

GPS データを用いた観光地における属性別の移動実態分析 ～鎌倉の住民と観光者を対象として～

黒木 喬矢¹・竹内 龍介²

¹ 非正規会員 中央大学 社会理工学部 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: taka314159265taka@gmail.com

² 准教授 中央大学 社会理工学部 都市環境学科(〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: rtakeuchi913@g.chuo-u.jp

本研究は、観光地における混雑の顕在化およびオーバーツーリズムの進行を背景として、鎌倉市を対象に観光者および住民の行動特性を GPS データに基づき分析したものである。多次元混合ガウスモデルを用いて滞在行動をクラスタリングし、両者の空間的・時間的分布構造を定量的に把握した。その結果、鎌倉駅周辺において昼時間帯に観光者が集中的に滞在し、住民の行動空間と重複する傾向が確認された。また、観光者と住民が重なっているクラスタについて、時間帯別の行動特性を統計的に分析したところ、滞在時間や分散の程度に有意な差が見られ、混雑の時間的分散可能性が示唆された。さらに、ピーク時間帯と非ピーク時間帯の行動差から、分散施策の可能性について検討を行った。

Key Words: GMM, Overtourism, Human Mobility Analysis, Tourist and Resident Behavior

1. はじめに

近年、日本の観光地は国内外から多くの観光者を集め、地域経済の活性化に寄与している。日本政府観光局(JNTO)¹⁾によると、2024年の訪日外客数は約3687万人と過去最高を更新し、2019年の過去最高水準を上回った。一方で、コロナ禍以降の観光需要の回復・増加に伴い、観光地における過度な混雑、いわゆるオーバーツーリズムが深刻な社会問題として指摘されている。特に都市型観光地では、観光者の集中が交通混雑、歩行者空間の過密化、生活環境の悪化、住民満足度の低下などを引き起こしており、観光と居住空間の持続的な共存が重要な課題となっている。観光庁は観光白書において、観光の持続可能性確保のために「地域住民の生活環境への影響」や「観光地の混雑問題」への対応が重要であると指摘している。

こうした問題に対しては、観光者と住民の行動特性を詳細に把握し、両者の行動が空間的・時間的にどのように交錯するかを定量的に理解することが不可欠である。近年では、近年、スマートフォンの普及により取得可能となったGPSデータを用いて、人々の移動および滞在行動を時間軸に沿って連続的に捉える研究が進展している。GPSデータは、アンケート調査と比べて、回答者の記憶や主観に依ることなく、実際の行動を継続的に観測できる点に特徴が

ある。一方で、GPSデータからは行動の目的や意味を直接的に把握することが難しく、得られた移動軌跡や滞在情報の整理や解釈が重要な課題となる。したがって、空間的位置情報と時間的行動特性を統合的に扱い、行動パターンを要約・分類する分析手法が求められている。

既存研究では、音喜多ら²⁾は京都市を対象として多次元混合ガウスモデルを用いた滞在目的の分類を行い、横山ら³⁾は横浜市を対象に観光行動のクラスタ分析を実施している。しかしながら、既存研究の多くは行動パターンのクラスタリングにとどまり、具体的な混雑要因の特定には至っていない。

2. 本研究の目的

以上の問題意識のもと、本研究ではGPSデータを用いて鎌倉市を対象地域とし、観光者および住民の行動特性を空間的・時間的に把握するべく、多次元混合ガウスモデルによるクラスタ分析およびクラスタ内部構造の分析を通じて、両者の行動分布の重なりから混雑要因を明らかにすることを目的とする。

3. 手法

(1) 対象地域

対象地域として鎌倉市を選定した。鎌倉市は首都圏近郊に位置する歴史的観光都市であり、高い集客力を有することから、観光者の空間的集中が生じやすい都市である。鎌倉市⁴⁾によると、鎌倉市では2024年の延入込観光者数が約1,594万人に達し、前年（2023年）から約30%増加しており、新型コロナ禍後の観光需要回復を反映したものであり、観光者数が近年急速に増えている。また、観光地と居住地が近接して分布しており、主要駅周辺や観光拠点において観光者と住民の行動空間が重なりやすい特徴を持つ。さらに、鎌倉市は三方を山地に囲まれ一方が海に開けた地形条件により市街地の拡張が制約され、道路幅員が狭小な箇所が多く、交通ネットワークの代替経路が限られている。このため観光需要の増加が交通混雑や生活環境への影響として顕在化しやすい。以上の点から、鎌倉市と江の島を対象地域とした。

