

離散連続モデルを用いた鎌倉 P&R 利用者 ・ 非利用者の観光周遊行動分析

渡辺 大聖¹・楽 奕平²

¹学生会員 芝浦工業大学・株式会社オリエンタルコンサルタンツ 工学部土木工学科

(〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館) E-mail:watanabe-ta@oriconsul.com

²正会員 芝浦工業大学准教授 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: leyp@shibaura-it.ac.jp

観光施設が集中する鎌倉市では歴史的観点から道路整備が困難なため道路要領が不足し、休日を中心に著しい交通渋滞が発生している。このような状況下で、鎌倉市は渋滞緩和が期待される P&R の施策に注目している。本研究では P&R が交通政策だけではなく、観光需要にも影響を与えていることを定量的に評価するために、P&R 利用者と非利用者の観光周遊行動の差を数理モデルで表現する。その後 P&R が観光客の観光周遊行動に与える効果を感度分析によって分析することを目的としている。

Key Words: P&R, discrete-continuous models, sensitivity analysis, GPS movement trajectory data

1. はじめに

観光施設が集中する鎌倉地域は、歴史的遺産と緑豊かな自然が一体となった社寺や中世の道路網を踏襲した国際観光都市である。コロナウイルス流行によって一時的に観光客が減少したものの、流行前には毎年約 2000 万人の観光客が訪れており、今後も多くの来訪者が見込まれる。一方で、鎌倉地域の交通網は、このような歴史的観点から道路要領が不足しており、道路の整備も極めて困難な状況が続き、休日を中心に著しい交通渋滞が頻繁に起きてしまっている。

このような課題を踏まえ、鎌倉市では鎌倉地域の周辺の駐車場に車を止め、公共交通機関に乗り換えて目的地に向かう P&R の取り組みが推進されている。P&R は交通渋滞緩和といった交通政策の面からのアプローチをおこなうことが多いが、観光需要にも影響することを定量的に評価することができると P&R の利用促進にもつながることが考えられる。



図1 P&R イメージ図

本研究では、P&R 利用者・非利用者の観光周遊行動に着目し、スマートフォンアプリから取得した GPS 移動軌跡やアンケート調査のデータを用いて、鎌倉観光客の一日の観光周遊行動を離散・連続モデルで表現することで、P&R の利用者・非利用者の観光周遊行動の特性を分析する。その後、P&R 利用が観光客の観光周遊行動に与える効果を観光周遊行動モデルから感度分析を用いて予測することを目的とする。

本稿は下記の内容で構成される。はじめに、本研究で用いたデータの説明と GPS データを用いた P&R 駐車場と滞在時間の判別方法の説明、P&R 利用者・非利用者の観光周遊行動の比較を行う。次に、観光周遊行動を記述する回遊継続・帰宅選択モデルと活動時間選択モデルから観光周遊行動モデルの構造と定式化について説明する。次に、観光周遊行動モデルの推定結果と考察を行い、回遊継続・帰宅選択による到着時間の感度分析で P&R 利用者・非利用者の観光周遊行動の差を表現する。最後に本研究の成果と今後の課題について最後にまとめることとする。

2. スマートフォンアプリから取得したデータ概要

(1) アプリ「スイスイ旅」の説明

本研究では、芝浦工業大学モビリティ・インフラ研究室が開発したアプリ「スイスイ旅」から得たGPS移動軌跡データとアンケート調査を用いた。鎌倉市と芝浦工業大学の協定に基づき、2022年2月1日～2022年12月28日に鎌倉市で「パーク＆ライドの利用促進に向けた実証実験」を行う、鎌倉市に訪れる予定がある一般観光客を対象に実験参加者を募った。

実験参加者専用のアプリ「スイスイ旅」を利用し、来訪する前に鎌倉地域までの経路検索を行う。実験参加者は、アプリを起動し、鎌倉駅半径 2.5km 圏内の観光スポットや飲食店を目的地検索すると図2のように、P&R利用ルートと車利用ルートが表示され、実験参加者がルートを選択することで目的地までのナビルートが始まる。P&R のルートでは各 P&R 駐車場（大船駐車場・稲村ヶ崎駐車場・七里ヶ浜駐車場・江の島駐車場・由比ガ浜駐車場）までの車での移動時間から公共交通での移動時間、駅に到着してからの徒歩での移動時間などが詳細に書かれている。なお、GPS 移動軌跡データの取得には実験参加者が常に位置情報を許可する必要があるため、正確に位置情報が取れているサンプルが少数になることが留意点である

