるデータは観光事業者の感覚とも一致していると考えられる。

### 3.3 データクレンジング及び属性の付与

取得したデータには、従業員や常設機器、地元住民等、観光客以外の方が所持するスマートフォン等の機器から受信したデータも含まれており、まずは観光客以外のデータを除去するクレンジング処理が必要である。この処理を行うにあたり、本研究では観光客をクルーズ船客、航空機 (国内線、国際線、LCC) 利用客に分類して分析し、Wi-Fi データだけでは判別できない一次交通手段情報の付与を試みる。

データクレンジング及び属性付与のフローを図7に示す。まず、(a) で全取得データから従業員や常設機器の除去を行い、次に (b) ~ (e) で地元住民等のデータの除去を行うと共に観光客の分類を行う。

#### (a) 従業員や常設機器の除去

各地点で捕捉された日数  $D_i^S$  及び連続して捕捉された時間断面数  $H_i^S$  に閾値を設定し、これを満たさないユニーク ID は従業員や常設機器であると見なし除去した。ここで  $D_i^S$  と  $H_i^S$  の定義を以下に記すと共に、時間断面の考え方を図8に示す。

- $D_i^S$ : ユニーク ID  $i$  が地点  $S$  で捕捉された日数
- $H_i^S$ : ユニーク ID  $i$  が地点  $S$  で連続して捕捉された時間断面数

美ら海水族館における  $D_i^S$  と  $H_i^S$  の条件及び適用結果の例を表2に示す。ここでは中西ら [8] に準拠し、 $D_i^S$  の情報より“週に 1 回以上捕捉され”，かつ、 $H_i^S$  の情報より“7 時間以上同地点において捕捉され続けている”ユニーク ID を客以外のものと見なし除去を行っている。

