

都道府県間・市区町村間移動の 時空間パターンの解析

銭谷 直樹¹・山口 裕通²・中山 晶一朗³

¹ 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: zeniya-28niya709@stu.kanazawa-u.ac.jp

² 正会員 金沢大学助教 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: hyamaguchi @se.kanazawa-u.ac.jp

³ 正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: hyamaguchi @se.kanazawa-u.ac.jp

ほとんどの移動行動モデルは、都道府県間をまたぐような長距離移動行動と、県内を移動するような日常的な短距離移動行動を別々に記述してきた。しかし、携帯電話位置情報等のデータによって、両方の移動行動情報を統一したフォーマットで入手できるようになった。この集計データにより、これまで困難であった短・長距離移動行動を同時に俯瞰することが可能となり、それら全体の行動を記述できる新しい解析方法などが求められる。

本研究では、市区町村単位の 365 日分かつ市町村をまたぐものと都道府県をまたぐ移動行動データを用いて、その基本的な時間変動・空間分布パターンを明らかにする。ここでは、そのデータに非負値行列因子分解を適用することで、移動行動パターンを 6 種類に分解することで、移動行動全体を簡潔に記述することが出来た。そのうえで、日本全国におけるそれらのパターンの分布状況を把握することで、日本における人の移動行動の空間的な特徴を明らかにした。

Key Words: long-distance travel, short-distance travel, non-negative matrix factorization, mobile spatial statistics, spatio-temporal patterns

1. はじめに

これまで、将来交通需要予測や経済効果計測などを目的として、人の移動行動の分析は数多く行われてきた。例えば、長距離移動行動においては全国幹線旅客純流動調査が挙げられる。これは、我が国の幹線交通機関における旅客流動の実態を定量的かつ網羅的に把握することを目的とした調査であり、幹線交通の現況把握や将来交通需要の予測等に用いる基礎データの取得を目的として行われている。また、県内や狭いエリア内を移動する日常的な短距離移動行動においては、パーソントリップ調査のように、一定の地域における人の動きを調べ、交通機関の実態を把握する調査が行われてきた。

このように、短、長距離移動行動データは、その調査目的に応じてデータの集計が行われてきた。そのため、集計したデータ形式が異なり、短、長距離データは別々に分析が行われてきた。一方で、近年幅広い分野での活

用が期待されている、携帯電話位置情報をはじめとするパッシブ型の位置情報ビッグデータは、大量のサンプル（携帯電話ユーザ）の位置情報を、広範囲かつ高頻度で取得した信頼性の高いデータであり、国レベルでの長距離移動行動と短距離移動行動の実態を、統一したフォーマットで俯瞰的かつ高頻度に把握することが可能である¹⁾。すでに、室井ら²⁾や清家ら³⁾をはじめとして、観光旅行や長距離移動行動の行動分析などに活用され始めている。また短距離行動については、石塚ら⁴⁾が特定の地方都市に注目し分析を行っている。

しかし、携帯電話位置情報データによって短、長距離の移動行動情報を同時に扱えるようになったにも関わらず、これらのデータを同時に分析する研究はこれまでほとんど行われてこなかった。そのため、短、長距離移動行動を同時に俯瞰し、日本全体の行動を記述できる新しい解析方法などが必要と考える。それにより、新幹線や空港などの長距離旅行向けのインフラ整備についても、

