

# 説明変数選択に着目した回遊行動 シミュレーションモデルの構築

藪崎 琳太郎<sup>1</sup>・田代 広行<sup>2</sup>・ティルトム フセイン<sup>3</sup>・胡内 健一<sup>4</sup>・藤澤  
竜治<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)  
E-mail: yabusaki-rn@n-koei.jp

<sup>2</sup>非会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)  
E-mail: tashiro-hr@n-koei.jp

<sup>3</sup>会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)  
E-mail: huseyin-tr@n-koei.jp

<sup>4</sup>会員 日本工営株式会社 中央研究所 (〒102-8539 東京都千代田区麴町5-4)  
E-mail: kouchi-kn@n-koei.jp

<sup>5</sup>非会員 ナウア株式会社 (〒102-8539 東京都葛飾区青戸1-10-2)  
E-mail: fujisawa@nauh-inc.com

近年では、スマートフォンアプリのユーザーからGPSデータを入力し集計した秘匿化ポイント型データが提供されている。人の移動を把握するパーソントリップ調査やメッシュ単位で提供される携帯基地局データと異なり、ポイント型データは任意のゾーン間・ゾーン内回遊性の把握への活用が期待されている。そこで本研究では、ポイント型流動人口データを用いて個人の回遊行動履歴データを作成し、様々な説明変数で構成される回遊行動モデル構築の検討を行った。気象・環境に関連する説明変数を追加したところ、休日は降水量が多いほど帰宅する傾向が顕著に見られた。ゾーン選択モデルについては、属性別・時間帯別・気象別の傾向を表現した説明変数の追加がモデルの精度を大きく向上させることを明らかにした。

**Key Words:** *smart planning, behavior simulation, point-type flowing population data, explanatory variable*

## 1. はじめに

昨今のIoTやICTに関する様々な技術の進展とスマートフォンなどの情報通信端末の普及により、端末利用者の位置情報を常に把握できるようになった。人々の位置情報が蓄積されることで、人々の動きを詳細に、かつ長期的に把握することも可能である。これらのデータを活用し行動モデルを構築することで、施策の課題抽出・効果検証・可視化を行うスマート・プランニング技術が求められている。

スマート・プランニングは、施設配置や歩行空間等を変化させたときの歩行者の回遊行動をシミュレーションし、施策や取組みを検討する計画手法である。シミュレーション実施には、個人単位の行動データをもとに、人の属性毎の行動特性を把握する必要がある。このスマート・プランニングを推進すべく2018年、国土交通省都市局が「スマート・プランニング実践の手引き【第二版】」

りを作成した。その手引きには、人の行動データの収集方法・回遊行動シミュレーションの手法・実践例が示されている。回遊行動シミュレーションは、都心部や駅前などを中心にした「歩いて楽しいまちなか」の創出に向けた検討や実践にも役立つ。

一方で、PLATEAUをはじめとした3D都市モデルの整備や現実の世界から収集したデータをコンピュータ上に再現するデジタルツインへの注目が高まっている。都市を構成するデータ集積により、様々な分野のデータを1つのモデルに組み込むことが可能になっている。

そこで本研究では、ポイント型流動人口データを用いて、個人の回遊行動履歴データを作成する。そして、個人属性・土地利用・気象などの様々な説明変数検討や人流メッシュデータによる拡大補正を行い、回遊行動モデルを構築する。構築したモデルで再現計算を実施し、人流の再現性を検証する。

## 2. 既存研究の整理と研究の位置づけ

### (1) 既存研究の整理

菊池ら<sup>2)</sup>は、行動の位置データを基にした中心市街地の回遊行動の再現と施策評価を目的として、シミュレーションモデルのフレームを構築した。自治体等での活用を想定しており、施設配置や道路横断構成の変更等の多様な施策の評価への適用可能性を示している。

荒木ら<sup>3)</sup>は、街路構成指標も説明変数として導入して、まちなかの空間的魅力度向上のための政策提言に活用できるモデルを構築した。平日・休日の両方のサンプルを用いた回遊行動モデルを構築し、熊本市中心市街地における平日と休日の回遊行動を比較している。

行動対象を絞った研究として、越智ら<sup>4)</sup>は実務的に普及が進んでいる既存のスマート・プランニングの手法を高齢者の行動に適用した。発展形の手法として、人の行動データに基づいて高齢者の活動を支援するまちづくり・交通施策を検討するための、実務的な評価手法を開発した。

一方、Wi-Fi センサデータを活用した一井ら<sup>5)</sup>は、時間帯別滞在人数と滞在時間分布の2つの指標を分析することで、観光滞在者の実態把握に加え、Wi-Fi センサデータの特徴なども明らかにした。さらに、OD表を作成することで観光回遊行動の実態を把握し、構築したモデルで観光回遊行動の把握が可能であることを確認している。

### (2) 研究の位置づけ

これまでの研究では、回遊行動シミュレーションモデルのフレームが構築され、実務的な評価や観光行動の把握ができることを明らかにした。しかし、個人属性・土地利用・気象といった多様な説明変数を盛り込んだモデルを検討した研究は見受けられない。そこで、本研究は説明変数選択に着目し、属性・気象などによる移動傾向の違いを変数として組み込むことを試み、より精度の高いモデル構築を目的としている点に特徴があるといえる。

## 3. 使用データと回遊行動データの作成

### (1) 分析対象地区

国交省と内閣府により地方再生のモデル都市に選定された、愛知県岡崎市の乙川リバーフロント地区（QRUWA地区）を分析対象とする。QRUWA地区の目指す回遊動線には、東岡崎駅・桜城橋・中央緑道・籠田公園・連尺通・岡崎シビコ・図書館交流プラザりぶらが存在する。土地利用上の特徴を表-1のように整理したうえで、これらのランドマークが各ゾーンに分かれるよう、図-1に示すゾーン設定を行った。

