

観光地における混雑課金政策導入評価のための
移動・活動シミュレーションに関する研究

観光地における混雑課金政策導入評価のための
移動・活動シミュレーションに関する研究プロジェクト

令和5年4月

公益社団法人 日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。
シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。
シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ
てとりまとめたものを収める。
シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。
シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。
シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-866

令和4年度自主研究プロジェクト

観光地における混雑課金政策導入評価のための移動・活動シミュレーションに

刊行：2023年4月

観光地における混雑課金政策導入評価のための移動・活動シミュレーションに関する研究
A Study on Travel and Activity Simulation for Evaluation of Introduction of
Congestion Charging Policies in Tourist Areas

主査：福田 大輔（東京大学大学院教授）
Daisuke FUKUDA

< 要 旨 >

近年の観光地における来訪客数の増加は、当該エリアや国の経済的な発展を促すという正の側面を持つ一方、オーバーツーリズムによる当該エリア内での混雑増大やその結果としての魅力度低下を引き起こしている。そうした中、直接的に観光行動を禁止することなく観光客の過度な集中を経済的手段によって抑制する混雑課金政策が観光地を対象としても議論されてきたが、観光地における課金スキームの設計は、通勤交通混雑緩和の場合よりも複雑である。

本研究では、観光客の移動・活動を一体的に記述する数理モデルを定式化し、モデルと交通関連ビッグデータや選好意識調査データの連携を企図したシミュレーションシステムを構築することを第一目的とする。また並行して、人流ビッグデータを用いたニッチな観光スポット検出のための分析方法論を構築し、検証することを第二目的とする。

第一目的に対応して、時間窓付き配送計画問題の一部の制限を取り除いた上で、エリア内で定められた活動をする世帯構成員の時空間上の最適な経路を決定するアクティビティモデルを拡張し、時間窓や時空間的な相互関係の制約条件を明示的に表現できる新たな観光周遊行動に関するアクティビティモデルを定式化した。さらに、道路リンクや公共交通リンクにおける動的な混雑現象を記述可能となるように展開し、動的利用者均衡の概念に基づく定式化と、簡単なネットワーク上での数値計算アルゴリズムの検証を行い、モデルシステムの妥当性を確認した。さらに、構築したモデルを用いて、鎌倉市を想定したケーススタディを行い、課金額の異なる施策導入のネットワーク交通流や観光客への影響の分析を行った。具体的には、混雑課金の導入は自動車利用者の一部を公共交通機関へ転換させることや、課金額の増加に伴いネットワークの混雑は解消されるものの観光客の効用は低下することが示唆された。

第二目的に対応して、沖縄本島を対象に、将来的に観光客が増加すると期待される、いわゆるニッチな観光地を検出する方法を構築し、検証を行った。また、観光客の位置情報に関するオルタナティブデータを用いたケーススタディより、公共交通機関からの距離や沖縄県庁からの距離が近く、道路密度は高い地点のニッチ性が高いことなどが示された。

キーワード：オーバーツーリズム、アクティビティ分析、混雑課金、ビッグデータ

Keywords : Overtourism, Activity-based Analysis, Congestion Charging, Big Data

プロジェクト研究メンバーおよび執筆分担

主査：	福田 大輔	東京大学大学院（1-2 章）
メンバー：	櫻井 陸斗	日本土地建物株式会社（1 章）
	羽間 真奈実	大成建設株式会社（2 章）
	神谷 大介	琉球大学
	菅 芳樹	地域未来研究所

（令和 5 年 4 月現在）

目次

1章	観光地への混雑課金導入が周遊行動に与える影響の分析	1
1.1	はじめに	1
1.2	既往研究のレビューと本研究の位置づけ	3
1.3	混雑を考慮した観光周遊行動モデルの構築	5
1.4	鎌倉市を対象としたケーススタディ	17
1.5	結論と今後の課題	24
2章	人流ビッグデータを用いたニッチな観光スポットの検出	25
2.1	はじめに	25
2.2	分析に用いるデータの概要	26
2.3	データのクリーニングとPOIの再カテゴリー化	27
2.4	カウントデータモデリングによるニッチな観光スポットの検出	34
2.5	モデル推定結果と考察	37
2.6	結論と今後の課題	43
	参考文献	48

1章 観光地への混雑課金導入が周遊行動に与える影響の 分析

1.1 はじめに

近年、技術の進歩や中間層の拡大に伴い、世界的に観光客数や観光収入が増加している。しかしその一方で、観光による観光地の社会や環境への負の影響であるオーバーツーリズムが問題視されている。持続的な観光を実現するために、適切な観光地マネジメントを行うことでオーバーツーリズムを解決する必要がある。

高坂 (2019) はオーバーツーリズム対策の具体的な手法を分散、課金、規制に分類して整理した。その中でも、得られた収入を観光資源の保全や観光振興に活かし、直接的に行動を禁止せずに観光客の過度な集中を抑制できる混雑課金に注目が集まっている。混雑課金とは、特定の道路や地域、時間帯における自動車利用者から料金を徴収することで交通行動の変容を促し、自動車交通量の抑制を図る交通需要マネジメント施策である。自動車利用の抑制と収入の創出のために多くの都市で導入が検討され、シンガポールやロンドン、ストックホルムで実施されている。

混雑課金の導入には、施策の社会的効果と収支の予測、法整備、市民との合意形成といった多くの課題を解決する必要がある。その中でも、観光地における施策導入の効果予測は過去の事例を参考にすることが難しい。なぜなら、そうした事例の多くは都市中心部の通勤交通が卓越したエリアを対象としており、都心部と観光地との違いを考慮する必要があるからである。目的地である勤務地への移動が必要不可欠な場合が多い派生需要である通勤交通に対し、観光行動は旅行者が数多くある余暇の中から選択する。したがって、厳しい課金を設けると訪問観光客数が減少し、賑わいが損なわれてしまうことで観光地の価値の低下を招いてしまう。また、通勤交通では課金エリアの流入出のみを考慮すればよいのに対し、観光交通ではエリアの流入出に加えてエリア内での周遊行動についても考慮する必要がある。このように、観光地を対象とした交通需要マネジメント施策の導入を検討する際には、観光客の周遊行動の変化を分析し、観光地の交通状態への影響を事前に予測する必要がある。

そこで本研究では、交通施設の動的な混雑に伴う旅行時間の変化を考慮したアクティビ

ディモデルを構築し、観光客の周遊先順序とその経路、交通手段、出発時刻の同時選択行動をモデル化することを目的とする。次に、道路の容量制約を考慮した動的利用者均衡問題を定式化し、観光周遊量の変化を予測できるように展開する。最後にそのモデルを用いて、交通需要マネジメント施策が導入された際の観光地の交通需要の変化を予測し、施策の効果を評価する。

1.2 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

1.2.1 混雑課金

実際の道路に導入する際には、一部のリンクや一部の時間帯に制限されて金額を徴収するセカンドベストの課金が選択される。May and Milne (2000) は渋滞割り当てネットワークモデルを適用することで、コーダンの通過、移動距離、移動時間、渋滞時間に基づいて課金する4種のシステムの性能を比較した。

エリアへの流入時に料金を課すコードンプライシングは、実現性やコスト面で優れており、観光地で検討が進められている。Mun et al. (2003) は旅行行動と交通渋滞を連続次元空間モデルで表し、コードンプライシングとファーストベスト課金が同等の社会的厚生が得られることを示した。このモデルはトリップベースアプローチであり、アクティビティ型のモデルとして Maruyama and Sumalee (2007) のトリップチェーンを用いたネットワーク均衡モデルがある。宇都宮市を対象とした分析で、社会的厚生の観点からエリアプライシングがコードンプライシングより優れていることを示した。

観光地を対象とした分析として、高橋他 (1998) は交通流シミュレーションを適用し、鎌倉地域を対象にパーク&ライドと混雑課金が実施された場合のドライバーの行動を予測し、こうした施策パッケージにより道路混雑が効果的に解消されることを示した。

1.2.2 アクティビティベーススケジューリングモデル

北村 (1996) は従来のトリップベースのアプローチでは、時間軸を明示的に組み込まず、一日の行動を考慮した上の選択や需要誘発を考慮できないと指摘した。そして、トリップ発生の源である活動自体を解析対象としたアクティビティベースのアプローチの必要性を主張した。

一日の行動を表すアクティビティベーススケジューリングモデルの研究は数多くなされてきた。CEMDAP (Bhat et al., 2004) や SACSIM (Bradley et al., 2010) は一日の初めに家庭内の労働者から順に一日の全ての活動を決定するモデルである。一方、より現実的に即して逐次的に活動を決定するモデルとして TASHA (Miller and Roorda, 2003) や FAMOS (Pendyala et al., 2005) が提案された。

Recker (1995) は、時間窓付き配送計画問題の一部の制限を取り除き、家庭内で定められ

た活動をする世帯構成員の時空間上の最適な経路を決定する Household Activity Pattern Problem (HAPP) を提案した。このモデルは混合整数計画問題として記述され、時間窓や時空間的な相互関係の制約条件を明示的に表現できる。このモデルを基に、目的地選択 (Kang and Recker, 2013) や交通手段選択 (Chow and Djavadian, 2015) といった様々な拡張が研究されている。

さらに、HAPP を政策分析の手段として利用する研究が行われている。Recker et al. (2001) は HAPP を用いて交通需要マネジメント施策の影響を推定した。観測データと政策シナリオ下の HAPP の解の乖離が政策の可能性の限界を評価する指標であるとして、ライドシェアリングとトリップチェーンの影響の上限を検証した。Kang et al. (2013) は、インフラの改善に対する世帯構成員のスケジュール選択を対象に、HAPP を下位問題に含んだアクティビティベースネットワークデザイン問題を提案した。

1.2.3 本研究の位置づけ

このように、セカンドベストの混雑課金導入を評価する既往研究の多くはトリップベースアプローチを用いたもの、あるいは観光交通を対象としないものであった。観光地の混雑課金を評価する際には、交通手段の利用者数や渋滞の発生時間帯、地点といった交通状態を分析することが重要である。こうした観点から、本研究では、アクティビティモデルのアプローチにより観光周遊行動を記述し、全旅行者の予定を集計することで、混雑課金をはじめとする交通需要マネジメント施策の導入の影響を評価する手法を構築する。

1.3 混雑を考慮した観光周遊行動モデルの構築

本研究では、混雑を考慮した観光周遊行動モデルを構築する。本章では、まず、Recker (1995) が構築した HAPP を拡張して、観光地における観光客のスケジューリング行動の定式化を行う。そして、石原・井料 (2015) で提案された動的な交通量配分問題を Day-to-day ダイナミクスを用いて計算する方法を援用し、観光客のスケジュールの動的利用者均衡配分を求める手順について概説する。

1.3.1 観光周遊スケジューリング問題

観光周遊スケジューリングモデル

HAPP (Recker, 1995) 及びその交通手段選択への拡張 (Chow and Djavadian, 2015) は、世帯構成員の時空間上の最適な経路を決定するアクティビティモデルである。観光客の周遊行動のモデル化において、これらのモデルの適用が他のアクティビティモデルよりも妥当と考えられる理由が二点ある。一点目は問題を混合整数計画問題として記述できる点である。現実世界における様々な状況を線形の等式もしくは不等式の制約条件として明示的に表すことができる。また、目的関数の係数として観光客の個人属性を組み込み、観光客の特徴をモデルに反映させることが可能である。二点目は時間窓の制約が明示的である点である。時間窓の制約を用いて各観光施設の営業時間を明示的にモデル化できる。

HAPP は家庭内で定められたアクティビティを行う世帯構成員の行動を予測するモデルであるので、そのまま観光客の周遊行動予測に適用することはできない。したがって、混雑課金導入前後の周遊行動予測を行うためにモデルの拡張を行う必要がある。本研究では以下の四点を変更することで、HAPP をベースにした観光周遊スケジューリングモデルを新たに構築した。一点目は計算を観光客グループ単位で行う点である。HAPP およびその後続研究 (Kang and Recker, 2013; Chow and Djavadian, 2015) では、世帯単位で最適化計算を行い、世帯構成員の最適な経路を予測している。観光周遊行動を考慮する場合、構成員が異なる行動パターンをとることは少ないと考えられるので、各構成員の行動を一致させる必要がある。二点目は帰宅トリップを考慮しない点である。HAPP では各活動地点ノードからホームノードまでの帰宅トリップを導入することで、一時的に帰宅することを表現した。しかし、観光行動において一時的に帰宅することは考えにくいので、本研究では帰宅トリップをモデルから取り除いた。三点目は仮想のホームノードを導入す

る点である。本研究では計算量の削減のため、共通の仮想ホームノードを導入し、ホームノード最寄りの仮想交通施設ノードから観光地へ流入するリンクの旅行コストに混雑課金額を追加することで、混雑課金施策導入を表現する。四点目はリンク旅行時間を時刻に応じて変化させる点である。道路リンクの交通容量以上の需要がある場合に、混雑によるリンク旅行時間の変化を考慮した。

観光周遊スケジューリング問題の定式化

まず、観光周遊スケジューリング問題で対象とするネットワークについて説明する。ネットワークはホームノード、観光施設ノード、交通施設ノードとそれらを結ぶリンクから構成される。観光客は必ず出発ホームノードから一日の行動を開始し、帰宅ホームノードに戻ることで一日を終える。また、観光客は事前に定められた観光施設ノードを必ず一回訪問する。そして、観光施設ノードを訪問するために交通施設ノードを何度でも経由することができる。この交通施設ノードは交通手段毎に、駐車場ノードや鉄道駅ノード、バス停ノードのように分類することが可能である。