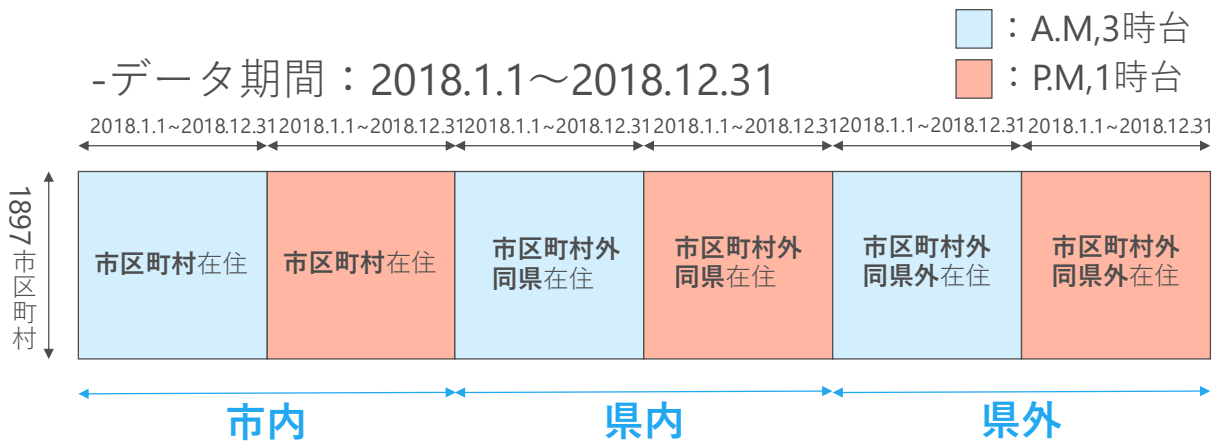


図-1 使用データの概要

より効率的・効果的なインフラ整備計画の検討につながるような示唆が得られると期待される。

そこで、本研究では、携帯電話位置情報の特徴である短、長距離行動データを統一フォーマットで入手できる点に着目し、人の移動行動の変動パターンの特徴などを整理しつつ、それらを抽出・理解する方法を検討する。具体的には、携帯電話位置情報データの1つであるモバイル空間統計®(注1)から得られた、365日分の都道府県間、市区町村間の移動行動データを用いて、その基本的な時間変動・空間分布パターンを明らかにした。ここでは、使用データに非負値行列因子分解を適用することで、移動行動パターンを6種類に分解し、移動行動全体を完結に記述することができた。さらに、日本全国におけるそれらのパターンの分布状況を把握することで、日本における人の移動行動の空間的な特徴を明らかにした。

本論文の構成は、以下のとおりである。2.では、本研究で用いるモバイル空間統計の概要を説明する。3. 非負値行列因子分解を説明する。4.では実際に短、長距離行動データにNMFに適用した結果を述べる。5. は本論文の結論である。

2. 使用データの概要

本研究の分析対象地域は、市区町村コードに記載のある1897市区町村であり、分析対象期間は2018年1月1日から2018年12月31日の365日間である。

本研究における分析対象データの形式を図-1に示す。分析対象である市区町村の滞在人口を、携帯契約地によって「市内」「県内」「県外」の3つに分類した各属性、2時点、各日付ごとに並べた形式を採用する。ここで、3つの属性について金沢市を例に説明する。この属性は携帯契約地によって分類されている。「市

内」とは、観測時点で携帯を契約した金沢市に滞在している人数である。次に「県内」とは、金沢市を除いた石川県内の携帯契約者が、観測時点で金沢市に滞在している人数である。最後に「県外」とは、石川県外の携帯契約者が、観測時点で金沢市に滞在している人数である。

データセット内には、上記の携帯契約地によって分類された3属性、観測した2時点、365日にそれぞれ対応した滞在人口が格納されている。

3. 非負値行列因子分解 (NMF) の概要

NMFは、非負値のデータを下方的な構成成分に分解することを目的とした多変量解析手法であり、得られる結果が全て非負値である点に最大の特徴がある。そのため、NMFによって音声や文書内の単語の出現回数といった非負値データの構成成分を抽出し、音源分離や文書の自動分類をする研究が行われている⁵⁾。

NMFは、サイズ $I \times J$ の観測行列 Y を

$$W \cdot H \cong Y \tag{1}$$

を満たすようなサイズ $I \times K$ の非負値行列 W とサイズ $K \times J$ の非負値行列 H に分解する分析方法である。概要図を図2-1に示す。