アプリで取得したデータ概要と取得手順を表1に示す。本研究では実験参加者の中でも、観光参拝・買い物が目的の観光客を対象とした。事前アンケートでは年齢や居住地などの個人属性を回答してもらい、任意回答では滞在した観光スポットの滞在箇所や滞在時間など各ユーザの詳細な観光周遊行動を回答してもらう。サンプル数は252(82人)となり、基礎分析やパラメータ推定にはこのサンプルを用いることとする。

アプリのデータのクリーニング作業を次に示す。

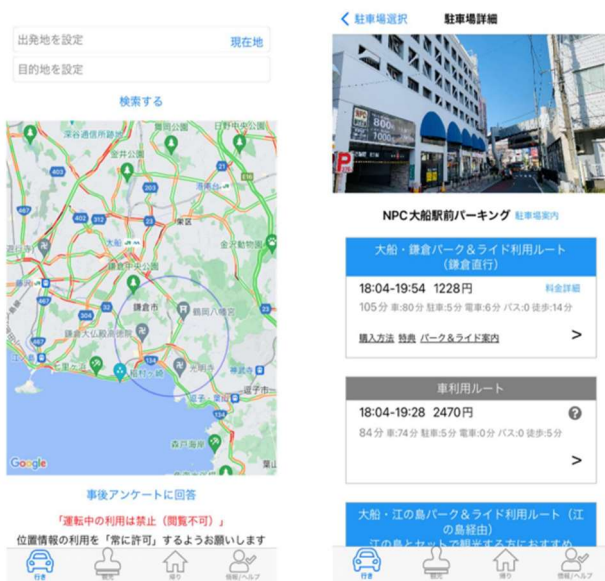


図2 アプリ「スイスイ旅」表示画面

表1 データ概要と取得手順

データ取得方法	アプリ「スイスイ旅」のデータを使用
調査対象	2022年2月1日～2022年11月30日に鎌倉に訪れた観光客 条件：観光目的地が観光・参拝，買い物の旅客
データ取得手順	1.事前アンケートにより個人属性を取得
	2.アプリ検索ログより第一目的地とP&Rの駐車場のデータを取得
	3.携帯GPSにより観光市内の行動軌跡を取得
	4.事後アンケートにより詳細な観光行動を取得
サンプル数	252 (ユーザ：85人)

- ① 事後アンケートまで回答していると事前アンケートを回答しているかつ、GPS データもとれている実験参加者を抽出。
- ② 来訪目的が観光・参拝，買い物のユーザを抽出。事後アンケートは滞在先と滞在時間も回答しているのでそのままのデータを使用。事前アンケートを回答しているかつ GPS データもとれているユーザは、後に説明する判別方法で滞在先と滞在時間の判別をおこなう。
- ③ P&R を利用したか利用していないか判別する。この際、鎌倉駅から半径6.5km範囲内で一箇所に滞在していない人（通過交通のアプリ利用者など）は分析対象外とする。

(2) P&R 駐車場及び、滞在時間の判別方法

事前アンケート回答者かつGPSデータが取れている人を対象に GIS 上で P&R 駐車場の利用・非利用及び、滞在時間の判別を行った。まず、P&R 駐車場の判別は、各 P&R 駐車場（大船駐車場・稲村ヶ崎駐車場・七里ヶ浜駐車場・江の島駐車場・由比ガ浜駐車場）の周辺 100m 範囲内に GPS ログが取れているかつ 5 分以上滞在している人を P&R 利用者とした。判別基準は、事後アンケートを回答した P&R 利用者もこの判別方法で判別し、アンケート回答と GPS 上での判別の正解率が 78.1% となり、この判別基準を設定した。GPS データの欠損により、アンケート回答上P&R利用した参加者が、GPSは別で利用していなかったとの誤判別があったが、アンケート回答上 P&R 利用しなかった参加者が GPS 判別で利用したとの誤判別がなかった。滞在時間の判別では、ある GPS ログの点から 5 分以上 120 分以内経った次の GPS ログの点を抽出し、距離を計算する。この作業を繰り返しおこない、最初の点を記録した時間から 150m 範囲内に出たときまでの時間を滞在時間とした。