(2) データ

ブログウォッチャーが提供しているGPSデータを使用した。GPSデータには2024年10月に鎌倉市、藤沢市内に入った人のデータが入っている。本研究で扱うデータは個人id、緯度、経度、時刻、推定居住地、推定勤務地、mode、推定誤差である。推定居住地、推定勤務地、mode、推定誤差はブログウォッチャーが推定したものをを用いる。

(3) データ前処理

多次元混合ガウスモデルを適用する前に、観光者と住民の行動特性に着目した分析の事前処理として、GPSデータに対して前処理を実施した。まず、分析対象地域を鎌倉市内全域および湘南江の島駅を中心とする半径2km圏内とした。次に、分析対象者を「住民」と「観光者」に分類した。「住民」は推定居住地が鎌倉市内に存在する者と定義し、「観光者」は推定居住地および推定勤務地のいずれも鎌倉市内に存在しない者と定義した。さらに分析対象の推定居住地と鎌倉までの距離を算出し、これを居住地距離“home_dist_from_kamakura_km”とした。

また、居住地からの距離が200kmを超えるデータについては外れ値として除外した。全サンプルの95%が居住地からの距離が200km以下に含まれることが分かった。これより、観光者として定義されたデータにおいて200km以上の値は分布の95%を大きく上回る極端な値であった。これらは居住地推定誤差の影響を含む可能性が高い。さらに、多次元混合ガウスモデルは正規分布を仮定し外れ値の影響を受けやすいため、推定結果の安定性およびクラスタ解釈の妥当性を確保する目的で、当該データを分析対象から除外した。分析対象日は2024年の日曜日（6日、13日、

20日、27日）および休日（14日）とし、午前7時以降のデータを対象とした。

そして推定居住地から500m以内の行動は住民の家での滞在を含んでしまう可能性があるため、除外した。行動モードのうち“stay”および“walk”が連続した時間を滞在時間として算出し、これを“stay_minutes”と定義した。駅やバス停における短時間の乗換行動を滞在として誤判定しないように“stay_minutes”が12分以下の行動は分析対象外とした。

さらに、鎌倉市内における滞在総時間を算出し、1時間未満の者は通過交通とみなして分析から除外した。また、推定誤差が100m以上の行動も除外対象としている。

(4) 多次元混合ガウスモデル

多次元混合ガウスモデルは、データが複数の正規分布の混合から生成されると仮定する確率モデルである。観測データ $\mathbf{x}$ に対する確率密度関数は次式で表される。

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K \pi_k \mathcal{N}(\mathbf{x} | \boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)$$

ここで、 K はクラスタ数、 π_k はクラスタ K の混合比率

（ $\sum_k \pi_k = 1$ ）である。 $\boldsymbol{\mu}_k$ および $\boldsymbol{\Sigma}_k$ はそれぞれクラス

タ K の平均ベクトルおよび共分散行列である。モデルパラメータは最大尤度推定により推定し、推定には期待値最大化（EM）アルゴリズムを用いた。今回は滞在行動の空間的・時間的特性および来訪特性を同時に捉えるため、緯度、経度、時刻、滞在時間“stay_minutes”、および居住地距離“home_dist_from_kamakura_km”を特徴量とした。各特徴量は単位や分散の大きさが異なるため、推定の安定性を確保し、特定の変数が過度に影響を与えることを防ぐ目的で標準化を行い、標準化後にGMMを適用した。緯度、経度はUTM座標系（EPSG:32654）に変換し、距離計算および共分散推定が可能な平面直交座標系で解析を行った。クラスタ分析の結果を対象地域の地図上に可視化した。クラスタリングは緯度、経度、時刻、滞在時間、居住地距離の5次元特徴量に基づいて実施した。

