

Wi-Fiパケットセンサを用いた 時間分散を企図した観光行動分析

佐竹 克仁¹・宇野 伸宏²・中村 俊之³

¹正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市京都大学桂 C1-1-209)
E-mail:satake.katsuhito.46x@kyoto-u.jp

²正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市京都大学桂 C1-1-205)
E-mail:uno.nobuhiro.2v@kyoto-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学未来社会創造機構 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:tnakamura@mirai.nagoya-u.ac.jp

京都市では観光混雑の深刻化を受け、観光客の時空間的な分散施策が推進されている。より効果的な分散施策を提案するためには、観光客の周遊行動を把握することが有効であると考えられる。本研究ではWi-Fiパケットセンサにより得られた流動データから、観光客を時間軸上の特徴に着目して分類し、ピーク時間帯を避けた清水エリア訪問が可能である観光客層を特定することを目的としている。

行動変更を促す時間的な余裕のあると考えられる観光客は、結果的に既にピーク時間帯を避けて清水エリアを訪問している割合が相対的に高く、行動変更をする時間的な余裕がないと思われる観光客においてピーク時間帯に訪れる割合が高いことから、訪問時刻自体の変更を促すような施策が有効である可能性が示唆された。

Key Words: *tourist' excursion behavior, Wi-Fi packet sensor, nonhierarchical clustering, tourism demand management*

1. はじめに

観光は日本の成長戦略の一つの柱であり、国内有数の観光地である京都市においても2014年には「京都観光振興計画2020」¹⁾が策定され、様々な観光振興施策が実施されている。しかし、観光客の増加に伴いバスなどの公共交通の混雑、道路や歩行空間の混雑を始めとする種々の問題が深刻化しており、観光の満足度の低下だけでなく住民の市民生活の質の低下を引き起こしている可能性が高い。政府は2020年に訪日外国人旅行者数4,000万人などの目標に掲げており²⁾、今後ますますインバウンドを含めた観光客の増加が予想され、これらの問題が深刻化する懸念が生じている。

観光の満足度をできるだけ損なうことなくこの混雑問題に対処する方策として、観光客の時空間的な分散が考えられる。京都市においても、朝観光、夜観光など観光需要分散による混雑緩和が推進されているが、実際の観光客の周遊行動を定量的にかつ実際の行動パターンのレベルでは把握できていないのが現状である。観光客の周遊行動をより正確に把握することにより、さらに効果的な

混雑緩和施策の提案やその効果の検証が可能になると考えられる。

観光客の実流動を把握する方法として、本研究ではWi-Fiパケットセンサに着目する。Wi-Fiパケットセンサを利用した人口流動把握等についてはすでに複数の例がある。中西ら³⁾は沖縄・本部半島周辺の13箇所にWi-Fiパケットセンサを設置し、センサ間のODやトリップチェーンの推定を行っている。また伊藤ら⁴⁾は京都市の東山エリアに20個のセンサを設置して得られたデータから、系列パターンマイニングによって代表的な流動パターンを抽出している。しかし、これらの研究では捕捉されたセンサの順序から周遊パターンを決定しており、観測間隔はほとんど考慮されていない。市内の観光周遊行動を念頭におくと、観光客が訪れるスポットすべてにセンサを設置することは困難であるから、センサに捕捉されない移動や滞留も多数存在するといえる。すなわち、捕捉された順序が同じであっても直接その移動を行った場合と観測間に別の観光行動を行った場合とが考えられ、データから得られるトリップチェーンと実態が一致しない可能性がある。観測された時刻に着目することで、観

測間にどのような観光行動を行ったのかまでは把握できないとしても、別の行動が含まれるか否かを考慮することができる可能性がある。

そこで、本研究では Wi-Fi パケットセンサにより取得した人口流動データを用いて京都市における観光客の周遊行動を訪問時刻や滞在時間など特に時間の側面に着目して分析するとともに、京都市の中でも混雑の激しい清水寺や高台寺周辺（以降、「清水エリア」と称す）を訪れる観光客を対象として時間的な分散による混雑緩和の可能性について考察することを目的としている。

なお、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」に関する技術研究助成（「観光流動把握を目的とした交通流動推定システムの研究開発（研究代表者：宇野伸宏）」）の一部として実施している。

2. Wi-Fi パケットセンサによる調査・利用データ

(1) Wi-Fi パケットセンサの概要

近年の急速な通信機器の発達により、多くの人スマートフォンやタブレットなど Wi-Fi 機能を有する機器を持ち運ぶようになった。これらの機器は Wi-Fi 機能をオンにしているとアクセスポイントを探索するための Probe Request と呼ばれる管理パケットを送出しており、このパケットを受信・解析することによって交通流動を計測することが可能である。また、Probe Request には、原則として機器固有のアドレスである MAC アドレスが含まれており、複数箇所でのデータを統合し同一 MAC アドレスのデータを追跡することで滞留時間やトリップパターンの推定が可能である。Wi-Fi パケットセンサの仕組みや性能に関する研究としては望月ら⁵⁾や、大田ら⁶⁾などが挙げられる。

Probe Request 単体では個人を特定することはできないが、個人を特定できる情報と紐付けられた場合には個人の行動を追跡される恐れがある。本研究で利用するデータでは MAC アドレスを一方向ハッシュ関数により変換し匿名化した MAC アドレス（Anonymous MAC アドレス；以下 AMAC アドレスと記す）が記録されている。ハッシュ関数のシード値は週に一度月曜日の午前 0 時に変更されるため、これを超えて同一アドレスのデータを追跡することはできない点に注意が必要である。

(2) 調査の概要

本研究で使用するデータは、観光流動把握を目的とした交通流動推定システムの研究開発チーム、国土交通省近畿地方整備局による「京都エリア観光渋滞対策実験協議会」、西日本旅客鉄道株式会社の 3 主体が京都市内の

主要観光施設および鉄道駅等に計 39 台のセンサを設置し京都市全域における観光流動の計測を行って得たものであり、観測期間は 2018 年 11 月下旬ごろから 2019 年 2 月末までである。図-1 にセンサの設置箇所を記す。センサは京都市の主要観光地および鉄道駅を中心として配置されている。

(3) 利用データの概要

本研究の分析対象期間は 2018 年 11 月 26 日から 2019 年 2 月 24 日までの 13 週間（91 日間）とした。上記の期間に観測されたデータのうち、(1) MAC アドレスがスマートフォン等の方でランダム化されたデータ、(2) 1 つのセンサのみに捕捉されているデータ、(3) 最初の観測から最後の観測までが 5 分未満のデータは除去した。なお、(2) の捕捉センサの条件では、京都駅に設置された 9 つのセンサ、三条京阪に設置された 2 つのセンサ、祇園バス停に設置された 2 つのセンサはそれぞれ同一のものとして処理した。

