

# 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

小林 巴奈<sup>1</sup>・福田 大輔<sup>2</sup>・中西 航<sup>3</sup>・内田 賢悦<sup>4</sup>・  
浅田 拓海<sup>5</sup>・有村 幹治<sup>6</sup>・菅 芳樹<sup>7</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社NTTデータ (〒135-0061 江東区豊洲3-3-3豊洲センタービルAネックス)

E-mail: kobayashihna@nttdata.co.jp

<sup>2</sup>正会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 (〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1)

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

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

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

<sup>4</sup>正会員 北海道大学 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: uchida@eng.hokudai.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元27-1)

E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元27-1)

E-mail: arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>7</sup>非会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)

E-mail: suga@refrec.jp

北海道のような広域エリアで長期に渡る観光周遊行動を把握するにあたり、アンケートやプローブパースンのような調査方法はコストやデータの代表性の観点から制約が大きい。本研究では、長期・広域で交通行動データの収集を効率的に行うことが可能なWi-Fiパケットセンサーを観光施設や交通結節点等に一定期間配置して道内観光客の周遊データを収集した。その基本特性を把握した上で、観光客の周遊行動モデルを構築した。さらに、モデルによる観光客の周遊行動の現況再現性を確認した上でシミュレーションを実行し、観光客の集中が起きやすいエリアにおける需要分散施策の影響分析を行った。これにより、Wi-Fiパケットセンサーの観光交通調査・周遊行動分析に一定程度の適用可能性があることを確認した。

**Key Words:** *tourist travel behavior, Wi-Fi packet sensing technology, travel survey method, destination choice model, duration model*

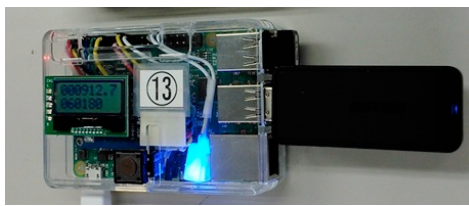
## 1. 本研究の背景と目的

### (1) 研究の背景

観光目的の旅行者が行う周遊行動の分析（観光周遊行動分析）は、交通計画においては「非日常交通分析」として分類され、1980年代より注目され始めた。当時は、自家用車による観光が主流となり、観光地への幹線道路や観光地域内の道路において深刻な渋滞が発生し、駐車場不足も顕在化していた。このような問題を緩和する道路整備などの交通計画や地域開発のため、観光周遊行動分析に関する研究が主に進められてきた<sup>1)</sup>。人口減少期に入った現在の我が国において、観光道路の建設などの社会基盤整備を行う場面は少なくなりつつあるが、他方で、観光地の活性化や観光客の満足度向上のための多様

な施策を計画することが求められるようになりつつある。こうした施策を検討する際に、施策の対象要素（時間や魅力度等）を考慮した観光周遊行動モデルを構築し、現実の観光周遊行動を適切に表現したモデルを用いたシミュレーションを行うことで、当該施策がどのように影響するのかを予測することができる。観光客の実際の周遊行動特性を踏まえたモデル化を行い、観光地における交通流動を把握することは、依然として重要であると考えられる。

本研究では、長期かつ広域エリア間の周遊が多く行われる観光地である北海道を研究対象とする。北海道には有名な観光スポットが多く点在しているため、観光客は比較的長期間滞在し、複数の観光地を訪れるため、長期・広域に渡り周遊していることが多い。また、北海道



WifiScanner

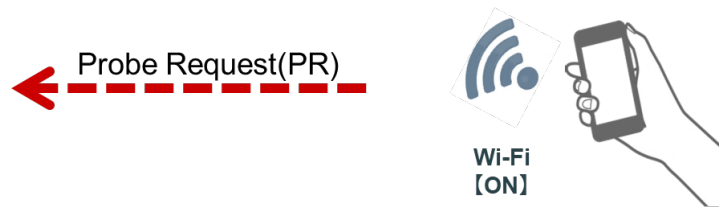


図1 Wi-Fi パケットセンシングを用いた行動データ収集原理

では、外国人観光客の拡大を目指した計画策定や、観光周遊ルートの推奨など、積極的に観光産業振興の加速に向けた取り組みを行っている。さらに、アジア諸国の観光意識の高まりや、2020年の東京オリンピック開催、北海道新幹線の延伸など、様々な要因が重なり合い、今後も北海道観光客は増加することが予想されている<sup>2)</sup>。

北海道への観光客は夏季にピークを迎え、特に、ラベンダー園が有名な富良野エリアにはラベンダーの見頃を迎える7月に観光客が集中する<sup>3)</sup>。毎年、ラベンダー観光期に入ると、多くのラベンダー園を有する富良野市や中富良野町などで、有名観光スポットの駐車場は満車になり、その駐車場待ち列による深刻な渋滞が発生している。観光地で発生する渋滞は、観光客の観光スケジュールを不確実なものとし、訪問箇所を減少させ、渋滞待ちによる不快感を与えるなど、主要観光地において対策を講じる必要のある問題である。

## (2) 研究の目的

観光周遊行動モデルを構築するためには、観光客の行動実態が把握できるデータが必要である。従来は、質問紙形式のアンケート調査やインタビュー調査が主流であった。しかし、これらの調査で十分なサンプル数を集めるためには、たとえ観光地入込型の調査を行っても多大な人員とコスト、時間を要してしまう。また、得られる情報も、被調査者の記憶に依存したものであり、正確な観光実態を捉えることができない等、断片的かつ不正確なデータとなる場合が多い。

本研究では、Wi-Fi パケットセンサーを用いた観光交通調査（以下、Wi-Fi 調査<sup>4)</sup>）を実施し、取得したデータを用いて観光客の周遊行動分析を行う。Wi-Fi 調査は、従来の交通調査手法のようなある調査目的のもとで実施される交通調査とは異なり、パッシブなデータ獲得手法である。パッシブ型調査は、被調査者が特定の調査のために特別な対応を行うことなく、通常通りの行動をしているだけで当該被調査者の行動データが得られるような調査である。Wi-Fi 調査は従来の交通調査と比較して、以下の点で優れていると考えられる：1) Wi-Fi 機器を設置するだけで自動的にデータ収集ができるため、サンプリングが容易であること；2) 従来調査よりも低コストで

あること；3) 通信モジュールを導入することでリアルタイムにデータを転送可能であること；4) 観光客の記憶に依存せず、高い精度で行動データを収集可能であること。特に、今回の調査対象地である北海道においては、複数日に渡って比較的広範囲を周遊する観光客が多いため、従来型の交通調査の実施には大きな困難が伴うことから、Wi-Fi 調査の利点が十分に発揮できると期待される。

以上より、本研究では、Wi-Fi データを用いて北海道観光客の観光特性を明らかにする基礎分析を実施した上で、対象地域における観光周遊行動モデルを構築し、混雑緩和のための適切な観光施策を評価することを目的とする。これらの分析結果より、Wi-Fi パケットセンサーをはじめとする多様な ICT デバイスの観光交通行動分析への適用可能性について検討する。

## 2. Wi-Fi パケットセンシングによるデータ収集

### (1) Wi-Fi 調査の手法と原理

本 Wi-Fi 調査には、図 1 に示す“WifiScanner”（株式会社地域未来研究所製）を用いる。WifiScanner は、無線 LAN（IEEE802.11 規格）デバイスを搭載したスマートフォン等の情報機器から断続的に送出される、周辺に接続可能な Wi-Fi アクセスポイントがないかどうかを定期的に探索するための管理パケット（Probe Request : PR）を収集する。WifiScanner は、オペレーティングシステムとして RaspberryPi2 を用いることで小型化を実現し（本体：約 2cm×6cm×10cm）、多様なインターフェースを搭載しているため、接続可能な周辺機器も多い。Wi-Fi アンテナモジュールを実装することで、全方位から比較的高感度（最大で半径 500m 程度）に滞在する情報機器からの PR を収集することができる。PR は、数秒～数分間隔で発信され、発信機器固有の識別子である MAC アドレスや、PR 受信時刻、電界強度、チャンネルなどの情報が含まれている。この WifiScanner を調査対象地域内の複数地点に設置し、各地点でデータを収集して、それらを統合したデータ解析を行うことで情報機器保持者の空間的な流動（どこからどこに移動したか）・分布（どのくらいの期間その場所に滞在したのか）等の情報を把握することが可能となる。また、記録する PR には、直