次に、入力データについて述べる。入力データは、ネットワーク、アクティビティ、観光客特性である。ネットワーク特性として、ノード間の接続、各時刻のリンク旅行時間、リンク旅行費用、自動車リンクの交通容量を設定する。アクティビティ特性として、活動の所要時間、時間窓を設定する。観光客特性として、移動時間価値や交通手段の嗜好、外出時間の長さによる不効用の重みを示すパラメータ、訪問する観光施設を設定する。

上記を踏まえ、観光周遊スケジューリングモデルを最適化問題として以下のように定式化する。数式中の文字については表 1.1 に示すとおりである。以下の定式化はある観光客グループの一般化費用を最小にするような 1 日のスケジュールを求める最適化問題である。

まず、目的関数を式 (1.1) と式 (1.2)-(1.7) に示す。

$$\text{minimize } Z(X, T, Q) \quad (1.1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} Z(X, T, Q) &= \beta_{time} \sum_{r \in \{O, P\}} \sum_{s \in \{P, D\}} \sum_{u \in \{r, F\}} \sum_{w \in \{s, F\}} \sum_{t \in T} t_{uw,t} X_{uw,t}^{rs} \end{aligned} \quad (1.2)$$

表 1.1 変数の定義 (HAAP モデル)

変数	定義
$X_{uw,t}^{rs}$	ホームノードや観光施設ノード rs 間の移動を構成するノード uw 間の移動が時刻 t に行われることを表すバイナリ変数
T_u	ノード u の利用開始時刻
T_u^{rs}	ホームノードや観光施設ノード rs 間の移動をする際にノード u を出発する時刻
T_O, T_D	一日の行動開始/終了時刻
Q_u^{rs-}, Q_u^{rs+}	駐車場に入場/出場した時刻
O, D	出発/帰宅ホームノード
\mathbf{P}	全観光施設ノードの集合
\mathbf{F}	全交通施設ノードの集合
\mathbf{F}_c	交通施設ノードの内、自動車による移動に関する駐車場ノードの集合
\mathbf{F}_p	交通施設ノードの内、鉄道やバスによる移動に関するノードの集合
β	目的関数の重みベクトル
$t_{uw,t}$	時刻 t にノード u を出発した際のリンク uw の旅行時間
c_{uw}	リンク uw の旅行費用
$q_{uw,t}$	時刻 t にノード u を出発した際のリンク uw で発生する待ち時間
p_u^v	駐車場ノード u での駐車時間に応じて追加される駐車料金の変動値
p_u^f	駐車場ノード u の駐車料金の固定値
M	十分大きな正の実数値
d_u	ノード u での滞在時間
a_u, b_u	ノード u の利用可能開始/終了時刻

$$+ \beta_{cost} \sum_{r \in \{O, \mathbf{P}\}} \sum_{s \in \{\mathbf{P}, D\}} \sum_{u \in \{r, \mathbf{F}\}} \sum_{w \in \{s, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} c_{uw} X_{uw,t}^{rs} \quad (1.3)$$

$$+ \beta_{daytime} (T_D - T_O) \quad (1.4)$$

$$+ \beta_{congestion} \sum_{r \in \mathbf{P}} \sum_{s \in \mathbf{P}} \sum_{u \in \mathbf{F}_c} \sum_{w \in \mathbf{F}_c} \sum_{t \in \mathbf{T}} q_{uw,t} X_{uw,t}^{rs} \quad (1.5)$$

$$+ \beta_{park} \sum_{u \in \mathbf{F}_c} \left(p_u^v \left(\sum_{r \in \{O, \mathbf{P}\}} \sum_{s \in \{\mathbf{P}, D\}} (Q_u^{rs+} - Q_u^{rs-}) \right) + p_u^f \sum_{r \in \{O, \mathbf{P}\}} \sum_{s \in \{\mathbf{P}, D\}} \sum_{w \in \{\mathbf{F}_c, r\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{wu,t}^{rs} \right) \quad (1.6)$$

$$+ \beta_{transportation} \sum_{s \in \mathbf{P}} \sum_{w \in \mathbf{F}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{Ow,t}^{Os} \quad (1.7)$$

式 (1.2)-(1.7) は観光客の総費用を表す。式 (1.2) と式 (1.3) は一般化費用と総旅行時間を示す。式 (1.4) は外出時間を示す。式 (1.5) は道路の混雑による移動時間の増加を表しており、算出方法は 1.3.2 節で後述する。式 (1.6) は駐車場利用料金を表す。式 (1.7) は自動車利用による費用を表す。

次に、制約条件を式 (1.8)-(1.33) に示す.

$$\sum_{s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}} \sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rw,t}^{rs} = 1, \quad r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\} \quad (1.8)$$

$$\sum_{r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}} \sum_{u \in \{\mathbf{r}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{us,t}^{rs} = 1, \quad s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\} \quad (1.9)$$

$$\sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} - \sum_{w \in \{\mathbf{r}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{wu,t}^{rs} = 0, \quad (1.10)$$

$$u \in \mathbf{F}, r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}$$

$$\sum_{r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}} \sum_{s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}} \sum_{w \in \{\mathbf{F}_c, \mathbf{D}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} \quad (1.11)$$

$$- \sum_{r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}} \sum_{s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}} \sum_{w \in \{\mathbf{O}, \mathbf{F}_c\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{wu,t}^{rs} = 0, \quad u \in \mathbf{F}_c$$

$$\sum_{r \in \mathbf{P}} \sum_{u \in \{\mathbf{r}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uO,t}^{rO} + \sum_{s \in \mathbf{P}} \sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{Dw,t}^{Ds} = 0 \quad (1.12)$$

$$- T_u^{rs} + Q_u^{rs+} \geq \left(\sum_{w \in \{\mathbf{F}_c, \mathbf{D}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} - 1 \right) \mathbf{M}, \quad (1.13)$$

$$u \in \mathbf{F}_c, r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}$$

$$- T_u^{rs} + Q_u^{rs+} \leq \left(1 - \sum_{w \in \{\mathbf{F}_c, \mathbf{D}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} \right) \mathbf{M}, \quad (1.14)$$

$$u \in \mathbf{F}_c, r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}$$

$$T_u^{rs} - Q_u^{rs-} \geq \left(\sum_{w \in \{\mathbf{O}, \mathbf{F}_c\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{wu,t}^{rs} - 1 \right) \mathbf{M}, \quad (1.15)$$

$$u \in \mathbf{F}_c, r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}$$

$$T_u^{rs} - Q_u^{rs-} \leq \left(1 - \sum_{w \in \{\mathbf{O}, \mathbf{F}_c\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{wu,t}^{rs} \right) \mathbf{M}, \quad (1.16)$$

$$u \in \mathbf{F}_c, r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}$$

$$T_r + d_r + t_{rs} - T_s \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rs,t}^{rs} \right) \mathbf{M}, \quad (1.17)$$

$$r \in \mathbf{P}, s \in \mathbf{P}$$

$$T_r + d_r + t_{rw} - T_w^{rs} \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rw,t}^{rs}\right) \mathbf{M}, \quad (1.18)$$

$$r \in \mathbf{P}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}, w \in \mathbf{F}, t \in \mathbf{T}$$

$$T_u^{rs} + d_u + t_{us} - T_s \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{us,t}^{rs}\right) \mathbf{M}, \quad (1.19)$$

$$r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \mathbf{P}, u \in \mathbf{F}, t \in \mathbf{T}$$

$$T_u^{rs} + d_u + t_{uw} - T_w^{rs} \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs}\right) \mathbf{M}, \quad (1.20)$$

$$u \in \{\mathbf{F}_p, r\}, w \in \{\mathbf{F}_p, s\}, r, s \in \mathbf{P}, t \in \mathbf{T}$$

$$T_u^{rs} + q_{uw,t} X_{uw,t}^{rs} + d_u + t_{uw} - T_w^{rs} \leq (1 - X_{uw,t}^{rs}) \mathbf{M}, \quad (1.21)$$

$$u, w \in \mathbf{F}_c, r, s \in \mathbf{P}, t \in \mathbf{T}$$

$$T_{\mathbf{O}} + t_{\mathbf{O}w} - T_w^{\mathbf{O}s} \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{\mathbf{O}w,t}^{\mathbf{O}s}\right) \mathbf{M}, \quad (1.22)$$

$$w \in \mathbf{F}, s \in \mathbf{P}$$

$$T_u^{rD} + t_{uD} - T_D \leq \left(1 - \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uD,t}^{rD}\right) \mathbf{M}, \quad (1.23)$$

$$u \in \mathbf{F}, r \in \mathbf{P}$$

$$T_r - a_r \geq \left(\sum_{s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}} \sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rw,t}^{rs} - 1 \right) \mathbf{M}, \quad (1.24)$$

$$r \in \mathbf{P}$$

$$T_r - b_r \leq \left(1 - \sum_{s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}} \sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rw,t}^{rs}\right) \mathbf{M}, \quad (1.25)$$

$$r \in \mathbf{P}$$

$$T_u^{rs} - a_u \geq \left(\sum_{w \in \{\mathbf{s}, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} - 1 \right) \mathbf{M}, \quad (1.26)$$

$$r \in \{\mathbf{O}, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, \mathbf{D}\}, u \in \mathbf{F}$$

$$T_u^{rs} - b_u \leq \left(1 - \sum_{w \in \{s, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} \right) M, \quad (1.27)$$

$$r \in \{O, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, D\}, u \in \mathbf{F}$$

$$T_u \leq M \left(\sum_{s \in \{\mathbf{P}, D\}} \sum_{w \in \{s, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{rw,t}^{rs} - 1 \right), \quad (1.28)$$

$$r \in \mathbf{P}$$

$$T_u^{rs} \leq M \left(\sum_{w \in \{s, \mathbf{F}\}} \sum_{t \in \mathbf{T}} X_{uw,t}^{rs} \right), \quad (1.29)$$

$$r \in \{O, \mathbf{P}\}, s \in \{\mathbf{P}, D\}, u \in \mathbf{F}$$

$$T_u^{rs} - t \leq (1 - X_{uw,t}^{rs})M, \quad r \in \{0, \mathbf{N}\}, \quad (1.30)$$

$$s \in \{\mathbf{N}, D\}, u \in \{r, \mathbf{F}\}, w \in \{s, \mathbf{F}\}, t \in \mathbf{T}$$

$$T_u^{rs} - t \geq (X_{uw,t}^{rs} - 1)M, r \in \{0, \mathbf{N}\}, \quad (1.31)$$

$$s \in \{\mathbf{N}, D\}, u \in \{r, \mathbf{F}\}, w \in \{s, \mathbf{F}\}, t \in \mathbf{T}$$

$$X_{uw,t}^{rs} \in \{0, 1\} \quad (1.32)$$

$$T_u, T_u^{rs}, T_O, T_D, Q_u^{rs+}, Q_u^{rs-} \geq 0 \quad (1.33)$$

式(1.8)-(1.11)はフロー保存則である。式(1.12)は外出時間外に移動を行わない制約である。式(1.13)-(1.16)によって駐車場の利用時間帯が定まる。式(1.17)-(1.23)はノードの利用時刻の前後関係の制約である。あるリンクの終点ノードの利用開始時刻は、その始点ノードの利用開始時刻から始点ノードの滞在時間とそのリンクの移動時間が経過した時刻以降となることを保証している。式(1.24)-(1.27)は各ノードの利用開始時刻は時間窓の範囲内であることを表す。ここで、観光施設の営業開始/終了時刻等に相当するノード u の利用可能開始/終了時刻 a_u, b_u は、混雑課金の導入に伴って営業主体側が変更する可能性も考えられるが、本研究ではそれを変化しないものと仮定している。式(1.28), (1.29)は利用しないノードの処理である。式(1.30), (1.31)はリンクの移動開始時刻とその始点ノードの出発時刻が等しいことを示す。式(1.32), (1.33)は各変数の非負制約である。これらの制約条件の下で式(1.1)を目的関数とする混合整数計画問題を解くことで、観光客の最適なスケジュールを求めることができる。

1.3.2 動的利用者均衡配分

交通ネットワーク上の各経路に動的な交通量を配分し、ネットワークの混雑を評価する概念として動的利用者均衡配分がある。本研究においては、全ての観光客が自身の選択する経路や出発時刻を変更することでもはや一般化費用を改善できない状態を指すこととする。