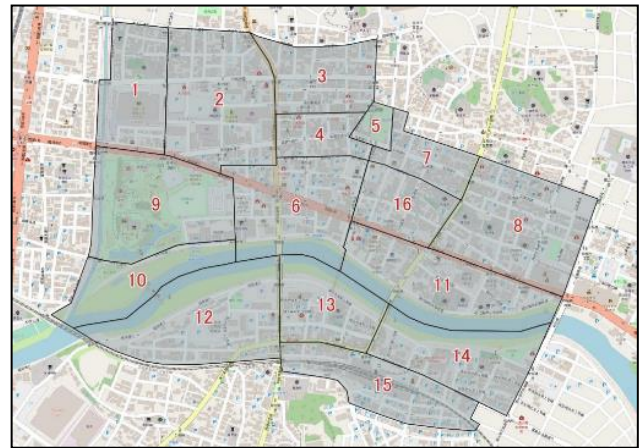


図-1 QURUWA地区のゾーン設定

表-1 各ゾーンの特徴整理

ゾーン番号	ゾーン特徴
1	・北側半分は住宅と小売店が混在した地区。 ・南側半分は <b>図書館交流プラザりぶら</b> が位置する。南側の縁辺部の小ブロックは郵便局や事務所等がある。
2	・北側半分は住宅と小売店が混在した地区。 ・中央部から南側のブロックは、タワーマンションが一棟建っている。ブロックの中ほどにりぶら東駐車場2箇所・ <b>岡崎シビコ・アオキスーパ</b> があり、南側縁辺部のブロックは、銀行・証券会社や食堂がある商業ゾーン。
3	・ <b>連尺通り、二七市通り</b> を中心とした沿道の小売店と住宅が混在した地区。
4	・ <b>康生通り</b> の沿道を中心とした商店街。
5	・ <b>家族連れ</b> の多い公園である <b>籠田公園</b> と地下駐車場がある。
6	・商業ビル等の <b>事務所</b> がある。
7	・居酒屋、日本料理屋、すし屋等の <b>飲食店</b> がある。
8	・伝馬通り沿いには <b>商店街</b> があるが、それ以外は住宅と混在した地区。
9	・ <b>観光名所</b> である <b>岡崎公園</b> ・伊賀川が位置するブロック。 ・東側の一部には商業施設がある。
10	・竹千代通りから五万石ふじ、 <b>乙川河川緑地</b> 、右岸河川敷イベント会場を含む。
11	・金融及び商業関連の <b>店舗・事務所</b> がある。
12	・ガス会社等の事務所、北東部には太陽の城跡地があり、シティホテル、コンベンション、 <b>リバーベースとして整備予定</b> になっている。
13	・東岡崎駅西側ゾーンで、北側は公共施設や保育園、事務所がある。 ・南側は、食堂・喫茶店・コンビニ等の店舗が建ち並ぶ駅前の <b>繁華街</b> 。
14	・東岡崎駅東側ゾーンで、 <b>ホテル・商業施設・駐車場からなるオトリバーサイドテラス</b> がある。
15	・ <b>東岡崎駅</b> の駅ビルと南側にある食堂等の店舗が多い繁華街。
16	・中央緑道沿いにはNTTビル・岡崎東ビルが立地し、 <b>医療・福祉施設</b> がある。

### (2) 使用データ

#### a) ポイント型流動人口データ

株式会社Agoopの「ポイント型流動人口データ」<sup>6)</sup>を用いる。本データは、Agoop社が提供するスマートフォン向けアプリケーションのユーザーのうち、アクセス権限を得たユーザーのGPS位置情報により作成されたものである。データには、時間、緯度・経度、移動速度、移動方向などが含まれる。人々の詳細な行動データが膨大にあることから、人々の行動の傾向を把握することに適している。

分析対象は、2019年9～11月に愛知県岡崎市で取得されたデータとする。データ件数は1日あたり最大で約190万件、最小で約60万件である。

#### b) 人口統計データ

人口統計データとして、携帯電話の位置情報を集約した株式会社ゼンリンデータコム「混雑統計<sup>®</sup>」データ<sup>7)</sup>を使用した。本データは、NTTドコモが提供するアプ

リケーション（※）の利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報を、NTT ドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータである。位置情報は最短5分毎に測位されるGPSデータ（緯度経度情報）であり、個人を特定する情報は含まれない。※ドコモ地図ナビサービス（地図アプリ・ご当地ガイド）等の一部のアプリ。

このデータでは都市が 100 m 四方のメッシュに分割され、それぞれの領域について1時間ごとの滞在人数の推定値が利用できる。

### (3) 回遊行動データの作成と拡大推計

対象とする時間帯は休日の人々の回遊が多いと想定される9:00～19:00、許容位置誤差は50m以内、対象居住地はQRUWA地区の生活圏（図-2の赤斜線範囲）を除くエリアである。生活圏は岡崎市の地区区分における中央地域のうち、QRUWA地区から約1km範囲の小学校区を合わせた圏域とした。抽出したポイントデータの平均取得間隔は約10分である。

実際の流動人口をシミュレーションに反映するため、拡大推計済の人口メッシュデータである混雑統計⑩を使用して、図-3のように流動人口データを拡大推計した。拡大推計には、式(1)に示す線形計画法を用いた。

$$\begin{cases} X_1(1 - E_r) \leq a_1x_{11} + a_2x_{21} + \dots + a_ix_{i1} \leq X_1(1 + E_r) \\ X_2(1 - E_r) \leq a_1x_{12} + a_2x_{22} + \dots + a_ix_{i2} \leq X_2(1 + E_r) \\ \dots \\ X_j(1 - E_r) \leq a_1x_{1j} + a_2x_{2j} + \dots + a_ix_{ij} \leq X_j(1 + E_r) \end{cases} \quad (1)$$

