

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

一井 啓介¹・寺部 慎太郎²・柳沼 秀樹³・康 楠⁴・田中 皓介⁵

¹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

²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

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

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:tanaka.k@rs.tus.ac.jp

観光地の活性化を図るにあたっては、観光客の回遊行動の把握が重要な要素となる。従来はアンケートによる調査やGPSを用いた調査により回遊行動を把握していたが、これらの手法ではリアルタイムでの観測や長期間にわたる調査は困難である。そのため、近年ではこれらに代わりWi-Fiを用いた調査が検討されている。本研究の目的は、Wi-Fiパケットセンサを用いて観光回遊行動を把握することである。まず、Wi-Fiパケットセンサデータの分析によって設置地点の時間帯別滞在人数、滞在時間分布などの指標を作成して観光回遊行動の実態を把握した。続いて、Wi-Fiパケットセンサデータから得られた遷移確率を用いて吸収マルコフ連鎖モデルを利用した観光回遊行動モデルを作成し、観光回遊行動の現状再現を行ったところ、十分な精度での再現が行えたことを確認した。

Key Words : *Wi-Fi, Travel behavior, Tourism attraction, Absorbing Markov Chains, duration time, cluster analysis*

1. はじめに

(1) 背景と目的

観光地の人流・交通流を把握することは、交通計画・都市計画・マーケティングにおいて重要な要素である。しかし、従来のアンケート調査などの実態調査では、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。そのため近年、固定カメラやGPSなどを用いて人流計測が行われている。しかし、GPSなどでは都市空間のような大きな領域をカバーすることは可能だが、建物内のような小さな領域の調査には不向きである。

また、観光地において、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は明確に把握されていない。

そこで、Wi-Fi登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Wi-Fiパケットセンサ(以下、Wi-Fiセンサ)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ことを目的とする。

(2) 本研究の位置づけ

Wi-Fiセンサを用いた観光行動に関する研究として、浅尾ら¹⁾のものが挙げられる。その研究では、京都府宮津市でWi-Fiセンサを用いた調査を実施し、観光客の行動把握のために、1)観光客と地元住人の分離、2)交通流動パターン(OD)分析ツールの開発、3)逆引きOD表の作成、4)流動分析ツールの作成を行い、リアルタイムな情報把握や、長期常時観測の集計結果を得ている。しかし、この研究では設置地点の滞在に関する分析は行われてお

らず、また回遊行動の定式化もなされていない。

そこで、本研究では Wi-Fi センサデータから設置地点の時間帯別滞在人数や滞在時間の分布を求め、設置した地点の来訪者の特徴を把握する。

更に、Wi-Fi センサが取得したデータから観光者の回遊経路を把握し、観光回遊行動を定式化することで、観光回遊行動の実態を明らかにする。

2. Wi-Fi センサの概要²⁾

Wi-Fi センサがデータを取得する仕組みを説明する。まず無線 LAN には「親機」と「子機」の 2 種類が存在し、親機をアクセスポイントと呼ぶ。アクセスポイントは子機と接続することでデータを中継する役割を持つ。アクセスポイントは Beacon パケットと呼ばれる、自身の存在を示す信号を定期的にネットワーク内のすべての情報機器に送信し、情報機器はその Beacon パケットを受信すると、自身が設定している SSID かどうかをアクセスポイントに対して問い合わせる。この問い合わせを「Probe Request(プローブ要求)」と呼び、もし同じであればアクセスポイントは返事をする。この返事を「Probe Response(プローブ応答)」と呼ぶ。

本研究で用いる Wi-Fi センサは、自身が親機となり Beacon パケットを送信することで、情報機器からのプローブ要求を受信し、データとして読み取っている。

プローブ要求は短くて 15 秒、長くて数分間隔(平均して約 1 分)で行われるが、このデータには情報機器の識別子である MAC アドレスも含まれており、これをキー情報としてデータの取得・分析を行うことで、情報機器利用者の空間的な流動・分布などの状況を把握できる。

但し、個人情報保護の観点から、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。このため、データとして得られる MAC アドレスは実際のもの