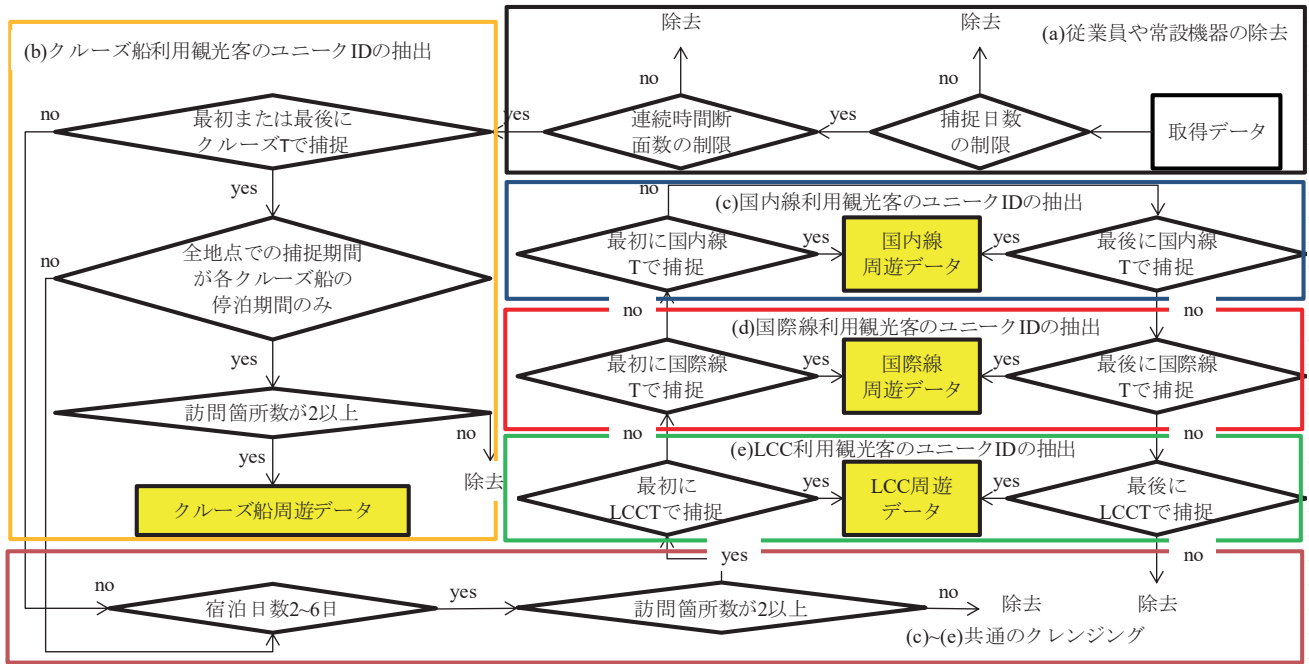


図7 観光周遊データのクレンジング手順

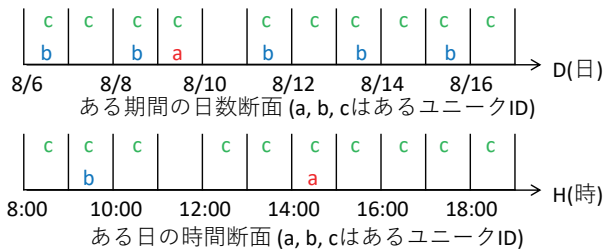


図8 「来場者データ」抽出の概念図

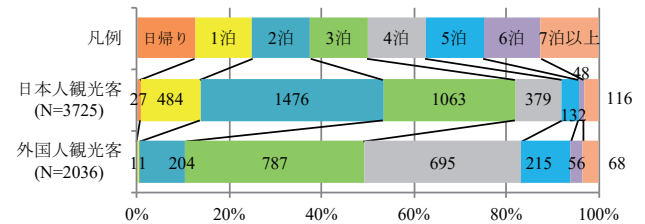


図9 航空機利用観光客の宿泊日数 (データ出典：沖縄県 [2])

表2 条件が  $1 \leq D_i^S \leq 5, 1 \leq H_i^S \leq 6$  の場合におけるクレンジング結果 (美ら海水族館)

ID番号	$D_i^S$	$H_i^S$	抽出 or 除去
A	1	1	抽出
B	5	1	抽出
C	10	7	除去

(b) クルーズ船利用観光客のユニークIDの抽出  
以下の条件を全て満たすユニークIDを「クルーズ船周遊データ」とした。

- 最初または最後にクルーズターミナルで捕捉
- 全調査地点での捕捉期間が各クルーズ船の接岸期間内のみ (クルーズ船客は調査期間に複数回来沖しないと仮定)
- 2か所以上のWi-Fiパケットセンサーで観測

(c) 国内線利用観光客のユニークIDの抽出  
以下の条件を全て満たすユニークIDを「国内線周遊データ」とした。

- 最初または最後に国内線ターミナルで捕捉
- 全地点通しての捕捉期間日数が2~6日以内 (図9より航空機利用観光客の滞在日数は1泊2日~5泊6日が約90%を占めているため)

- 2か所以上のWi-Fiパケットセンサーで観測

(d) 国際線利用観光客のユニークIDの抽出  
以下の条件を全て満たすユニークIDを「国際線周遊データ」とした。

- 最初または最後に国際線ターミナルで捕捉
- 全地点通しての捕捉期間日数が2~6日以内 (図9より航空機利用観光客の宿泊日数は1泊2日~5泊6日が約90%を占めているため)
- 2か所以上のWi-Fiパケットセンサーで観測

(e) LCC利用観光客のユニークIDの抽出  
以下の条件を全て満たすユニークIDを「LCC周遊データ」とした。

- 最初または最後にLCCターミナルで捕捉
- 全地点通しての捕捉期間日数が2~6日以内 (図9より航空機利用観光客の滞在日数は1泊2日~5泊6日が約90%を占めているため)
- 2か所以上のWi-Fiパケットセンサーで観測

以上のクレンジング処理を経て得られた観光周遊データの

表3 観光周遊データのユニーク ID 数

クリーニングデータ種別	ユニーク ID 数
取得データ	21,597,320
クルーズ船周遊データ	13,180
国内線周遊データ	189,461
国際線周遊データ	108,984
LCC 周遊データ	30,676