- $a_i$  : 拡大係数
- $x_{ij}$  : 流動人口データの滞在サンプル数
- $X_j$  : 人口統計データの滞在于者数
- $i$  : 流動人口データのユーザー
- $j$  : 100mメッシュ
- $E_r$  : 許容誤差率（検討の結果0.0001%とした）

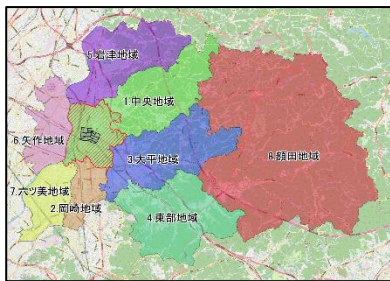


図-2 岡崎市の地区区分とQRUWA地区の生活圏⑩

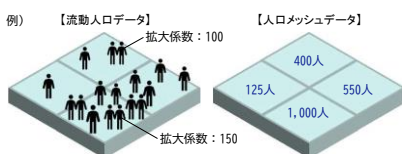


図-3 拡大推計のイメージ

QRUWA地区を含む100mメッシュ136個を用いて拡大係数を流動人口データのユーザー3,190人ごとに推定した。拡大係数の推定結果を表-2、図-4に示す。相関係数が0.99と非常に高いのに対し、拡大係数の標準偏差は約240と偏りが大きくなった。

表-3 から、QRUWA 地区に滞在した流動人口データのユーザーの属性に偏りがあることを確認した。この偏りが原因で拡大係数の偏りが大きくなったと考えられる。

### (4) 回遊行動データの現況

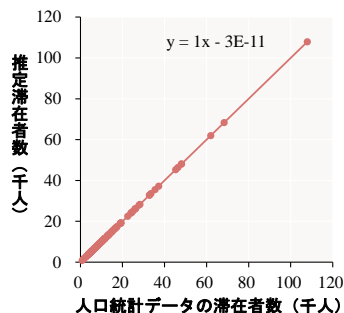
#### a) 各ゾーンにおける回遊継続・帰宅の選択割合

図-5の通り、籠田公園周辺のゾーン5・16と乙川沿いのゾーン14は、比較的回遊継続の割合が高い。東岡崎駅周辺のゾーン13・15と市役所が位置するゾーン8は、帰宅の割合が高い。

表-2 拡大係数と相関係数

拡大係数評価	平均値	139
	最大値	5,436
	最小値	3
	標準偏差	244.1
相関係数評価 (有意水準は95%)	相関係数	0.99
	決定係数	0.99

「混雑統計⑩」©ZENRIN DataComCO., LTD.



「混雑統計⑩」©ZENRIN DataComCO., LTD.

図-4 統計値と推計値の相関

表-3 全メッシュ・全期間合計のデータ数比較

	市内居住者	その他県内居住者	県外居住者
混雑統計⑩	1,865,489	80,645	150,756
Agoop	16,600	3,248	11,017
拡大率	112.4	24.8	13.7

「混雑統計⑩」©ZENRIN DataComCO., LTD.

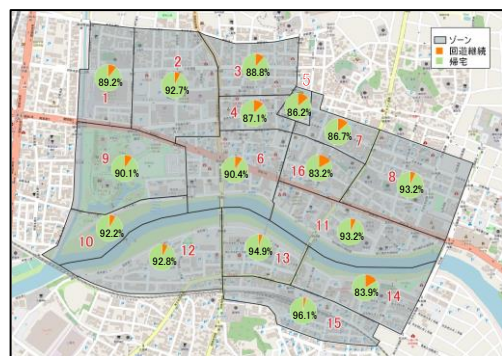


図-5 回遊継続・帰宅の選択割合

b) ゾーン間の移動傾向

図-6の通り、中央緑道西側のゾーン6・駅周辺のゾーン14から東岡崎駅のゾーン15への移動が最も多く、岡崎公園のゾーン9から図書館交流プラザりぶらのゾーン1への移動も比較的多い。康生通と岡崎シビコの周辺であるゾーン2~4,6間の移動も多く見られる。