一方で地図上の可視化では、共分散行列の空間成分（UTM座標）を用いて共分散楕円を描画した。クラスタ数 K は複数の候補に対してモデル推定を行い、得られたクラスタの空間分布および行動特性を比較した。実際の観光拠点や生活圏と対応した空間的に妥当な行動として解釈できるか、および観光者と住民の行動傾向の差異が明確に現れているかを評価した。その結果、 $K=7$ では各クラスタが空間的・行動的に過度な分割を避けつつ、解釈可能な特徴を保持していたため、本研究では $K=7$ を採用した。

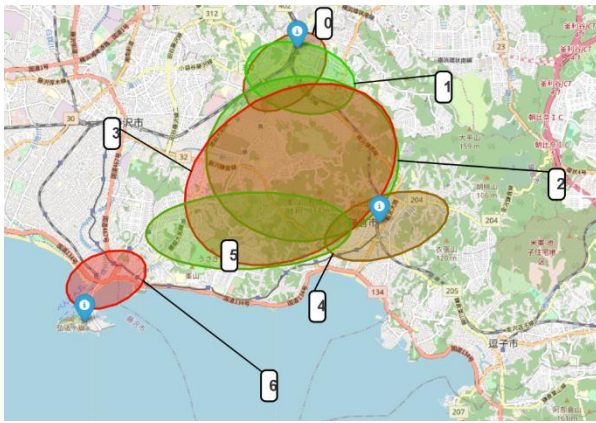


図-1 クラスタ分析結果

4. 結果

(1) クラスタ分析

多次元混合ガウスモデルによるクラスタ分析の結果を図-1に示す。青いピンは、上から順に大船駅、鎌倉駅、江の島を示している。図-1は、鎌倉市および江ノ島周辺における滞在・歩行行動を基に推定されたクラスタの空間分布を示したものである。各クラスタは共分散楕円として可視化されており、空間的分散の大きさや主たる広がりの方角性を同時に把握することが可能である。クラスタの色は、クラスタ内に占める観光行動と住民の日常的行動の構成比を反映しており、観光者の行動割合が高いほど赤色が強く、住民の行動割合が高いほど緑色が強く表示されている。主要な観光地や交通結節点では赤いクラスタが形成され、居住地区域に緑のクラスタが形成されている。各クラスタの特徴量平均値、サンプル数、クラスタ内の観光者と住民の比率(多次元混合ガウスモデルの特徴量には含まない)、を表-1に示す。ここで各クラスタの特徴をまとめる。クラスタ3,6は居住地距離が大きいことから鎌倉市外からきた観光者であると解釈できる。特にクラスタ3は滞在時間が比較的長く、広い分布を示すことから、鎌倉山周辺等にお

る散策型観光行動を反映していると考えられる。一方、クラスタ6は海岸部・江の島周辺に位置し、短時間滞在型の観光行動が多い。クラスタ1,2,5は居住地距離の特徴から地域住民のクラスタと判断される。クラスタ1は大船駅周辺の住民行動、クラスタ2は長時間滞在地点を含むことから日常生活拠点を示すと考えられる。クラスタ5は住民と観光者が概ね均衡し、西側の居住区域と東側の長谷観音などの観光資源を含むことから、両機能の併存が比率の拮抗を生んでいると解釈される。クラスタ0,4は観光者と住民が混在するクラスタであり、鎌倉駅や大船駅周辺などの交通結節点に対応し、オーバーツーリズムによる錯綜が生じやすい空間と解釈される。クラスタ0は観光者比率がやや高く、中距離来訪者が多いことから観光動線上の結節空間を反映し、滞在時間が短いことから通過・立ち寄り型の行動が中心と推察される。一方クラスタ4は駅前商業地や小町通りなど観光資源を含み、結節機能と滞在機能が同時に存在する点に特徴がある。このため、単なる通過点ではなく、観光活動自体が集中的に行われる空間となっている。

(2) クラスタの内部構造

クラスタ4は、観光者比率と住民比率が最も均衡しており、両者の行動が空間的に混在している特徴を有する。このような混合型クラスタは、観光特化型空間や生活拠点型空間とは異なり、観光行動と日常行動が同時に生起している可能性が高い空間である。