表5 施設来訪選択比率の差の検定

カテゴリ	施設名	クルーズと国際線	国内線と国際線	国内線とLCC
モノレール駅	那覇空港駅	-60.70	5.19	-5.66
	赤嶺駅	-80.32	-2.53	-3.01
	小禄駅	-24.34	-5.44	-9.44
	奥武山公園駅	-29.91	-1.30	-3.05
	壺川駅	-28.59	-6.12	-6.03
	旭橋駅	-48.44	-3.05	-2.81
	県庁前駅	11.12	-4.38	-5.27
	牧志駅	-18.29	-6.06	-5.09
	安里駅	-27.74	0.07	-1.93
	おもろまち駅	-38.53	-8.77	-7.64
レンタカー店	儀保駅	-2.55	-0.95	-2.32
	首里駅	-1.81	-3.08	-6.03
レンタカー店	豊崎店	-53.09	-17.40	-23.18
	泊店	-24.15	0.91	-2.40
バスターミナル	那覇バスターミナル	-45.75	-5.55	-5.22
	アメリカンビレッジ	-58.51	-18.36	-12.69
大型商業施設	イオンモール沖縄ライカム	-33.84	-14.44	-12.24
	首里城公園	22.55	-9.23	-4.53
観光施設	国際通り	5.8	-8.3	-8.6
	美ら海水族館	-128.7	-24.4	-52.8

表4 施設来訪選択比率

カテゴリ	施設名	CT	国内	国際	LCC
モノレール駅	那覇空港駅	0.01	0.31	0.24	0.38
	赤嶺駅	0.02	0.07	0.10	0.10
	小禄駅	0.06	0.07	0.13	0.15
	奥武山公園駅	0.03	0.09	0.10	0.12
	壺川駅	0.01	0.03	0.07	0.07
	旭橋駅	0.03	0.15	0.19	0.19
	県庁前駅	0.28	0.17	0.23	0.23
	牧志駅	0.24	0.19	0.28	0.27
	安里駅	0.02	0.08	0.08	0.10
	おもろまち駅	0.03	0.07	0.15	0.14
	儀保駅	0.03	0.02	0.03	0.03
	首里駅	0.06	0.04	0.06	0.07
	レンタカー店	とまりん店	0.01	0.06	0.06
バスターミナル	那覇BT	0.02	0.11	0.17	0.17
大型商業施設	アメリカンビレッジ	0.00	0.04	0.21	0.13
	イオンモール沖縄ライカム	0.02	0.07	0.21	0.17
観光施設	首里城公園	0.37	0.15	0.27	0.21
	国際通り	0.58	0.42	0.57	0.56
	美ら海水族館	0.03	0.28	0.59	0.43

ユニーク ID 数を表3に示す。なお、本調査期間に寄港したクルーズ船の総乗客定員数は 75,820 席であった [16]。また、航空機については、2018 年 7 月時点における 1 日あたりの到着便の総席数は国内線が 26,005 席、国際線が 6,197、LCC が 2,544 であった [17]。そこで、クルーズ船はユニーク ID 数を総乗客定員数、航空機は 1 日当たりユニーク ID 数 (ユニーク ID 数/45 日) を各総席数で除した値を取得率とすると、クルーズ船は 17.4%、国内線は 16.2%、国際線は 39.1%、LCC は 26.8% であった。既存の国内観光客を対象としたアンケート調査では年間約 3,000 サンプル程度 [2] の収集がなされており、こうした調査と比較しても、本調査では十分なサンプル数が取得できていると考えられる。

国際線の取得率は、他の一次交通手段と比較すると高くなっている。これは、海外からの旅行者はモバイル通信が使用できないため、Free Wi-Fi スポットや Wi-Fi ルーターの使用により Wi-Fi を ON にしている比率が高いためであると推察される。