また、各観光エリアを単位とした移動に着目するため近接しているセンサをまとめて表-1 に示すエリアを定義した。

表-1 エリアの定義

| エリア | センサ数 | 含まれるセンサ（括弧内の数字はセンサ数を表す） |
|------|------|----------------------------------|
| 嵐山 | 2 | 嵐山渡月橋, JR 嵯峨嵐山 |
| 円町 | 1 | JR 円町 |
| 祇園 | 4 | 八坂神社, 知恩院駐車場, 円山駐車場, 祇園バス停(2) |
| 清水 | 5 | 清水寺, 高台寺, 高台寺駐車場, 清水坂駐車場, 五条坂バス停 |
| 清水五条 | 1 | 清水五条 |
| 京都駅 | 9 | 京都駅の各センサ(9) |
| 銀閣寺 | 1 | 銀閣寺参道 |
| 三条 | 3 | 東山三条, 三条京阪（地下鉄・京阪） |
| 四条 | 4 | 錦市場, 先斗町, 京都河原町, 祇園四条 |
| 東福寺 | 2 | JR 東福寺(2) |
| 二条城 | 2 | 二条城, JR 二条 |
| 伏見稲荷 | 2 | 伏見稲荷大社裏参道, JR 稲荷 |
| 平安神宮 | 1 | 平安神宮 |
| 山科 | 1 | JR 山科 |

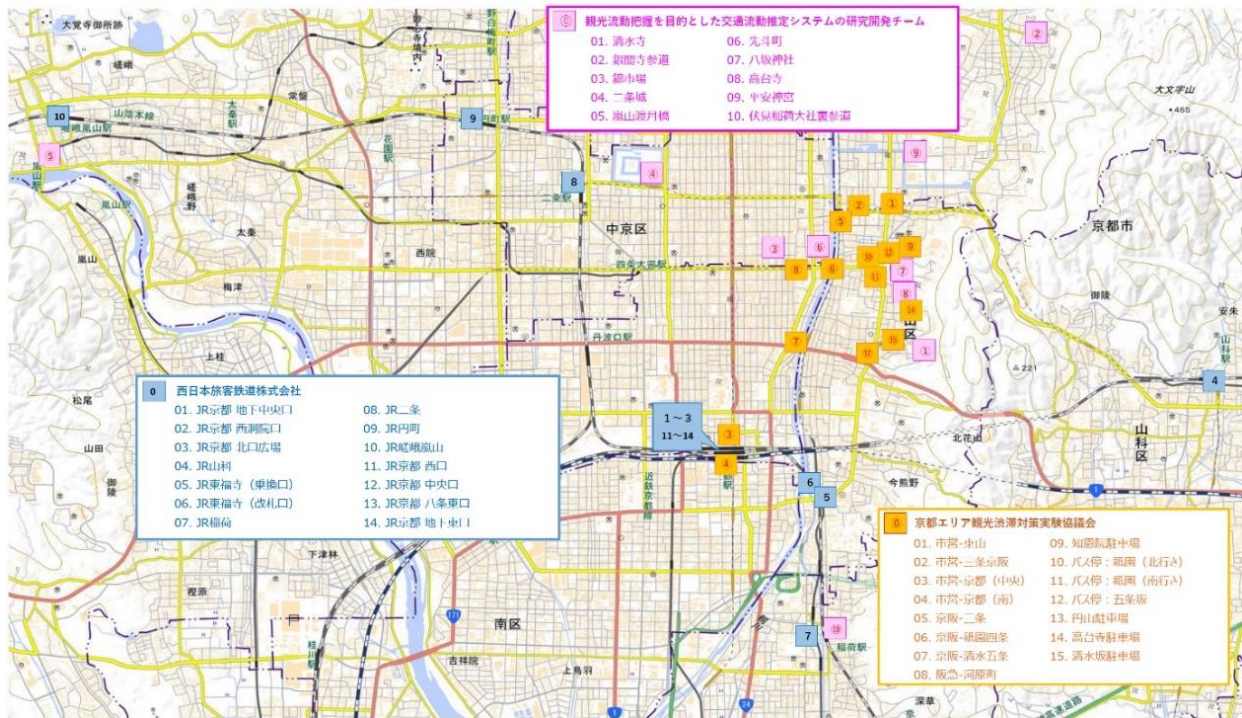


図-1 センサ設置箇所

3. クラスタリングによる観光客の抽出

Wi-Fi パケットセンサによって得られたデータには観光客だけでなく地域住民や就業者なども含まれているため、観光行動分析に先立って観光客データを抽出する必要がある。しかし、それらを直接的に判別できる情報は収集データに含まれていない。そこで観測数や観測時刻等の観測対象の行動特性を表す指標に着目し、k-means 法による非階層クラスタリングによって観光客と推定されるデータの抽出を行った。

(1) クラスタリングの方針

京都観光総合調査⁷⁾によると、京都市への観光客のうち7割が日帰りであり4泊以上する観光客は全体の1%程度である。そこで、本研究では捕捉日数が5日以上データは、京都市に居住もしくは通勤・通学等の目的で訪問する人のものであり、観光客の行動をあらすものである可能性が低いとして分析対象外とした。1週間のうちセンサに捕捉された日数が1日であるデータは観光客である可能性が高いと考えられるが、取得できているデータ項目が限られているため、データから統計的に判別することは困難である。一方、捕捉日数が2~4日のデータは観光客と観光客以外のどちらも一定数含んでいると考えられるが、複数日分の流動データが得られているため、そのデータから観光客らしさを判別できる可能性がある。

以上から、表-2のように捕捉日数が2日から4日のデータについてはクラスタリングによる観光客の抽出を行

い、捕捉日数が1日のデータについては、よりシンプルな抽出条件を設定したフィルタリングによって、観光客と想定されるデータを抽出するという方針を採用した。

表-2 捕捉日数による分類

| 捕捉日数 | 観光客らしさ | 取得データ量 | 分析方針 |
|-------|--------|--------|---------|
| 1日 | 高い | 少ない | フィルタリング |
| 2日-4日 | 中程度 | 多い | クラスタリング |
| 5日以上 | 低い | — | 除去 |

(2) クラスタリングに使用する指標

まず、今回の調査で設置された39個のセンサのうち、鉄道駅に設置されたものを駅センサ、それ以外のセンサを観光地センサと分類した。ただし、「JR 稲荷」、「JR 嵯峨嵐山」は主要観光地に近接している鉄道駅であるため観光地センサに含めた。今回の調査では観光地および公共交通機関に多くセンサが設置されているため、より多くのセンサに捕捉されたアドレスほどより観光客らしいと考えられる。特に観光地センサに多く捕捉されている場合は、京都市の主要観光地を周遊している観光客の可能性が非常に高いと考えられる。逆に朝夕を中心に駅センサのみに観測されているアドレスは昼間に京都の観光地を周遊しているとは考えにくく、通勤通学等の目的で駅を利用している人の可能性が高い。以上の考え方に基づき、表-3に示す各変数を用いてクラスタリングを行った。