よって、観光者と住民の行動が交錯する実態を把握する上で、クラスタ4は分析対象として適切であると判断し、観光者と住民の錯綜が生じる要因を明らかにするため、クラスタ4に着目し、その内部構造について詳細な分析を行った。

a) 観光者と住民の滞在時間

まず観光者と住民の滞在時間の分析を行った。

表-1 各クラスタの特徴量平均値

	表 1 各アンケートの特性量平均値								
	番号	utm_x_平均	utm_y_平均	時間平均 (時)	滞在時間 平均 (分)	居住地距離 平均 (km)	サンプル数	住民比率	観光客比率
0	0	366285.13	3912729.12	13.86	21.34	13.81	11053	0.33	0.66
1	1	366609.68	3912584.68	14.88	25.61	3.67	64968	0.83	0.16
2	2	366508.71	3910867.71	13.31	171.05	3.56	20117	0.71	0.28
3	3	366363.00	3910431.91	13.03	78.30	128.31	6133	0.09	0.90
4	4	368458.68	3909322.76	13.55	23.18	17.23	16366	0.39	0.60
5	5	365495.19	3909261.84	14.80	25.83	3.53	61404	0.64	0.35
6	6	362337.72	3908239.21	13.27	25.56	27.35	7448	0.07	0.92

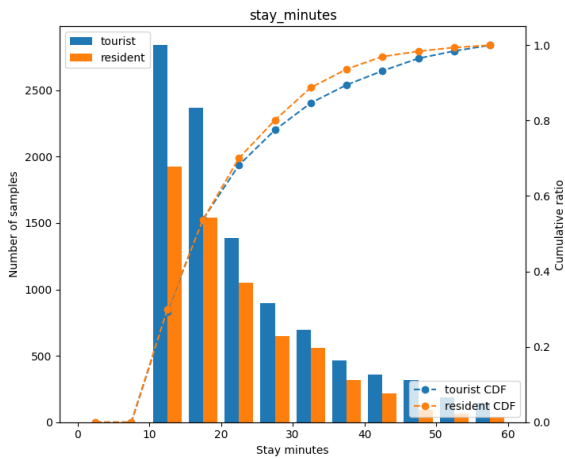


図-2 滞在時間別人数

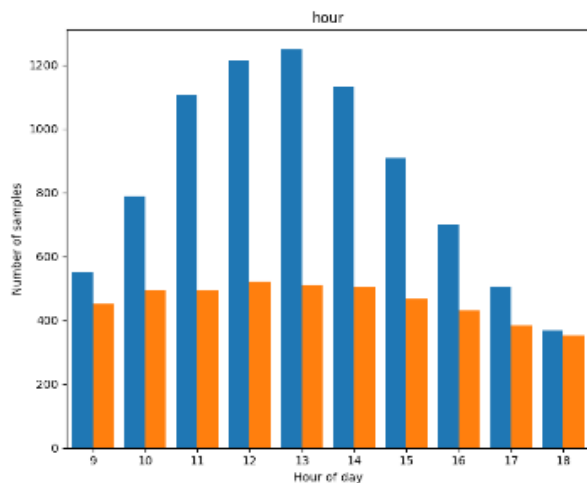


図-3 時間帯別人数

その結果を図-2 に示す。図-2 はクラスタ 4 に属する観光者および住民の滞在時間 (stay_minutes) の分布を示したものであり、棒グラフは各滞在時間階級のサンプル数、折れ線は累積分布を表す。人数分布を見ると、観光者と住民の行動はどちらも 10~20 分に最も多く分布しており、短時間滞在が中心である両者は 15 分前後で最大となり、その後は滞在時間の増加に伴い減少する。累積分布からも、