表 1 調査機器設置施設の一覧

機器 ID	市町村	施設名称	エリア 分類
1	富良野市	富良野ナチュラルックホテル	3
2	上富良町	ラベンダーオーナー園	2
3	北広島市	高速・輪厚 PA 上り	5
4	北広島市	高速・輪厚 PA 下り	5
5	砂川市	高速・砂川 SA 下り	7
6	砂川市	高速・砂川 SA 上り	7
7	江別市	高速・野幌 PA 下り	6
8	江別市	高速・野幌 PA 上り	6
9	岩見沢市	高速・岩見沢 SA 下り	6
10	岩見沢市	高速・岩見沢 SA 上り	6
11	占冠村	高速・占冠 PA 下り	4
12	占冠村	高速・占冠 PA 上り	4
13	三笠市	道の駅・三笠	6
14	滝川市	道の駅・たきかわ	7
15	旭川市	道の駅・あさひかわ	1
16	上富良町	フラワーランドかみふらの	2
17	富良野市	カンパナナ六花亭	3
18	富良野市	富良野チーズ工房	3
19	富良野市	ラベンダーの森ハイランドふらの	3
20	千歳市	新千歳空港・トヨタレンタカー	5
21	千歳市	道の駅・サーモンパーク千歳	5
22	砂川市	砂川ハイウェイオアシス	7
23	南富良町	道の駅・南ふらの	4
24	富良野市	五郎の石の家	3
25	富良野市	フラノマルシェ	3
26	旭川市	旭山動物園	1
27	美瑛町	道の駅・びえい丘のくら	2
28	美瑛町	四季彩の丘	2
29	中富良町	中富良野町営ラベンダー園	3
30	旭川市	旭川空港・トヨタレンタカー	1
31	芦別市	道の駅スタープラザ芦別	7

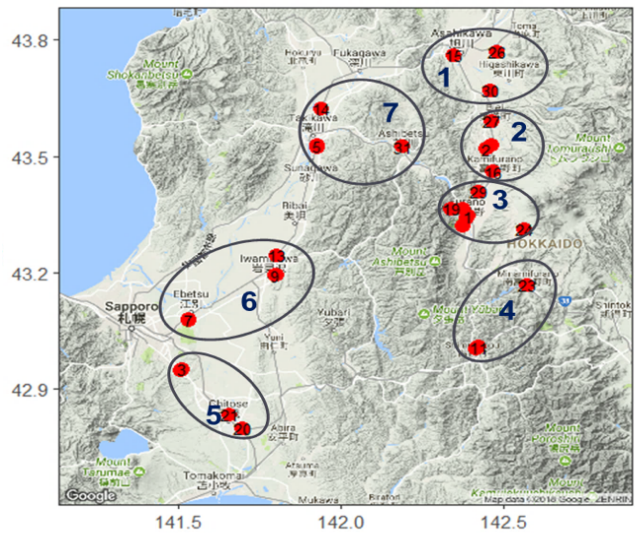


図 2 調査対象地域 (赤丸は機器設置箇所, 楕円はエリア分類)

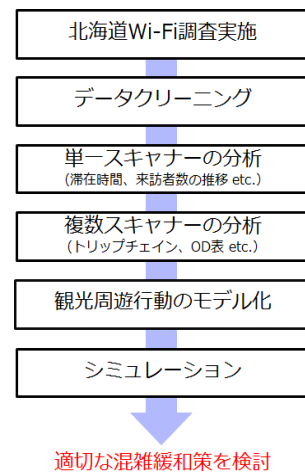


図 3 分析の流れ

接個人を特定する情報は含まれないが、プライバシー保護のため、受信した MAC アドレスを一方向ハッシュ化処理によって匿名化し、元情報の復元を困難とする処理がなされている。

(2) 北海道Wi-Fi調査の概要

2017年6月21日から2017年7月23日の約1か月間(33日間)にわたり、北海道札幌・富良野・旭川エリアで調査を実施した。北海道・富良野地域は、7月にラベンダーの見ごろの時期を迎え、毎年多くの観光客が訪れる。そこで、繁忙期に入る前の6月末から、繁忙期の7月末までの約1か月間を調査期間として設定した。調査期間中、表1及び図2に示すように、調査対象エリア内の道の駅、SA/PA、観光施設などの計31箇所に計41個のポケットセンサーを設置し、データを断続的に取得した。本調査では、観光客が多く来訪し、ラベンダーの見ごろには混雑が深刻となる富良野エリアには、重点的に機器を設置し、ラベンダー園を訪問する観光客のデータを捉えることを企図した。また、北海道はレンタカー

での周遊が多いことから、新千歳空港及び旭川空港付近のレンタカー支店にも機器を設置した。例えば、レンタカー支店で最初に観測された時刻は、レンタカーを借用した時刻と、同様に、最後に観測された時刻は、レンタカーを返却した時刻とみなすことができる。このようなPRの最初と最後の間隔が複数日に渡って観測されたIDは、観光客である可能性が極めて高いと考えられ、観光周遊分析を行うにあたり、周遊行動の始点と終点を明確に判別することが可能である。

(3) 分析の流れ

観光周遊分析の流れを図3に示す。概説したように、まず、約1ヶ月間の北海道Wi-Fi調査を実施し、今回の分析に用いるデータを収集する【北海道Wi-Fi調査実施】。次に、調査で収集した元データには、観光客のものではない様々なノイズとなるデータが含まれるため、不要なデータの除去を実施する【データクリーニング】。そして、各地点に設置した機器から得られたWi-Fiデー

データをそれぞれの単一地点ごとに集計することで、来場者数(混雑度)や滞在時間などを推定する【単一スキャナーの分析】。単一スキャナーによる分析後、設置された複数機器のデータを集約して、観光客の空間的な流動を把握をする。複数の機器から得られたデータを用いることで、同一のIDが複数地点で観測された場合、ODやトリップチェーンを把握することができる【複数スキャナーの分析】。このような基礎分析を行い、北海道観光客の基本的観光特性を明らかにした上で、観光周遊行動を表現するモデルを構築する【観光周遊行動のモデル化】。最後に、推定されたモデルを用いて適切な混雑緩和策の提案のため、シミュレーションを実施し、対象地域に適切な混雑緩和策の検討を行う。

#### (4) データクリーニング手順

本研究では、収集した全ての Wi-Fi データから観光客の特性を示すデータのみを抽出するために、いくつかの仮定を設けながらデータクリーニングを行った。設置された Wi-Fi パケットセンサーは、半径数百メートル内に存在するスマートフォンなどの通信機器から送出される PR を受信するため、通行人などの観光客ではない人が保持する通信機器からのデータも集めてしまう。また、各観光地には、従業員、固定固有機器(観光施設に置かれているノートパソコン等)も存在しており、それらの主体からの PR も収集してしまう。以上より、Wi-Fi 調査で収集した元データから通行人、従業員、地元住民によるデータ等を除去する必要がある。