図-1 小布施町 Wi-Fi センサ設置地点

とは異なる値である。以降、MAC アドレスとは、この暗号化処理が施された MAC アドレスを示すものとする。

Wi-Fi センサは、半径 200m 程度の全方位に存在するスマートフォンなどの情報機器からデータを取得する。比較的高所(理想は天井高さ程度)に上から照射するような形で設置することで、より広い範囲でのデータ取得が可能である。

3. 観光回遊行動調査

本調査は Wi-Fi センサを用いた観光回遊行動データの取得を目的として、長野県上高井郡小布施町にて実施した。図-1 に示すように、中心街周辺 18 箇所、寺社周辺 4 箇所、道の駅周辺 2 箇所、温泉周辺 3 箇所の計 27 地点に Wi-Fi センサを設置し、センサ周辺に存在するスマートフォンなどの情報機器からデータを取得した。また、その他に小布施町内を走る周遊バス 2 台にも Wi-Fi センサを設置した。図中の青い線がその周遊バスの運行ルートを表している。

また、調査対象が観光客であることから、一般的に観光客は土日祝日に集中することや小布施町の繁忙期が秋であることを踏まえ、2017 年 10 月 21 日(土)~22 日(日)の 2 日間を調査日とした。

Wi-Fi センサの設置にあたり、2 章で述べたようにプライバシーに配慮がなされている機器であること、Wi-Fi をオフにすることで検知されなくなること、それでも不安な場合に調査実施者に問い合わせ可能であることを注意書きとして示したが、本調査に関する問い合わせは寄せられなかった。

4. Wi-Fi センサデータ

(1) 取得データの概要

Wi-Fi センサが取得したデータは、設置地点周辺にスマートフォンなどの情報機器が存在した時刻と MAC アドレスが記録された csv ファイルとして、各センサごとに出力される。しかし、このデータはセンサの電源が入っている間は常に記録されるため、調査日前後の設置後から回収までの時間のデータも含まれており、各センサデータ間で調査時間の差異が生じている。そこで、取得データのうち調査日である 2 日間のデータのみを抜き出すことで、全てのデータの調査時間を統一する。更に、各センサのデータを 1 つにまとめることで、Wi-Fi センサデータを表-1 のように整理した。ここで、No は Wi-Fi センサに割り振られた地点ごとの番号を示し、detetime はデータを取得した日時、MAC はプローブ要求を発し

表-1 Wi-Fi センサデータの整理例

No	datetime	MAC
24	11:25:13	00011c29260ecff0253e2afe5bd8ce0b
24	11:25:20	00011c29260ecff0253e2afe5bd8ce0b
24	11:25:20	00011c29260ecff0253e2afe5bd8ce0b
16	6:45:59	000169bf3d1eed5e45486089b2dee753
5	16:11:33	00018b738498e61ab55b2b24cb5b7548
5	16:11:39	00018b738498e61ab55b2b24cb5b7548
7	14:34:14	0001c94ed136429753692b50c083834e
23	6:58:02	0001d67f6220e44df44ceebae3e4cf92
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

た機器のMACアドレスである。また、データはMACアドレス、取得日時の順にソートしている。

(2) データのクリーニング

本章 1 節で得られたデータは、本研究の対象である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

本研究では、観光客の観光回遊行動を把握することが目的である。故に、Wi-Fi センサ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行われる観光客が多い。そこで、Wi-Fi センサデータのうち複数日に渡って取得された MAC アドレスのデータを除くことで、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

Wi-Fi センサ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、時間をにおいて 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。

(3) 扱うデータの限界

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情報機器に依存しているので、いくつかの限界がある。

まず、このような情報機器を所有していない人や、所有していても Wi-Fi をオフにしている人がいるということである。年々スマートフォン等の所有率は高くなって

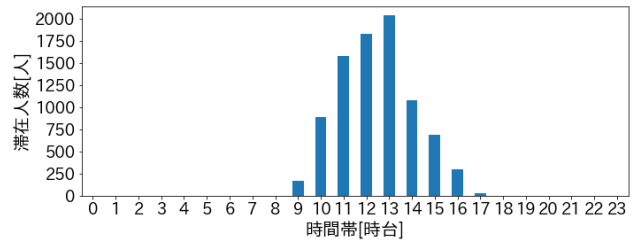


図-2 時間帯別滞在者数の例(北斎館)

表-2 時間帯別滞在人数比率の例

設置地点	時間帯[時台]									
	9	10	11	12	13	14	15	16	...	
桜井甘精堂	0.07	0.10	0.11	0.14	0.18	0.19	0.12	0.06	...	
傘風楼	0.03	0.03	0.07	0.12	0.19	0.32	0.13	0.04	...	
北斎館	0.02	0.10	0.18	0.21	0.24	0.13	0.08	0.03	...	
...	