表-3 クラスタリングに使用する変数

| 変数名 | 説明 |
|-------------------|--------------------------------------|
| 観測数の最大値／最小値 | 1日ごとの観測数の最大値および最小値 |
| 捕捉センサ数の最大値／最小値 | 1日ごとの捕捉されたセンサ数の最大値および最小値 |
| 捕捉観光地センサ数の最大値／最小値 | 1日ごとの捕捉された観光地センサ数の最大値および最小値 |
| 観光地センサ割合 | 滞在期間中に1度でも捕捉された観光地センサ数を総センサ数で除したもの |
| 昼間観測割合 | 滞在期間中の全観測のうち、午前10時から午後4時までの間に観測された割合 |
| 初観測時間 | 滞在期間中で、1日の最初の観測が午前9時以前であった日数 |
| 土休日日数 | 滞在期間のうち土曜・日曜・祝日の日数 |

(3) クラスタリング手法

前述の各変数を利用し、k-means法による非階層クラスタリングを実施した。クラスタリングは以下の手順により行った。

- 1) 主成分分析を実施、以降は主成分得点を利用。
- 2) エルボー法によるクラスタ数の決定
- 3) k-means++法による非階層クラスタリング

エルボー法とは式(1)で表されるクラスタ内誤差平方和(SSE値; Sum of Squared Error)のクラスタ数の増加によるSSE値の減少幅が小さくなる点を最適なクラスタ数とする方法である。ここに、 $C_k(k = 1, 2, \dots, K)$ はクラスタ、 μ_i はクラスタ C_i のセントロイドである。

$$SSE_K = \sum_{k \in K} \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_i)^2 \quad (1)$$

また、k-means++法はk-means法の初期値依存性の対策

として、2007年にDavid ArthurとSergei Vassilvitskiiによって提案された方法⁸⁾であり、初期値選択を以下の手順で行うものである。これにより、より離れたデータが初期値として選ばれやすくなる。

- 1) 1つ目のクラスタ中心 c_1 を全データ X からランダムに選択する
- 2) 各データ $x(\in X)$ と最も近いクラスタ中心 c_i の距離 $D(x)$ を計算する。
- 3) 新しいクラスタ中心 c_i を $x(\in X)$ から $\frac{D(x)^2}{\sum_{x \in X} D(x)^2}$ の確率で選択する。
- 4) 2), 3)をクラスタ中心 c_i が k 個選ぶまで繰り返す。

(4) クラスタリングによる観光客の抽出結果と考察

図-2に捕捉日数別にクラスタ数ごとのSSE値を示した図を示す。図中でクラスタ数に対するSSE値の明確な折れ曲がりは見られないが、捕捉日数3日、4日においてはクラスタ数が5の点で傾きが、相対的に大きく変化していると見受けられるためクラスタ数は5に決定した。捕捉日数2日では明確な折れ曲がりを見出すことは難しいが、捕捉日数が3日、4日の場合と同じクラスタ数を採用することとした。

表-4に捕捉日数ごとの各指標のクラスタ別平均値をまとめたものを示す。捕捉日数による細かな違いはあるがおおよそ以下のような共通の解釈が可能である。クラスタ1, 2は観測数や観光地センサ割合が高いことから、今回センサを設置したエリアを複数訪れている観光客であると推定される。クラスタ3は観光地センサ割合が高いものの観測数が少ないことから、公共交通をそれほど利用せず観光地センサ周辺のみ現れるクラスタであると言える。公共交通機関ではなく自家用車や観光バス等を利用し観光を行っているケースや、今回の京都市内39箇所センサ配置では捉えられない観光客が含まれている可能性があるが、観光目的でなく観光地を訪れている周辺住民や就業者などの可能性も考えられ、クラスタ1, 2と比べると明確に観光客らしいと判断すること

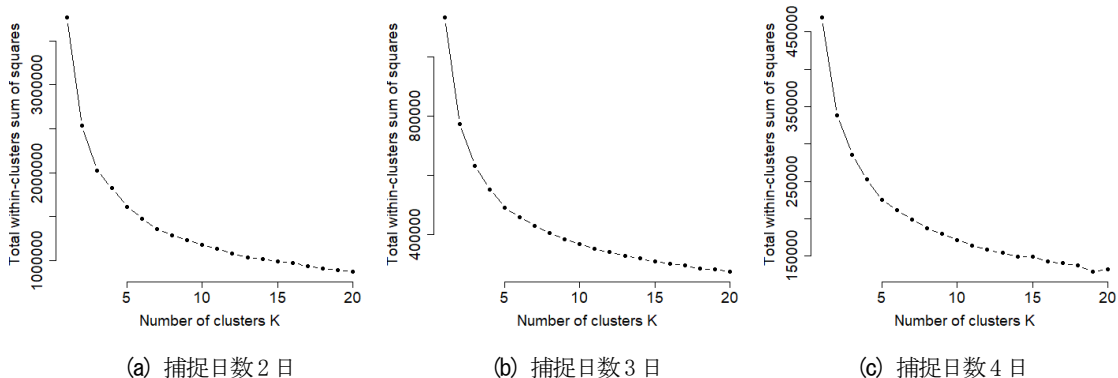


図-2 エルボー法によるクラスタ数決定

はできない。クラスタ 4 には週末に観測されたデータが多数含まれているが観光地センサ割合は低く、週末に鉄道を利用し中心商店街を訪れる人などのケースが考えられる。クラスタ 5 は観光地センサ割合が朝 9 時前に最初の観測が得られる日数が大きいことから、朝夕に鉄道駅を利用する通勤通学等の人々であると推定される。

図-3 は各クラスタに属する AMAC アドレス数とその割合を曜日別に示したものである。日曜日と月曜日において観測された AMAC アドレスの総数が他の曜日と比べて少ないが、これはクラスタリングの対象が捕捉日数が複数日のデータであること、そして月曜日の午前 0 時をまたいで同一 AMAC アドレスの追跡が不可能であることが原因と考えられる。すなわち月曜日の午前 0 時を

またいで複数日捕捉されている場合は本来の滞在日数よりも短い滞在日数として扱われてしまうために、日曜日や月曜日を含む複数日数滞在のデータが他の曜日と比べて少なくなっているためと思われる。