c) 各ゾーンへの立ち寄り回数と平日・休日による滞在時間比較

図-7の通り、中央緑道西側のゾーン6と東岡崎駅のゾーン15での立ち寄り回数が多い。籠田公園のゾーン5と岡崎公園のゾーン9では、休日の方が滞在時間は長い。

4. 回遊行動モデル

(1) 回遊行動モデルの概要

人の回遊行動を再現するために、モデルを構築する。本研究では、図-8のように回遊行動を①回遊継続選択、②ゾーン選択、③滞在時間選択の3段階に分けて考える。

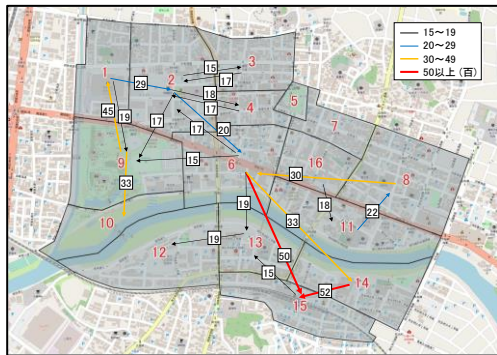


図-6 上位の1日当たりゾーン間OD

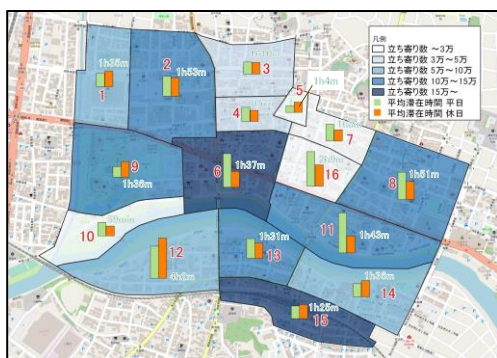


図-7 1日当たり立ち寄り回数と平日・休日の滞在時間比較

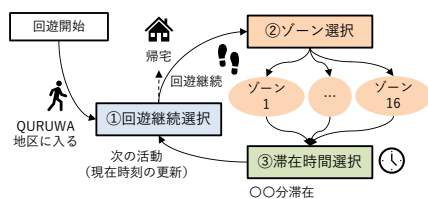


図-8 回遊行動モデルのイメージ

a) 回遊継続選択モデル・ゾーン選択モデル

回遊継続選択モデル・ゾーン選択モデルは離散選択モデルを用いた。式(2)に確率関数を、式(3)(4)に効用関数を示す。拡大係数は重み付けとして使用する。

$$P(i)^n = \frac{\exp(V_i^n)}{\sum_{j=1}^m \exp(V_j^n)} \quad (2)$$

$$U_i^n = V_i^n + \varepsilon_i^n \quad (3)$$

$$V_i^n = \sum_k (\beta_k x_{ki}^n) \quad (4)$$

$P(i)^n$  : 個人 $n$ の選択肢 $i$ を選択する確率

$V_i^n$  : 個人 $n$ の選択肢 $i$ の効用の確定部分

$U_i^n$  : 個人 $n$ の選択肢 $i$ の確率効用

$\varepsilon_i^n$  : 個人 $n$ の選択肢 $i$ の効用の確率項

$\beta_k$  : 選択肢 $i$ に対する $k$ 番目の未知のパラメータ

$x_{ki}^n$  : 個人 $n$ の選択肢 $i$ に対する $k$ 番目の説明変数

b) 滞在時間モデル

滞在時間モデルは生存時間モデルを用いた。式(5)(6)に確率密度関数を示す。上記モデルと同様に、拡大係数は重み付けとして使用する。

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \alpha \beta \cdot t^\alpha \cdot \exp\{-(\beta t)^\alpha\} \quad (5)$$

$$\beta = \exp\{b_0 + b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m\} \quad (6)$$

$f(t)$  : 個人 $n$ の滞在時間 $t$ を選択する確率

$F(t)$  : 時間 $t$ において個人 $n$ がゾーンから離れる確率

$\alpha$  : 尺度

$b_j$  : 係数

$y_j$  : 説明変数

(2) 説明変数設定と選択手法

a) 説明変数の設定

説明変数の一覧を表-4に示す。赤字はモデルの説明性・評価したい施策候補の観点から、重要だと考えられる説明変数である。訪問ゾーン数は再現計算時に立ち寄り数が過剰にならないよう、4回以上の場合には4回と上限を設定した。イベントダミーは連尺通・康生通での社会実験と11/23開催のジャズフェスティバルと定義した。居住地ダミーは岡崎市内・市外、鉄道利用ダミーは東岡崎駅の推定利用有無を示している。駐車場台数はゾーンごとの駐車場台数の合計値である。施設種類別の店舗密度は、各ゾーンの店舗数を面積で割り算出している。店舗数は、詳細な建物属性情報を有する建物ポイントデータ<sup>9)</sup>を用いて計算し、施設の種類は飲食・物販・宿泊等の7種類である。

ゾーン選択モデルに用いる傾向説明変数は、居住地を例とすると、各ゾーン間で市内居住者と市外居住者の移動数割合から算出している。

環境説明変数について、降水量と気温は気象庁の1時間ごとのデータを用いた。降水量は天気予報を見て意思

決定することを想定し、現在のデータだけでなく1時間先のデータも変数として入れる。気温は最も快適な気温を22.5℃と仮定し、22.5℃との気温差を変数として入れる。人工物面積は、道路舗装面積と建物面積を足し合わせている。

傾向説明変数と環境説明変数を追加することによるモデル精度の変化を明らかにするため、表-5の通りケース別に説明変数の組合せを設定した。

b) 多重共線性と重要変数を考慮したステップワイズ法

本研究では変数減増法のステップワイズ法を用いる。この手法のデメリットとして、評価したい施策に関連する変数が削除される点や多重共線性と無関係に選択される点が挙げられる。そこで、減らす変数の対象を重要変数以外に絞り、多重共線性を検出するための指標であるVIFの最大値が3より小さくなる組合せを採用する手法を使用する。VIFの定義を式(7)に、フローを図-9に示す。

$$VIF = 1/(1 - r^2) \quad (7)$$

r : 相関係数

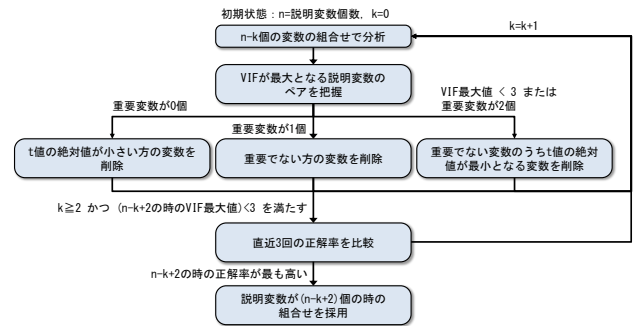


図-9 ステップワイズ法のフロー

表-4 各モデルの説明変数

モデル	①回遊継続 選択モデル	②ゾーン選択 モデル	③滞在時間 モデル
基本 説明変数	現在時刻 現在ゾーン 訪問ゾーン数 総移動距離 経過時間 ダミー変数 ・イベント ・居住地 ・勤務地 ・鉄道利用	ゾーン間移動 時間 駐車場台数 延床面積 店舗密度 (施設種別)* ダミー変数 ・イベント ・川沿い ・特定施設	現在時刻 現在ゾーン 訪問ゾーン数 総移動距離 経過時間 駐車場台数 延床面積 店舗密度 (施設種別)* ダミー変数 ・イベント ・川沿い ・居住地 ・勤務地 ・鉄道利用
傾向 説明変数		移動傾向 ・居住地 ・鉄道利用 ・時間帯	
環境 説明変数	降水量 気温	移動傾向 ・降水有無 ・気温 人工物面積	降水量 気温 人工物面積