(3) P&R 利用者・非利用者の観光周遊行動の比較

鎌倉地域の第一目的地から最終目的地出発までの一

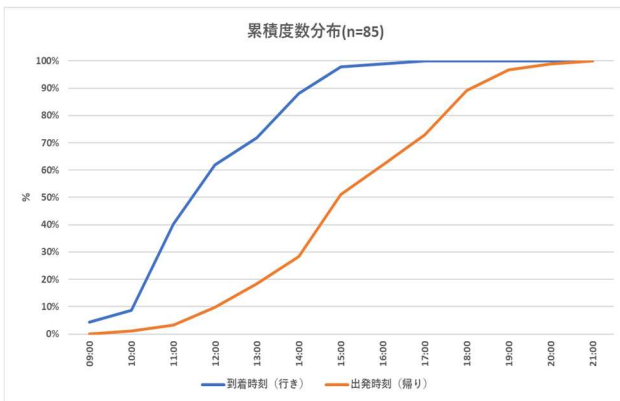


図2 第1目的地到着時刻・最終目的地出発の分布

表2 P&R利用者・非利用者の平均観光周遊行動

	行き到着時間 (n=85)	帰り出発時間 (n=85)	観光活動時間 (n=85)	滞在箇所数 (n=85)	消費金額 (n=52)
P&R利用者	11:23	15:11	221.9(分)	3.41 (箇所)	6798 (円)
P&R非利用者	11:41	14:22	161.5 (分)	2.29 (箇所)	5600 (円)

連の実態把握を行うため、第一目的地到着時刻・最終目的地出発時刻と滞在箇所数、アンケート調査からわかった消費金額に着目し、P&R利用者・非利用者別に集計し、分析を行った。

図2に行きの到着時間と帰りの出発時間の累積度数分布を示す。行きの到着時間を見ると、午前中に50%以上の観光客が鎌倉に到着しているのが分かる。帰りの出発時間を見ると、夕方前には帰宅していることが分かる。これは鎌倉地域のお店が18時前には閉店してしまうことが原因だと考えられる。

表2にP&Rの利用者・非利用者の観光周遊行動の比較を示す。P&R利用者の方が観光活動時間が長く、多くの観光スポットに滞在し、多くお金を消費していることが分かった。これはP&Rを利用すると駐車料金を気にせずに観光周遊することができるため観光活動時間が長くなり、観光スポットに訪れる余裕ができ、消費金額が増えるのではないかと考えられる。

3. 観光周遊行動モデルの構造

(1) 既往研究の課題

観光周遊行動に関する研究及び、P&Rに関する研究はいくつか存在する。周遊に関する既往研究では、アンケート調査や通行量調査のデータから、観光地域内の目的地選択にハザード関数を用いて時間軸を考慮した形でモデル化したものが多く存在していることが分かった。これらのモデルは時間軸を考慮しているものの、目的地選択と滞在時間を同時に選択しているものではなく互いに独立しているものである。そして、時間制約がないた

め一日の行動をモデル化することに適してはいないのが課題としてあげられる。また、Bowman and Ben-Akibaによる効用最大化理論に基づくNested Logit型のアクティビティベースのモデルを使って一日の交通行動を表現している既往研究も存在する。このようなモデルは出発してから帰宅するまでを1ツアーとして考えているため、逐次的なものではないことに加え、滞在箇所が多くなる観光周遊行動の場合、階層構造が複雑になってしまうことが課題としてあげられる。P&Rに関する既往研究では、P&Rの政策から交通渋滞の変化をシミュレーションして定量的に評価するような交通政策の面からのアプローチが多く存在していることが分かった。これらの既往研究を踏まえ、本研究はスマートフォンから取得したアンケート調査とGPS移動軌跡データを用いて鎌倉地域に訪れた観光客の一日の観光活動を明示的な時間制約のもと、回遊継続・帰宅選択と観光活動時間選択を同時に決定する離散・連続モデル by Habibのモデルを構築し、P&Rが観光周遊行動に与える影響を分析することを目的とする。