AMAC アドレス数に着目すると、クラスタ 5 を除いた 4 つのクラスタでは週末にかけて数が若干増加傾向にあることが読み取れ、クラスタ 3 では特に顕著である。クラスタ 5 では平日と比べ週末に観測された AMAC アドレス数が少なく、存在比率も半分ほどに低下しており、ここからもクラスタ 5 には通勤通学など平日中心の移動を行う人が多く含まれるクラスタであることが推定される。その他のクラスタでは曜日による構成割合の大きな違いはほとんど見られない。

表-4 クラスタ別各指標の平均値
(a) 捕捉日数 2 日

| クラスタ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 観測回数の最大値 | 10.099 | 9.830 | 4.235 | 3.116 | 3.167 |
| 観測回数の最小値 | 6.845 | 3.147 | 2.536 | 2.196 | 2.252 |
| 捕捉センサ数の最大値 | 5.622 | 5.740 | 2.992 | 2.390 | 2.370 |
| 捕捉センサ数の最小値 | 4.040 | 2.410 | 2.197 | 2.043 | 2.053 |
| 観光地センサ数の最大値 | 4.052 | 4.178 | 2.197 | 0.545 | 0.607 |
| 観光地センサ数の最小値 | 2.442 | 1.298 | 1.325 | 0.111 | 0.310 |
| 観光地センサ割合 | 0.715 | 0.716 | 0.716 | 0.161 | 0.212 |
| 昼間観測割合 | 0.566 | 0.584 | 0.578 | 0.394 | 0.116 |
| 初観測時間 | 0.288 | 0.250 | 0.155 | 0.065 | 1.440 |
| 土休日日数 | 0.697 | 0.699 | 0.687 | 0.666 | 0.439 |
| サイズ | 35207 | 52793 | 136219 | 99127 | 72458 |

(b) 捕捉日数 3 日

| クラスタ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 観測回数の最大値 | 9.838 | 10.860 | 4.796 | 3.615 | 3.657 |
| 観測回数の最小値 | 4.846 | 2.381 | 2.193 | 2.116 | 2.188 |
| 捕捉センサ数の最大値 | 5.411 | 6.128 | 3.184 | 2.538 | 2.485 |
| 捕捉センサ数の最小値 | 3.230 | 2.023 | 2.019 | 2.019 | 2.028 |
| 観光地センサ数の最大値 | 3.900 | 4.440 | 2.376 | 0.564 | 0.529 |
| 観光地センサ数の最小値 | 1.671 | 0.730 | 1.108 | 0.074 | 0.234 |
| 観光地センサ割合 | 0.700 | 0.695 | 0.711 | 0.157 | 0.174 |
| 昼間観測割合 | 0.521 | 0.560 | 0.487 | 0.332 | 0.081 |
| 初観測時間 | 0.537 | 0.430 | 0.445 | 0.370 | 2.333 |
| 土休日日数 | 0.776 | 0.755 | 0.793 | 0.871 | 0.394 |
| サイズ | 11587 | 15089 | 31836 | 31945 | 27267 |

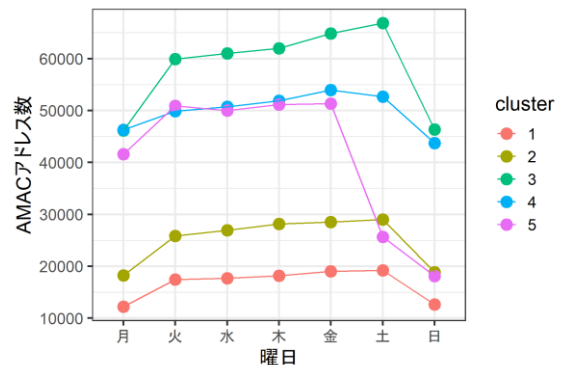
(c) 捕捉日数 4 日

| クラスタ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 観測回数の最大値 | 10.520 | 10.313 | 4.690 | 4.122 | 4.233 |
| 観測回数の最小値 | 4.556 | 2.281 | 2.124 | 2.093 | 2.209 |
| 捕捉センサ数の最大値 | 5.093 | 5.672 | 2.961 | 2.677 | 2.627 |
| 捕捉センサ数の最小値 | 3.132 | 1.998 | 1.982 | 2.005 | 2.015 |
| 観光地センサ数の最大値 | 3.386 | 4.125 | 2.130 | 0.540 | 0.471 |
| 観光地センサ数の最小値 | 1.413 | 0.627 | 1.245 | 0.015 | 0.169 |
| 観光地センサ割合 | 0.607 | 0.686 | 0.676 | 0.141 | 0.145 |
| 昼間観測割合 | 0.377 | 0.539 | 0.294 | 0.321 | 0.066 |
| 初観測時間 | 1.382 | 0.579 | 1.155 | 0.707 | 3.182 |
| 土休日日数 | 0.964 | 1.010 | 1.067 | 1.122 | 0.429 |
| サイズ | 2790 | 6150 | 9813 | 13760 | 15503 |

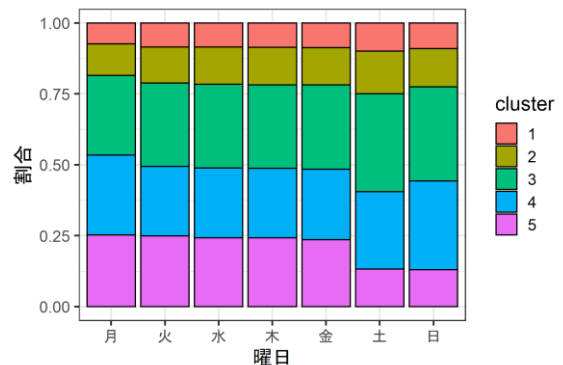
(5) 捕捉日数 1 日のデータのフィルタリング

捕捉日数が複数日のデータでは訪問する観光地数や昼間捕捉割合等を用いて観光客の推定、抽出を行ったが、捕捉日数が 1 日のデータでは複数の観光地を周遊せずに 1 箇所のみを訪れるケースや、夕方以降に観光を行うといったケースも多数存在すると考えられるため、同様の判定方法を適用することは難しい。

そこで、連続する 1 週間の中で捕捉日数が 1 日のデータは観光客のものである可能性が高いという仮定のもと、明らかに観光客でないと思われるデータを可能な範囲で除去するという方針を設定した。すなわち、(1) 観光地センサで捕捉されている、(2) 2 エリア以上訪れて



(a) AMAC アドレス数



(b) 割合

図-3 曜日別クラスタ構成比

いる、(3) 観測時間が 1 時間以上、という 3 つの条件によりフィルタリングを実施し、観光客を定義することとした。観光客の判別基準が全く異なることから以下では捕捉日数 1 日のデータについては複数日の場合と異なるクラスター番号を付与して区別することとし、捕捉日数 1 日のデータで観光客と判断したデータをクラスター 101、観光客でないとして判断したデータをクラスター 102 とする。