\*飲食のみ重要説明変数に設定

表-5 ケース別の説明変数設定

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
基本 説明変数	●	●	●	●
傾向 説明変数		●		●
環境 説明変数			●	●

表-6 回遊継続選択モデルの構築結果

	パラメータ数	サンプル数	AIC		継続の正解率		帰宅の正解率			
			ケース1,2	ケース3,4	ケース1,2	ケース3,4	ケース1,2	ケース3,4		
平日	訪問ゾーン1回目	22	25	6,961	8,678.0	8,639.2	69.4%	70.5%	63.4%	64.6%
	訪問ゾーン2回目以降	17	23	710	786.7	746.7	79.0%	78.7%	73.2%	73.9%
休日	訪問ゾーン1回目	22	24	2,681	3,177.6	3,172.1	73.5%	72.7%	69.5%	68.8%
	訪問ゾーン2回目以降	17	20	368	405.1	405.5	74.6%	74.8%	77.6%	78.4%

(3) 行動モデルの構築結果

a) 回遊継続選択モデル

以下の4パターンに分けてモデルを構築している。目的地的が1つのみのトリップが多いため、寄り道モデルとそうでないモデルに分けて考える。

- ・平日 訪問ゾーン1回目
- ・平日 訪問ゾーン2回目以降 (寄り道)
- ・休日 訪問ゾーン1回目
- ・休日 訪問ゾーン2回目以降 (寄り道)

表-6でケース別に構築結果を比較すると、AICは休日の訪問ゾーン2回目以降を除きケース3,4の方が小さく、モデルの当てはまり度が高いといえる。正解率についてもケース3,4の方が高い傾向にある。訪問ゾーン1回目については、帰宅の正解率が7割以下と比較的低く、このモデルで表現するのは難しいことが分かる。

各説明変数のパラメータを図-10に示す。休日の訪問ゾーン数2回目以降では、連尺通・伝馬通・中央緑道にいと継続しやすい。平日の訪問ゾーン数2回目以降は、現在雨が降っていると継続しやすい一方で、1時間後に雨が降ると帰宅しやすい。休日については、現在・1時間後に関わらず雨が降っていると顕著に帰宅しやすい傾向であることが分かった。



図-10 回遊継続選択モデルのパラメータ (ケース3,4)

b) ゾーン選択モデル

平日・休日別にモデルを構築した。表-7でケース別に構築結果を比較すると、AICはどのパターンにおいてもケース4の方が小さく、モデルの当てはまり度が高いといえる。正解率についてもケース4の方が高い。ケース2と3を比較すると、ケース2の方が当てはまりは良いため、傾向説明変数の追加がモデル精度の向上に影響していることが分かる。

各説明変数のパラメータを図-11に示す。平日は駐車場台数・医療施設・寺社が多いゾーンが選択されやすく、図書館りぶらや籠田公園のあるゾーンは選択されにくい。休日は移動時間が短く、川沿いや飲食店のあるゾーンが選択されやすく、物販店が多いゾーンが選択されにくい。居住地・時間帯・気温の違いによる移動傾向にゾーン選択が左右されやすい一方で、降水の有無はあまり影響しないことが分かった。

c) 滞在時間モデル

ゾーン選択モデルと同様、平日・休日別にモデルを構築した。表-8でケース別に構築結果を比較すると、平日はケース3,4の方がAICは小さいが、相関性がケース1,2の方が高い。休日はケース1,2の方がモデルの当てはまり度・相関性が高い。相関係数が平日・休日ともに約0.4~0.5と低く、約2時間の平均誤差があることから、モデルの精度は不十分だといえる。

各説明変数の係数を図-12に示す。平日は飲食店・駐車場台数が多いゾーンや岡崎公園にいる人の滞在時間が短くなる。休日は鉄道を利用して来訪している人や明大寺本町にいる人の滞在時間が長くなる。選択されたパラメータ数が少ないため、設定した説明変数で滞在時間を推計することは難しいことが分かった。

表-7 ゾーン選択モデルの構築結果

	パラメータ数				サンプル数			
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4				
平日	9	13	11	15	710			
休日	13	11	13	16	368			
	AIC				正解率			
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
平日	3,193	2,260	2,470	2,151	30.2%	49.5%	41.9%	49.8%
休日	1,558	1,263	1,320	1,183	33.1%	46.1%	38.3%	49.2%

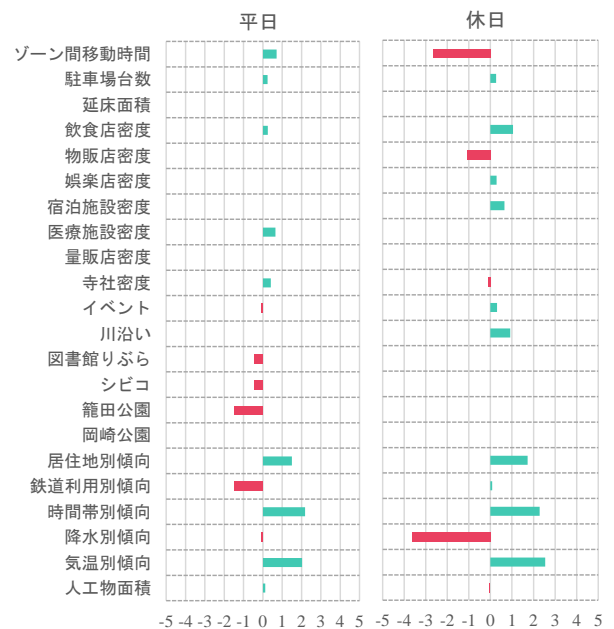


図-11 ゾーン選択モデルのパラメータ (ケース4)