(2) 観光周遊行動モデルの概要

本研究では、明示的な時間制約の下で、離散選択（観光継続・帰宅の活動選択）と連続選択（活動時間選択）を同時に決定し、逐次的に周遊行動を表現することができるHabibの離散・連続モデルを用いることとする。モデルのフレームワークを図3に示す。本モデルは午前8:00から鎌倉地域を繰り返し回遊する行動を記述している。各観光客は1日の時間的な予算制約を持っていると仮定し、午前8:00~午後20:00の12時間を制約時間の中で時間配分をおこなう。まず、P&R利用者については家から出発し、P&R駐車場に向けて出発する。そこから、P&R駐車場に車を止め、公共交通を使って第1目的地に向かう。そして、第1目的地に到着した時間から滞在終了までの時間を第1エピソードとし、各目的地を出発する時に回遊継続するか、帰宅するかを活動選択をおこない、この離散選択と同時に鎌倉地域内での活動時間を同時に決定する。この離散選択と連続選択の決定を1エピソードとして、逐次的に繰り返すことで結果として、観光周遊行動の記述をおこなうモデルである。なお、活動選択において帰宅を選択した場合、連続量決定は持ち時間のすべてを帰宅行動に配分することとなる。

(3) 定式化

a) 活動選択

個人が活動 j を選択したときに得られる効用関数 U_j は次のように表される。

$$U_j = V_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

(β_j : 未知パラメータ x_j : 説明変数 ε_j : 誤差項 ~ ガンベル分布に従う)

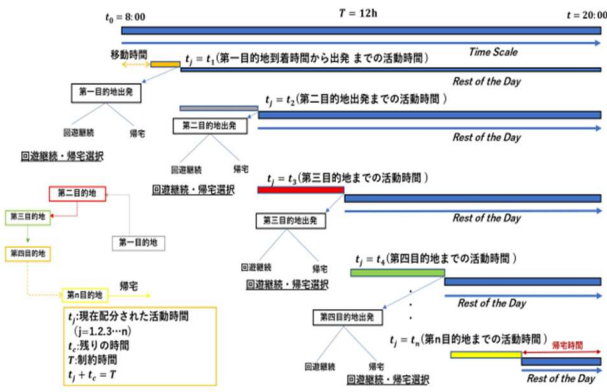


図3 観光周遊行動モデルフレームワーク図

説明変数 x_j には、到着時間(h)と滞在時間(h)、子供有ダミーに加え、P&R ダミーを導入し、適合度の向上を図る。

また、活動 j の確率は次のように表される。

$$P_r(U_j > \max U_n) = P_r(V_j > (V_n + \varepsilon_n) - \varepsilon_j) = P_r(V_n < V_j + (\varepsilon_j - \varepsilon_n)) \quad (2)$$

(n : 2番目に効用が高い活動)

b) 活動時間選択

時間制約 T のもと観光活動 j の効用と残りの時間 c の効用の和が最大になるように活動時間に t_l 、残り時間に t_c 時間を配分する。このときの効用 $U(t_k)$ を次に示す。

$$U(t_k) = \sum_{k=1}^2 \frac{1}{\alpha_k} \exp(\psi_k z_k + \varepsilon_k) (t_k^{\alpha_k} - 1) \quad (2)$$

($k=1$: 選択された活動 $k=2$: 利用可能な時間予算下の残り時間 α_k : 飽和パラメータ($k<1$) ε_k : 効用の誤差項(ガンベル分布に従う) ψ_k : パラメータ z_k : 説明変数)

説明変数 z_k には同伴者数(人)と関東以外ダミー、累積滞在箇所数(箇所)を導入している。

また、 t_l だけ観光活動をおこない、残り時間 t_c を配分する確率は次のように表される。

$$P_r(t = t_j) = \left(\frac{1-\alpha_j}{t_j} + \left(\frac{1-\alpha_c}{t_c} \right) \frac{1}{\sigma} \exp\left(\frac{-(V_c - V_j)}{\sigma}\right) \right) \cdot [1 + \exp\left(\frac{-(V_c - V_j)}{\sigma}\right)]^{-2}$$