数式中の文字の定義は表1.2に示す。本研究では、同一の特性を持つ複数の観光客層（グループ）を想定して分析を行う。観光客のスケジュール選択の動的利用者均衡配分モデルを以下のように定式化する。

$$f_s^b(C_s^b - C^b) = 0, \quad b \in \mathbf{B}, s \in \mathbf{S} \quad (1.34)$$

$$C_s^b - C^b \geq 0, \quad b \in \mathbf{B}, s \in \mathbf{S} \quad (1.35)$$

$$\sum_s f_s^b - Q_b = 0, \quad b \in \mathbf{B} \quad (1.36)$$

$$u_{ij}^b(t) - \sum_s \delta_{s,ij}^t f_s^b = 0, \quad (1.37)$$

$$b \in \mathbf{B}, (i, j) \in \mathbf{E}, t \in \mathbf{T}$$

$$u_{ii}^b(t) - \sum_j v_{ji}^b(t) = 0, \quad b \in \mathbf{B}, i \in \mathbf{V}, t \in \mathbf{T} \quad (1.38)$$

$$\sum_j u_{ij}^b(t) - v_{ii}^b(t) = 0, \quad b \in \mathbf{B}, i \in \mathbf{V}, t \in \mathbf{T} \quad (1.39)$$

$$u_{ij}^b(t) - v_{ij}^b(t + t_{ij}(t)) = 0, \quad (1.40)$$

$$b \in \mathbf{B}, (i, j) \in \mathbf{E}, t \in \mathbf{T}$$

$$u_{ii}^b(t) - v_{ii}^b(t + d_i^s) = 0, \quad (1.41)$$

$$b \in \mathbf{B}, i \in \mathbf{V}, t \in \mathbf{T}, s \in \mathbf{S}$$

$$t_{ij}(t) = t_{ij}^0 + \int_0^t \max \left[0, \frac{\sum_{b \in \mathbf{B}} u_{ij}^b(t) - \mu_{ij}}{\mu_{ij}} \right] dt, \quad (1.42)$$

$$(i, j) \in \mathbf{E}, t \in \mathbf{T}$$

$$\begin{aligned}
C_s^b &= \beta_{time}^b \sum_{t \in \mathbf{T}} \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \delta_{s,ij}^t t_{ij}(t) \\
&+ \beta_{cost}^b \sum_t \sum_{(i,j) \in \mathbf{E}} \delta_{s,ij}^t c_{ij}(t) \\
&+ \beta_{daytime}^b \left(\sum_{t \in \mathbf{T}} \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \delta_{s,ij}^t t_{ij}(t) + \sum_i \delta_{s,i} d_i^s \right) \\
&+ \beta_{congestion}^b \sum_{t \in \mathbf{T}} \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \delta_{s,ij}^t (t_{ij}(t) - t_{ij}^0) \\
&+ ASC_s^b, \quad b \in \mathbf{B}, s \in \mathbf{S}.
\end{aligned} \tag{1.43}$$

$$f_s^b \geq 0, \quad b \in \mathbf{B}, s \in \mathbf{S} \tag{1.44}$$

式 (1.34), (1.35) は利用者均衡条件を示す. 式 (1.36)-式 (1.39) はフロー保存則を表す. 式 (1.40), (1.41) はリンクの流入出時刻とリンク旅行時間の関係を示す. 式 (1.42) は交通量に応じリンク旅行時間が変化することを表す. リンク旅行時間関数を表現するために, 「各リンクは, (a) 自由走行速度による出口までの移動を表す”自由走行リンク”と, (b) リンク出口で生じる待ち行列を表す”待ち行列リンク”という2種類のサブリンクから構成されている」とし, 物理的な長さを無視して待ち行列を考慮する Point Queue モデル (土木学会, 1998) を採用した. そして, 待ち行列リンクの旅行時間を累積流入出曲線から算出することで, 交通量に応じたリンク旅行時間を求める. 式 (1.43) は一般化費用を, 式 (1.44) は非負制約を示す.

1.3.3 求解アルゴリズム

本節では, 定式化した最適化問題と動的利用者均衡配分の計算を行い, 混雑を考慮した観光客の最適なスケジュール配分を求めるアルゴリズムを述べる.

動的利用者均衡配分を求めるために, 石原・井料 (2015) は1日あたり1台の車両を最短経路に移す手順を含む Day-to-day ダイナミクスを用いて計算し, マルコフ連鎖の定常状態に達した解を均衡解とみなす手法を提案した. Day-to-day ダイナミクスとは旅行者の経路選択の日々の調整過程を意味し, ランダムに選択された車両がその時点の交通状態に応じて最短経路を選ぶことを繰り返すことを表現した. 本研究においても, スケジュール選択の動的利用者均衡配分を求めるために, 石原・井料 (2015) が提案した方法を援用する.

表 1.2 変数の定義（動的利用者均衡配分）

変数	定義
f_s^b	観光客層 b の中でスケジュール s を選択するグループ数
C_s^b	観光客層 b に属する観光客がスケジュール s を選択した場合の一般化費用
C^b	観光客層 b に属する観光客の一般化費用の最小値
$u_{ij}^b(t)$	観光客層 b に属する観光客の内、時刻 t にリンク (i, j) へ流入する数
$v_{ij}^b(t)$	観光客層 b に属する観光客の内、時刻 t にリンク (i, j) から流出する数
$t_{ij}(t)$	時刻 t にリンク (i, j) へ流入した場合のリンク旅行時間
B	全観光客層の集合
S	全スケジュールの集合
E	ネットワーク上の全リンクの集合
V	ネットワーク上の全ノードの集合
T	全時刻の集合
Q_b	観光客層 b に属する観光客グループの数
$\delta_{s,ij}^t$	時刻 t にリンク (i, j) へ流入することがスケジュール s に含まれていることを表すバイナリ変数
d_i^s	スケジュール s におけるノード i での滞在時間
t_{ij}^0	自由流領域におけるリンク (i, j) のリンク旅行時間
μ_{ij}	リンク (i, j) の交通容量
β^b	観光客層 b の一般化費用の各項の重みパラメータベクトル
$c_{ij}(t)$	時刻 t にリンク (i, j) へ流入した場合のリンク旅行費用
ASC_s^b	観光客層 b に属する観光客に共通するスケジュール s の一般化費用の固有定数項

観光客のスケジュールの選択肢集合は、1.3.1 節で定式化した最適化問題を利用して、 K 番目まで最適なスケジュールを列挙し生成する。そして、無作為に選択された観光客がその日の交通状態に応じてスケジュールを選択肢集合から選ぶことを反復する。全観光客が自身のスケジュールを変更することで一般化費用を改善できない状態が得られるまで計算を繰り返し、動的利用者均衡を求める。

観光客の一日のスケジュールの動的利用者均衡配分の具体的な求解アルゴリズムを以下のように示す。数式中の文字については表 1.3 に示すとおりである。

Step 0： 初期状態

全てのリンクがフリーフロー時のリンク旅行時間 N^f を求める。

Step 1： 選択肢集合

N^f における一般化費用が K 番目までのスケジュールセットを観光客の選択肢集合 S^s として求める。

Step 1.1: 最適なスケジュールの算出

表 1.3 変数の定義 (求解アルゴリズム)

変数	定義
N^f	全てのリンクがフリーフロー時のリンク旅行時間のベクトル
N_i	反復 i 回目に全観光客を配分したネットワークのリンク旅行時間のベクトル
N'_i	反復 i 回目に一部観光客が取り除かれたネットワークのリンク旅行時間のベクトル
\mathcal{S}^s	全観光客のスケジュールの選択肢集合
\mathcal{S}_k^b	観光客層 b の k 番目に一般化費用の小さいスケジュールの集合
\mathcal{S}_i	反復 i 回目に全観光客が配分されたネットワークにおける選択肢集合
\mathcal{S}'_i	反復 i 回目に一部観光客が取り除かれたネットワークにおける選択肢集合
$s_{k,0}^b$	観光客層 b の k 番目に一般化費用が小さいスケジュールの一つ
$s_{k,n}^b$	$s_{k,0}^b$ と同じ経路で, 出発時刻の異なるスケジュールの一つ
J	全観光客の集合
j_i	反復 i 回目に無作為に選択され取り除かれる観光客の集合
C_i	反復 i 回目の全観光客のスケジュール選択の集合
C'_i	反復 i 回目に取り除かれなかったスケジュール選択の集合
c_j	観光客 j の選択
$\mathcal{H}^b(N, \mathcal{S})$	状態 N に対する観光客層 b のうち \mathcal{S} に含まれていないスケジュールを求める 1.3.1 節で定式化した最適化問題を表す関数
$Q(\mathcal{S}, C)$	\mathcal{S} と C からネットワークのリンク旅行時間を求める関数
$R(\mathcal{S}, N)$	ネットワーク状態 N における選択肢集合を求める関数

N^f における最適なスケジュール $s_{1,0}^b, \forall b \in \mathbf{B}$ を HAPP を解くことで求める.

$$s_{1,0}^b = \mathcal{H}^b(N^f, \emptyset)$$

そして, $s_{1,0}^b$ と同じ経路で, 出発時刻の異なるスケジュール $s_{1,n}^b, \forall b \in \mathbf{B}, \forall n \in \{1, 2, \dots, n_1\}$ を求め, 最適なスケジュールの集合とする.

$$\mathcal{S}_1^b = s_{1,0}^b \cup s_{1,1}^b \cup \dots \cup s_{1,n}^b \cup \dots \cup s_{1,n_1}^b$$

Step 1.2: k 番目に最適なスケジュールの算出

$k-1$ 番目までに最適なスケジュールとして選択肢集合に含まれていないスケジュールの中で最適なスケジュール $s_{k,0}^b, \forall b \in \mathbf{B}$ を HAPP を解くことで求める.

$$s_{k,0}^b = \mathcal{H}^b(N^f, \{\mathcal{S}_n^b \mid \forall n \in \{1, 2, \dots, k-1\}\})$$

そして, $s_{k,0}^b$ と同じ訪問順序で, 出発時刻の異なるスケジュール $s_{k,n}^b, \forall b \in \mathbf{B}, \forall n \in \{1, 2, \dots, n_k\}$ を求め, k 番目に最適なスケジュールの集合とし, K 番目まで繰

り返す.

$$\mathcal{S}_k^b = s_{k,0}^b \cup s_{k,1}^b \cup \dots \cup s_{k,n}^b \cup \dots \cup s_{k,n_k}^b$$

Step 1.3: 選択肢集合の生成

K 番目までの最適スケジュール集合を選択肢集合とする.

$$\mathcal{S}^s = \{\mathcal{S}_k^b \mid \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}\}$$

Step 2: Day-to-day ダイナミクス

全観光客 J が一般化費用を改善できないような状態となるスケジュール選択 $C = \{c_j \mid \forall j \in J\}$ を Day-to-day ダイナミクスを用いて求める.

Step 2.1: スケジュール選択の初期状態

N^f における最適なスケジュール $\mathcal{S}_1^b, \forall b \in B$ に全観光客 J を配分した状態を C_0 とする. そして, C_0 におけるネットワークのリンク旅行時間を N_0 とする.

$$N_0 = Q(\mathcal{S}^s, C_0)$$

Step 2.2: 反復 i 回目のネットワーク

無作為に選択した観光客 $j_i \in J$ をネットワークから一度取り除き, 他の観光客が配分された状態 $C'_i = \{c_j \mid \forall j \in \bar{J}_i\}$ でのネットワークのリンク旅行時間 N'_i を求める.

$$N'_i = Q(\mathcal{S}^s, C'_i)$$

N'_i を基に全スケジュール \mathcal{S}^s を再計算する.

$$\mathcal{S}'_i = \mathcal{R}(\mathcal{S}^s, N'_i)$$

Step 2.3: 反復 i 回目の観光客の再配分

\mathcal{S}'_i の中で最適なスケジュールに j_i を再配分し, その状態を C_i とする. C_i におけるネットワークの状態を求め, 全スケジュールを再計算する.

$$N_i = Q(\mathcal{S}^s, C_i)$$

$$\mathcal{S}_i = \mathcal{R}(\mathcal{S}^s, N_i)$$

Step 2.4: 均衡判定

選択肢集合 \mathcal{S}_i において、全観光客の選択 C_i が選択肢を変更することで一般化費用を改善できない状態であれば Step 3 に進む。そうでない場合は $i = i + 1$ として Step 2.2 から改めて計算を繰り返す。

Step 3: 選択肢集合の更新

N_i における最適なスケジュール $s_i^b, \forall b \in \mathbf{B}$ を HAPP を解くことで求める。

$$s_i^b = \mathcal{H}^b(N_i, \emptyset)$$

s_i^b が選択肢集合 \mathcal{S}_i に含まれている場合は動的利用者均衡配分が得られたとして計算を終了する。そうでない場合は、選択肢集合に s_i^b を追加して Step 2 から改めて計算を繰り返す。

1.4 鎌倉市を対象としたケーススタディ

本章では、1.3節で定式化した観光周遊行動モデルを用い、現在検討されている「(仮称)鎌倉ロードプライシング」を対象に、混雑課金導入の影響を分析する。

1.4.1 問題設定

本節では1.3.1節で定義した問題設定を、鎌倉を想定した仮想ネットワークに当てはめる手順について述べる。本研究のネットワークは、1個の出発ホームノード、1個の帰宅ホームノード、4個の観光施設ノード、17個の交通施設ノードとそれらを結ぶ150本のリンクから構成される。株式会社Agoopが提供するポイント型流動人口データを使用した観光実態分析の結果、訪問組合せパターンが上位であった鎌倉駅東口エリア、北鎌倉エリア、長谷エリアおよび藤沢市の江ノ島エリアを本研究では観光施設ノード1,2,3,4として選定した。また、パーク&ライドへの影響を評価するために大船エリアを交通拠点であるノード5として設定した。ホームノード最寄りの交通施設ノードは東京駅を反映させた。図1.1は鎌倉を想定した仮想ネットワーク上の観光施設ノードと交通施設ノードを示している。図1.2, 図1.3, 図1.4は仮想道路ネットワーク, 仮想鉄道ネットワーク, 仮想バスネットワークをそれぞれ表している。混雑課金政策の分析として、鎌倉駅東口, 北鎌倉, 長谷の3エリアに対して、それ以外のエリアから自動車で流入する際に、固定の課金を支払う設定とする。