いるとはいえ、Wi-Fi センサは情報機器を持っていない人あるいは Wi-Fi 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情報機器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機器や、沿道の建物内に存在する機器であっても、Wi-Fi センサまで電波が届く範囲内で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。後者の過大推計について、本研究では本章(2)に示すように、複数日で観測されたデータを除去することで補正を行っている。しかし、調査期間が 2 日間と短期間であったことから、この補正の効果については不安が残る。

従って、以降で分析する滞在者数などは、Wi-Fi センサ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。

5. 設置地点の分類

まず、バスを除いた 27 の設置地点について、各地点ごとの時間帯別滞在者数を求める。具体的には、0 時台から 23 時台までの 24 の時間帯について、その時間帯に存在した MAC アドレスの数を集計することで、その地点の時間帯別滞在者数が求まる。これを図-2 のようにグラフで表すことで、設置地点のピーク時間帯などが把握できる。

更に、時間帯の滞在者数を 1 日の総滞在者数で割ることにより求まる時間帯別滞在者数比率を算出し、全地点の値を表-2 のようなクロス表としてまとめる。この 0 時

台から 23 時台までの時間帯別滞在者数比率を説明変数としてクラスター分析を行い、設置地点の分類を行った。ここで、設置地点 j の時間帯 i における滞在者数比率 r_{ij} は、設置地点の各時間帯の来訪者数 V_{ij} を用いて式 (1) のように求められる。

$$r_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_{i=0}^{23} V_{ij}} \quad (1)$$