表-5 は捕捉日数・クラスターごとの AMAC アドレス数をまとめたものである。捕捉日数が大きくなるにつれ観光客と推定される AMAC アドレスの割合が小さくなるのが読み取れる。以降はクラスター 1, 2, 101 に属する AMAC アドレスを観光客データとして分析を進める。

表-5 捕捉日数・クラスター別 AMAC アドレス数

| 捕捉日数 クラスター | 1 日 | 2 日 | 3 日 | 4 日 |
|---------------|-----------|---------|--------|--------|
| 1 | - | 35,207 | 11,583 | 2,790 |
| 2 | - | 52,793 | 15,089 | 6,150 |
| 3 | - | 136,219 | 31,836 | 9,813 |
| 4 | - | 99,127 | 31,945 | 13,760 |
| 5 | - | 72,458 | 27,267 | 15,503 |
| 101 | 1,519,380 | - | - | - |
| 102 | 799,799 | - | - | - |

4. 観測時刻に着目した分類による時間分散の可能性検討

本章では、京都市内の観光地の中でも特に多くの観光客が訪れ慢性的な混雑が発生している清水寺や高台寺周辺（清水エリア）を対象とし、当該エリアを訪れた観光客の行動を時刻・時間に着目した分析により分類する。具体的には清水エリアへの訪問時間帯およびその滞在時間、清水エリア訪問前後の京都市内での活動時間の長さ等に基づき、観光客を分類する。その上でピーク時間帯を避けた清水エリア訪問の可能性のある観光客層を特定し、混雑緩和に向けた働きかけが有効と思われる対象を明らかにできるかどうか検証することを目的としている。

(1) 着目する時刻および時間の定義

本研究で着目する時刻および時間の定義を図-4 に示す。他のエリアと比べて清水エリアには密にセンサが設置されており、エリアを出入りする場合にはエリア内のいず

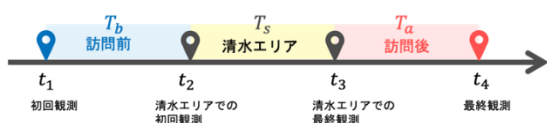


図-4 着目する時間の定義

れかのセンサに捕捉されることが期待できる。そこで、清水エリア内センサの初回観測時刻 t_2 および最終観測時刻 t_3 の差として清水エリア滞在時間 T_s を定義する。また、1 日の初回観測時刻を t_1 、最終観測時刻を t_4 とし、清水エリア訪問前時間 T_b を t_1 と t_2 の差、清水エリア訪問後時間 T_a を t_3 と t_4 の差として定義する。

清水エリア滞在時間 T_s が清水エリア訪問前時間 T_b や訪問後時間 T_a に比して小さい場合には、清水エリアを訪問する時間帯を変更する余裕のある観光客と判定することができる。しかし、初回観測や最終観測のセンサ位置によって清水エリアとの行き来に要する時間が異なり、 T_b や T_a が同じ値であっても意味合いが異なると考えられる。初回、最終観測の地点と清水エリア間の所要時間を差し引くことで、直接移動した場合に要する時間の大小の影響が低減できると考えられるが、各センサ間あるいはエリア間の所要時間を一意に定めるのは難しい。初回観測センサごとの T_b 、あるいは最終観測センサごとの T_a の最小値を利用することも考えられるが、公共交通機関よりも所要時間が短い分担率も低いと想定されるタクシーや自家用車による移動で要する所要時間が最小値となっている可能性があるなどの理由から、最小値をそのまま利用することは望ましくないと考えられる。

そこで、最小値に代わるものとしてエリア間所要時間のパーセンタイル値に着目した。表-6 は清水エリア訪問者の中で初回観測センサとなっている割合が高い代表的なセンサについて、 T_b のパーセンタイル値と「代表点」に示すセンサに近接している鉄道駅やバス停から清水エリア内に存在する五条坂（バス停）までの所要時間をまとめたものである。なお、代表点間の所要時間の算出は経路探索アプリにおいて日曜日の正午を出発時間と設定して得られた結果であり、乗り換え時間は含むが正午から最初に利用する公共交通機関が発車するまでの時間は含んでいない。

京都駅、JR 稲荷駅では、1 パーセンタイル値と代表点間の所要時間が近い値となっており、嵐山渡月橋や伏見稲荷大社裏参道のセンサも、センサの設置位置から代表点まで徒歩で移動した場合にかかる時間（前者は 15 分弱、後者は 5 分程度）を考慮すると 1 パーセンタイル値に近い値であると判断することができる。祇園四条駅や京都河原町駅では 1 パーセンタイル値と代表点間所要時間に差異が見られるが、この区間は徒歩でも 20 分程度で移動できることからバスを利用せず徒歩による移動を行っている割合が高い可能性も考えられる。祇園バス停でも差異が大きいが、祇園エリアは清水エリアと隣接しており所要時間も短いいためその影響は限定的であると思われる。

表-6 エリア間観測間隔のパーセンタイル値と所要時間の例

| 初回観測センサ | パーセンタイル値 [min] | | | | | AMAC アドレス数 | 代表点 | 五条坂 (バス停) までの所要時間 [min] |
|-----------|----------------|------|------|------|------|---------------|-------------|-------------------------------|
| | 0.1% | 0.5% | 1% | 3% | 5% | | | |
| 京都駅 | 9.3 | 12.1 | 14.0 | 18.1 | 20.1 | 84,431 | 京都駅前 (バス停) | 13 |
| 祇園バス停 | 1.6 | 2.1 | 2.4 | 3.7 | 4.9 | 31,614 | 祇園 (バス停) | 5 |
| 嵐山渡月橋 | 35.8 | 41.5 | 44.7 | 52.2 | 58.7 | 28,734 | JR嵯峨嵐山 | 35 |
| 伏見稲荷大社裏参道 | 20.8 | 25.5 | 27.7 | 31.6 | 34.2 | 25,347 | 京阪-伏見稲荷 | 21 |
| 京阪-祇園四条 | 11.2 | 15.1 | 17.4 | 22.1 | 25.6 | 12,750 | 四条京阪前 (バス停) | 9 |
| 阪急-河原町 | 10.6 | 17.3 | 20.0 | 25.6 | 28.9 | 12,572 | 四条河原町 (バス停) | 11 |
| JR稲荷 | 10.4 | 13.4 | 15.2 | 22.0 | 27.7 | 10,641 | JR稲荷 | 15 |

以上の考察を踏まえ、初回、最終観測の地点と清水エリア間の所要時間に相応する値としてセンサごとの T_b 、 T_a の1パーセンタイル値をそれぞれ差し引いた値を T'_b 、 T'_a と定義し、この値を用いて清水エリア訪問前後の時間的余裕の大きさを評価することとした。