次に観光施設での活動について述べる。観光施設ノードの設定を表1.4に示す。時間窓はエリア内の代表的な観光施設の営業時間を表しており、鎌倉駅東口では鶴岡八幡宮、北鎌倉では円覚寺、長谷では高德院、江の島では江島神社を採用した。

最後に、想定する観光客層について述べる。本研究では、訪問観光地ノード集合、1グループの人数、自家用車の有無、時間価値の組み合わせから成る60種類の観光客層を仮定した。表1.5に示した観光客層の構成割合は鎌倉市によるアンケート調査(2021.(2022年2月16日)を基に算出しており、20種類の組み合わせそれぞれに対して、20,30,40円/分の3種類の移動時間の時間価値を持つ観光客層を設定した。鎌倉市の観光シーズンである6月の休日一日を想定し、合計78000人の観光客が訪問する状況を仮定した。

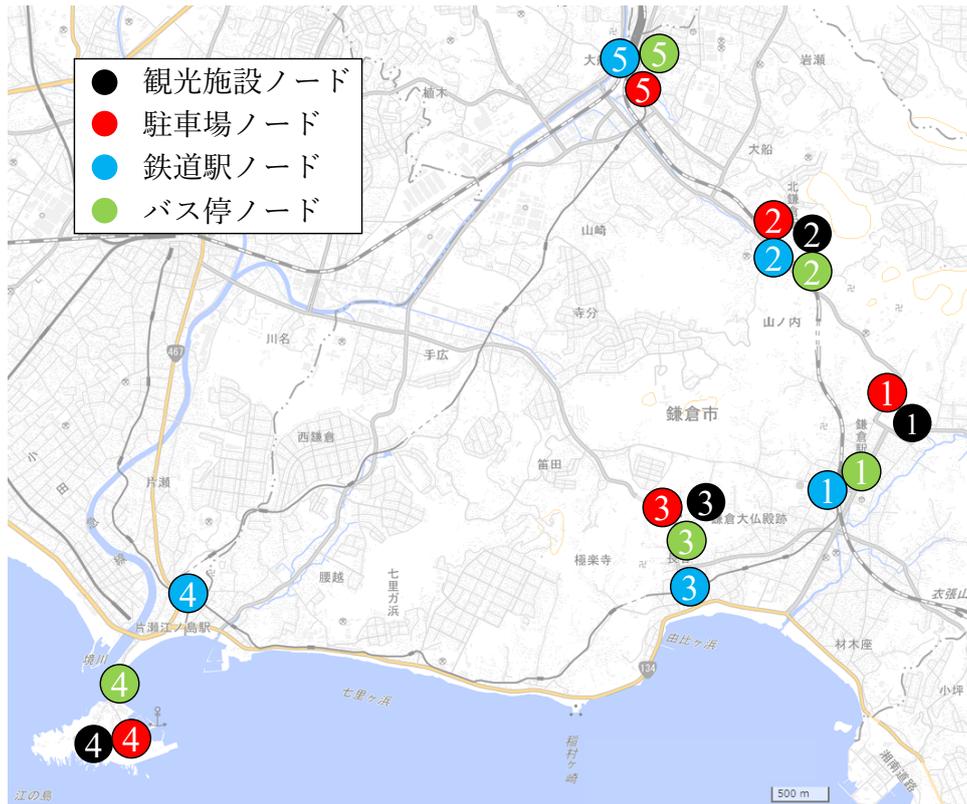


図 1.1 観光施設ノードと交通施設ノード

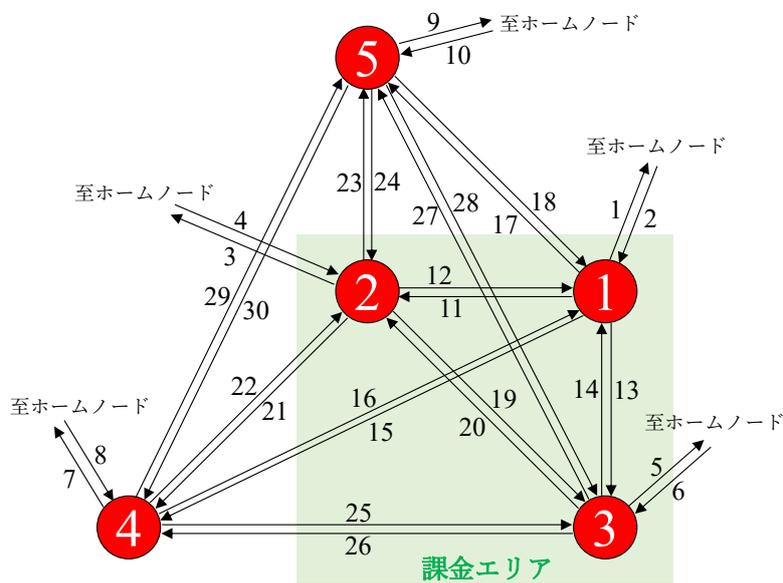


図 1.2 鎌倉の仮想道路ネットワーク

1.4.2 混雑課金導入シナリオの評価

観光地の混雑の解消と観光客の満足度の観点から、混雑課金政策を分析する。本研究では、課金箇所への流入一回あたり 500, 750, 1000, 1250 円の課金を導入した場合の影響を

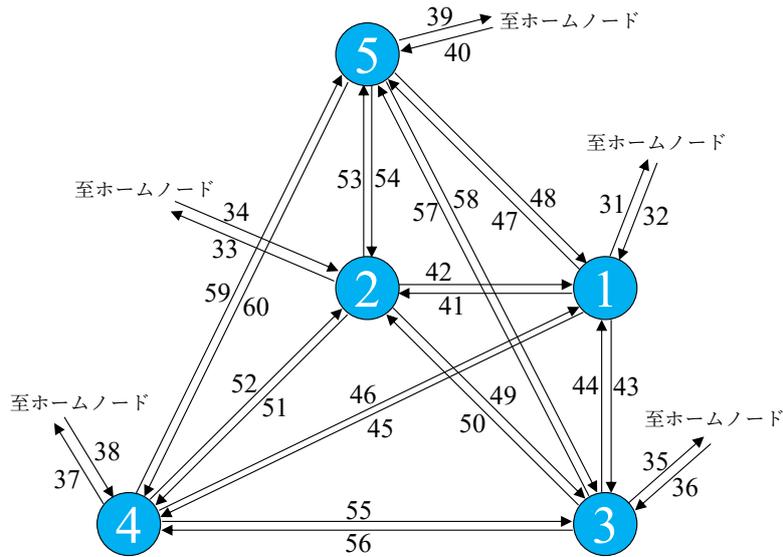


図 1.3 鎌倉の仮想鉄道ネットワーク

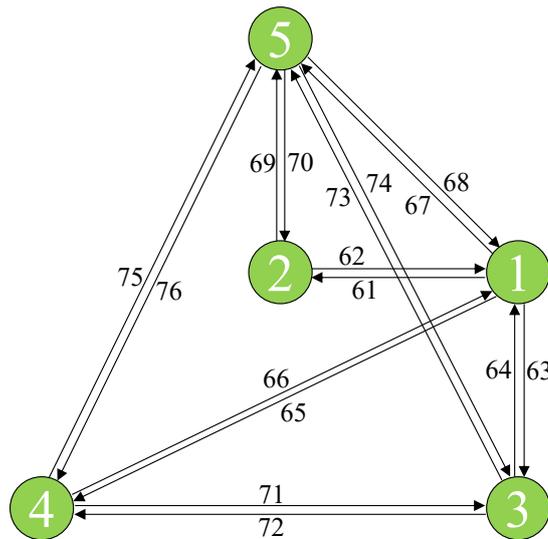


図 1.4 鎌倉の仮想バスネットワーク

比較し、各混雑課金シナリオの評価を行う。

混雑課金導入のネットワーク交通流への影響

はじめに、代表的な道路リンクの混雑状況を比較する。図 1.5 は長谷-鎌倉駅東口エリア間の道路リンク 14 で生じる待ち時間の推移を示す。1000 円の課金によって鎌倉市の中心的な道路の待ち時間が減少し、1250 円の課金が設けられると待ち行列が解消されたこ

表 1.4 観光施設ノードの滞在時間と時間窓

ノード	エリア	滞在時間 [分]	時間窓
1	鎌倉駅東口	100	9:00 - 17:00
2	北鎌倉	95	8:00 - 16:30
3	長谷	90	8:00 - 17:00
4	江ノ島	120	8:30 - 17:00

表 1.5 観光客属性

観光客層 ID	構成比 [%]	訪問観光地集合	グループ人数 [人]	自家用車有無
1	8.4	1,2	2	有
2	5.6	1,3	2	有
3	8.4	1,2,3	2	有
4	2.8	1,2,4	2	有
5	2.8	1,3,4	2	有
6	3.6	1, 2	4	有
7	2.4	1,3	4	有
8	3.6	1,2,3	4	有
9	1.2	1,2,4	4	有
10	1.2	1,3,4	4	有
11	12.6	1,2	2	無
12	8.4	1,3	2	無
13	12.6	1,2,3	2	無
14	4.2	1,2,4	2	無
15	4.2	1,3,4	2	無
16	5.4	1, 2	4	無
17	3.6	1,3	4	無
18	5.4	1,2,3	4	無
19	1.8	1,2,4	4	無
20	1.8	1,3,4	4	無

とが確認される。

次に交通手段の利用グループ数の変化を分析する。混雑課金導入前の公共交通機関の分担率が95.4%と自動車と比較してはるかに大きいため、公共交通機関への転換による混雑誘発の弊害は小さいと考えられる。モードシフトに着目し、また、公共交通機関、パーク&ライド、自動車を利用したグループ数の割合を図1.6に表す。課金額が高くなるほど自動車利用率が低くなり、750円以上の課金を設けることで、鎌倉市が目標として掲げる自動車流入交通量20%削減を達成されていることが分かる。また、課金額が1250円のシナリオでパーク&ライドが選択されたことから、他の交通需要マネジメント施策との相乗効果が見込めることが示唆される。

観光客のアクティビティパターンの具体的な変化について分析する。表1.6はノード

(1,2) およびノード (1,2,3) を目的地に含む観光客がどの交通手段を用いたのかについて、その中でも特に自動車利用者がどのような順序で訪問したのかを表す。目的地ノードが (1,2) の観光客は課金額の増加に従って公共交通機関へ、ノード (1,2,3) の観光客は 1000 円以上の課金でパーク&ライドに転換していることが示された。また、自動車による訪問順序には偏りがあることが確認された。

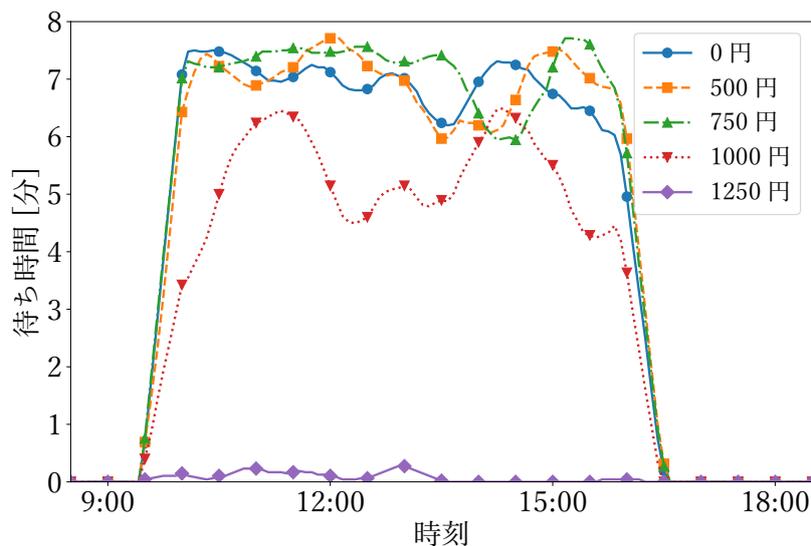


図 1.5 リンク 14 の待ち時間の推移

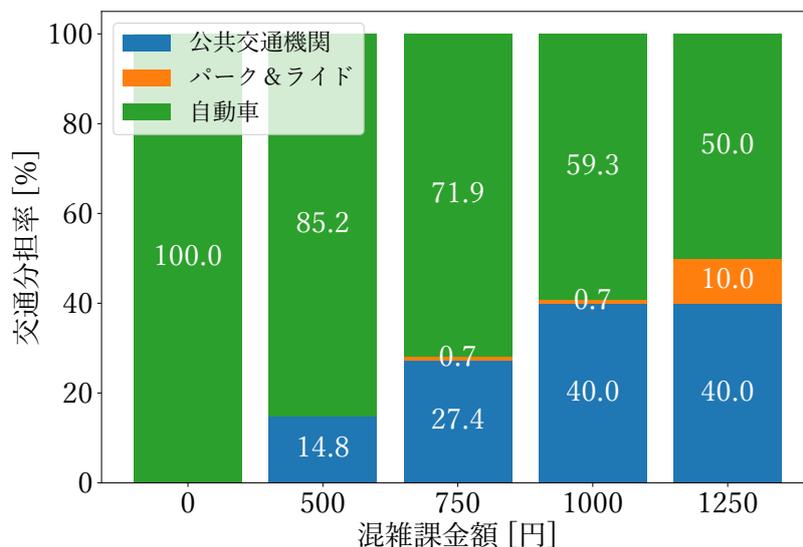


図 1.6 自動車からの交通手段転換 (グループ数)