表-8 滞在時間モデルの構築結果

	パラメータ数		サンプル数	AIC		相関係数		RMSE	
	ケース 1,2	ケース 3,4		ケース 1,2	ケース 3,4	ケース 1,2	ケース 3,4	ケース 1,2	ケース 3,4
平日	12	23	7,671	10,630,333	10,610,132	0.533	0.526	147.7	147.9
休日	13	10	3,049	4,092,357	4,104,868	0.462	0.386	105.9	109.5

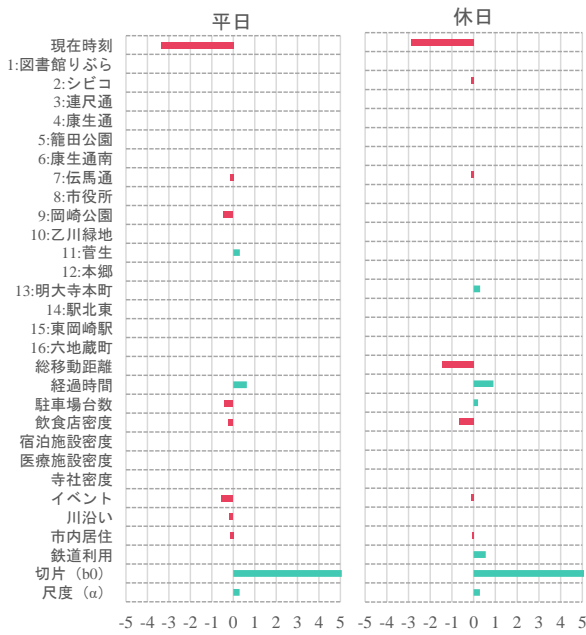


図-12 滞在時間モデルの係数 (ケース1,2)

(4) 行動モデルの再現計算

計測データと同じ初期状態 (日付・ゾーン・時間帯) を入力データとする。説明変数の状態とモデルから求める確率に応じて、図-13に示すように①回遊継続選択、②ゾーン選択、③滞在時間選択が行われる。

回遊継続選択モデルはケース3,4、ゾーン選択モデルはケース4、滞在時間モデルはケース1,2という組合せで再現計算したものをケース5とする。

表-9の立ち寄りゾーン数別のトリップ数について、平日はどのケースも立ち寄り2回以降のデータ数が多く再現されている。休日は立ち寄り2回以降のデータ数が現況と同程度となり、相関係数は非常に高くなった。

表-10の2回目以降のゾーン毎立ち寄り回数について、平日は立ち寄り2回以降のデータ数が多く再現されたことからRMSEが大きくなっている。一方で、相関係数はケース3~5において約0.95と高い水準となった。休日はRMSEが比較的小さいが、相関係数がケース1,5のみ0.7以上という結果となった。

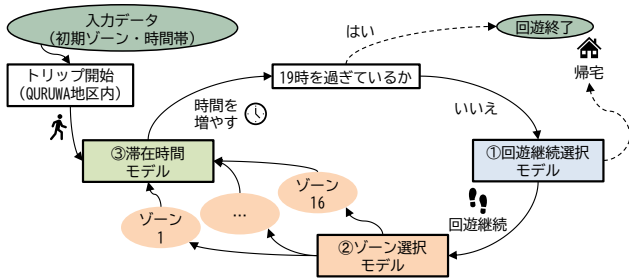


図-13 再現計算のイメージ

表-9 立ち寄りゾーン数別のトリップ数

	平日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	796,766	635,710	635,710	626,883	626,883	631,625
2	43,799	164,593	150,200	168,720	155,186	153,966
3	10,672	37,441	59,137	38,392	54,477	53,300
4	1,817	11,765	6,659	13,823	9,464	9,441
5	273	3,307	1,621	4,031	6,202	3,685
6	0	511	0	1,478	1,115	1,310
相関係数		0.980	0.983	0.979	0.982	0.983
RMSE		83,021	81,276	86,981	84,932	82,963

	休日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	312,357	301,392	301,392	300,001	300,001	299,883
2	19,048	35,216	31,849	30,507	30,991	31,092
3	6,907	2,009	5,683	5,762	7,803	7,932
4	939	521	451	2,601	186	429
5	117	326	24	511	440	128
6	96	0	65	82	43	0
相関係数		0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
RMSE		8,224	6,902	6,931	7,033	7,094

表-10 2回目以降のゾーン毎立ち寄り回数

	平日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	696	1,356	2,952	3,780	6,045	2,619
2	7,594	30,997	27,461	34,803	45,792	40,466
3	1,680	9,125	5,196	7,619	6,997	8,329
4	4,759	20,541	11,980	17,348	18,920	16,987
5	168	934	2,183	238	2,048	358
6	9,001	19,791	47,035	32,398	39,019	38,772
7	1,126	11,292	4,193	10,080	3,282	3,144
8	7,230	48,172	40,453	22,730	30,131	28,167
9	3,402	10,765	6,993	9,573	15,468	12,528
10	47	4,985	1,161	3,751	3,603	1,283
11	3,658	14,481	10,780	17,081	12,378	10,456
12	2,684	3,948	9,737	2,819	6,172	3,046
13	6,245	12,750	18,550	20,874	17,338	15,494
14	5,843	15,861	44,655	29,795	37,081	42,828
15	15,557	61,661	54,243	83,078	70,690	75,129
16	1,996	23,894	7,363	14,520	7,951	10,573
相関係数		0.850	0.901	0.951	0.959	0.949
RMSE		18,865	19,884	21,718	21,752	22,099