### 3.4 施設訪問比率と施設間 OD 交通量の分析

#### 3.4.1 施設訪問比率の分析

観光客の訪問地の特性を把握するため、一次交通手段別観光客の施設訪問比率 (ある施設において捕捉されたユニーク ID 数/全期間で捕捉された一次交通手段別ユニーク ID 数) を算出した。その結果を表4に示す。いずれの交通手段においても国際通りへの来訪者が多いことや、航空機利用者は美ら海水族館への来訪者も多いことなどが分かる。

また、一次交通手段のペア毎の施設訪問比率に差があるかどうかを明らかにするため、比率の差の検定を行った。その結果を表5に示す。得られた知見は次の通りである。

(a) クルーズと国際線利用者の比較 (クルーズ船利用者を基準とした場合 (表5左から3列目))

クルーズ船利用者は、美ら海水族館やアメリカンビレッジ等のクルーズターミナルから遠方の施設への訪問比率が国際線利用者よりも有意に小さくなっている。これは、ほとんどのクルーズ船の停泊時間が 24 時間以内と短く、時間制約が強いためであると推察される。また、ターミナルの徒歩圏内である国際通り、県庁前駅、牧志駅や、近隣の代表観光施設である首里城の来訪比率が国際線利用者よりも有意に大きくなっている。これは、主に徒歩で国際通りまで移動し、その後モノレールまたはバス等で首里城へ移動している可能性が考えられる。

(b) 国内線利用者と国際線利用者の比較 (国内線利用者を基準とした場合 (表5左から4列目))

アメリカンビレッジやイオンモール沖縄ライカム、美ら海水族館といった沖縄本島を代表する観光地への訪問比率は、国内線利用者の方が国際線利用者よりも有意に小さくなっている。これは、国外客は買い物目的で周遊している可能性が高いことが考えられる。また、国内客はリピーターが多いことを踏まえると、初見の観光地を訪問している観光客が一定数以上存在する可能性も考えられる。

(c) 国内線利用者と LCC 利用者の比較 (国内線利用者を基準とした場合)

モノレール駅やバスターミナル施設の訪問比率は、LCC 利用者よりも国内線利用者の方が有意に小さくなっている。これより、LCC 利用者の消費金額が相対的に低いことを踏まえると、彼らが安価な公共交通をより利用する傾向があることが考えられる。また、特定のレンタカー店への設置というバイアス





あっても周遊パターンが異なる可能性があることを示唆している。加えて、クルーズ船利用者の方がより、飲食店が集約された4の牧志公設市場を訪問していることから、同施設にて食事後、船に戻る行動が多く取られていると考えられる。

(b)国内線利用者と国際線利用者の比較（国内線利用者を基準とした場合（表 11）

表 11 より「1⇔4」あるいは「1⇔6」といったように、メインストリートから少々離れた地点まで移動していくような流動量は国内線利用者よりも国際線利用者の方が有意に小さい。これは、外国人よりも日本人の方が国際通り周辺を満遍なく周遊していることが推察される。これより、外国人にもメインストリート以外を訪問してもらうには、分かりやすい道案内や情報提供が必要であることが示唆される。

(c)国内線利用者と LCC 利用者の比較（国内線利用者を基準とした場合）（表 12）

(b) と類似した結果ではあるものの、 $z$  値の絶対値が概して (b) よりも小さいことが分かる。これは、LCC ターミナルには国際線だけでなく国内線も就航しており、そのため LCC 周遊データには日本人と外国人が混在の割合がより大きいと考えられ、LCC の OD 交通量は日本人と外国人の両方の特徴が表れているためであると推察される。

### 3.5 ETC2.0 データと Wi-Fi データの融合可能性の検討

以上より、Wi-Fi データを用いて機器設置地点間の観光客の周遊パターンを一定程度把握することができたと考えられる。しかし、Wi-Fi データ単体では観光客の行動の全容を把握することはできない。その主な理由は以下の通りである。

- 調査機器設置地点でしかデータを収集できないこと。
- 調査機器設置地点周辺を通過したとしても、必ず捕捉できるわけではないこと。
- 詳細な移動経路が分からないこと。
- 観光行動に影響を及ぼすと考えられる旅行者のその他の質的属性を把握することができないこと。