表 1.6 アクティビティパターンの変化（グループ数）

目的地ノード	交通手段	目的地訪問順序	非課金	500 円	750 円	1000 円	1250 円
1,2	自動車	1-2	426	277	132	0	0
	自動車	2-1	654	443	228	0	0
	公共交通		0	360	720	1080	1080
1,2,3	自動車	1-2-3	5	12	15	0	0
	自動車	2-1-3	505	513	488	527	349
	自動車	3-1-2	527	529	540	527	371
	自動車	3-2-1	43	26	37	0	0
	パーク&ライド		0	0	0	26	360

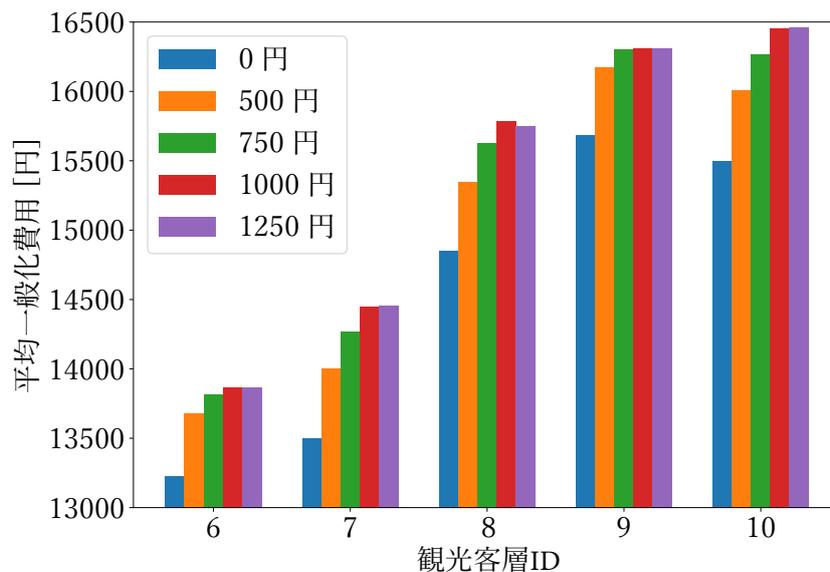


図 1.7 各観光客層の平均一般化費用

混雑課金導入の観光客への影響

続いて観光客への影響を分析する。図 1.7 は、表 1.5 に示した観光客層 ID6, 7, 8, 9, 10 に属するグループの一般化費用の平均値である。これら 5 つの観光客層は、混雑課金導入前においても自動車を利用していた観光客層である。多くの観光客層では、課金額が増加するのに伴って一般化費用が増加した。しかし、観光客層 8 では 1250 円の課金により渋滞が解消されたため、1000 円課金時と比較して一般化費用が減少した。したがって、混雑課金の導入は観光客の効用を低下させるが、総待ち時間の減少に伴いより高い課金額の設定によって一般化費用が減少する可能性があることが示唆される。

総合的分析

1.4.21.4.2 および 1.4.2 で得られたネットワークの混雑状況と観光客の一般化費用の関係を図 1.8 に示す。縦軸は道路リンクで発生する総待ち時間を示しており、道路ネット

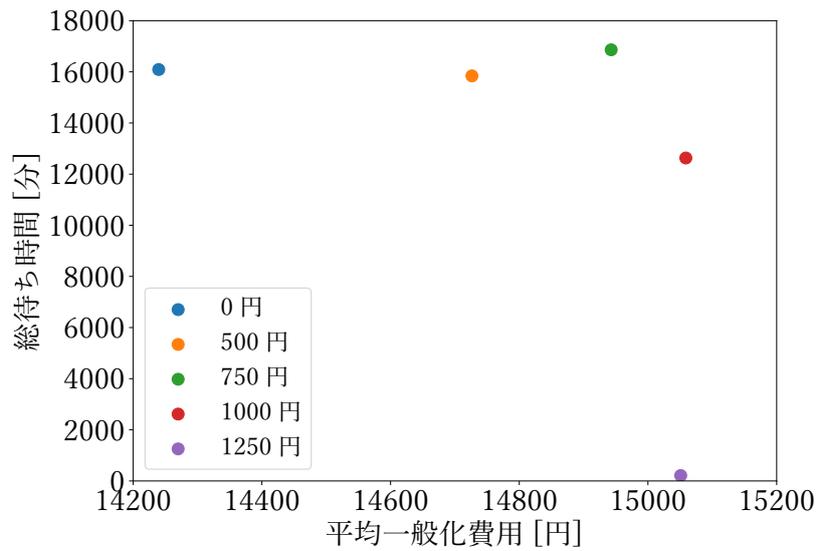


図 1.8 一般化費用と総待ち時間の観光客全体の合計

ワークの混雑状況の指標を表している。横軸は観光客の平均一般化費用を示しており、観光客の不満足度の指標を表している。より高い課金額のシナリオが導入されるほど総待ち時間が減少し、混雑状況が解消されることが確認された。しかし、その反面、一般化費用が大きくなり観光客の効用が減少し満足度が低下することが示された。

1.5 結論と今後の課題

本研究では、観光地への混雑課金施策の導入効果の評価を目的として、交通施設の動的な混雑に伴う旅行時間の変化を考慮した観光周遊行動モデルを構築した。そして、鎌倉市を想定したケーススタディを通じて、課金額の異なる施策導入のネットワーク交通流や観光客への影響の分析を行った。

分析の結果、混雑課金の導入は自動車利用者の一部を公共交通機関へ転換させることを示した。特に、課金額の増加に伴いネットワークの混雑は解消されるが、観光客の効用は低下することを示した。したがって、観光地への混雑課金導入に際しては、道路の利用状況と観光客の満足度に対する目標を検討することが望まれる。さらに、他の交通需要マネジメント施策との相乗効果が見込めることを示唆した。

実際の観光交通行動を分析する上での今後の主な課題は次の通りである。第一に、観光客のアクティビティ選択を考慮できるモデルに拡張することである。混雑課金導入による移動時間の減少は、訪問する観光施設数の増加や滞在の長時間化を可能とするため、目的地や滞在時間の選択を導入する必要がある。第二に、需要変動を考慮したモデルに拡張することである。一般化費用の増加は他の余暇への移行を招く可能性がある。提案した固定需要モデルでは、その影響を分析することができない。最後に、実周遊行動データや交通量データ等を活用してモデルのパラメータ推定を行い、シミュレーションの再現性向上を図ることが望まれる。

2章 人流ビッグデータを用いたニッチな観光スポットの 検出

2.1 はじめに

我が国の主要な観光地においてはオーバーツーリズム問題が顕在化し、地域住民や観光客、周辺環境に対して負荷がかかっている一方で、地方部の観光地においては魅力的な観光スポットがあるものの現在は観光客が十分に来訪していない現状となっている。観光客を地方に呼び込むことができれば地方税を獲得し、地方創生に繋げることができると期待されるが、プロモーション方法やどのような観光地をプロモートすればいいのかが明確にはできていないと考える。また、主要観光地においては人気な観光スポットに代わる周辺のニッチな観光スポットを提案することで、混雑緩和や周辺の環境悪化への対策が図れる。このことから、あらかじめ観光資源のロングテール部分を発掘する必要がある。しかし、今日までの人流ビッグデータを用いた観光に関する研究においてマイナーな観光スポットを掘り当てるものは少なく、その検出方法も確立されていない。

そこで、本研究では「ニッチな観光スポットを発掘するためにはどのような手法が有効であるのか。」「観光地の環境負荷を考慮した地方創生のための観光マーケティングや来訪客数管理に、人流ビッグデータをさらに活用できないか。」というリサーチクエスチョンを設定する。その上で、具体的な研究の目的を以下の3つに設定する。

- ニッチな観光スポット検出のための人流ビッグデータの分析方法論を構築すること。
- 沖縄本島全域を対象としたケーススタディにより、その検証を行うこと。
- 観光客のニッチな観光スポット等への周遊パターン等を踏まえて、混雑緩和や周辺環境の悪化への対策を検討すること。

2.2 分析に用いるデータの概要

基礎分析では、2019年2月11日～4月7日、7月15日～9月8日の約4か月間に渡り、沖縄県全域において(株)ログウォッチャーによって計測されたドットデータを用いた。このデータは、提携のアプリをダウンロードし、位置情報の取得の許諾を得たユーザーのスマートフォン端末から収集されたものであり(ログウォッチャー, 2021)、「観測日時」「緯度経度」「ユーザーユニークID」「推定自宅位置(125mメッシュ)」「推定勤務地(125mメッシュ)」「天候や電波の影響による位置の誤差」の7項目が含まれている。基礎分析では、緯度経度をその緯度経度が含まれる8分の1メッシュコード(125mメッシュ)に変換したうえで、「観測日時」「8分の1メッシュコード」「ユーザーユニークID(以下、ユーザーID)」を用いた。レコード数は2月11日～4月7日の期間では約2億100万個、7月15日～9月8日の期間では約3億5600万個であり、2つの期間を合わせて約5億5700万個ある。また、観測人数は2月11日～4月7日では約15万2000人、7月15日～9月8日では約20万5000人であり、全部で約35万7000人となっている。このことから、1人当たりの観測回数は1559回であるため、観光客の周遊パターンを把握するのに十分なデータ量であるといえる。これらのデータは15分間以上連続して一定の広さのある領域に滞在したとみなされたデータが記録されている。

2.3 データのクリーニングとPOIの再カテゴリー化

2.3.1 POIの再カテゴリー化

取得された全データには、観光客以外の地元住民が所有しているスマートフォン端末からのPR情報や、施設で使用されているスマートフォン端末からのPR情報も含まれており、その全てを観光客のデータとして扱うことができない。そこで、以下のような滞在日数などの条件を設定し、なるべく観光客のデータのみを絞り込むためにデータクリーニング処理を以下のような手順で行った。

1. 沖縄本島で観測されたメッシュコードのみに限定

使用した観測データは沖縄県全域における観測データが含まれていたため、沖縄本島におけるメッシュコードのみに限定した。

2. 最初と最後の観測地点が那覇空港

本研究では沖縄本島外の人々のデータを観察しなかったため、地元住民のスマートフォン端末からの観測データを除外するために各ユーザーIDの最初と最後の観測地点が那覇空港の観測データを抽出した。

3. トリップ数が1以上

施設で使用しているスマートフォン端末からの観測データを除外するために、トリップ数が1以上のユーザーIDの観測データを抽出した。

4. 沖縄本島における滞在期間による絞り込み

図2.1から、観測されたデータの多くの観光客は24時間~14日間の範囲で収まっていることから観光客の周遊行動を把握するために十分であるといえる。

5. 観測時間による絞り込み

今回のデータクリーニングでは、日中を9時から22時59分、夜間を23時から8時59分と設定した。7,8時台は、リゾートホテルを中心にデータが多く観測されており、多くの観光客がまだホテルに滞在していることがわかる。8時台は7時台よりも広範囲でデータが観測されているため、一部の観光客が動き出していることが見て取れる。しかし、9時台になると7,8時台よりもリゾートホテルでの観測が減っており、多くの観光客が観光地に赴いていることがわかる。10時台は、9時台の状態とあまり変化しないので、観光客の朝の区切りは9時が妥当であると判断した。また、夜の時間の区切りについては、21時台は国際通りや

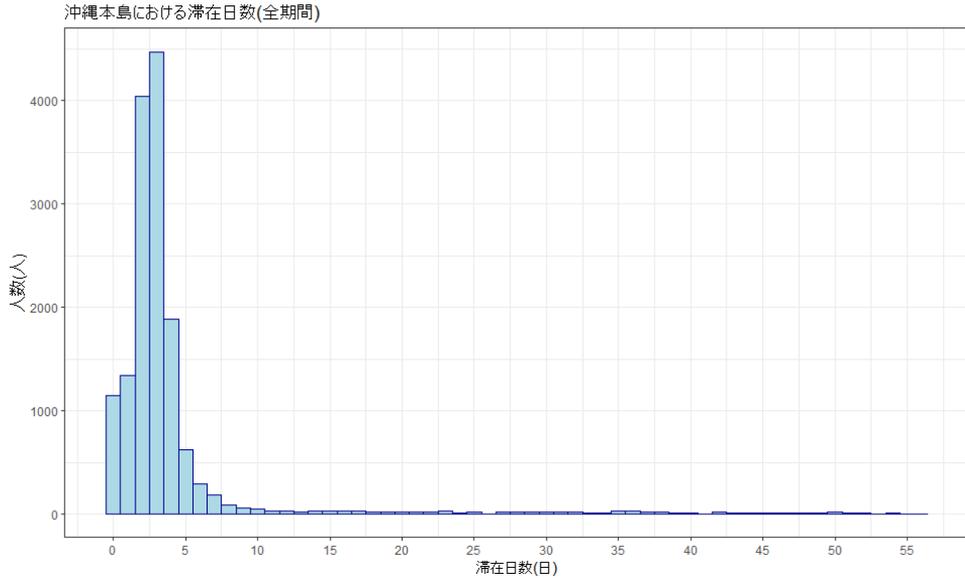


図 2.1 沖縄本島での滞在日数の分布

久茂地といった那覇中心部での観測データが多く、濃い赤色を示しているメッシュが集まっていることがわかる。22 時台になると、那覇中心部での観測データが減少し、メッシュの色も少し薄くなったことが見てとれる。また、高速道路や国道 58 号、本部半島の南側の道路といった主要道路での観測データが少なくなっており、多くの観光客が宿泊施設に戻っていることもわかる。23 時台になると、22 時台よりもさらに那覇中心部においてメッシュの色が薄くなり、道路における観測データも少なくなっていることからほとんどの観光客がホテルで過ごしていることがわかる。したがって、夜の区切りを 23 時に設定した。