(2) 清水エリア訪問者のクラスタリング結果および考察

前章で抽出した観光客データのうち清水エリアのセンサに捕捉されたAMACアドレスを対象として、 t_1 から t_4 および T'_b 、 T'_s 、 T'_a の7変数を利用した非階層クラスタリングを実施した。クラスタリングは3(3)と同様の手法で行った。

図-5にクラスタ数に対するSSE値を示す。クラスタ数6の前後で傾きの変化が相対的に大きいと見受けられることから、クラスタ数は6とした。表-7はクラスタごとの各指標の平均値をまとめたものである。なお、 t_1 から t_4 の数値は時刻を24時制で表したものである。この平均値に基づくと、各クラスタの特性として以下のような解釈が可能である。クラスタA、D、Fは平均的に午前10時から午後6時と1日に渡って観測されている点で共

通しているが、クラスタAでは清水エリア訪問後の活動時間が長く、クラスタFは清水エリア訪問前の活動時間が長い、クラスタDでは清水エリア滞在時間が長いという違いがある。クラスタB、C、Eは平均的に観測時間が3時間程度である点で共通しており、クラスタBは午後中心、クラスタEは午前中心、クラスタCは正午前後を中心に観測されているという違いがある。

図-6は捕捉日数別に各クラスタの構成割合を示したものである。捕捉日数が3日、4日を比較すると、初日、中日および最終日同士の間には、構成割合に大きな差異は見られない。これらと捕捉日数1日のデータを比較すると、後者ではクラスタCの割合は相対的に高くなっており、これは捕捉日数1日の日帰り観光の場合には京都市でのトータルの滞在時間が3時間程度、かつ、特に清水エリアにおいては正午前後の滞在の傾向が強いと解釈することが可能である。捕捉日数が3日、4日の場合、清水エリア訪問は滞在の2日目に行われる傾向にある。また、複数日滞在の場合、滞在初日に午後の観測が中心であるクラスタB、最終日に午前の観測が中心であるク

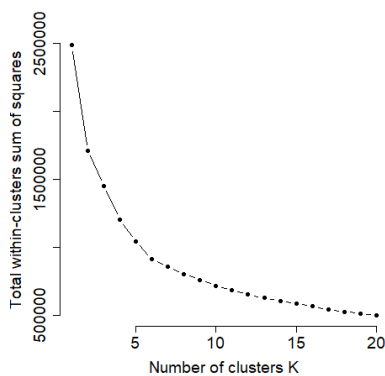


図-5 エルボー法によるクラスタ数決定

表-7 清水エリア訪問者のクラスタリング結果

| cluster | T'_b [min] | T'_s [min] | T'_a [min] | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | size |
|---------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 46.31 | 63.55 | 355.56 | 9.89 | 10.81 | 11.88 | 18.03 | 44554 |
| B | 65.51 | 55.85 | 74.35 | 14.60 | 15.92 | 16.84 | 18.22 | 58819 |
| C | 76.02 | 61.26 | 55.57 | 11.63 | 13.17 | 14.20 | 15.28 | 98052 |
| D | 45.71 | 236.94 | 90.98 | 10.43 | 11.35 | 15.32 | 16.98 | 22337 |
| E | 23.81 | 71.86 | 96.92 | 9.39 | 9.91 | 11.11 | 13.00 | 76993 |
| F | 302.49 | 51.85 | 72.89 | 10.16 | 15.53 | 16.39 | 17.74 | 56162 |

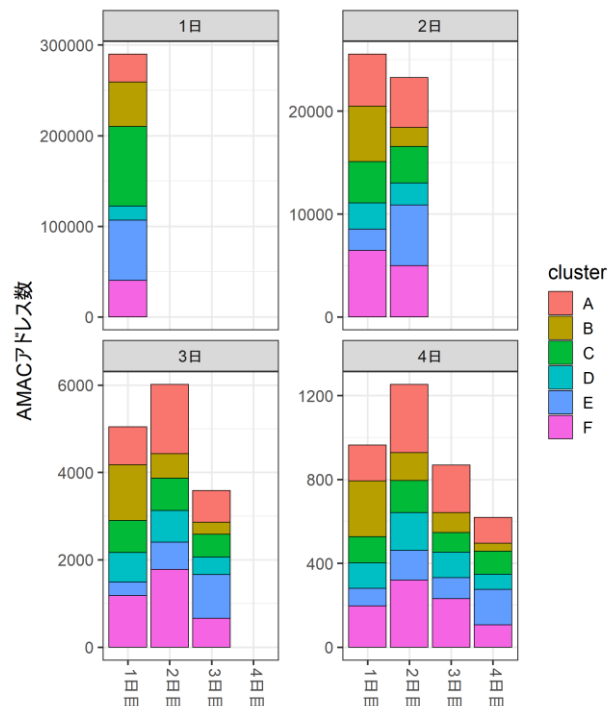


図-6 捕捉日数別クラスタ構成割合

表-8 クラスタ別ピーク時間帯訪問の有無割合

| | | ピーク時間帯の観測 | |
|------|---|----------------|----------------|
| | | なし | あり |
| クラスタ | A | 28531 64.0% | 16023 36.0% |
| | B | 28658 59.0% | 19887 41.0% |
| | C | 2844 3.3% | 83005 96.7% |
| | D | 3025 17.7% | 14025 82.3% |
| | E | 59137 92.2% | 5019 7.8% |
| | F | 26265 46.8% | 29897 53.2% |

ラスタ E の割合が高くなっている。これは京都市と居住地等他の地域との移動のため京都市内の滞在時間が限定されているためと考えられる。一方、捕捉日数が複数日であるデータの中にも、初日、中日、最終日を問わず捕捉日数 1 日のデータに特徴的なクラスタ C が一定数含まれている。

表-8 に清水エリア訪問者のクラスタ別にピーク時間帯の訪問有無別の AMAC アドレス数およびその割合を示す。ここで、ピーク時間帯は分析対象期間のうち約 8 割の日付において、清水エリアのセンサにおける 1 時間毎の観測 AMAC アドレス数が上位である 3 時間に含まれていた 13 時から 16 時と定義した。

クラスタ C、D に属する AMAC アドレスではピーク時間帯に訪問する割合が特に高くなっているが、クラスタ D は清水エリアに長時間滞在する特徴を持ったクラスタであり訪問時間帯の変更による混雑緩和に寄与することは難しいと思われる。一方クラスタ C は割合だけでなく量的にもピーク時間帯に観測されている AMAC アドレス数が多く、時間分散の働きかけのターゲットと考えることができる。しかし、前述の通りクラスタ C は滞在時間が 3 時間程度の日帰り観光客に特徴的な傾向を示しているクラスタであり、同じ活動時間帯の中で訪問順の変更等による時間分散を働きかけることは難しいと言える。ここから、京都市へ観光に訪れる時間帯そのものを変更するような施策が必要であることが推察される。