そこで、本研究では図4に示す手順でデータクリーニングを行った。ここでは、PRを受信した固有なMACアドレス(ID)数を“ユニークID数”，また、各地点における各ユニークIDの観測期間の長さ、つまり最終観測PR時刻と初回観測PR時刻の差を“滞在時間”とする。具

体的なクリーニング手順は以下の通りである。

- ①同一端末からのリクエスト発信時刻が2秒以内に複数回行われている場合は、1回のリクエストとみなす。
- ②機器設置施設の営業時間内のみ観光客が来訪するという仮定の下、営業時間外にPRを送出している端末からのPRを除去する。また、各施設において滞在時間の最大値を設定し、その最大滞在時間以上その施設でPRが観測された場合のデータを取り除く。
- ③トリップチェーンデータを抽出するため、全ての機器設置地点のデータを統合し、時系列順に並べる。
- ④北海道における外国人観光客の滞在日数は、4泊5日が最も多く、長期滞在者が多いため、観光客の最大観測期間を7日と仮定し、7日以内のデータのみを抽出する。

また、本研究では、個人の全観測期間のうちの最初と最後のPRが空港レンタカー支店に設置した機器で観測されたデータを抽出し、これを“レンタカー始点発着データ”と呼ぶこととする。本調査では、対象エリア内の2つの空港(旭川空港・新千歳空港)周辺にあるレンタカー支店に機器を設置した。レンタカー支店発着データを使用することで、各個人の調査対象エリア内における総滞在時間を推計することが可能となり、今回の観光周遊モデル構築の際に有用となる。レンタカー支店発着データを抽出したところ、トリップ数は6,649となった。

(図4)さらに、対象地域でのエリア間流動に着目するため、機器設置地点間の周遊ではなく、機器設置地点を7つの広域エリアに分類し、それらのエリア間の移動を集計した。今回の調査対象エリアにおいて、観光特性、規模、アクセス性を考慮して、図2のようにエリア分類を行った。上記のレンタカー発着抽出及びエリア分類実施後のデータを“観光客周遊データ”と称する。

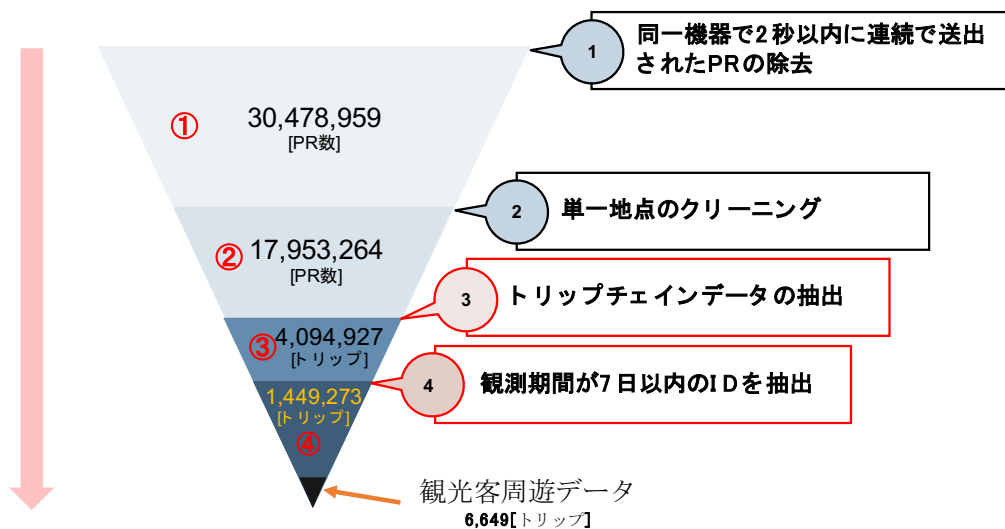


図4 観光客データ抽出のためのデータクリーニング手順

### 3. Wi-Fi データの基礎分析

#### (1) 単一スキャナーの分析

取得した Wi-Fi データを集計し、基礎分析を行った結果を以下に示す。

##### a) ユニーク ID 数

図 5 に、代表的な四施設において観測された MAC アドレスのユニーク ID 数を、日別で集計した結果を示す。各施設における日別ユニーク ID 数は、その施設で 1 日に観測された固有の MAC アドレスの総数を意味するため、これは Wi-Fi パケットセンシングに基づいて施設別日別の来訪者数を推定する場合の指標となる。図 5 の結果より、各地点では休日になると多くの人々が観光地に訪れることから、休日部分でピークを迎えていることが確認できる。また、旭山動物園、ハイランドふらの、富良野チーズ工房などの富良野エリアにおける観光施設では、6 月下旬から、ラベンダーの見頃である 7 月中旬、夏休み始まりの 7 月下旬へと徐々に来訪者数が増加する傾向がある。観測されたユニーク ID 数も多くの地点において、7 月末に近づくに連れて観測されるユニーク ID 数が増加していることが分かる。

##### b) Wi-Fi データの信頼性

今回の北海道 Wi-Fi 調査実施期間中に、北海道開発局旭川開発建設部により交通量観測調査（車籍調査）が実施された。以下では、7 月 16 日（日）に道の駅・南ふらので行われた車籍調査のデータを用いて、Wi-Fi データによる時刻別ユニーク ID 数（来訪者数）の信頼性の検討を行う。車籍調査では、道の駅南ふらのの駐車場に立ち寄った自動車類の台数を、調査員が直接カウントし、道の駅南ふらのへの立ち寄り台数を観測した。この観測値を、道の駅南ふらのへの来訪者数の真値とし、道の駅南ふらのに設置した Wi-Fi パケットセンサーから得られた時刻別ユニーク ID 数と、実際の来訪者数との関連性を確認する。図 6 に、7 時から 18 時までのユニーク ID 数及び立ち寄り台数の推移を示す。適切なクリーニング条件を設定した場合（Wi-Fi データから推定した滞在時間が 2 秒から 3 時間）、Wi-Fi データは、真値の増減の傾向とほぼ一致し、信頼性は高いことが確認された。

#### (2) 複数スキャナーの分析

各地点に設置した機器で観測されたデータを、MAC アドレスをキー情報として統合することで、個人の時間的・空間的な移動を把握することが可能となる。

表 2 に示す観測地点数別ユニーク ID 数より、1 地点のみで観測された MAC アドレスが全体の約 9 割を占めていることが分かる。多くの MAC アドレスが一箇所のみで観測され、周遊（2 地点以上の滞在）が観測されたのは、全体の 1 割程度であることが確認された。1 地点の