6. トリップ数による絞り込み

観測データの中からより正確に観光客を抽出するために、23:00～8:59 の間にビジネスホテルやシティホテルがあるメッシュでデータが観測された人のうち、1 日あたりのトリップ数が滞在している期間に一度でも 5 トリップ以下になった人かつ、(滞在期間のうち 9:00～22:59 の間のトリップ数が滞在日数) × (1 日あたりのトリップ数が 5 トリップ) 以下である人をビジネスマンと考え、データから除いた。

クリーニング処理による各過程での観測データ数とユーザー ID 数の変化を表 2.1 と表 2.2 に示す。

表 2.1 データクリーニングについて (2019年2月11日～4月7日)

行った処理	観測データ数	uuid 数 (観測人数)
対象期間内の観測データ	201,851,031	152,819
沖縄本島のみ観測データ	188,663,237	141,561
最初と最後の観測地点が那覇空港	1,869,832	7,278
トリップ数が1以上	1,005,740	6,047
滞在時間による絞り込み (24時間～14日)	884,895	5,020
ビジネスマンを除外する絞り込み	883,685	4,947
観測時間による絞り込み (9:00～23:00)	763,978	4,947
観測時間による絞り込み (23:00～9:00)	119,707	4,029

表 2.2 データクリーニングについて (2019年7月15日～9月8日)

行った処理	観測データ数	uuid 数 (観測人数)
対象期間内の観測データ	356,851,055	205,540
沖縄本島のみ観測データ	325,818,744	188,382
最初と最後の観測地点が那覇空港	4,009,422	11,531
トリップ数が1以上	1,776,578	9,056
滞在時間による絞り込み (24時間～14日)	1,591,808	7,731
ビジネスマンを除外する絞り込み	1,590,685	7,677
観測時間による絞り込み (9:00～23:00)	1,314,333	7,672
観測時間による絞り込み (23:00～9:00)	276,352	6,615

2.3.2 POIの再カテゴリー化

本研究では株式会社マップルのPOIデータをPOI(Point of Interest)データとして用いた。このデータには、「名称」「緯度・経度」「住所」「ジャンル(物件の種類)」などの施設に関する項目が含まれている。提供された当時のデータは施設がジャンルごとに細かく分類されていたが、分析の簡便化のために以下のように、本研究において独自のカテゴリーを再編した。

1. リゾートホテル
2. シティホテル・ビジネスホテル
3. 道の駅
4. 大型商業施設・デパート・アウトレットなど
5. 小型商店・お土産店
6. 飲食店1(沖縄っぽくない)
7. 飲食店2(居酒屋, 沖縄っぽい)
8. 歴史的建造物
9. 自然地形などの自然観光地
10. 橋・通りなど

11. 資料館・博物館・工房等
12. レジャー
13. ビーチ
14. その他名所

沖縄県が令和元年度に実施した観光実態調査によると、沖縄本島に宿泊する観光客の78%はリゾートホテル、シティホテル、もしくはビジネスホテルに宿泊していることから、滞在ホテルのカテゴリーをリゾートホテルとシティホテル・ビジネスホテルに分類した。次に、合同会社観光総合研究所によると観光地点は「自然」「歴史・文化」「温泉・健康」「スポーツ・レクリエーション」「都市型観光－買い物・食等－」「その他」に細分化される。沖縄県は自然に恵まれており、海水浴や山でのアクティビティを楽しむ人も多いため、「スポーツ・レクリエーション」のジャンルを細分し、「レジャー」「ビーチ」とした。また、ニッチな観光スポットを検出するためにはショッピングや食事に関してより細かく分類する必要があると考え、ショッピングについては施設規模によって、飲食店については沖縄名産の食べ物や三線の演奏があるといった沖縄ローカルかどうかで分類した。また、近年日本各地の観光地で人気のある道の駅は単独のカテゴリーに設定した。これより、上記のようなカテゴリーの編成となった。

ここで、研究を行うにあたり、ニッチな観光地が含まれると見込んだのは5. 小型商店・お土産店, 7. 飲食店, 8. 歴史的建造物, 9. 自然観光地, 11. 資料館・博物館・工房等, 14. その他名所である。ジョージア州アトランタの観光開発を手掛けて成功したというアメリカの観光プロデューサーである Alan Forbes は、観光資源とは以下の6つの中核的魅力からなり、このうちの3つを揃えることが観光客を呼び込むことに重要であると述べている。

1. ヒストリー — 歴史上の有名事件の現場, 歴史的建造物・文化財
2. サイトシーイング — 風光明媚な奇勝絶景・美景に恵まれている
3. フィクション — 映画, 小説, アニメ, 演劇, 歌で有名になった名所や舞台
4. リズム&テイスト — 音楽が楽しく, 食事が美味しい
5. ショッピング — 名産品があり, 賑わいに富んだ街並みがある
6. ガール&ギャンブル — 女性がきれいでスリルに富む

本研究におけるニッチな観光スポットとは、現在は観光客が少ないが今後多くの観光客が訪れるポテンシャルがあるスポットや消費単価が高いといった特徴があるスポットであるため、上記にあるような特徴を持ったカテゴリーが今後メジャーになるのではないかと

考え、それに当てはまるカテゴリーを選出した。

2.3.3 データの基礎的可視化

POIデータが存在するメッシュは沖縄本島の全メッシュに比べると極めて少なく、図2.2よりカウント数が多いところは国際通りや美ら海水族館エリアといった人気観光スポットであり、妥当な結果である。一方で、POIデータのないメッシュは、図2.3に示すようにメッシュの数としてはかなり多い。また、那覇空港や主要道路に該当するメッシュでは色が濃く、人気観光スポット周辺エリアではメッシュの色が薄いことがわかる（図2.4参照）。例えば、POIデータが存在するメッシュでカウント数が多かった美ら海水族館エリアは、POIデータの存在しないメッシュでは図2.5よりメッシュの色が薄い。このことから、人気スポット周辺を散策する観光客は少ないことが考えられる。



図 2.2 POI データのあるメッシュのカウント数の分布

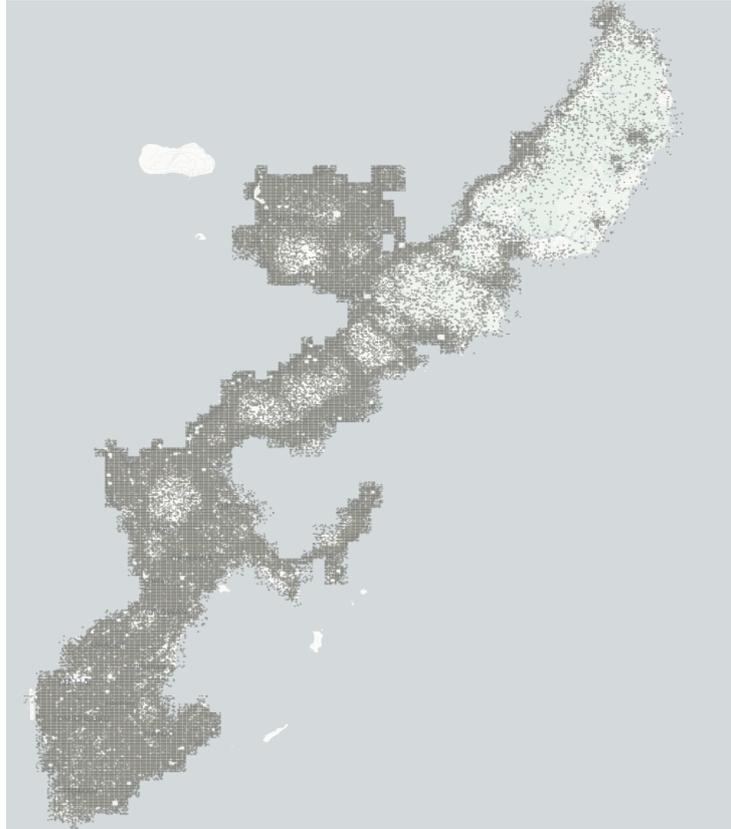


図 2.3 POI データのないメッシュのカウント数の分布



図 2.4 POI データのないメッシュの南部におけるカウント数の分布

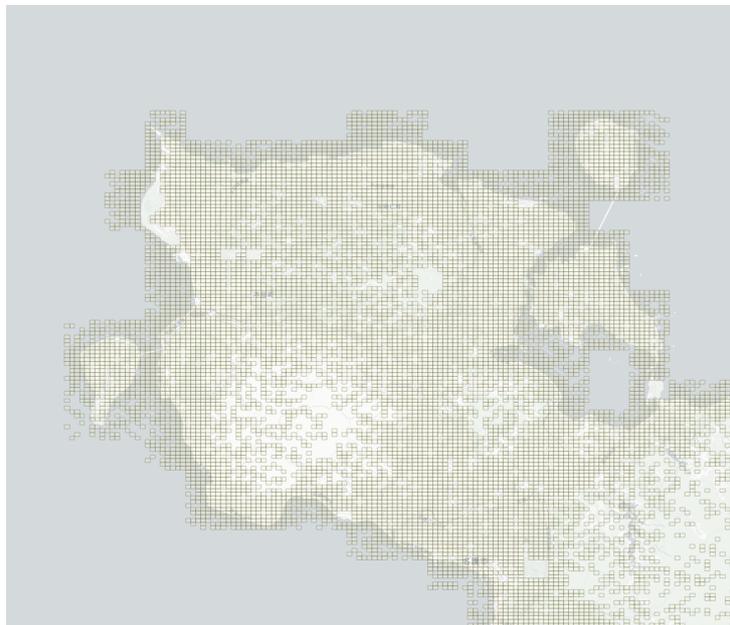


図 2.5 POI データのないメッシュの名護市内におけるカウント数の分布

2.4 カウントデータモデリングによるニッチな観光スポットの検出

本節では、ニッチな観光地を検出するために用いたモデルについて述べる。本研究では、ニッチな観光スポットの定義として、現在は観光客があまり来訪していないが、将来的に多くの観光客を呼び込むポテンシャルがあるスポットとしている。このことから、観光スポットにおける来訪数の予測値を求めるためのモデルを提案する。

具体的には、ある観光スポットにおける来訪客数の予測値が、ポアソン分布に従うと仮定した。このように、ある事象が起こる回数を予測するためにポアソン回帰を用いている既往研究は多数存在する。坂本尚基他 (2009) は、ある交差点における事故発生件数の予測値を道路状況及び交通状況に関する指標値により説明するモデルを構築した。この研究では、回帰モデルの残差分析として正規分布を仮定する通常の重回帰分析に加え、事故件数の分布への適合度が高いとされるポアソン分布を残差分布として仮定したモデルを同定している。また、説明変数の中に異常値があった場合パラメータに影響を与えてしまうため、それらをモデルのパラメータ同定から除去するためにロバスト回帰を採用している。この研究では構築したモデルの残差分析を重回帰時とポアソン時で比較し、残差の標準偏差はポアソン回帰時の方が小さかったと記している。さらに、重回帰モデルとポアソン回帰モデルの両モデルに対して、通常の回帰とロバスト回帰を行っており、比較結果から両モデルにおいてロバスト回帰によって精度が向上していると述べている。この研究を応用して観光地における期待来訪者数を推定するために、本研究ではロバスト混合一般化線形モデルを用いる。

2.4.1 説明変数について

今回使用した変数については表 2.3 と表 2.4 の通りである。

本研究のモデルに用いた説明変数の記述統計量を表 2.5 及び表 2.6 に示す。

これらの説明変数を用いて構築したモデルは、POI データの有無によってメッシュを分類し、式 (2.1), (2.2) で表される。

表 2.3 POI データがあるメッシュの説明変数一覧

説明変数	内容
県庁からの道路距離 (m)	沖縄県庁から各メッシュまでの道路距離
バス停までの道路距離 (m)	各メッシュから最寄りのバス停までの道路距離
道路密度 (m/km^2)	各メッシュにおける道路密度
ダミー	
季節	春 = 0, 夏 = 1
駅の有無	各メッシュから道路距離 1km 以内の駅の有無
ホットスポットの有無	各メッシュから半径 1km 以内のホットスポットの有無
カテゴリー 1	各メッシュにおけるカテゴリー 1 の施設の有無
カテゴリー 2	各メッシュにおけるカテゴリー 2 の施設の有無
カテゴリー 3	各メッシュにおけるカテゴリー 3 の施設の有無
カテゴリー 4	各メッシュにおけるカテゴリー 4 の施設の有無
カテゴリー 5	各メッシュにおけるカテゴリー 5 の施設の有無
カテゴリー 6	各メッシュにおけるカテゴリー 6 の施設の有無
カテゴリー 7	各メッシュにおけるカテゴリー 7 の施設の有無
カテゴリー 8	各メッシュにおけるカテゴリー 8 の施設の有無
カテゴリー 9	各メッシュにおけるカテゴリー 9 の施設の有無
カテゴリー 10	各メッシュにおけるカテゴリー 10 の施設の有無
カテゴリー 11	各メッシュにおけるカテゴリー 11 の施設の有無
カテゴリー 12	各メッシュにおけるカテゴリー 12 の施設の有無
カテゴリー 13	各メッシュにおけるカテゴリー 13 の施設の有無
カテゴリー 14	各メッシュにおけるカテゴリー 14 の施設の有無