そこで、Wi-Fi データと前述したレンタカーの移動経路データである ETC2.0 データとの融合を試みる。なお、観光客には、ETC2.0 車載機付きレンタカーを貸し出す前に、簡単なアンケートを答えてもらい、国籍や来沖回数等といった情報も得ている。

まず、Wi-Fi と ETC2.0 のマッチングを行うにあたり、Wi-Fi パケットセンサーを設置した施設に ETC2.0 搭載車が立ち寄ったと判断するための基準を定める。ETC2.0 データにおける「立ち寄り」の判定は、滞在時間制約を図 11 に示す景勝地である万座毛で実測値調査を行った際の駐車時間分布を基に設定する。図 11 より、15 分以上が 90% 以上を占めていることから、「ETC2.0 の記録上で駐車時間が 15 分以上」という条件を設定した。なお、ETC2.0 データは 80 km 以上走行するとプロンプ情報が上書きされるという特性を持っている。このため、前後距離に閾値を設け異常な地点の抽出を避ける必要があ

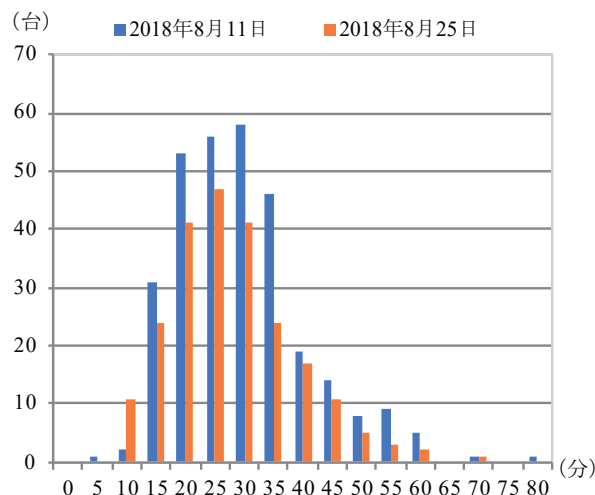


図 11 万座毛来訪者のレンタカー車両駐車時間分布

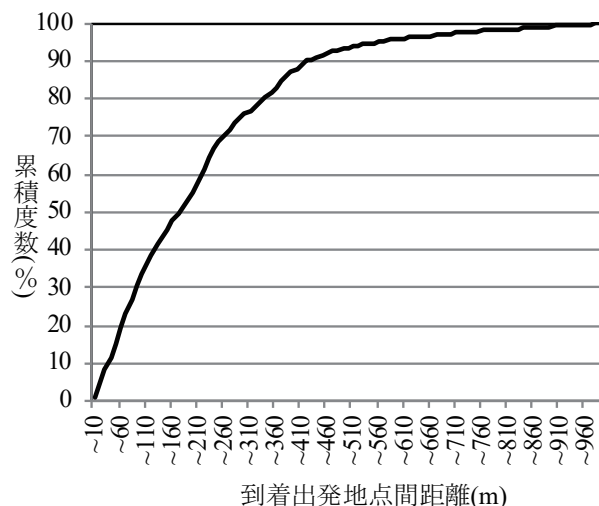


図 12 ETC2.0 の一つ前の地点との距離差の累積度数分布 (2017年8月6日 2017年9月19日)

る。図 12 に示すように一つ前の地点との距離の累積度数分布より 400 m までが約 90% を占めていたため、「この距離差が 400 m 未満」という条件を設定した。さらに、GPS の測定誤差についても考慮するため、「Wi-Fi パケットセンサー設置施設の敷地及び関連する駐車場とその境界から 200 m 外側までの部分に車両が立ち寄った」と判定することとした。