$V_j = \psi_j z_j + (\alpha_j - 1) \ln(t_j)$: t_j だけ観光活動をおこなうときに得る効用

$V_c = (\alpha_c - 1) \ln(t_c)$: t_c の時間を以後に残すときに得る効用

σ : 分散パラメータ

c) 同時選択確率

各選択確率のガンベル分布の誤差項を標準分布に変換し、同時選択確率を求める。

$$P_r(\text{time} = t_l \cap \text{Activity type} = j) = P_r(t = t_l \cap \varepsilon \leq J_1(\varepsilon_j)) = \left(\frac{1-\alpha_l}{t_l} + \frac{1-\alpha_c}{t_c} \right) \frac{1}{\sigma} \exp\left(\frac{-(V_c - V_l)}{\sigma}\right) \cdot [1 + \exp\left(\frac{-(V_c - V_l)}{\sigma}\right)]^{-2} \Phi\left(\frac{J_1(\varepsilon_j) - \rho_{jt} J_2(\varepsilon_l)}{\sqrt{1-\rho_{jt}^2}}\right)$$

$J_1(\varepsilon_j)$: 離散選択のガンベル分布の誤差項 ε_j 標準正規分布に変換した誤差項

$J_2(\varepsilon_j)$: 連続選択のガンベル分布の誤差項 ε_j 標準正規分布に変換した誤差項

ρ_{jt} : 相関係数

4. 観光周遊行動モデルのパラメータ推定結果

観光周遊行動モデル推定結果を表3に示す。調整済み尤度比は0.24とある程度説明力のあるモデル結果となった。活動選択において、回遊継続の効用関数にはPRダミーと到着時間(h)を導入し、帰宅の効用関数に定数項と滞在時間、子供有ダミーを導入した。PRダミーは正に有意に、到着時間は負に有意に働く結果となった。

表3 観光周遊行動モデルパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ	t 値
離散選択 (回遊継続・帰宅選択)		
(回遊継続)		
β_{PR}	PRダミー	0.81 2.79**
β_{arrive}	到着時間(h)	-0.40 -5.81**
(帰宅)		
β_{exc}	定数項	-5.91 -5.79**
β_{time}	滞在時間 (h)	0.53 1.52
β_{child}	子供有ダミー	0.53 1.62
連続量選択 (活動時間選択)		
Ψ_{stay}	累積滞在箇所数(箇所)	0.29 2.90**
Ψ_{people}	同伴者数(人)	-0.22 -2.42**
Ψ_{region}	関東以外ダミー	-0.77 -2.63**
Ψ_{active}	定数項	-0.84 -0.19
α_j	観光活動時間の飽和パラメータ	-1.74 -8.91**
α_c	残り時間の飽和パラメータ	-0.76 -1.20
ρ	相関係数	-0.48 -2.94**
	サンプル数	252
	初期尤度/最終尤度	1817.5/1370.9
	調整済み尤度比	0.24

**5%有意 *10%有意

P&R を利用し、到着時間が早いほど回遊継続しやすい結果となった。P&R を利用することで、駐車場料金を気にせず回遊することができることが影響していると考えられる。到着時間に関しては直観通りの結果である。また、帰宅の定数項は負に有意となった。周辺環境や鎌倉駅周辺のアクセス性の良さが反映されたものと考えられる。滞在時間と子供有ダミーは有意とならなかったものの、各滞在時間が長く、子供を連れていると帰宅する傾向にあるのは直観通りである。

活動時間選択においては、累積滞在箇所が多いほど効用が大きくなり、多くの時間が割り当てられる結果となった。また、同伴者数が多く、関東から観光に来ている人ほど効用が小さく、少ない活動時間を割り当てられる結果になった。飽和パラメータは $\alpha_j > \alpha_c$ となり、できるだけ後ろの滞在箇所時間に多く割り当てたい傾向にあることが分かった。相関係数は-0.48 となり、弱い負の相関がみられた。