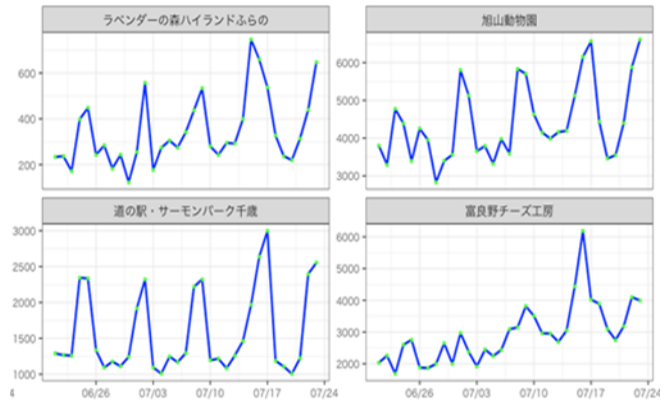


図 5 日別ユニーク ID 数の推移

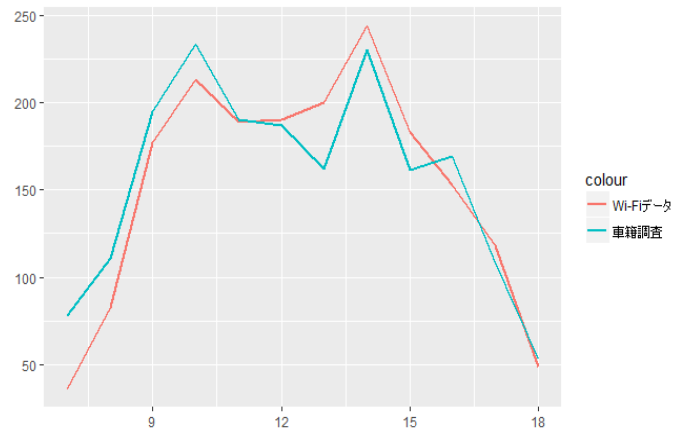


図 6 Wi-Fi 調査と車籍調査の比較（横軸：時刻，縦軸：カウント数）

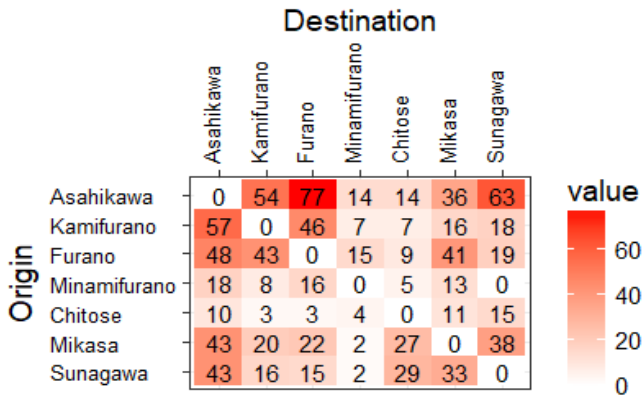
表 2 観測地点数別ユニーク ID 数

観測地点数	ユニーク ID 数	構成比
1	963465	90.570%
2	70019	6.5821%
3	22557	2.1205%
4	5932	0.5576%
5	1370	0.1288%
6	333	0.0313%
7	77	0.0072%
8	20	0.0019%
9	3	0.0003%

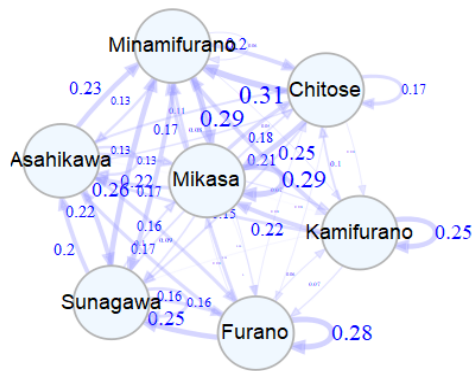
みで観測された端末所持者は、観光地を 1 箇所のみ訪れたとは考えにくく、機器を設置していない場所への観光や、機器設置施設に訪問していても PR が観測されなかった場合などが推察される。しかし、周遊を示しているユニーク ID 数としては、十分大きなデータ量であり、このデータを用いて観光客の周遊分析は十分行えると考えられる。

#### (3) 観光客周遊データの特性

本研究では、図 4 で示した観光客周遊データを用いて観光周遊行動モデルを構築するため、観光客周遊データの特性についても分析する。なお、クリーニング後のデ



(a)OD表



(b)遷移確率

図7 調査地域におけるエリア OD 表及び遷移確率 (比率)

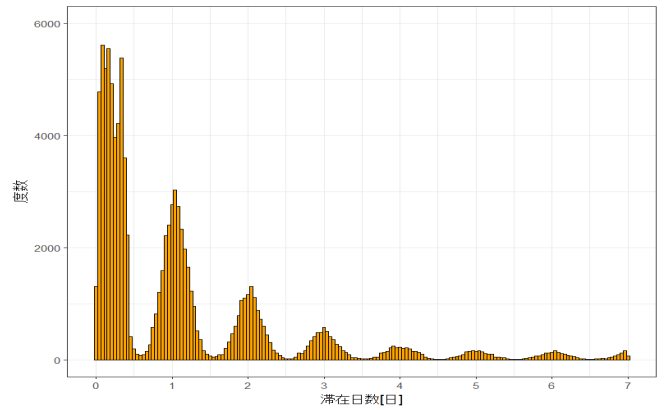
ータからレンタカー支店発着データを抽出し、機器設置地点を7エリアに分類した後のデータが観光客周遊データである。

a)OD 表、遷移確率

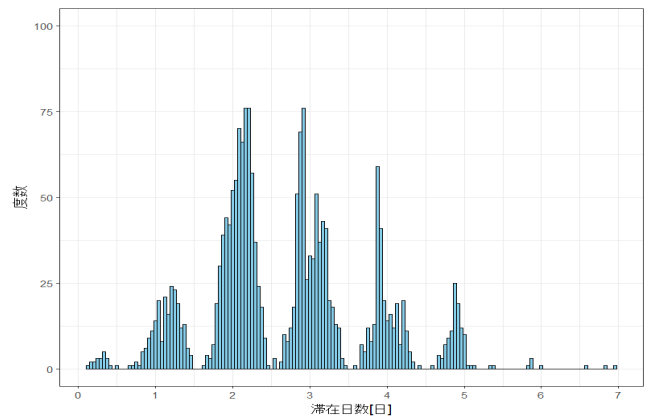
図7に、観光客周遊データのトリップチェーンから作成した OD 表と遷移確率を示す。OD 表と遷移確率より、各エリア間の相関性について把握することが可能になる。調査地域では、旭川エリア及び富良野エリアはどのエリアからであっても比較的選ばれやすいことが分かる。

b)滞在日数

図8に、クリーニングデータと観光客周遊データの滞在日数のヒストグラムを示す。(a)の単一クリーニング終了後のデータでは、1日以内の滞在が最も多く観測され、滞在日数が増えるにつれて観測数は、減衰していく。1日以内の滞在には、札幌等の道内からの観光客による日帰り観光や、複数日滞在したが部分的にしか観測されない場合などが混在していることが考えられる。他方、(b)の観光客周遊データでは、2~3日間の滞在日数が多く観測された来道国内観光客は2泊3日の旅行が最も多いことから<sup>2)</sup>、観光客周遊データは国内観光客の特性を反映できていると言える。



(a)クリーニングデータ



(b)観光客周遊データ

図8 滞在日数のヒストグラム

4. 観光周遊行動モデルシステムの構築

(1) 観光周遊行動モデルシステムのフレーム

本研究における道内観光客の周遊行動のモデリングでは、森地ら(1992)<sup>5)</sup>のモデルを拡張し、複数日に渡る周遊行動を表現できる周遊・滞在モデルシステムを構築する。第1章で説明したように、本研究では調査地域内の時空間的な混雑の変動を把握することを目標としているため、時間軸を導入して、どの地域にどの程度の混雑が発生するのかを推定可能なモデルシステムを設定する。

図9に本研究のモデルシステムの全体像を示す。本研究では、「第一目的地選択モデル」、「滞在時間モデル」、「周遊選択モデル」の計3つのモデルを構築し、これらを組み込んだモデルシステムを考案した。まず、第一目的地選択モデルでは、レンタカー借用支店を出発後、最初に訪問する目的地を選択する状況を記述する。さらに、その目的地に滞在する時間を滞在時間モデルによって決定する。滞在終了後、次の目的地に向かうか、その日の活動を終了するか、または活動を続ける場合はどのエリアを次の目的地として選択するのかを、周遊選択モデルを用いて決定する。各目的地における滞在時間は滞在時間モデルによって再度決定する。そして、周遊選択モデルにて“活動終了”が選択されるまで、周遊