分析結果から得られる各クラスターの時間帯別滞在者数の平均値を図-3～図-6 に示す。これらのグラフと分類された設置地点の特徴から、各クラスターについて考察する。

図-3 のクラスターでは、グラフが正規分布に近い形になっており、昼時間帯に来訪者数のピークを迎えている。また、分類された地点は北斎館、小布施堂、竹風堂

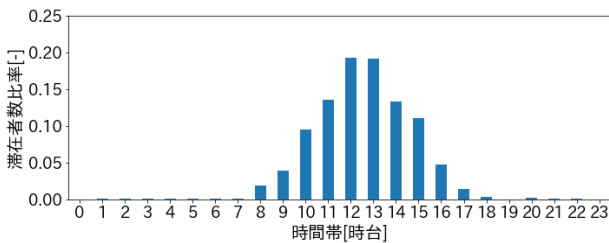


図-3 中心街の主要観光地

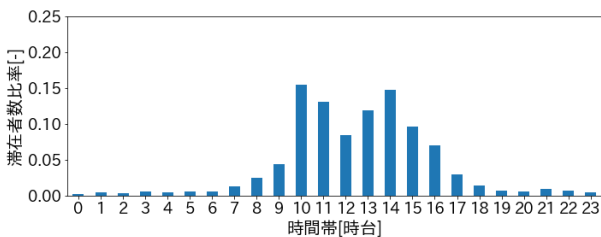


図-4 中心街外の主要観光地

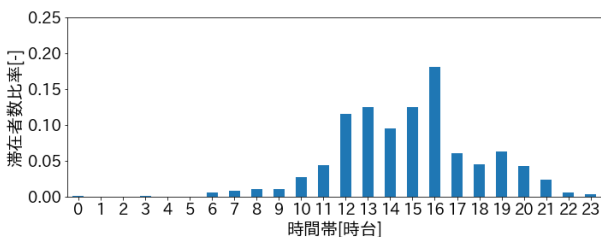


図-5 夕方以降も滞在が多い観光地

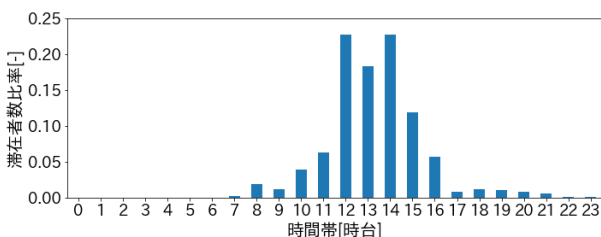


図-6 その他の観光地

など中心街に位置する観光地が多い。よって、このクラスターは「中心街の主要観光地」クラスターであると判断できる。

図-4 のクラスターでは、昼前後の時間帯、つまり主要観光地が来訪者数のピークを迎える時間帯の前後で、来訪者数のピークを迎えている。また、分類された地点は岩松院、道の駅など、中心街から離れた距離にある主要観光地が多い。よって、このクラスターは「中心街外の主要観光地」クラスターであると判断できる。

図-5 のクラスターでは、来訪者数のピーク時間帯が夕方と比較的遅く、また他のクラスターと比べ、夜間時間帯の来訪者数が多く存在する。更に、本調査の設置地点のうち 2 か所存在する温泉施設が共にこのクラスターに分類されている。よって、このクラスターは「夕方以降も滞在が多い観光地」クラスターであると判断できる。

図-6 のクラスターでは、昼～昼過ぎの時間帯で来訪者数がピークを迎えている。しかし、分類された地点はおぶせミュージアム、松村駐車場、浄光寺など共通項が薄い。よって、このクラスターは上記 3 つのクラスターのいずれにも分類されない「その他の観光地」クラスターであると判断できる。

以上の考察を踏まえ、設置地点を「中心街の主要観光地」、「中心街外の主要観光地」、「夕方以降も滞在が多い観光地」、「その他の観光地」の 4 つのクラスターに分類した。

6. 滞在時間の算出とその特徴

バスを除いた 27 の設置地点について、各地点ごとの滞在者の滞在時間分布を求める。具体的には、滞在者と判断された MAC アドレスのデータ取得時刻から MAC アドレスが設置地点に存在した時間を求めることで、滞在者の滞在時間を求める。これを図示すると図-7 のように表せ、設置地点の利用時間の分布が把握できる。

更に、各設置地点の滞在時間分布をもとに箱ひげ図を作成する。このとき得られる四分位点と中央値の分布を図-8 に示す。この図より、滞在時間の中央値、四分位点

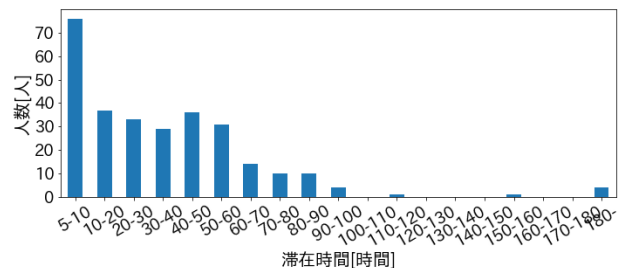


図-7 滞在時間分布の例(北斎館)

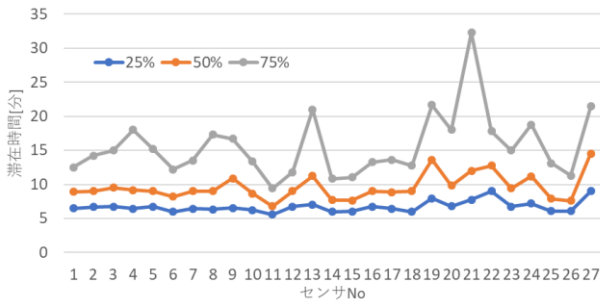


図8 滞在時間分布の四分位点と中央値

がほぼ全ての地点において 6~15 分の小さな値に集中していることがわかる。これは和菓子店や小径など短時間の滞在が一般的な地点だけでなく、温泉施設や道の駅など長時間の滞在が多いと考えられる地点でもこのような結果が得られていることを示す。このことから、今回得られた滞在時間分布は短時間の滞り者数を過大に評価してしまっており、算出された滞在時間は実際と異なる分布になっているという可能性が高い。このような結果が得られた原因として、滞り者であるか否かを判断する閾値の設定に問題があったことが考えられる。