以上の 3 つの要件を満たす地点を「立ち寄った」地点として抽出した。その上で、レンタカー利用者が「立ち寄った」複数の Wi-Fi パケットセンサー設置施設の「立ち寄り」時間内に取得したユニーク ID のマッチングを行ったところ、調査期間内に貸し出された ETC2.0 搭載レンタカー 92 台中 19 のレンタカーに対してマッチングされている Wi-Fi のユニーク ID を絞り込むことができた。Wi-Fi のあるユニーク ID と ETC2.0 データとのマッチング例を図 13 に示す。これより、ETC2.0 でレンタカーの移動軌跡を追跡し、駐車後の観光地での周遊行動を Wi-Fi パケットセンサーで取得できる可能性があることが示唆される。しかし、このように ETC2.0 データとマッチング





図 13 ユニーク ID 数と ETC2.0 データのマッチング事例

可能であったユニーク ID は全体の約 20% にとどまっている。この理由として、ETC2.0 車載器レンタカー利用客が Wi-Fi パケットセンサー設置地点に立ち寄っていないこと、立ち寄ったが Wi-Fi を ON にしていなかったこと等が考えられる。このような限界はあるものの、Wi-Fi のデータとスマートフォン位置データとのマッチングを行っている既存研究の大半が屋内空間を対象としている（例えば、Chen et al. [18]）ことを鑑みると、本研究を通じて広域を対象とする複数の移動情報データをマッチングできる可能性を実証的に示したことについては、一定程度の意義があるものと考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、安価で継続的に調査を実施することが可能な Wi-Fi パケットセンサーを用いて沖縄本島内の観光周遊行動のデータを収集し、その実態把握分析を行った。観測機器を空港、クルーズターミナル、主要観光地等に設置し、ユニーク ID 取得期間を限定することでクルーズ船、空港国内線、国際線、LCC といった一次交通手段別の来沖観光客周遊データを構築した。取得データ数は既存調査手法と比べても十分に大きいものであることが確認された。そして、収集したデータを用いた分析の結果、観光周遊パターンは来沖の一次交通手段によって有意な違いがあることが確認された。また、マッチング数は少なかったものの、同一観光客に対して、ETC2.0 プローブデータによってレンタカーによる移動を追跡し、駐車後の周遊行動を Wi-Fi パケットセンサーで収集できる可能性があることを確認した。

今後は、トリップチェーンのような複数地点間の周遊パターンや滞在時間の把握を行うことで、観光周遊行動をより詳細に明らかにできる可能性があると考えられる。また、機器の設置場所の拡充も、より詳細な流動分析を行う上で重要となる。そのためには、対象地域内において Wi-Fi スキャナーを空間的に偏り無く配置できるよう、関連主体からの協力が不可欠となる。それにあたり、まだ事例は少ないものの、行政等を中心とした調査の取組事例も徐々に進められており [19-21]、今後のさらなる展開が期待される。他方、沖縄県では、特に外国人の Wi-Fi に対する不満に対処すべく Free Wi-Fi 事業を推進しており、本島内に 4584、離島に 250 箇所のフリーで接続可能なアクセスポイント (AP) が設置されている [22]。2018 年 2~3 月には、一度どこかの AP で認証されていれば、異なる AP に移

動しても自動的に繋がるような実証実験も行われている。こうした Wi-Fi のアクセスログデータに対して本研究で示した観光客類型化の手順を適用することにより、広範囲な観光周遊行動の把握を行うことができるようになると思われる。