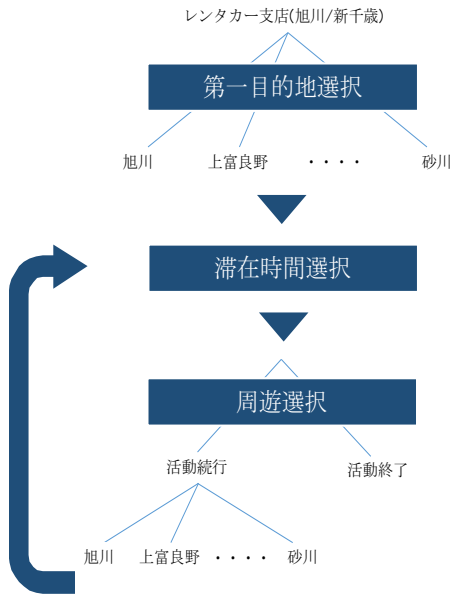


図9 モデルシステムの全体像

先の選択及び滞在時間選択を繰り返し行う。“活動終了”が選択されると、その日の観光を終了させ、最終目的エリアに宿泊したと仮定し、翌日の第一目的地を再び選択し始めるものとする。北海道内の観光周遊行動は複数日に渡る活動が多いため、活動日ごとに第一目的地選択モデル・滞在時間モデル・周遊選択モデルを適用し、活動最終日に“活動終了”が選択された場合には、すべての観光が終了したとみなし、各個人のすべての観光周遊行動を終了する。このように、本モデルシステムは、第一目的地の選択から最終目的地の選択まで、それぞれの局面における逐次的な選択の連続によって全体の観光周遊行動を構成している。

(2)第一目的地選択モデル

第一目的地選択モデルには、出発エリア*i*と目的エリア*k*間のOD間所要時間 $Time_{ik}$ 、施設数 $Spots_k$ 、シーズンダミー $Season_k$ を説明変数として与え、多項ロジットモデルを用いてモデル化を行うこととする。ここで、ラベンダーシーズンダミーは、ラベンダーの見頃を迎える7月8日から7月22日の富良野エリアおよび上富良野エリアへの訪問に対して与えている。

$V_k$ を個人が目的エリア*k*から受ける効用のうちの確定項とすると、以下のように特定化される。 $\beta_b$ は説明変数*b*のパラメーターを、 $ASC_k$ はエリア*k*の選択肢固有定数を表す。

$$V_k = ASC_k + \beta_{Time}Time_{ik} + \beta_{Spots}Spots_k + \beta_{Season_k}Season_k$$

以上の効用関数に基づいて、パラメーター推定を行った結果を表3に示す。“所要時間”のパラメーターは負の値を示し、出発地から移動に要する時間が長い目的エ

表3 第一目的地選択モデル推定結果

変数名	parameter	t-value	
ASC(旭川)	0	-	
ASC(上富良野)	-1.499	-9.805	**
ASC(富良野)	0.402	0.565	
ASC(南富良野)	0.500	0.457	
ASC(千歳)	-0.658	-1.427	
ASC(三笠)	-0.200	-0.450	
ASC(砂川)	0.833	0.871	
所要時間[分]	-0.015	-12.81	**
施設数	0.084	1.859	*
シーズンダミー(上富良野)	1.030	5.724	**
シーズンダミー(富良野)	0.528	3.511	**
初期対数尤度		-3074.54	
最終対数尤度		-2820.07	
尤度比		0.0828	
自由度修正済尤度比		0.0795	
サンプル数		1580	

リアは選ばれにくく、時間的に近いエリアが選ばれる傾向にあると言える。また、“施設数”のパラメーターは、正の値を示し、魅力のある施設が多いエリアが目的地として選ばれやすいという結果を得た。さらに、“シーズンダミー”は、上富良野及び富良野エリアの両者とも正の値を示し、ラベンダーシーズンにはラベンダー園のあるエリアを選択しやすいことが示された。また、富良野エリアのシーズンダミーより上富良野エリアのシーズンダミーの方が大きい値を示していることから、第一目的地としては、富良野エリアより上富良野エリアの方が選ばれやすいということが推察される。尤度比などの統計量に着目すると、本モデル推定の精度はあまり高いとは言えないが、各説明変数のパラメーターは有意な値を示し、直感と合うような符号を得たため、第一目的地選択を適切に表現できていると考えられる。

(3)滞在時間モデル

本モデルシステムにおいて、目的選択モデルによって選択された目的地における滞在時間を決定する段階で、滞在時間モデルは用いられる。本研究では、森地ら<sup>9)</sup>に従って、ワイブル分布を仮定したハザード関数による滞在時間モデルを構築した。ハザード関数は、生存時間解析で用いられる関数であり、本研究では、各エリアに設置されたWi-FiパケットセンサーのいずれかでPRが最初に観測されてから、最後に観測されるまでの時間差をそのエリア内での滞在時間とみなし、最後に観測された時刻に状態遷移が生じると仮定し、生存時間解析を適用した。ハザード関数は、ある時点*t*においてまだ生起していないという条件下、次の瞬間に事象が生起するという条件付き確率密度を意味し、以下の式で定義される。ここで、ハザード関数を*h(t)*、時間*t*から*dt*の間に状態遷移する確率を $P(t \leq T < t + dt)$ とする。

$$h(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + dt \mid T \geq t)}{dt}$$

また、 $t$ までに状態遷移を起こす確率を $F(t)$ 、その確率密度関数を $f(t)$ 、 $t$ においてまだ状態遷移が生じていない確率を示す生存関数を $S(t)$ とすると、以下のような関係が成り立つ。

$$F(t) = P(T < t) = 1 - S(t),$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$$

本研究では確率密度関数 $f(t)$ にワイブル分布を仮定した。ワイブル分布は、観光地における滞在時間分布を適切に表現でき、さらに、滞在時間モデルに説明変数を導入することが可能となる。ワイブル分布を仮定した場合の確率密度関数 $f(t)$ およびハザード関数 $h(t)$ 、生存関数 $S(t)$ は、位置パラメーターを $\gamma$ 、形状パラメーターを $\rho$ として、以下のように表される。

$$f(t) = \gamma\rho(\gamma t)^{\rho-1} \exp(-(\gamma t)^\rho),$$

$$h(t) = \gamma\rho(\gamma t)^{\rho-1},$$

$$S(t) = \exp(-(\gamma t)^\rho).$$

本研究では、滞在時間に影響を与える要因として、目的エリア $k$ への到着時刻 $Arrival_k$ を説明変数に設定する。ここで、 $\alpha_0$ および $\alpha_1$ をパラメーターとして、位置パラメーター $\gamma$ は、以下のようにエリアに固有の説明変数を用いて構造化する。

$$\gamma = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 Arrivall_k).$$

ただし、旭川エリアの滞在時間分布は、短時間滞在型と長時間滞在型と考えられる二つの分布の山がデータより確認できた。そのため、旭川エリアは一つのワイブル分布のみですべての観光客の滞在時間を表現することは適切ではなく、二つのワイブル分布を用いて表現すべきであるため、旭川エリアの滞在時間分布にのみ複合ワイブル分布を仮定した。複合ワイブル分布は、分布1および分布2の混合率をそれぞれ $s_1$ 、 $s_2$  ( $s_1 + s_2 = 1$ )ととして、以下のように定式化できる。