今回の分析では、和菓子店、美術館、駐車場など設置地点の属性に関わらず、全地点共通で滞り者を判定する閾値を 4 章 2 節で述べたように設定した。このため、設置地点ごとの滞在時間の特徴などが考慮できておらず、また今回設定した閾値は長時間滞り者の判断が厳しいものであったため、特に駐車場や温泉施設などの長時間の滞在が多い地点において、実際と異なる結果が得られたと考えられる。

また、Wi-Fi センサデータの特徴として、Wi-Fi の届く範囲に限りがあること、情報機器側の Wi-Fi 受信設定の変更によってデータが途切れる可能性があることから、実際に比べ滞在時間が過小に評価されてしまう傾向がある。そのため、Wi-Fi センサデータには短時間の滞在データが非常に多く存在し、単に 5 分以上連続してデータが取得できた場合に滞在と判断した今回の設定では、十分な通過交通のクリーニングが行えず、短時間の滞り者数が過大に評価されてしまった可能性も高い。

Wi-Fi センサデータは個人属性などの情報を持たないため、利用目的などから算出された滞在時間が正しいものか判断することは適わず、算出結果についての評価が難しい。しかし、飲食店や温泉施設など、地点の特性に合わせてデータのクリーニングの条件を変え、滞り者の特性に合わせて滞在時間を算出することにより、より実際に近い滞在時間を算出できることが考えられる。

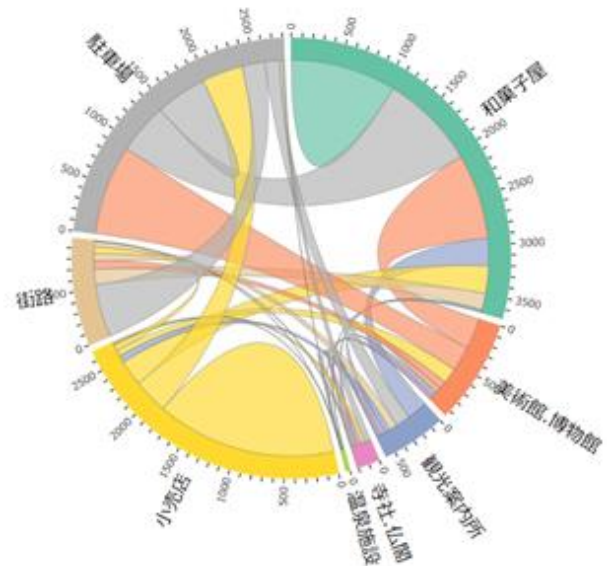


図9 業態別店舗間 OD 交通量の弦グラフ

7. OD 表と観光回遊行動モデルの構築

(1) OD パターンの考察

小布施町における観光客の回遊経路を把握するため、Wi-Fi センサデータから得られる個人の回遊経路を集計し、各トリップを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、OD 交通量の実数より特にその大小関係に興味があるため、弦グラフで表現する。和菓子屋や小売店など店舗を業態ごとにまとめ、業態別店舗間の OD を弦グラフに表したものを図-9 に示す。

この弦グラフは円弧の長さがその地点から出発する交通量(発生交通量)を表し、円弧をつなぐ弦の幅が大きいほど、その地点間の交通量(分布交通量)が多いことを示す。また円弧をつなぐ弦の色は、2 つの分布交通量のうち少ない方の出発地側の色に合わせてある。

この図では、小売店間や、和菓子屋と駐車場間の OD 交通量が多いことが視覚的に確認できる。前者は道の駅周辺の 2 地点が分類されており、この付近には高速道路が通っている。このため、中心街までは訪れない立ち寄り型の観光客が多く存在していることが考えられる。後者の和菓子屋は小布施町の主要観光地であるため、自動車で訪れた観光客が駐車場と和菓子屋間を移動するケースが多かったことが考えられる。