複数日滞在の観光客においてもクラスタ C に属する観光客は一定数存在し、日帰り観光客と比して量が少ないものの、その行動変更（訪問時間帯の変更）による混雑緩和は一定期待できる。加えて、ピーク時間帯を避けた訪問を促すことにより観光の満足度の向上につながる可能性がある。

5. 観測位置に着目した観光周遊行動分析

前章では観測された時刻に着目した観光客の分類を実施したが、ここでは観測されたセンサの位置に着目し、Wi-Fi パケットセンサによって得られた観光客の周遊行動について考察する。

図-7 は前章の清水エリア訪問者のクラスタリングにおけるクラスタ別に訪問エリア数の割合をまとめたものである。クラスタ F の清水エリア訪問前、クラスタ A の清水エリア訪問後を除くと、7 割から 8 割程度の AMAC アドレスが訪問エリア数 1 以下である。訪問エリア数が 0 の場合は初回観測あるいは最終観測が清水エリア内のセンサであることを示し、訪問エリア数が 1 ということは初回観測から清水エリアでの初回観測までの間に他のどのエリアのセンサにも捕捉されていないことを意味する。この場合の清水エリア以外での捕捉は、その多くが京都駅や四条河原町等の交通結節点である可能性が高い。ここから、今回の調査でセンサを設置した観光地に限定すれば、クラスタ A、F 以外のクラスタでは 1 日のうちに多数の観光地を訪れるような観光行動ではなく、主として清水エリアのみ訪れるような観光形態が多数派であることが読み取れる。クラスタ A、F では清水エリア以外の観光地も訪れている可能性が高いが、クラスタ A では清水エリア訪問前、クラスタ F では訪問後の他エリアの訪問数は 1 エリア以下が大多数であることから、多くの観光客にとって清水エリアの訪問は周遊の最初か最後である可能性が高い。

清水エリアを訪問した観光客の空間的な行動特性を掴むために各エリアごとの訪問割合を算出した。図-9 はそれぞれ清水エリア訪問者が清水エリア訪問前後に捕捉されたエリアの割合を示したものである。訪問順は図-8 に示すようにそれぞれ初回観測、最終観測を 1 とし、複

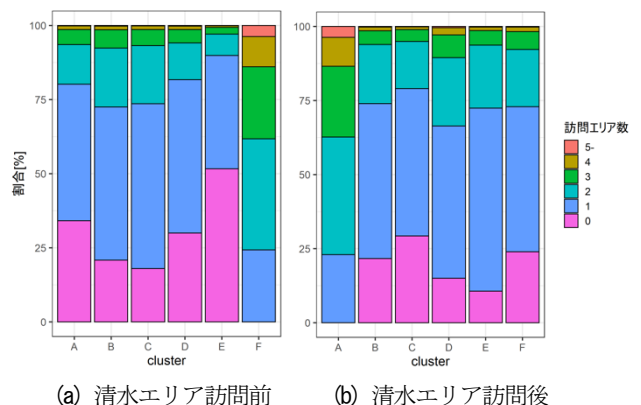


図-7 クラスタ別観測エリア数

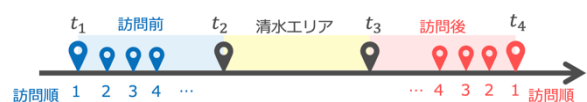


図-8 訪問順の定義

数エリアで捕捉された場合には清水エリア滞在に近づく時間的な方向に向かって 2, 3, …と付番している。なお、この図は見やすさのため訪問順別の積み上げ棒グラフとなっているが、間に他エリアの訪問を挟んで同エリアに複数訪問した場合には同一 AMAC アドレスが複数回カウントされるため、この図の上での訪問順を合算した訪問割合と実際の全 AMAC アドレスに対する各エリアを訪問した AMAC アドレスの割合は一致しない。また、初回観測や最終観測が清水エリア内のセンサであった AMAC アドレスは含まれていない。

清水エリア訪問前あるいは後に時間的余裕のあるクラスター A や F では、訪問順が 2 以上で祇園や伏見稲荷、嵐山など主要観光地を訪れている観光客が一定割合存在することが読み取れる。また、全てのクラスターに共通して、訪問順が 1 で表される初回観測、最終観測センサは京都駅、祇園エリアの割合が高くなっている。京都駅の割合が高くなっている要因として、京都駅には 9 つのセンサが設置されておりそれらを同一と扱っているため捕捉率が高くなっていること、そして他の地域から京都市を訪れる場合に京都駅が玄関としての役割を果たしている可能性が考えられる。

初回観測や最終観測が清水エリアや祇園エリアの場合は、京都市への様な交通手段・経路で来訪したか、そして初回観測まであるいは最終観測後にどのような時間の使い方をしたかを知ることはできないため、初回観測、

最終観測であるからといって京都市滞在の時間的な端点を代表していない可能性がある。また、クラスター C の訪問前、クラスター E の訪問後では嵐山エリアの割合が高くなっており、金閣寺等センサ設置のない観光地を訪れているケースや、京阪神からの日帰り観光客等で阪急嵐山線などセンサの設置のない公共交通機関を用いて嵐山エリアを訪れたケースなどが考えられるが、今回のデータのみではその理由を特定することは難しい。

以上から、今回の流動調査におけるセンサの分布においては複数エリアで観測される観光客の割合がそれほど高くないため、空間的な観光流動の特性把握のためにはセンサの設置密度や分析対象エリアの大きさの工夫が必要であることが示唆された。

6. 結論

本研究では Wi-Fi パケットセンサによる京都市訪問者の移動履歴データを活用し、主に清水エリア訪問者の行動を対象に、その時間軸上の特徴に着目して分類し、混雑エリアの訪問の時間的分散の可能性について検証した。具体的には、清水エリアへの観光需要の集中に着目し、ピーク時間帯を避けた訪問が可能である観光客層の特定を試みた。その結果、クラスタリングによる清水エリア訪問客の分類により、1 日かけて京都観光の複数エリア