滞在構造は概ね共通していることが確認できる。

以上より、クラスタ 4 における観光者と住民の滞在時間分布は類似しており、累積分布にも大きな差は認められない。このことから、当該クラスタの混雑は滞在時間の長短よりも、時間帯への集中や行動量の差といった他の要因によって生じている可能性が示唆される。

b) 観光者と住民の時間分布

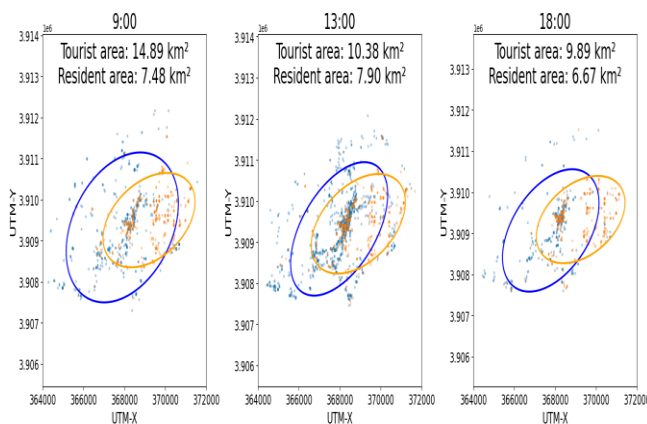
次に、観光者と住民の行動時刻の分析を行った。その結果を図-3 に示す。クラスタ 4 に属する観光者の行動は、9 時台から徐々に増加し、11~13 時台にかけて顕著な集中を示す。その後は 14 時以降減少傾向に転じている。一方、住民の行動は時間帯による変動が比較的小さく、9 時台から 18 時台まで概ね均等に分布している。観光者のような急激な増加や集中は見られず、日常的な用務や移動に基づく安定的な行動構造を示している。

すなわち、クラスタ 4 は空間的には観光者と住民が共存するエリアであるが、時間的には昼間に観光行動が集中的に発生する特徴を有している。したがって、正午前後は観光者と住民の行動が重なりやすく、混雑が生じやすい時間帯であると解釈できる。

c) 観光者と住民の行動範囲

さらに観光者と住民の行動範囲を分析した。図-4 の左図は朝昼夕の観光者および住民の滞在・歩行地点を UTM 座標上に示し、それぞれの空間分布に対して共分散楕円 (2σ) を描画した。また、滞在時間階級ごとの観光者と住民の共分散楕円が重なっている部分の面積を図-4 の右グラフに示した。

この図-4 から観光者の方が住民よりも広範囲に行動しており、13 時に観光者と住民の行動が大きく重なることが推測される。これらの結果より鎌倉駅周辺における混雑は観光者の時間的集中と広域的回遊行動により形成され、特に観光者の行動ピーク時間帯に住民の生活圏と観光行動圏が重なることで混雑が発生している可能性が示唆される。



Hourly spatial overlap between tourists and residents (Cluster 4)