$$f(t) = s_1\gamma_1\rho_1(\gamma_1 t)^{\rho_1-1} \exp(-(\gamma_1 t)^{\rho_1})$$

$$+ s_2\gamma_2\rho_2(\gamma_2 t)^{\rho_2-1} \exp(-(\gamma_2 t)^{\rho_2})$$

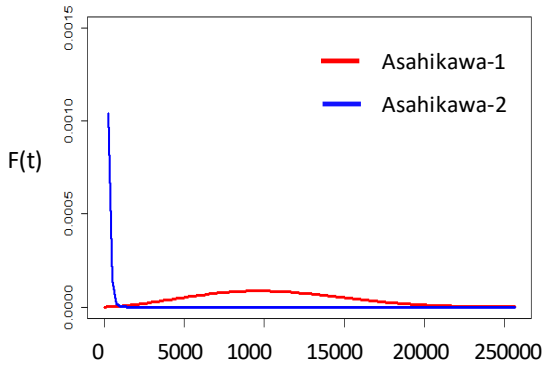
表4に各滞在時間モデルの推定結果を示す。表中のカッコ内の数字はz-valueで、上の値が推定値である。 $\rho$ は、形状パラメーターであり滞在時間分布の形状を表し、 $\rho > 1$ の場合、滞在時間は一峰性の分布、またハザード関数は $\gamma$ に関する増加関数になるため、時間が経つにつれて状態遷移が増加すると考えられる。また、 $0 < \rho < 1$ の場合は、時間とともに状態遷移が減少する単調減少型の分布となり、 $\rho$ が小さいほど分散が小さく、初期段階で状態遷移が多く行われることになる。 $\rho = 1$ の場合は、指数関数の滞在時間分布を得る。よって、パラメータ $\rho$ に着目すると、旭川エリア及び富良野エリアで $\rho > 1$ をとり、その他のエリアでは $0 < \rho < 1$ の推定結果を得た。つまり、旭川エリアと富良野エリアは長時間滞在、その他のエリアは短時間滞りの傾向があると示唆される。次に、 $\alpha_0$ および $\alpha_1$ は、位置パラメータ $\gamma$ を構成する要素であり、 $\gamma$ の値が小さいほど平均滞在時間が長く、滞在時間の分散も小さくなる。すべてのエリアにおいて、 $\alpha_0$ は負の値となった。また、旭川2以外のエリアで $\alpha_1$ は正の値を示したことから、到着時刻が早いと滞在時間は長く、到着時刻が遅くなるにつれて滞在時間は短くなるという、現実の観光行動に適合した結果を得たと考える。ここで特に、旭川エリアの滞在時間分布を考察する。

図10に、旭川エリアにおける到着時刻が9時及び15時の場合の滞在時間分布を示す。図中の赤線で描いた分布は、表4中の“旭川1”の分布、青線で描いた分布は“旭川2”の分布である。パラメーター推定値とび分布形より、旭川1は旭山動物園を訪問した長期滞在型のグループ、旭川2は道の駅あさひかわを訪問した短期滞在型及び全滞在の一部しか観測されなかったグループであると推測できる。このように、複合ワイブル分布を仮定することで、2つの滞在型グループの滞在時間分布を得ることができた。また、図10に示す旭川1の2つの分

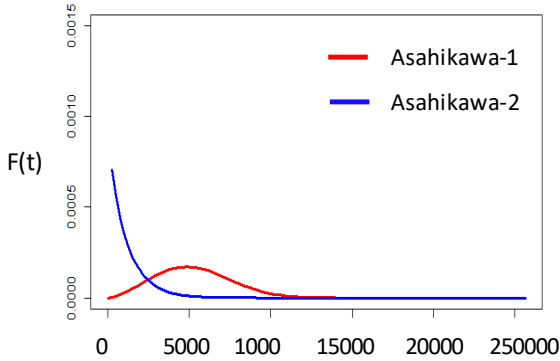
表4 滞在時間モデル推定結果 (カッコ内はz-value)

モデル	旭川1	旭川2	上富良野	富良野	南富良野	千歳	三笠	砂川
$\rho$ 形状	2.515 (24.29)	1.042 (9.48)	0.793 (5.46)	1.017 (0.44)	0.892 (2.14)	0.988 (0.32)	0.767 (7.70)	0.834 (4.81)
$\alpha_0$ 定数項	-10.262 (-85.68)	-5.636 (-8.69)	-9.280 (-18.40)	-9.310 (-32.46)	-7.680 (-13.06)	-7.330 (-22.39)	-8.980 (-30.09)	-8.510 (-27.88)
$\alpha_1$ 到着時刻	0.094 (9.60)	-0.044 (-0.94)	0.140 (3.74)	0.100 (4.87)	0.060 (1.36)	0.020 (0.94)	0.160 (7.44)	0.120 (5.31)
$s$ 混合率	0.864 (13.16)	0.136						
初期尤度	-5870.87		-2662.18	-3609.57	-1256.49	-2810.90	-3211.40	-2751.24
最終尤度	-5837.32		-2655.47	-3598.59	-1255.57	-2810.46	-3188.33	-2739.05
サンプル数	598		312	403	158	350	400	341





(a) 到着時刻 9 時の場合



(b) 到着時刻 15 時の場合

図 10 旭川エリアの滞在時間分布 (混合分布, 横軸: 秒)

布を比較することによって、到着時刻が遅くなるにつれて滞在時間が短くなる傾向を確認することができる。

#### (4) 周遊選択モデル

周遊選択モデルは、あるエリアでの滞在終了後、その日の活動を終了するか、次の目的エリアへ周遊を続けるのかを選択する「活動終了・続行選択モデル」と、続行する場合の次の目的エリアを選択する「周遊先選択モデル」から構成される。つまり、周遊選択モデルでは、図 11 に示すような段階的な意思決定過程を仮定し、これをネステッドロジットモデルによって表現する。上位の選択段階 (活動終了・続行選択) では、次の目的エリアを訪問することで期待される効用も含めて選択を行うために、ログサム変数を導入する。

ここで、1 日の活動を終了するか続行するかを決定する要因として、“余裕時間”を“活動終了”の効用関数に導入した。余裕時間は、その時刻においてその活動日中に観光できる余り時間とする。最終日は、レンタカーを返却する時刻が決まっているため、観光余裕時間を「レンタカー返却時刻-出発地での滞在終了時刻」とし、最終日以外は 18 時を観光終了時刻と仮定し、観光余裕時間を「18 時-出発地での滞在終了時刻」とした。また、訪問したことのあるエリアの影響を説明するため、周遊先エリアの効用関数に、そのエリアに既に何度訪問した

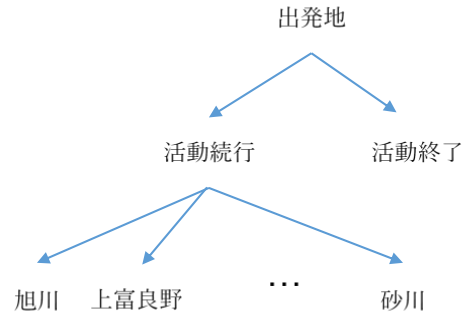


図 11 周遊選択モデルの構造

かを示す“訪問回数”を導入した。その他の説明変数は、第一目的地選択モデルの場合と同様である。

まず、周遊先選択の階層において、活動続行を選択したという条件下でエリア  $k$  から受ける効用の確定項を  $V_{k|c}$ 、 $\lambda$  をスケールパラメーターとすると、活動続行を選択したという条件の下でエリア  $k$  を選択する条件付確率  $P_{k|c}$  は次式で示すことができる。

$$P_{k|c} = \frac{\exp(\lambda V_{k|c})}{\sum_{k \in A} \exp(\lambda V_{k|c})}$$

次に、活動終了・続行選択において、個人が“活動続行”を選択する確率  $P_c$  は、活動続行を選択した場合に次の目的地から得られると期待される効用のログサム値を  $\bar{V}_c$ 、そのスケールパラメーターを  $\lambda$  とすると、以下の式で示される。

$$P_c = \frac{\exp(V_c + \bar{V}_c)}{\exp(V_c + \bar{V}_c) + \exp(V_{end})}$$

$$\bar{V}_c = \frac{1}{\lambda} \ln \sum_{k \in A} \exp(\lambda V_{k|c})$$

よって、個人が周遊先にエリア  $k$  を選択する確率  $P_k$  は、活動続行を選択したという条件の下でエリア  $k$  を選択する条件付確率  $P_{k|c}$  と活動続行を選択する確率  $P_c$  の積として次式で与えられる。

$$P_k = P_{k|c} P_c$$

周遊選択モデルの同時推定結果を表 5 に示す。第一目的地選択モデルでも導入した“所要時間”及び“施設数”のパラメーターは良好な結果となっており、ログサム変数も 0~1 の範囲に収まり妥当な結果となった。なお、富良野の“シーズンダミー”は正の値を示したものの、上富良野の“シーズンダミー”は負の値を示している。第一目的地選択モデルの推定結果を考慮すると、上富良野は第一目的地で選ばれやすいためそれ以降の目的地にはなりにくいと推察される。他方、富良野エリアは今回の研究対象地域の中心地に位置しており、ラベンダーの時期には周遊先として選ばれやすことが示唆される。また、訪問回数のパラメーターは負の値を示したことから、