表 2.4 POI データがないメッシュの説明変数一覧

説明変数	内容
道路距離 (m)	沖縄県庁から各メッシュまでの道路距離
バス停までの距離 (m)	各メッシュから最寄りのバス停までの道路距離
道路密度 (m/km^2)	各メッシュにおける道路密度
ダミー	
季節	春 = 0, 夏 = 1
駅からの距離	各メッシュから道路距離 1km 以内の駅の有無
ホットスポットからの距離	各メッシュから半径 1km 以内のホットスポットの有無

表 2.5 POI データがあるメッシュの記述統計量

	サンプルサイズ	最小値	最大値	平均値	標準偏差
県庁までの道路距離 (m)	4562	103	122656	42398	32857.97
バス停までの道路距離 (m)	4562	1.0	8340	1075	1403.49
道路密度 (m/km^2)	4562	1.0	17817	14165	15622.47
駅までの道路距離 (m)	4562	0.0	1.0	0.07541	0.264074
ホットスポットからの距離 (m)	4562	0.0	1.0	0.6962	0.459954

表 2.6 POI データがないメッシュの記述統計量

	サンプルサイズ	最小値	最大値	平均値	標準偏差
県庁までの道路距離 (m)	103976	365	126064	46809	31596.53
バス停までの道路距離 (m)	103976	1.0	14932	1331	1604.28
道路密度 (m/km^2)	103976	1.0	62000	10271	10200.26
駅までの道路距離 (m)	103976	0.0	1.0	0.01341	0.115010
ホットスポットからの距離 (m)	103976	0.0	1.0	0.5905	0.491744

$$\begin{aligned}
\log \lambda_{withPOI} = & (Intercept) + a_1 \log(dist.pref) + a_2 \log(dist.busstop) \\
& + a_3 \log(density) + a_4(season) + a_5(dist.station) \\
& + a_6(dist.hotspot) + a_7(cate1) + a_8(cate2) + a_9(cate3) + a_{10}(cate4) \\
& + a_{11}(cate5) + a_{12}(cate6) + a_{13}(cate7) + a_{14}(cate8) \\
& + a_{15}(cate9) + a_{16}(cate10) + a_{17}(cate11) + a_{18}(cate12) \\
& + a_{19}(cate13) + a_{20}(cate14)
\end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
\log \lambda_{withoutPOI} = & (Intercept) + a_1 \log(dist.pref) \\
& + a_2 \log(dist.busstop) + a_3 \log(density) \\
& + a_4(season) + a_5(dist.station) + a_6(dist.hotspot)
\end{aligned} \tag{2.2}$$

ここで、*Intercept* はカテゴリ 0 の推定値であり、*dist.pref* は沖縄県庁からの距離、*dist.busstop* は最寄りのバス停からの距離、*density* は 3 次メッシュにおける道路密度、*season* は季節ダミー、*dist.station* は駅の有無ダミー、*dist.hotspot* はホットスポットの有無ダミー、*cate_i* はカテゴリ i の有無ダミー ($i = 1, 2, \dots, 14$) を表している。

2.5 モデル推定結果と考察

本節では、前節で構築したモデルを沖縄本島において適用し、各メッシュコードにおけるデータのカウンタ数の予測を試みた。今回の推定では、POIデータの施設ジャンルによってカウンタ数が影響されると考えたため、POIデータのあるメッシュとないメッシュに分けて計算を進めた。

推定結果を表2.7と表2.8に示す。

表 2.7 POI データがあるメッシュの推定結果

	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	
定数項	1.009	0.022	44.98	<0.001	***
県庁からの道路距離	-0.035	0.001	-27.675	<0.001	***
バス停からの距離	-0.067	0.001	-58.213	<0.001	***
道路密度	0.228	0.001	201.972	<0.001	***
季節	0.000	0.002	0	1	
駅の有無	0.810	0.004	185.575	<0.001	***
ホットスポットの有無	1.655	0.006	284.711	<0.001	***
カテゴリー1	1.082	0.003	342.414	<0.001	***
カテゴリー2	0.846	0.003	265.56	<0.001	***
カテゴリー3	1.430	0.008	180.022	<0.001	***
カテゴリー4	1.378	0.003	433.7	<0.001	***
カテゴリー5	0.019	0.003	5.705	<0.001	***
カテゴリー6	0.343	0.003	115.893	<0.001	***
カテゴリー7	0.640	0.003	229.867	<0.001	***
カテゴリー8	0.201	0.006	33.121	<0.001	***
カテゴリー9	0.118	0.005	25.151	<0.001	***
カテゴリー10	0.033	0.008	3.916	<0.001	***
カテゴリー11	-0.107	0.005	-23.044	<0.001	***
カテゴリー12	0.532	0.004	146.829	<0.001	***
カテゴリー13	1.072	0.005	220.159	<0.001	***
カテゴリー14	-0.374	0.020	-18.873	<0.001	***
Outlier p.	1.000				
τ^2	0.485				
—					
log Likelihood	AIC	BIC			
-38379.25	76804.5	76952.28			

ここで、Outlier p. は外れ値のデータクラスが通常のデータクラスからどれだけ離れているかという乖離度を表す指標である。この結果から、POIのあるメッシュでは「沖縄県庁からの道路距離」「最寄りのバス停からの道路距離」が近く、「道路密度」が高く、「最寄りの駅が半径1kmにある」スポットの方が多くの観光客が訪れるという妥当な結果が得られた。また、POIのカテゴリーについてはカテゴリー1（リゾートホテル）、カテゴ

表 2.8 POI データがないメッシュの推定結果

	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	
定数項	1.859	0.030	62.13	<0.001	***
県庁からの道路距離	-0.168	0.002	-87.9	<0.001	***
バス停からの距離	-0.225	0.002	-137.9	<0.001	***
道路密度	0.169	0.001	117.53	<0.001	***
季節	0.521	0.004	121.85	<0.001	***
駅の有無	1.406	0.006	244.59	<0.001	***
ホットスポットの有無	1.077	0.008	141.57	<0.001	***
Outlier p.	1				
τ^2	1.203939				
—					
log Likelihood	AIC	BIC			
-305722	611462	611547.9			

リー3 (道の駅), カテゴリー4 (大型商業施設), カテゴリー13 (ビーチ) があるメッシュには多くの観光客が訪れやすいという結果が得られた。沖縄県はリゾート地として訪れる観光客が多いことからカテゴリー1やカテゴリー13に観測数が多くなるという結果は妥当である。しかし、季節のパラメータが0である結果については、有意とは言えない。これに関しては明確な結果はわからないが、季節によるイベントの有無等が関係していると考えられる。

一方、POI データがないメッシュでは「最寄り駅が半径1km以内」にあり、「最寄りのバス停からの距離」「沖縄県庁からの道路距離」が近いスポットの方が多くの観光客が訪れるという結果が得られた。また、POI データの有無によって比較すると、POI データがないメッシュの方が「駅の有無」、「ホットスポットの有無」に関するパラメーターがかなり強く影響していることが判明した。どちらのケースにおいても、結果は有意であったため、ある程度信頼性のあるモデルを構築できたと考えられる。

この結果から、各メッシュにおける期待観測数、期待観測数と実際の観測数の比率 r を算出し、実際のカウント数との関係性を図2.6、図2.7に示す。ここで

$$r = \frac{O_i}{e_i}$$

であることと、ニッチな観光地とは「現在は来訪客数が少ないが、将来的に来訪客数が増加するポテンシャルを持ったスポット」として定義していたため、 e_i が大きく、 O_i が小さいことから r が小さいと考えられる。したがって、ニッチな観光地とは、図2.6、図2.7では、右側の方の点がニッチな観光スポットの候補となる。

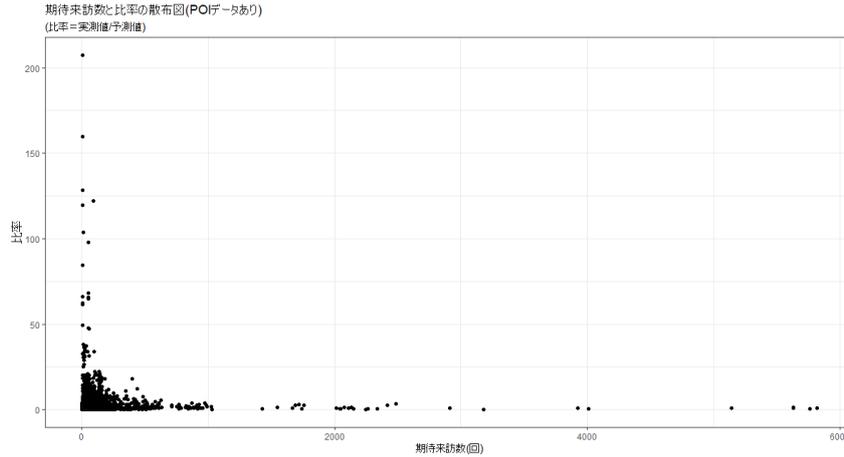


図 2.6 POI データがあるメッシュにおける実際の観測数と比率の関係

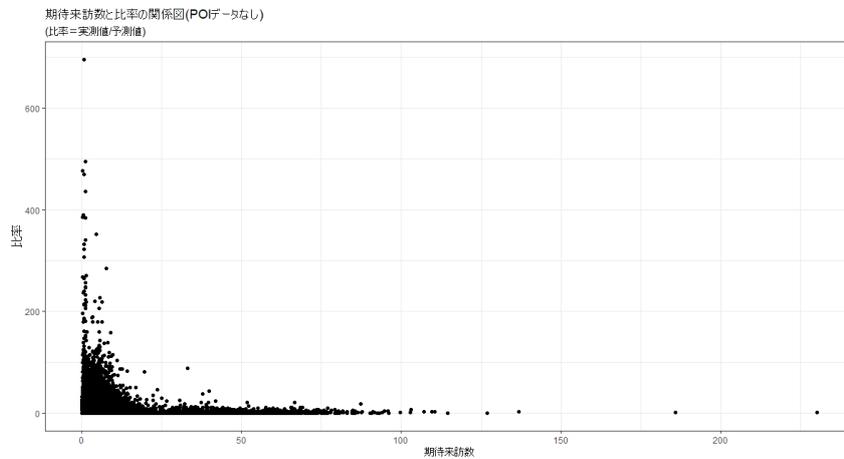


図 2.7 POI データがないメッシュにおける実際の観測数と比率の関係

2.5.1 エシェロンスキャンを用いたコールドスポットの検出

次に、先ほど算出した期待観測数と実際の観測数の比率 r を用いて、エシェロン解析を行った。ここでは、前述したようにニッチな観光スポットを「現在は来訪客数が少ないが、将来的に来訪客数が増加するポテンシャルを持ったスポット」として定義していたため、 e_i が大きく、 O_i が小さいことから r が小さいスポットがニッチな観光スポットの候補地とし、エシェロンスキャンを用いてコールドスポットを検出した。コールドスポットの検出は、空間集積性が低いエリアを検出する。エシェロンスキャンを用いた検出結果を、それぞれ図 2.8、図 2.9 に示す。これらの結果はすべて有意水準が 1% 以下であった。図 2.8 から、POI データが存在するメッシュではコールドスポットとして 10 か所のエリアが検出されたがそれらは自然観光地 (カテゴリー 9) に該当するものが多く、当初ニッチな観光スポットがあると予想していたカテゴリーに当てはまっていることがわかる。また、図 2.9 から、POI データがないメッシュではコールドスポットとして 2 か所のエリアが検出

されたが、どちらも北部のエリアであるが、北部に訪れる観光客は他のエリアに比べて少ないことが知見として得られた。コールドスポットとして検出された理由としては、沖縄県庁からの距離が遠いことや周辺に公共交通機関が少ないことが考えられる。