	休日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	5,484	9,342	10,599	10,223	7,825	11,589
2	5,116	6,878	4,062	6,912	5,872	5,522
3	1,596	2,070	1,550	324	1,757	1,094
4	1,231	1,886	2,182	3,093	4,427	1,362
5	816	999	1,419	278	2,542	586
6	2,028	933	1,060	2,116	2,496	2,939
7	886	568	2,642	2,944	2,057	1,932
8	1,085	1,169	1,402	2,794	2,906	1,891
9	5,247	2,926	799	2,109	1,510	1,977
10	4,625	7,851	11,766	7,257	10,405	7,652
11	1,501	1,908	1,443	5,041	2,920	2,657
12	690	528	2,008	143	120	418
13	2,771	2,785	2,197	2,372	1,427	1,738
14	1,550	1,230	1,085	861	1,002	3,649
15	1,383	632	706	1,799	796	467
16	618	396	69	4,022	1,068	3,410
相関係数		0.877	0.654	0.681	0.655	0.717
RMSE		1,514	2,580	2,239	2,187	2,175

表-11のゾーン毎の平均滞在時間について、平日はモデル構築時の正解率が低かったケース3,4の相関性が高い結果となった。ゾーン1や5といった立ち寄り回数が少ないゾーンでの正解率が高いことに依ると考えられる。休日はどのケースも相関係数が0.8を下回り、ケース3,4は特に低くなった。ゾーン12や16のように滞在時間が長いゾーンに対する再現が難しいことに起因すると考察する。

### 5. ゾーン内の回遊パターン分類

これまでの分析ではゾーンが最も細かいスケールだが、流動人口データからゾーン内におけるメソスケールな回遊パターン分類が可能かどうか検討を行った。

表-11 ゾーン毎の平均滞在時間

	平日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	82.8	118.0	117.6	78.7	80.7	117.7
2	121.6	87.8	89.8	93.2	93.6	88.7
3	73.9	88.5	89.7	99.4	94.9	92.8
4	85.8	84.4	79.5	83.5	86.7	78.3
5	39.9	117.2	117.8	37.4	39.3	121.5
6	203.2	160.7	154.3	167.3	165.3	156.5
7	102.5	103.7	108.0	85.3	85.5	102.2
8	166.6	125.1	126.1	124.0	122.6	128.5
9	65.8	62.0	59.9	61.6	59.3	61.8
10	82.9	78.8	77.9	76.9	74.0	78.1
11	243.8	180.8	181.3	163.7	168.3	183.0
12	193.5	126.7	125.2	160.8	157.8	129.8
13	120.1	101.8	102.0	101.5	100.8	100.1
14	81.3	88.1	91.9	87.5	86.3	89.3
15	77.7	77.1	75.3	68.6	66.4	74.6
16	208.8	136.6	152.3	141.5	159.1	143.4
相関係数		0.824	0.832	0.953	0.970	0.821
RMSE		40.4	39.5	33.0	30.6	40.0

	休日					
	現況	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1	95.9	86.9	90.7	86.4	88.3	90.8
2	113.3	95.0	94.6	91.4	90.6	95.1
3	70.1	83.1	81.4	79.7	80.4	81.5
4	66.6	57.1	57.5	60.9	61.1	57.3
5	64.2	66.8	70.2	66.8	72.0	65.9
6	97.0	94.0	93.4	101.1	100.1	91.4
7	68.4	65.1	73.2	83.3	85.1	68.7
8	111.1	100.3	100.6	98.1	100.4	100.9
9	96.4	85.6	85.7	86.2	86.6	85.8
10	59.7	84.9	81.8	78.9	76.4	78.7
11	103.6	102.7	102.2	95.0	98.3	99.9
12	242.4	113.9	112.4	101.1	101.1	113.9
13	91.5	85.5	85.8	75.9	77.7	86.2
14	96.7	90.2	87.8	82.9	83.4	88.6
15	85.3	79.0	79.3	77.8	77.4	79.1
16	129.6	94.6	95.2	91.4	96.7	97.5
相関係数		0.753	0.769	0.645	0.642	0.792
RMSE		34.8	35.0	38.4	38.0	34.3

### (1) 回遊パターンの分析

平日・休日それぞれについて、ゾーン内の回遊パターンを分析した。ここでは特に回遊が多いゾーン2と9の分析結果を示す。回遊パターンの分類は、k-means法によるクラスタリングを実施した。クラスター数の決定はシルエット法で行った。その結果、図-14の通りシルエット値が最大となるクラスター数3を採択し、回遊パターンを3分類にした上で各パターンの考察を行う。

### (2) 分析結果

図-15では、平日・休日でゾーン内の回遊パターンは異なる傾向がみられる。商業地のゾーン2は平日に回遊が活発化するのに対し、公園のゾーン9については休日に回遊が活発化する。同じような回遊パターンであっても、平日と休日では選択される傾向に違いがある。