表 5 周遊選択モデル推定結果

	Parameter	t-value	
ASC(旭川)	0	-	
ASC(上富良野)	-0.687	-2.934	**
ASC(富良野)	0.549	0.651	
ASC(南富良野)	0.338	0.269	
ASC(千歳)	-1.489	-2.408	**
ASC(三笠)	0.739	1.424	
ASC(砂川)	1.869	1.739	*
所要時間[分]	-0.015	-6.598	**
施設数	0.115	2.262	**
訪問回数	-2.600	-9.831	**
シーズンダミー(上富良野)	-0.381	-1.409	
シーズンダミー(富良野)	0.626	1.950	*
ASC(活動終了)	6.947	3.416	**
余裕時間	-0.441	-3.551	**
ログサム変数	0.936	3.641	**
初期対数尤度	-5323.40		
最終対数尤度	-1570.82		
尤度比	0.7023		
自由度修正済尤度比	0.7049		
サンプル数	2560		

一度訪れたエリアを選択しにくいという傾向が得られた。上位の活動終了・続行選択に着目すると，“余裕時間”のパラメーターの符号は負であり，余裕時間が長いほど活動終了が選ばれにくいという実際の観光と合致する結果を得た。しかし，“活動終了”の定数項が極めて大きく，活動終了が選ばれやすいという結果になったことには，シミュレーションを行う際には留意する必要がある。

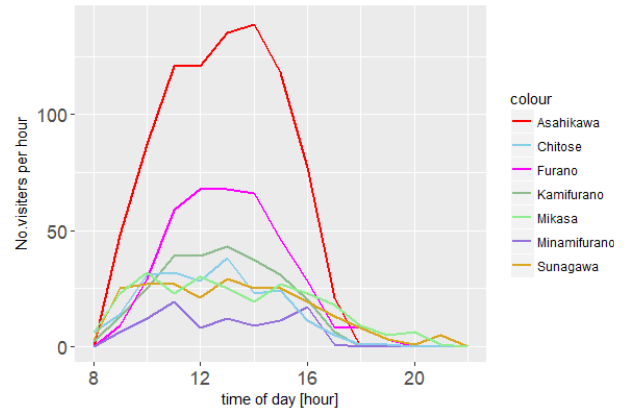
## 5. 混雑緩和策のシミュレーション

### (1) 現状把握

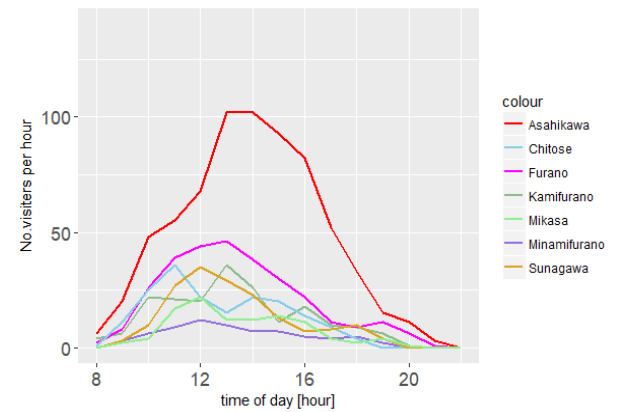
本研究では，推定したモデルシステムを用いてモンテカルロシミュレーションを実施し，研究対象地域内の混雑問題緩和に向けた施策を検討する。

ラベンダーシーズンにおける各エリアの時間帯別滞在人数について，図 12 に Wi-Fi データから集計した結果(a) 及びシミュレーションによる推定結果(b)を示す。ラベンダーシーズン中の滞在人数は，11 時～15 時の富良野エリアにおいてピークを迎え，混雑が発生していることが推察される。そこで，本シミュレーションでは，富良野エリアにおける 11 時～15 時に発生する混雑緩和に有効な解決策を講じることとする。

なお，図 12(b)に示す現状のシミュレーション結果では，全体として各エリアを訪問するトリップ数が大きく減少してしまっていることが確認でき，さらに，11 時～15 時に富良野エリアで発生する混雑が再現できていない結果となっている。このような結果が得られた要因はい



(a) 観測結果 (Wi-Fi データ)



(b) シミュレーション結果 (現状)

図 12 エリア別時間帯別滞在人数 (ラベンダーシーズン)

くつか考えられるが，大きな要因としては周遊選択モデルの推定結果にあると考えられる。表 5 の周遊選択モデル推定結果をみると，活動終了の定数項の値が大きいため，活動を継続せずに終了しやすいモデルが推定され，全体のトリップ数も現状させてしまっていると言える。このように，モデル構築にあたって本来は必要となる情報が欠如してしまうことは，Wi-Fi パケットセンサーを用いた交通調査手法の限界であると考えられる。しかし，富良野エリアにおける 11 時～15 時の観光客による大きな集中は再現できなかったが，シミュレーション結果では 13 時に観光客の集中を確認することができた。従って，本シミュレーションにおいても 11 時～15 時に富良野エリアにおいて混雑が発生しているとみなし，混雑緩和策の検討を実施する。

### (2) 混雑緩和策のシミュレーション

本研究では，富良野エリアにおける 11 時～15 時の混雑緩和を目標とした 2 種類の観光施策を講じた場合の感度分析を行った。

#### a) 混雑緩和策(1)：上富良野エリアの魅力度増加

富良野エリアでの混雑は，ラベンダー園を訪問する観光客による混雑と推測できるため，富良野エリアと同様

に多くのラベンダー園を有している上富良野エリアへ観光客を誘致することで、富良野エリアの混雑緩和が実現すると予測した。そこで、本シミュレーションでは、富良野エリアに隣接する上富良野エリアにおいて、来訪することで得られる上富良野エリアの魅力度を仮に1.2倍に増加させた場合の施策を分析する。

混雑緩和策(1)の推定結果(図13)より、富良野エリアへの訪問者を上富良野エリアに誘致することができ、時間的な集中が緩和されたことが確認される。また、表6より、混雑緩和策(1)は全体の周遊トリップ数を増加させるものの、上富良野エリア周辺の旭川エリア、富良野エリア、砂川エリアにおけるトリップ数を減少させる可能性があることが示唆される。

**b) 混雑緩和策(2)：富良野エリアのピーク時間帯外の魅力度増加**

混雑緩和策(2)では、富良野エリアでのピーク時間帯である11時～15時以外の時間帯において、富良野エリアの魅力度を1.6倍に増加させ、来訪客を時間的に分散させる施策を検討する。混雑緩和策(2)の推定結果を図14に示す、11時以前及び15時以降に富良野エリアに来訪する観光客を増加させていることが示され、全体として観光客の集中を分散できていると言える。しかし、13時頃の来訪者のピークは解消されず、全体として滞在者数が増加する結果となった。表6より、混雑緩和策(2)は、混雑緩和策(1)と同様に全体の周遊トリップ数を増加させた。さらに、富良野エリアに隣接する上富良野エリア、富良野エリアへのアクセス性の高い三笠エリアへの訪問が合わせて増加したことから、富良野エリアへ訪問する際に通過するエリアへのトリップ数が増加したことが示唆される。このように、混雑緩和策(2)を講じることにより、富良野エリアにおける観光客集中の解消、及び富良野エリアならびに上富良野エリア、三笠エリアへの訪問促進につながる事が、本シミュレーションによって示唆された。