#### 謝辞

本研究は「ETC2.0 プロー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・国土交通省道路局・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] 沖縄県, 観光要覧.
- [2] 沖縄県, 沖縄県観光統計実態調査.
- [3] 大城佑人, 神谷大介, 羽藤英二: “沖縄観光の行動特性に関する基礎的分析,” 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.62, Paper No.4-341, 2008.
- [4] 内閣府沖縄総合事務局, 観光プロブパーソン調査.
- [5] 田中謙大, 神谷大介, 松本拓朗, 福田大輔, 中西航, 小林巴奈, 都留崇弘, 菅芳樹: “周遊観光行動の調査方法に関する基礎的考察 — 沖縄本島を対象として —,” 土木学会学術年次学術講演会講演概要集, Vol.72, Paper No.4-018, 2017.
- [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.
- [7] 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, Paper No.42-03, 2017.
- [8] 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,” 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, pp. I\_787-I\_797, 2018.
- [9] 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, Vol.53, Paper No.15-05, 2016.
- [10] 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,” 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp. 247-254, 2017.
- [11] 遠藤幹大, 高橋央亘, 浅田拓海, 有村幹治: “Wi-Fi パケットセンシングによる広域観光圏における時空間周遊行動パターン分析,” 土木計画学研究・講演集, Vol.57, Paper No.53-09, 2018.
- [12] 小林巴奈, 福田大輔, 中西航, 内田賢悦, 浅田拓海, 有村幹治, 菅芳樹: “Wi-Fi パケットセンシングデータを用いた広域観光周遊行動のモデル分析,” 土木計画学研究・講演集, Vol.57, Paper No.53-09, 2018.
- [13] 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,” 土木計画学研究・講演集, Vol.57, Paper No.01-16, 2018.
- [14] 寺部慎太郎, 一井啓介, 柳沼秀樹, 康楠, 田中皓介: “Wi-Fi 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,” 土木計画学研究・講演集, Vol.58, Paper No.29, 2018.
- [15] JTB 総合研究所, LCC 利用者の意識と行動調査 2017: <https://www.tourism.jp/tourism-database/survey/2017/08/lcc-research-2017/> [accessed March 14, 2019]
- [16] 那覇港管理組合, 那覇港クルーズ船寄港予定一覧表.
- [17] 那覇空港国内線旅客ターミナルビル, フライト情報: <http://www.naha-airport.co.jp/> [accessed March 14, 2019].
- [18] Z. Chen, H. Zou, H. Jiang, Q. Zhu, Y. C. Soh, and L. Xie: “Fusion

of WiFi, smartphone sensors and landmarks using the Kalman filter for indoor localization,” *Sensors*, Vol.15, pp. 715-732, 2015.

- [19] 国土交通省道路局・地域道路経済戦略研究会北海道地方研究会報告資料, Wi-Fi を活用した観光促進: [http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/keizai\\_senryaku/pdf09/03.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/keizai_senryaku/pdf09/03.pdf) [accessed May 13, 2019].
- [20] 一般社団法人京都府北部地域連携都市圏振興社, Wi-Fi パケットセンサーによる観光流動調査の実施について: <http://www.uminokyoto.jp/data/wifi/wifi-jissi.pdf> [accessed May 13, 2019]
- [21] 国土交通省道路局, 交通マネジメントへの活用に向け新たな ICT・AI 技術を選定: <http://www.mlit.go.jp/common/001246078.pdf> [accessed May 13, 2019]
- [22] 沖縄県文化観光スポーツ部観光振興課, Be.Okinawa Free Wi-Fi の利便性に向けた認証連携の実証開始について: [https://www.pref.okinawa.jp/site/bunka-sports/kankoshinko/ukeire/beokinawafreewi-fi\\_h29fieldtrial.html](https://www.pref.okinawa.jp/site/bunka-sports/kankoshinko/ukeire/beokinawafreewi-fi_h29fieldtrial.html) [accessed May 13, 2019]

(2019 年 1 月 18 日 受付)

(2019 年 6 月 26 日 採録)

[問い合わせ先]

〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1 番地  
琉球大学 工学部工学科 社会基盤デザインコース  
神谷 大介  
TEL: 098-895-8653  
FAX: 098-895-8677  
E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

— 著者紹介 —



たなか けんた  
田中 謙大 [非会員]

2017 年琉球大学工学部卒業。2019 年琉球大学大学院理工学研究科環境建設工学専攻博士前期課程修了。現在、株式会社社長に所属、土木学会などの会員。



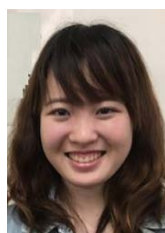
かみや だいすけ  
神谷 大介 [非会員]