5. 到着時刻による P&R 利用・非利用別の累積滞在箇所数の感度分析

前述で構築した観光周遊行動モデルを用いて、回遊継続・帰宅選択確率の挙動から到着時間と子供有無感度の妥当性を確かめる。

図 4 に P&R 利用者・非利用者別に到着時間と子供有無を変動させた感度分析の結果を示す。P&R 利用者・非利用者共に到着時間が遅くなると滞在箇所数が少なくなることが分かった。また、おおよその時間帯で P&R 利用者が非利用者に比べて滞在箇所数が 2 箇所ほど多いことが分かった。加えて、同行者に子供がいる場合の方がいない場合よりも滞在箇所が少ないこともわかった。これらのことから、P&R を利用することで、回遊継続しやすいことが感度分析でわかった。

6. おわりに

本研究ではHabibの逐次的な離散・連続モデルによる

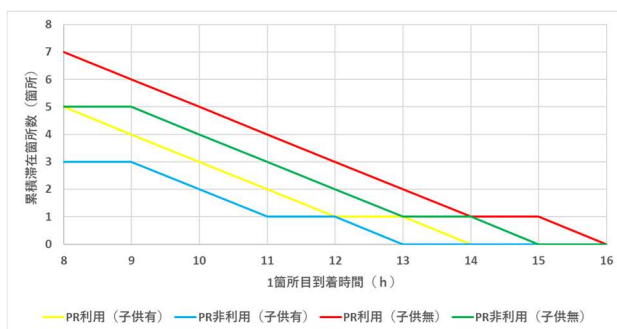


図 4 感度分析結果

観光周遊行動モデルの記述を行い、アンケートだけではなく独自のアプリのGPSデータも利用して観光周遊行動を表現し、ある程度説明力のあるモデル結果を得ることができた。また、シミュレーション結果からP&R利用者は非利用者とは比べて回遊継続の傾向があることが分かった。

今後の課題は以下に示す。

- ・パラメータ推定において、離散選択との定数項が大ききな値を示した。今回はP&Rダミーを説明変数に入れてP&Rの効用を表したが、P&Rにおける消費金額の差や、駐車場の特性などを考慮した説明変数を加えて精度を上げていく必要がある。

- ・本モデルでは離散選択において、回遊継続・帰宅選択をする二項ロジットモデルを採用している。活動選択だけではなく、目的地選択もおこなうNLモデル（ネステッドロジットモデル）を採用し、目的地の魅力などを考慮することで、より精度の良い鎌倉観光客の観光周遊行動を表現する必要がある。

謝辞

本研究は大林財団及び戸田育英財団から支援を受けて実施したものである。また、本研究の実施にあたり、鎌倉市都市計画課交通政策担当者から貴重な協力をいただきましたことに、深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 河井智弘, 福田大輔. (2020). 首都圏通勤者のサテライト型テレワーク利用意向と生活パターン変化に関する研究. 都市計画論文集 Vol.55 No.2.
- 2) 溝上章志, 森杉壽芳, 藤田素弘. (1992). 観光地域魅力度と観光周遊行動のモデル化に関する研究. 都市計画論文集, vol.27, pp.517-522.
- 3) 荒木雅弘, 溝上章志, 円山琢也. (2015). “まちなか回遊行動の詳細分析と政策シミュレーションのための予測モデル. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.71, .
- 4) 高橋洋二, 久保田尚, 木田千尋. (1998). 鎌倉地域のパーク&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, 33 巻, p. 601-606.
- 5) 森地茂, 兵藤哲郎, 岡本直久. (1992). 時間軸を考慮した観光周遊行動に関する研究. 土木計画学研究・論文集, vol.10, pp.63-70.
- 6) 西野至, 西井和夫. (2000). 京都観光周遊行動データを用いたハザード関数型滞在時間モデル. 都市計画論文集, vol.35, pp.727-732.

Analysis of tourist excursion behavior of Kamakura P&R users and non-users using a discrete continuous model

Taisei WATANABE, LE Yiping

Kamakura City, where tourist facilities are concentrated, has been experiencing significant traffic congestion, especially on holidays, due to a lack of road guidelines caused by the historical difficulty of road maintenance. Under these circumstances, Kamakura City has been focusing on P&R measures, which are expected to alleviate traffic congestion. In this study, in order to quantitatively evaluate the impact of P&R not only on traffic policy but also on tourism demand, a mathematical model is used to express the difference in tourist excursion behavior between P&R users and non-users. The second one is to analyze the effect of P&R on tourist excursion behavior by means of sensitivity analysis.