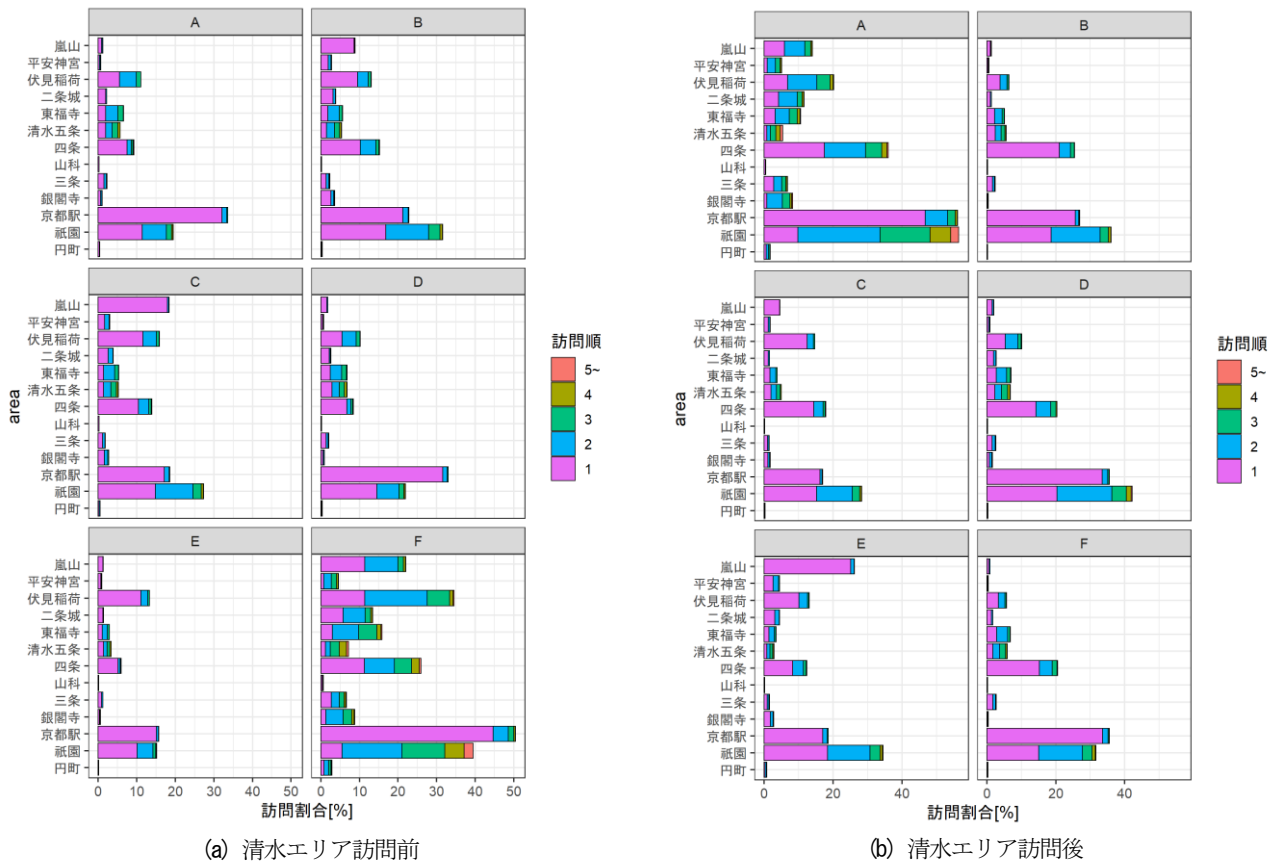


図-9 清水エリア訪問前後の捕捉エリア割合

を訪れるような行動変更を促す時間的な余裕のあると考えられる観光客は、結果的に既にピーク時間帯を避けて清水エリアを訪問している割合が相対的に高いことが分かった。加えて、京都市の滞在時間が3時間程度であり行動変更をする時間的な余裕がないと思われる観光客においてピーク時間帯を訪れる割合が高いことが明らかとなった。後者のような観光形態は捕捉日数1日の日帰り観光客で量的にも比率としても大きいことから、本研究で想定していたような観光客の訪問順の変更等による時間分散の大幅な混雑緩和効果はあまり期待できず、清水エリア訪問の時間分散のためには日帰り観光客の来訪時間帯の変更を促すような施策が有効である可能性が考えられる。例えば夜間のライトアップ等のイベント実施や、清水エリア内および周辺店舗・施設の営業時間の延長あるいは変更等により、清水エリアに滞在可能な時間帯を長くすることなどが考えられる。

一方、比較的的時間的自由度のある複数日数滞在の観光客においても、ピーク時間帯に清水エリアを訪問している観光客も絶対量としては多くはないが一定数存在し、これらの観光客にはピーク時間帯を避けた訪問を促すことで、ピーク時間帯の混雑緩和にも一定貢献する可能性が考えられるとともに、観光の満足度の向上につながる可能性がある。

また、観測されたセンサ数やその位置に着目すると、複数エリアを周遊する観光行動は主流ではないことから、周遊行動の特性把握のためにより効果的な Wi-Fi パケットセンサの配置を検討する必要性が示唆された。

参考文献

- 1) 京都市：「京都観光振興計画 2020」及び「京都市 MICE 戦略 2020」, <https://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/page/0000186495.html> (2020.3.1 閲覧)
- 2) 観光庁：明日の日本を支える観光ビジョン, http://www.mlit.go.jp/kankocho/topics01_000205.html (2020.3.1 閲覧)
- 3) 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 of the 把握可能性：沖縄・本部半島における検討, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 55, 2017
- 4) 伊藤伸, 倉内文孝, 西田純二：Wi-Fi パケットセンサデータを用いた観光流動把握のための系列パターンマイニング, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.431-432, 2019
- 5) 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, 情報処理学会研究報告. MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告], Vol.2014, No.45, pp. 1-8, 2014
- 6) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 57, 2018
- 7) 平成 30 年京都観光総合調査, <https://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/cmsfiles/contents/0000254/254268/30tyosadfd> (2019.9 入手)
- 8) David Arthur, Sergei Vassilvitskii : k-means++: The Advantages of Careful Seeding, Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA '07, pp. 1027-1035, 2007

(2020.3.8 受付)

ANALYSIS OF TOURIST BEHAVIOR FOR DISPERSAL OF TOURISM DEMAND USING WI-FI PACKET SENSOR

Katsuhito SATAKE, Nobuhiro UNO, Toshiyuki NAKAMURA

It is expected that the congestion problems caused by increase in the number of tourist can be relieved by dispersing the concentration of tourist temporally and spatially. In Kyoto city, one of the foremost tourist areas in Japan, some measures aimed at dispersing tourism demand have already been taken, but in order to propose more effective measures, it is significant to understand the tourist behavior in more accurate manner. In this study, we try to grasp the tourist behavior by using Wi-Fi packet sensor. We extract tourists by applying nonhierarchiclal clustering focusing on the observation time, and identify the tourists who may visit the Kiyomizu area while avoiding peak hours.

It is found that the tourists who have enough time to change behavior are likely to visit the Kiyomizu area before or after peak hours, and the other tourists who prefer short stay in Kyoto are likely to visit there during peak hour. Therefore, it was suggested that measures to encourage the short stay tourists to change thier visiting time would be effective.