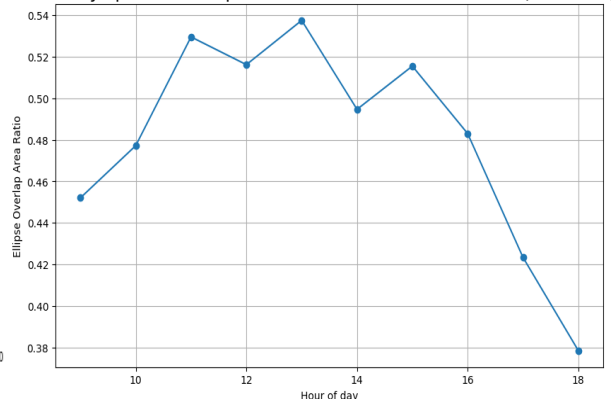


図-4 朝昼夕のクラスタ 4 の観光者と住民の行動範囲と時間帯別共分散楕円の重なり面積

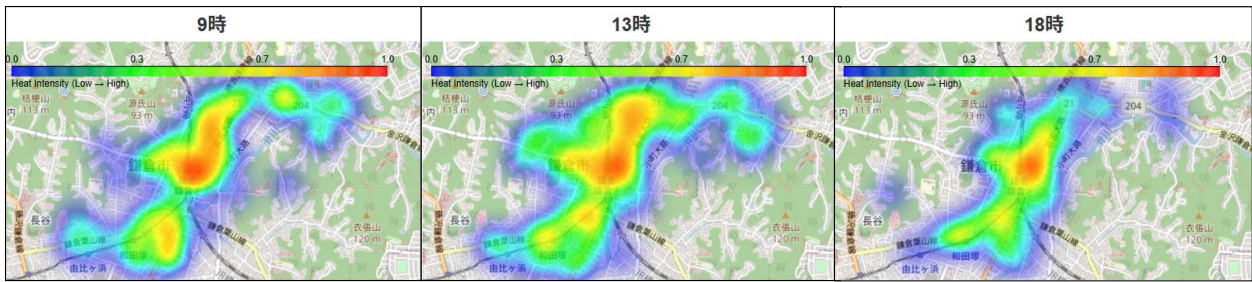


図-5 朝昼夕のクラスタ4の観光者の行動ヒートマップ

表-2 時間的分散の検定結果

変数	比較時間帯	U値	p値	効果量 r	解釈 (効果量)
stay_minutes	9-10 vs 11-13	4,059,667.00	0.731	0.004	ほぼ差なし
stay_minutes	11-13 vs 15-17	5,883,047.50	0.0736	0.022	ほぼ差なし
move_km	9-10 vs 11-13	2,523,646.50	3.86E-10	0.089	ごく小さい差
move_km	11-13 vs 15-17	4,532,650.00	0.918	0.001	差なし
dist_from_cluster_center	9-10 vs 11-13	3,820,201.50	3.81E-05	0.054	ごく小さい差
dist_from_cluster_center	11-13 vs 15-17	5,871,628.50	0.099	0.02	ほぼ差なし

5. 観光者の行動変化の可能性

前章では、混雑要因として観光者数が昼時間帯にピークになり、観光者の行動が住民の行動と空間的に重ることが示された。また、その行動範囲は鎌倉駅を中心に広域に及んでいる可能性も示唆された。以上を踏まえ、本章では鎌倉駅周辺における観光行動の時間的・空間的分散の可能性について検討する。まず、本節では空間的分散の可能性を検証する。

(1) 空間的分散の可能性

図-5 はクラスタ4に属する観光者の行動を示したヒートマップである。これより、観光者行動は鎌倉駅を起点とし、小町通りおよび若宮小路を中心とする南北方向の主要観光動線に沿った線状集中構造をしていることが確認できる。特に、駅周辺から鶴岡八幡宮方面にかけて高密度の滞留がみられ、昼時間帯における混雑の中心軸を形成している。一方で、金沢街道方面および北鎌倉方面へ向かうエリアでは相対的に密度が低く、同一行動圏内に一定の空間的余地が存在していることが読み取れる。これらのエリアは主要観光動線と連続する徒歩圏に位置しており、観光行動の基本構造を大きく変化させることなく滞留の分散を誘導できる可能性が示唆される。

(2) 時間的分散の可能性

続いて、時間的分散の可能性を検証した。観光者の時間別行動量分布に基づき、時間帯を朝（9-10時）、昼（11-13時）、夕（15-17時）の3区分とした。観光者は11-13時に明確なピークを示し、その前後で増減する一方、住民の行

動は比較的安定していた。なお、検定の安定性を確保するため、1時間単位ではなく複数時間帯を統合して分析を行った。時間帯間の差異の検証には、滞在時間（stay_minutes）、移動距離（move）、および滞在場所の中心からの距離（dist_from_cluster_center）を指標として用いた。これらは連続量であり、観光行動データの特性上、外れ値や分布の歪みを含む可能性がある。そのため、分布形状に依存しないノンパラメトリック手法である Mann-Whitney U 検定を採用した。本検定では朝・昼、昼・夕の各時間帯間で統計的差異の有無を検証した。

まず、滞在時間（stay_minutes）については、9-10時と11-13時、11-13時と15-17時のいずれの比較においても統計的有意差は確認されなかった。また、効果量はいずれも極めて小さく、時間帯による実質的差異はほとんど認められない。次に、移動距離（move_km）については、9-10時と11-13時の比較において統計的有意差が確認された。しかし、効果量は $r=0.089$ と小さく、差の大きさは限定的である。一方、11-13時と15-17時の比較では有意差は認められなかった。さらに、クラスタ中心からの距離（dist_from_cluster_center）についても、9-10時と11-13時で有意差が確認されたが、効果量は $r=0.054$ と小さい。11-13時と15-17時では有意差は認められなかった。