(2) 観光回遊行動モデル

更に、得られた OD 表から設置地点間の遷移確率や帰宅確率を求め、吸収マルコフ連鎖モデル³⁾を用いて 27 の設置地点の来訪者数を予測する観光回遊行動モデルを構築した。小布施町に訪れる観光客数を N 、小布施町内で回遊を開始する地点の選択確率行列(27×1)を E 、地点間

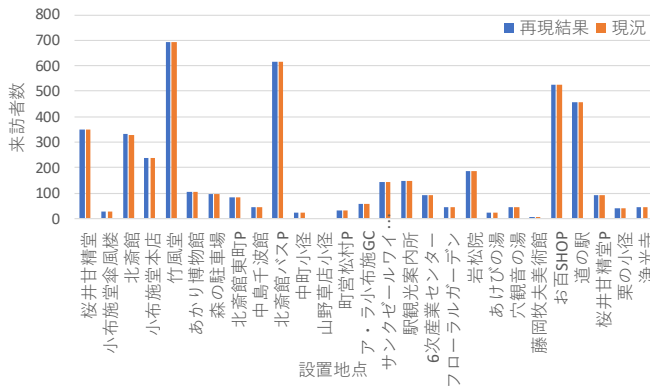


図-10 再現結果と現況の比較

の遷移確率行列(27×27)を Q とすると、各地点の来訪者数を表す行列 $V(27 \times 1)$ が以下の式(2)で表される。但し、 I は単位行列を表す。

$$V = N \times E \times (I + Q + Q^2 + \dots) \tag{2}$$

$$= N \times E \times (I - Q)^{-1}$$

ここで、各地点からの帰宅を含めた遷移確率行列を P 、各地点からの帰宅確率行列(1×27)を R とすると、 Q は以下の式(3)で表される要素である。

$$P = \begin{pmatrix} I & 0 \\ R & Q \end{pmatrix} \tag{3}$$

以上のモデルを用いて、調査日当日の小布施町における観光回遊行動の現況再現を行った。モデルから得られた再現結果と Wi-Fi センサデータの集計から得られた現況の来訪者数を比較すると、図-10 のようになり、ほぼ

正確な値で再現が行えていることがわかる。このことから、Wi-Fi センサデータを用いた観光回遊行動の把握に吸収マルコフ連鎖モデルを用いることは有意義であると言える。

8. おわりに

本研究では、Wi-Fi センサデータを用いて時間帯別滞在人数と滞在時間分布の2つの指標を分析することで、観光滞在者の実態把握に加え、Wi-Fi センサデータの特長なども明らかにした。更に、OD表を作成することで小布施町の観光回遊行動の実態を把握し、構築したモデルで観光回遊行動の把握が可能であることを確認できた。

今後は観光回遊行動モデルに説明変数を加えることで、地点間の道路整備などの政策に対する評価指標として活用されることが期待できる。

参考文献

- 1) 浅尾啓明・森本哲郎・望月裕洋・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.2104-2110，2016
- 2) ユークエスト株式会社：無線 LAN の基本とセキュリティ技術，<https://www.uquest.co.jp/embedded/columns/lan.html>，最終閲覧 2018.4.23
- 3) 佐々木綱：吸収マルコフ過程による交通量配分理論，土木学会論文集 1965 巻 121 号，pp.28-32，1965

(2018.4.26 受付)

UNDERSTANDING TRAVEL BEHAVIOR AMONG TOURISM ATTRACTIONS BY WI-FI SCANNER

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

Understanding travel behavior is an important factor for vitalize tourist spots. The investigation by the questionnaire and using the GPS are the conventional approach to understand the travel behavior. However, these techniques are difficult to observe in the real time and investigate for the long term. Therefore, the travel survey using Wi-Fi is considered instead of those techniques. On the basis of the above, understanding travel behavior using Wi-Fi scanner is the purpose of this study. At first, I analyzed Wi-Fi scanner's data and made indexes such as the duration time distribution and the number of visitors distribution according to the time for understanding travel behavior. Next, I made travel behavior model using Absorbing Markov Chains, and reproduced the present conditions of tourism attractions using the Travel Behavior Model and transition probability made from Wi-Fi Scanner's data. In result, I confirmed that it is able to reproduce with enough precision.