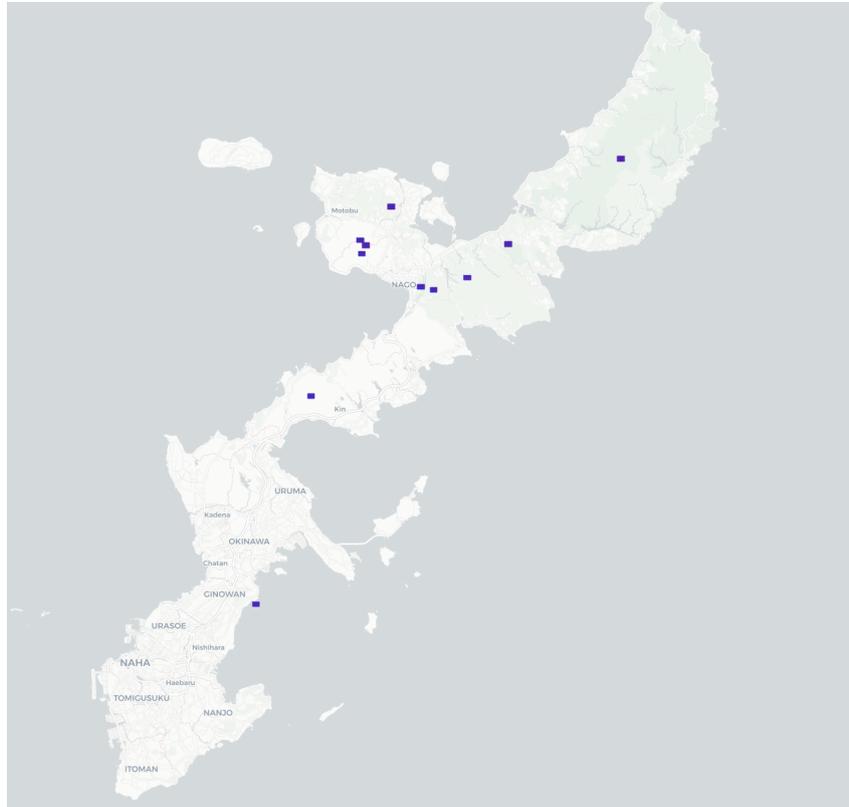


図 2.8 POI データがあるメッシュにおけるコールドスポット

この結果から、検出されたエリアにあるスポットを挙げた図が以下の図 2.10, 図 2.11 となる。ここで POI データがないメッシュにおいて検出されたコールドスポットから挙げたスポットは、そのエリアに含まれるグーグルマップと比較した観光スポットの一部である。これらがニッチな観光スポットの候補地である。これらはプロモーション次第では十分に観光客を呼び込むポテンシャルを持っていると考えている。

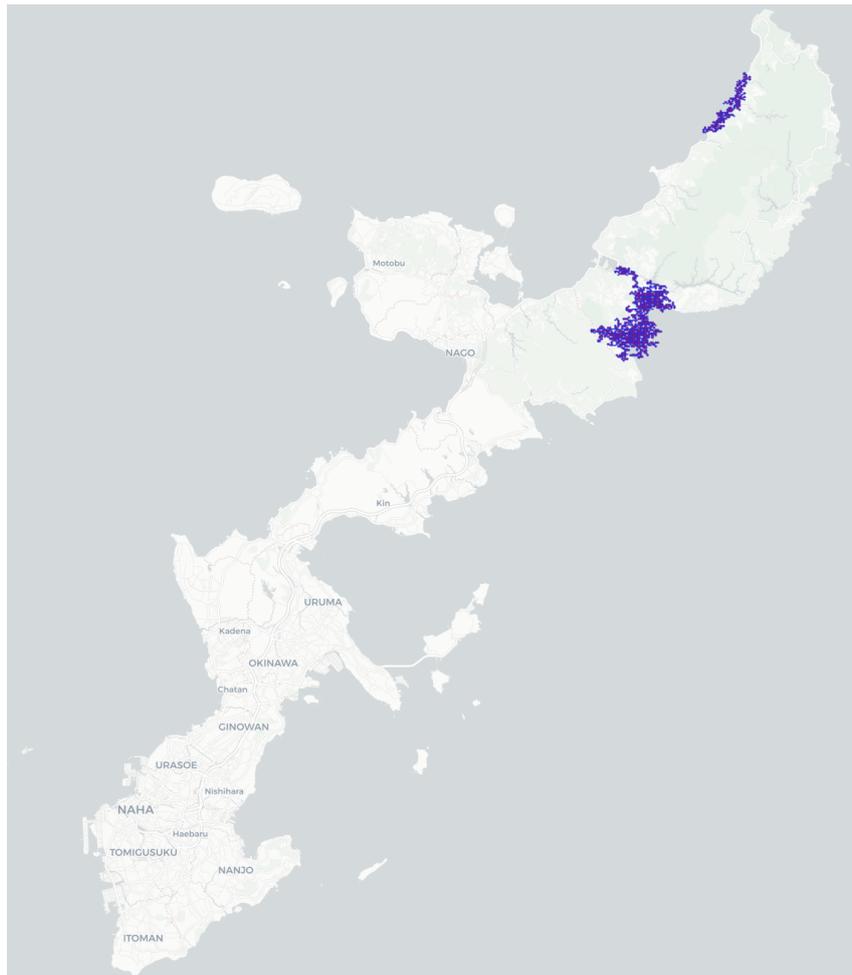


図 2.9 POI データがないメッシュにおけるコールドスポット



図 2.10 POI データがあるメッシュにおけるニッチな観光スポット候補



図 2.11 POI データがないメッシュにおけるニッチな観光スポット候補

2.6 結論と今後の課題

2.6.1 結論

本研究では、人流ビッグデータを用いたニッチな観光スポットの検出モデルをロバスト混合一般化線形モデルを用いて構築した。その前段階としての基礎集計分析結果から、曜日ごとでは特に違いはなかったが、人気観光スポットである国際通りや美ら海水族館に連日観光客が集まっていることがわかった。また、時間帯については朝はホテルに滞在している人が多いため9時台までは那覇市内と西海岸リゾートエリアにカウント数が集中している。1日中通して北部でのカウント数は少なく、特に18時台以降はほとんど観光客がいないことが見てとれた。

その後、ロバスト混合一般化線形モデルを沖縄本島に適用し、沖縄本島における各メッシュの期待観測数を算出した。

1. POI データのあるメッシュ

- 県庁からの道路距離、最寄りのバス停からの距離が短くなればカウント数が増える
- 季節による違いは確認できなかった
- 周辺メッシュの道路密度が増加すれば、カウント数も増加する
- 周囲1km以内におけるホットスポットの有無や道路距離1km以内における駅の有無は、ある方がカウント数が増加する
- 施設のカテゴリーにおいては、カテゴリー1（リゾートホテル）、カテゴリー3（道の駅）、カテゴリー4（大型商業施設）があると、カウント数が他のカテゴリーと比較してより増加する
- カテゴリー11（博物館・資料館・工房等）、カテゴリー14（その他名所）があると、カウント数が減少する

2. POI データのないメッシュ

- 県庁からの道路距離、最寄りのバス停からの距離が短くなればカウント数が増える
- 周辺メッシュの道路密度が増加すれば、カウント数も増加する
- 季節間では、POI データがあるメッシュの際とは異なり、夏の方がカウント数が増加する

- 周囲 1km 以内におけるホットスポットの有無や道路距離 1km 以内における駅の有無は、ある方がカウント数が増加する

また、POI データのある際と比べると、より強く影響していることがわかる

POI データのあるメッシュでは、県庁からの道路距離とバス停の距離が近く、道路密度が多い方がデータのカウント数が増加することが分かった。半径 1km 以内にホットスポットがあるかどうかはかなり影響することも分かった。また、驚くことに季節による影響はないという結果も得られた。カテゴリーの違いによってはカテゴリー 3 (道の駅) による影響が最も大きく、次いでカテゴリー 4 (大型商業施設) による影響が大きいことが判明した。ここから実際の観測数と期待観測数の比率 r を用いて、エシェロンスキャンを用いてコールドスポットを検出し、その結果からニッチな観光スポットの候補地を挙げた。その結果、POI データがあるメッシュでは自然観光地 (カテゴリー 9) に分類されるスポットが検出され、POI データがないメッシュでは北部のエリアが検出された。これらは、沖縄県庁からの距離や周辺に公共交通機関の有無といった点が関係していると考えられる。

2.6.2 今後の課題

今回研究で用いたデータは観光客のスマートフォンから得た空間データであり、観光客の属性や好みがわかるものではなかったため、観光客にあった観光スポットを提案することはできなかった。また、商店や飲食店といった店舗ではキャッシュレス決済のデータがあれば、その店舗における消費単価も考慮することができ、今回の分析に加えてよりの確にニッチな観光スポットの候補を挙げるのが可能となったと考える。今回開発したモデルをより信頼性の高いものにするためには、観測データのうち交通手段で分類し、モデルを構築すればより精度の高い期待カウント数が予測できるものになっていただろう。

今回の分析では、ロバスト・ポアソン回帰の結果のうち外れ確率 (outlier p.) が 1.0 となってしまったため、過分散を考慮したモデルを当てはめる必要があった。また、POI のないメッシュでは POI のあるメッシュに比べて説明変数が少なかったため、もう少し POI のないメッシュにおいて説明変数を設定すべきであった。

最後に、観光客の滞在しているホテルの種類や滞在日数に関しても取得できたが、データの量が膨大で適切な処理を行えなかったため、そのような技術を身に着けることも人流ビッグデータを用いて分析をしていく上では非常に重要であると痛感した。これができれば、観光客の滞在ホテルのタイプや滞在日数による周遊パターンの違いを把握し、観光客

の層に合わせた観光スポットの提案が可能になるだろう。また、これまで沖縄県や市は本島西側の道路が混んでいることから、以前から東側の道路を利用して欲しかったが、実際観光客に利用してもらうためにどのような施策を講じればいいのか、といったデータに基づいた議論があまりなされていなかった。本研究において分析を行ったところ、東側の道路に沿って行くためのスポットが検出されたため、データに基づいた具体的な提案が可能になったことに本研究の意義があると考えている。

参考文献

- [1] 鎌倉市 (2021. (2022年2月16日)) 「鎌倉市の観光事情」, , <https://www/city.kamakura.jp/kankou/>.
- [2] Bhat, Chandra R., Jessica Y. Guo, Sivaramakrishnan Srinivasan, and Aruna Sivakumar (2004) “Comprehensive Econometric Microsimulator for Daily Activity-Travel Patterns,” *Transportation Research Record*, Vol. 1894, No. 1, pp. 57–66, January.
- [3] Bradley, Mark, John Bowman, and Bruce Griesenbeck (2010) “SACSIM: An Applied Activity-Based Model System with Fine-Level Spatial and Temporal Resolution,” *Journal of Choice Modelling*, Vol. 3, pp. 5–31, January.
- [4] Chow, Joseph and Shadi Djavadian (2015) “Activity-Based Market Equilibrium for Capacitated Multimodal Transport Systems,” *Transportation Research Part C*, Vol. 7, pp. 2–18, January.
- [5] Kang, Jee and W. Recker (2013) “The Location Selection Problem for the Household Activity Pattern Problem,” *Transportation Research Part B*, Vol. 55, pp. 75–97, September.
- [6] Kang, Jeeun, Joseph Chow, and Will Recker (2013) “On Activity-based Network Design Problems,” *Transportation Research Part B*, Vol. 57, pp. 398–418, June.
- [7] Maruyama, Takuya and Agachai Sumalee (2007) “Efficiency and Equity Comparison of Cordon- and Area-Based Road Pricing Schemes Using a Trip-Chain Equilibrium Model,” *Transportation Research Part A*, Vol. 41, No. 7, pp. 655–671, August.
- [8] May, A. and D. Milne (2000) “Effects of Alternative Road Pricing Systems on Network Performance,” *Transportation Research Part A*, Vol. 34, pp. 407–436, August.

[9] Miller, Eric J. and Matthew J. Roorda (2003) "Prototype Model of Household Activity-Travel Scheduling," *Transportation Research Record*, Vol. 1831, pp. 114–121, January.

[10] Mun, Seil, Koji Konishi, and Kazuhiro Yoshikawa (2003) "Optimal Cordon Pricing," *Journal of Urban Economics*, Vol. 54, No. 1, pp. 21–38, July.

[11] Pendyala, Ram M., Ryuichi Kitamura, Akira Kikuchi, Toshiyuki Yamamoto, and Satoshi Fujii (2005) "Florida Activity Mobility Simulator: Overview and Preliminary Validation Results," *Transportation Research Record*, Vol. 1921, pp. 123–130, January.

[12] Recker, W. (1995) "The Household Activity Pattern Problem: General Formulation and Solution," *Transportation Research Part B*, Vol. 29, pp. 61–77, February.

[13] Recker, W., C. Chen, and M. McNally (2001) "Measuring the Impact of Efficient Household Travel Decisions on Potential Travel Time Savings and Accessibility Gains," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 35, No. 4, pp. 339–369, May.

[14] 坂本尚基・赤羽弘和・高松誠治・南部繁樹・堀口良太 (2009) 「ロバスト・ポアソン回帰による交通事故リスクモデルの同定と適用」, 第40回土木計画学研究発表会講演集.

[15] ブログウォッチャー (株) (2021) 「位置情報サービス」.

[16] 高橋洋二・久保田尚・木田千尋 (1998) 「鎌倉地域へのパーク&ライド及びロードプライシング導入の事前評価に関する研究」, 都市計画論文集, 第33巻, 601–606頁.

[17] 高坂昌子 (2019) 「求められる観光公害への対応：持続可能な観光立国に向けて」, *Japan Research Institute Review*, 第2019巻, 第6号, 97–123頁.

[18] 石原雅晃・井料隆雅 (2015) 「マルコフ連鎖による動的ネットワーク交通量配分」, 土木学会論文集 D3, 第71巻, 第5号, I.503–I.509頁.

[19] 土木学会土木計画学研究委員会(編)(1998)「交通ネットワークの均衡分析-最新の理論と解法-」, 丸善, 9月.

[20] 北村隆一(1996)「交通需要予測の課題」, 土木学会論文集, 第1996巻, 第530号, 17-30頁.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ

http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-866 「観光地における混雑課金政策導入評価のための
移動・活動シミュレーションに関する研究」

観光地における混雑課金政策導入評価のための
移動・活動シミュレーションに関する研究プロジェクト

2023 年 4 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会