以上の結果より、一部の時間帯間で統計的有意差は検出されたものの、効果量はいずれも小さく、時間帯によって観光行動の構造が大きく変化しているとは言い難い。よって、滞在時間、移動距離、および空間的広がり、朝・昼・夕の区分において概ね共通した傾向を示している。このことは、観光者の行動構造は時間帯によらないことが示された。つまり、観光行動は時間的に分散させ得る可能性が示

唆される。

6. まとめ

本研究では、GPS データを用いて多次元混合ガウスモデルによるクラスタ分析を行い、さらにクラスタ内部構造に着目することで、観光地における混雑の空間的・時間的構造を明らかにすることを目的とした。

空間座標に加え、行動時間帯や滞在時間、自宅距離といった複数の行動特性を同時に用いてクラスタリングを行った。このため、単なる空間的混雑ではなく、行動特性の類似性に基づいた混雑構造を明らかにした。分析の結果、鎌倉および江の島全域における観光者および住民の行動特性を定量的に把握、可視化することができた。観光行動の集中するエリアや時間帯が明らかとなり、特に鎌倉駅周辺では観光者と住民の行動分布が重なっているクラスタが確認された。さらに鎌倉駅周辺では、観光者と住民の行動が時間的だけではなく、空間的にも重なっている部分があり、観光者の行動がピークになる昼の時間に混雑が発生することが示唆された。

一方で滞在時間が観光者と住民でほぼ同程度であることから、当該空間における滞在時間は来訪者の属性差よりも、駅周辺や参道の空間構造や行動制約によって形成されている可能性が高い。観光者行動のピーク時間帯に混雑が集中するため、時間帯別の観光誘導政策により観光需要の時間分散を図ることが有効と考えられる。また観光者と住民の行動が鎌倉駅を中心に重なっているため、観光動線と住民動線の分離も有効であると考えられる。さらに、観光

者の行動変化の可能性を踏まえると、時間的・空間的分散施策の実効性が示唆される。

しかしながら、本研究にはいくつかの課題が残されている。GPS データの位置精度やサンプリング間隔に起因する誤差の影響を十分に考慮できていない点や、本研究では滞在・徒歩行動に着目したため、データに含まれる交通手段情報を十分に活用できていないという課題が残る。上記課題を踏まえて、今後は鎌倉市全体の動線分析を行い、持続可能な観光交通政策の立案につなげることが今後の論点となる。

REFERENCES

- 1) 日本政府観光局 訪日外者数
https://www.jnto.go.jp/news/press/20250115_monthly.html
- 2) 音喜多俊平 坂地泰紀 野田五十樹: 多次元ガウス混合モデルによる携帯 GPS データの滞在目的分類
人工知能学会第二種研究会資料 2024 SAI-051
- 3) 横山 暁 有馬 貴之 富田 裕也: 非対称クラスター分析法を用いた GPS データの分析
ー横浜観光エリアにおける観光行動の把握ー
日本分類学会 2023 年 12 巻 1 号 p. 17-31
- 4) 鎌倉市ホームページ 2025 年 5 月 29 日
<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/kisya/data/2025/20250529.html>

(?)

(?)

Analysis of Attribute-Based Mobility Patterns in Tourist Destinations Using GPS Data: A Case Study of Residents and Tourists in Kamakura

Takaya KUROKI, Ryusuke TAKEUCHI

This study analyzes behavioral characteristics of tourists and residents in Kamakura City against the backdrop of increasing congestion and the progression of overtourism in tourist destinations. Using GPS data, we applied a multidimensional Gaussian Mixture Model (GMM) to cluster stay behaviors and quantitatively identify the spatial and temporal distribution structures of both groups. The results indicate that tourists concentrate heavily around Kamakura Station during the midday period, where their activity spaces substantially overlap with those of residents. Furthermore, for clusters in which tourists and residents spatially overlap, we conducted statistical analyses of time-of-day differences in behavioral characteristics. The findings reveal significant differences in stay duration and dispersion levels across time periods, suggesting the potential for temporal redistribution as a congestion mitigation strategy. In addition, by comparing behavioral patterns between peak and non-peak periods, we examined the feasibility of temporal dispersion policies aimed at alleviating congestion.