**6. おわりに**

**(1) 本研究の成果**

本研究では、Wi-Fi パケットセンサーにより取得したデータを用いて、北海道観光客の基本的観光周遊特性を分析し、観光周遊パターン行動のモデル化を行った。本研究で得た成果は以下の通りである。

本研究では、計41台のWi-Fiパケットセンサーを北海道富良野・旭川・札幌地域に設置して、観光客の周遊行動を捉える調査を実施した。Wi-Fi調査で機器設置地点を工夫することで、観光客の周遊を詳細に把握できるデータを特定することが可能となり、例えばレンタカー支店に設置したことでレンタカー利用者の活動開始日及び終了日を把握することができた。また、Wi-Fiデータ取

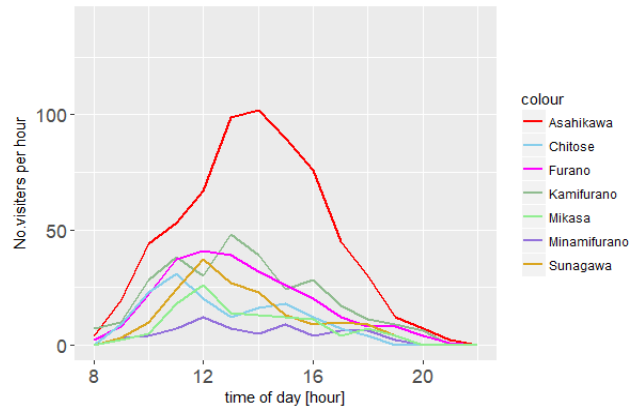


図13 混雑緩和策(1)のシミュレーション結果

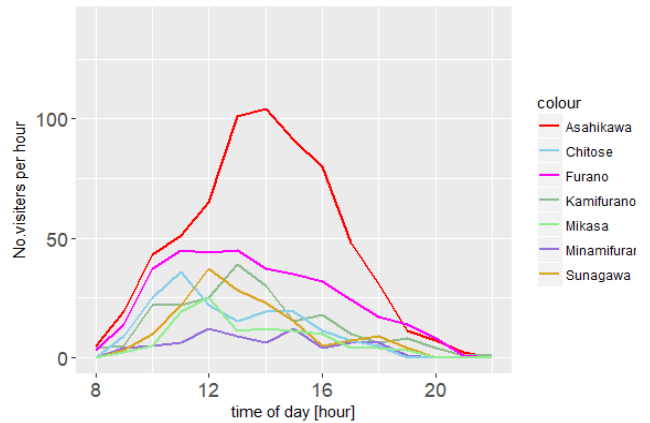


図14 混雑緩和策(2)のシミュレーション結果

表6 エリア別訪問者数の変化(シミュレーション)

	現状	混雑緩和策(1)	混雑緩和策(2)
旭川	246	228 (-7.3%)	239 (-2.8%)
上富良野	140	210 (+50.0%)	143 (+2.1%)
富良野	134	122 (-9.0%)	146 (+9.0%)
南富良野	61	55 (-9.8%)	58 (-4.9%)
千歳	150	132 (-12.0%)	149 (-0.7%)
三笠	95	99 (+4.2%)	96 (+1.1%)
砂川	126	119 (-5.6%)	±0
周遊トリップ数	952	965 (+1.4%)	957 (+0.8%)

得期間中に、実際の訪問者数や交通量等をカウントする調査を実施することで、真値データとWi-Fiデータの類似性が確認された。

次に、取得したWi-Fiデータに複数のクリーニング処理を施すことで、より現実の観光客の特性に即したデー

タの抽出を実施した。地点別の観測ユニーク ID 数を集計することで滞在人数(混雑度)を示す指標を推定し、ユニーク ID 別の観測期間長から滞在時間を推計した。さらに、複数地点に設置した機器のデータを集約することで、トリップチェーンを作成、OD を把握することができ、観光客の軸管的な流動を捉えた。

さらに、クリーニング後のデータから、今回は空港レンタカー支店発着データに絞り、エリアを7分割することで、観光客の広域エリア間の周遊行動に着目した。このデータを用いてモデルシステムを推定し、「目的地選択モデル」から観光客の観光地選択特性を把握し、「滞在時間モデル」から到着時刻の違いによる滞在時間の変化を視覚的に表現し、「周遊選択モデル」から活動終了選択及び周遊先選択の要因を明らかにした。

最後に、推定したモデルシステムを用いて、ラベンダーシーズンの富良野エリアにおいて時間的に集中していた観光客を分散するための観光施策を評価した。今回のモデリングに用いた様々な変数を変化させることで、多様な観光施策の影響を分析できることを確認した。

## (2) 今後の課題

### a) Wi-Fi データに関する課題

Wi-Fi データでは、例えば以下の情報が把握できない。

- ・センサーを設置していない場所への周遊
- ・Wi-Fi 機能をオフにしている機器
- ・複数台の通信機器を保有している人
- ・観測された地点間の移動手段
- ・観測された地点間の移動経路
- ・機器設置施設に来訪したが検出範囲外にいる場合
- ・端末所持者の個人属性
- ・観測地点での来訪目的

より発展した分析を行うには、これらの情報を補完できるようなデータ分析が求められる。また、今回のモデルでは、レンタカー支店発着のデータのみを使用しているが、実際はこれ以外のデータにも多くの観光客の特性を示すデータがあるため、レンタカー支店発着データ以外のデータも含めた分析が必要である。

### b) 観光周遊モデルの課題

本研究で推定したモデルは、逐次的な意思決定を仮定しているが、実際の観光客が逐次的な意思決定に基づいて周遊先を選択しているのかが不明な点は、本研究の課題として残される。また、モデルの推定結果に着目すると、サンプルの偏りやデータの不具合などにより、全体的にモデルの適合度は低かったため、モデルの再キャリブレーションを行うなど、より精度高くパラメーター推定を実施していくことが必要となる。

### c) シミュレーションの課題

今回実施したシミュレーションの現状再現性は、必ず

しも高いとは言えない。モデルの精度やデータの欠損などがシミュレーションに影響を及ぼしていることは既に指摘したが、“魅力度の設定”自体にも大きな課題が残されていると考えられる。今回は、観光地魅力度の代理変数として施設数を与え、それを定数倍することによって、対象エリアの魅力度を増加させたが、施設数が直接、魅力度を示す指標として設定することができるのかについての厳密な検証を行うことも必要である。

**謝辞** 本研究は、国土交通省・道路政策の質の向上に資する技術研究開発「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」（代表：福田大輔）からの支援を受けて行われた。また、調査にあたり、国土交通省北海道開発局建設部ならびに株式会社ドーコン交通事業本部より多大なるご支援を頂戴した。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002.
- 2) 独立行政法人国際協力機構, 公益財団法人はまなす財団: 北海道観光に関する基礎調査—ファイナルレポート, 2017.
- 3) 北海道経済部観光局: 北海道観光の現況, 2017.
- 4) 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, 土木計画学研究・講演集, Vol. 55, Paper No. 45-03, 2017.
- 5) 森地茂, 兵藤哲朗, 岡本直久: 時間軸を考慮した観光周遊行動に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.10, pp. 63-70, 1992.