一方で、鉄道や大通りを含むゾーンでは、鉄道沿いや道路沿いの回遊が大きく出てしまう傾向にあり、通過データが含まれていることに起因していると考えられる。

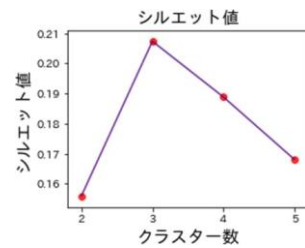


図-14 シルエット法の結果

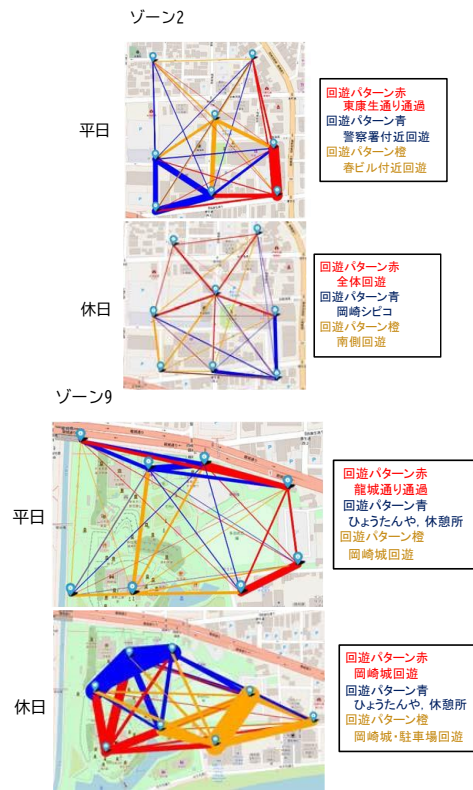


図-15 回遊パターンの3分類

## 6. 本研究の成果と課題

### (1) 本研究の成果

本研究では、ポイント型流動人口データを用いて個人の回遊行動履歴データを整理した。そして、個人属性・土地利用・気象などの様々な説明変数の設定や人流メッシュデータによる拡大補正を行い、回遊行動モデルを構築した。説明変数の組合せによってケースを分けてモデルを構築した結果を比較したところ、回遊継続選択モデルについて休日は降水量が多いほど帰宅する傾向が顕著に見られた。ゾーン選択モデルについては、傾向説明変数の追加がモデルの精度を大きく向上させることを確認した。滞在時間モデルについて、サンプル別の相関性は環境説明変数を追加しないケースの方が高いが、平日の再現計算でゾーン毎の平均滞在時間の相関性は環境説明変数を追加した方が高いという結果を得た。

傾向説明変数の追加はゾーン選択モデルの精度向上に資するため、他地域での回遊行動モデル構築においても検討すべきだと考えられる。一方で、気象データ等の環境説明変数は気象データの影響が大きすぎることから、本来評価すべき施策の評価を難しくするおそれがある。サンプル数が十分であれば、降水量の有無別にモデルを分けるといった対応が求められる。

### (2) 今後の課題

取得間隔が粗い流動人口データからQRUWA地区内での移動経路推定を行うのは困難であり、来訪者目的の識別も難しい。今後は取得間隔が密なプローブパーソンデータ等を活用して移動経路推定を行う、来訪者目的を把握できるアンケート調査と組み合わせる等の方法が考えられる。

また、本研究では説明変数に着目して比較するために独立したロジットモデルという構成だったが、説明変数の追加やモデルの細分化だけではモデル正解率の向上に限界があった。選択肢を階層的に取り込めるネステッドロジットモデルや機械学習を活用したモデルへと発展させるとともに、性別・年齢層といった属性の把握も

重要であることから、それらのデータの取り込みも考えたい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省都市局都市計画課都市計画調査室：スマート・プランニング実践の手引き【第二版】（平成30年9月）<http://www.mlit.go.jp/common/001255640.pdf>（最終アクセス 2021.12）
- 2) 菊池雅彦, 岩館慶多, 羽藤英二, 是友修二, 石井良治, 茂木渉, 石神孝裕：プローブパーソン調査データを用いた回遊性向上施策の実務的評価手法, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, Vol. 74, No. 5, pp. I\_735-I\_745, 2018.
- 3) 荒木雅弘, 溝上章志, 円山琢也：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, No. 5, pp. I\_323-I\_335, 2015.
- 4) 越智健吾, 関信郎, 大塚賢太, 石井良治, 加藤桃子, 原田知可子, 石神孝裕：高齢者私事活動のパターン分析を踏まえた高齢者活動支援施策の実務的評価手法の開発, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, Vol. 75, No. 6, pp. I\_43-I\_55, 2020.
- 5) 一井啓介, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 康楠, 田中皓介：Wi-Fi パケットセンサを用いた散策型観光地における観光回遊行動の把握, 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, pp. 01-16, 2018.
- 6) 株式会社 Agoop 社：流動人口データ, <https://www.agoop.co.jp/floating-population/>（最終アクセス：2021.12）
- 7) 株式会社ゼンリンデータコム社：混雑統計®, <https://www.zenrin-datacom.net/business/congestion/>（最終アクセス：2021年10月19日）
- 8) 岡崎市都市計画課企画調査1係：都市計画マスタープラン <https://www.city.okazaki.lg.jp/1100/1184/1169/p008037.html>（最終アクセス 2021.10）
- 9) 株式会社ゼンリン社：建物ポイントデータ, <https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/contents/building-point/index.html>（最終アクセス：2022年2月4日）

(Received ??,????)

(Accepted ??,????)

## Construction of Excursion Behavior Simulation Model Focusing on Explanatory Variable Selection

Rintaro YABUSAKI, Hiroyuki TASHIRO, Huseyin TIRTOM, Kouchi KEN'ICHI and  
Ryuji FUJISAWA

In recent years, anonymized point-type data has been provided by obtaining and aggregating GPS data from smartphone application users. Unlike person trip surveys and mobile base station data, which are provided in mesh units, point-type data is expected to be used for understanding the excursion between and within arbitrary zones. In this study, we created individual excursion behavior history data using point-type flowing population data and examined the construction of a excursion behavior model consisting of various explanatory variables.

When explanatory variables related to weather and the environment were added, the tendency for people to return home when there was more precipitation was noticeable on holidays. For the zone choice model, it was found that the addition of explanatory variables expressing trends by attribute, time of day, and weather greatly improved the accuracy of the model.