1998 年関西大学工学部土木工学科卒業。2000 年同大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程修了。2003 年京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻博士後期課程修了。同年琉球大学工学部環境建設工学科助手。2015 年同准教授。2017 年琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース准教授となり、現在に至る。2017 年より関西大学先端科学技術推進機構社会空間情報科学研究センター客員研究員。地域計画・防災計画・環境計画に関する研究に従事。土木学会、都市計画学会、地域学会、島嶼学会などの各会員。



ふくだ だいすけ  
福田 大輔 [非会員]

1997 年東京大学工学部土木工学科卒業。1999 年同大学院工学系研究科社会基盤工学専攻修士課程修了。2001 年東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻助手。2005 年同助教授。2007 年准教授となり現在に至る。2016 年より一般財団法人運輸総合研究所研究アドバイザーを兼任。交通現象の把握・予測・評価に関する数理的手法全般、特に、交通行動分析、交通経済学の研究に従事。土木学会、情報処理学会、交通工学研究会、日本都市計画学会、応用地域学会などの各会員。



いほらい なつほ  
五百蔵 夏穂 [非会員]

2018 年東京工業大学工学部土木・環境工学科卒業。現在、同大学環境・社会理工学院土木・環境工学系修士課程に在学中。観光交通行動分析の研究に従事。



やぎぬま ひであき  
柳沼 秀樹 [非会員]

2005 年芝浦工業大学工学部土木工学科卒業。2007 年芝浦工業大学理工学研究科建設工学専攻修士課程修了。2013 年博士号取得（東京工業大学）。2013 年東京大学工学系研究科助教。2015 年東京理科大学理工学部土木工学科講師となり現在に至る。交通行動分析、交通ネットワーク解析の研究に従事。土木学会、情報処理学会、交通工学研究会などの各会員。



すが よしき  
菅 芳樹 [非会員]

1995 年近畿大学工学部土木工学科卒業。1997 年近畿大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了。現在、株式会社地域未来研究所に所属。交通計画分野の業務に従事し、近年はシステム設計開発や IoT を用いた移動体の交通行動把握の研究開発を行っている。情報処理学会の会員。



やまなか りょう  
山中 亮 [非会員]

1998 年日本大学理工学部土木工学科卒業。その後、一般企業の建設コンサルタント技術者として都市交通計画などの業務に従事。現在、琉球大学理工学研究科総合知能工学専攻博士課程後期に在学中。観光交通の研究に従事。土木学会、都市計画学会、交通工学研究会などの各会員。

**Analysis of the Tourists' Travel Behavior Using Wi-Fi Packet Sensor: A Case Study in Okinawa Main Island**

by

**Kenta TANAKA, Daisuke KAMIYA, Daisuke FUKUDA, Natsuho IHOROI, Hideki YAGINUMA, Yoshiki SUGA, and Ryo YAMANAKA****Abstract:**

Understanding the actual condition of tourist' travel behavior is important for mitigating tourist congestion and marketing purposes. Typical travel survey methods have practical difficulties (e.g. necessity of staying at a certain period of investigation) for fully uncovering tourists' travel behavior. In this study, we extracted unique identifiers of Wi-Fi packets which presumably be from tourists in Okinawa Main Island by focusing on the entrance information about the entry into the islands (e.g. cruise ship terminal users, domestic air terminal users, international air terminal users and, low-cost career terminal users). After appropriately conducting the data cleaning, we analyzed tourists' travel behavior mainly in terms of travel flow patterns across different entry points into the island. Through the data analysis, it became clear that tourist' travel behavior is significantly different by means of transportation into Okinawa Main Island. Furthermore, we have confirmed the possibility of fusing Wi-Fi based tourist excursion data and probe-based vehicle trajectory data that can reveal the whole travel patterns of each tourist, though its matching rate is not enough large at present.

**Keywords:** Wi-Fi packet sensor, tourists' travel behaviorContact Address: **Daisuke KAMIYA***Faculty of Engineering, University of the Ryukyus**Senbaru 1, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan*

TEL: +81-98-895-8653

FAX: +81-98-895-8677

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