それぞれの行列の要素 y_{ij} , w_{ik} , h_{kj} は全て非負であ

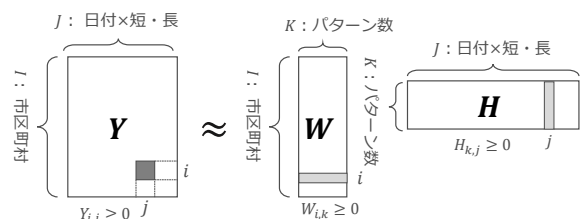


図-2 NMFのイメージと行列 Y, W, H の関係

る. ここで, $w_i = [w_{1i}, \dots, w_{ki}]^T$, $h_j = [h_{1j}, \dots, h_{kj}]^T$ とすると, これらの内積

$$w_i^T h_j = \sum_{k=1}^K w_{ik} h_{kj} \quad (2)$$

は y_{ij} と等しくなるべき値となる. 一般に, データの分析においては y_{ij} と分解後の内積 $w_{ik} h_{kj}$ は誤差が生じる. そのため, この行列 Y と WH の誤差を乖離度 $D(Y, WH)$ と定義し, 乖離度を非負制約の下で最小化することで, 生成される行列を観測された行列に近似することを考える.

本研究では Euclid 距離を使用する. また, NMF を適用するには分解後の基底数 K は解析者が事前に決めておく. その際には,

$$K \leq \min(I, J) \quad (3)$$

を満たす必要がある⁶⁾. 本研究では, NMF を適用して得られたパターンが, 行動内容として解釈可能かどうかによってパターン数を決定した.

4. 短, 長距離移動行動データへの非負値行列因子分解の適用

(1) NMF の結果

本研究では, 分析による結果をパターン数を変えながら比較し, 最もパターン数が多く妥当な解釈が可能であったパターン数 6 の結果を採用し, $K = 6$ とした.

また本紙では, 紙面の都合上, 行列 W についてはパターン 4 のみ考察を行う.

(2) 行列 H の分析結果と考察

行列 H の分析結果をパターンごとに図-3, 4, 5, 6, 7, 8 に示す. 横軸は日付であり, 縦軸は各パターンで各日付と属性が占める割合を表している. これらの時間的変動をみていくことにより, 各パターンの行動内容の推測を行っていく. 各パターンの時間的変動の特徴を表-1 に示す. 以下, 各パターンごとに行動内容の推測を行う.

まずパターン 1 の行列 H について説明する. 図-3 のパターン 1 の時系列変動をみると, 以下の特徴が読み取れる. (1) 居住地別の属性では, 「県内」「県外」の午後の値が高くなっている. (2) 「県内」「県外」の午後について曜日との関係を見ると, 休日より平日の方が高い値となる. この特徴から, パターン 1 の行動内容は, 県内と県外からある市町村に業務で来訪する行動, と推測した.

次にパターン 2 の行列 H について説明する. 図-4 のパターン 2 の時系列変動の特徴は, (1) 「県内」の午後と「県外」の値が高い. (2) 「県内」「県外」の午後について曜日との関係を見ると, 平日より休日の方が高い値となる. これらの特徴から, パターン 2 の行動内容は, 休日にある市町村に来訪する行動と推測した. この行動は観光に近い行動内容と考えられる.

次にパターン 3 の行列 H について説明する. 図-5 のパターン 3 の時系列変動の特徴は, (1) 「市内」と「県内」の午後の値が高い. (2) 曜日との関係を見ると, 「市内」は平日, 休日ともに同じ程度の値だが, 「県内」は, 平日より休日の方が高い値となる. この特徴から, パターン 3 の行動内容は, ある市町村から外へ通勤する行動と推測した.

次に, パターン 4 の行列 H について説明する. 図-6

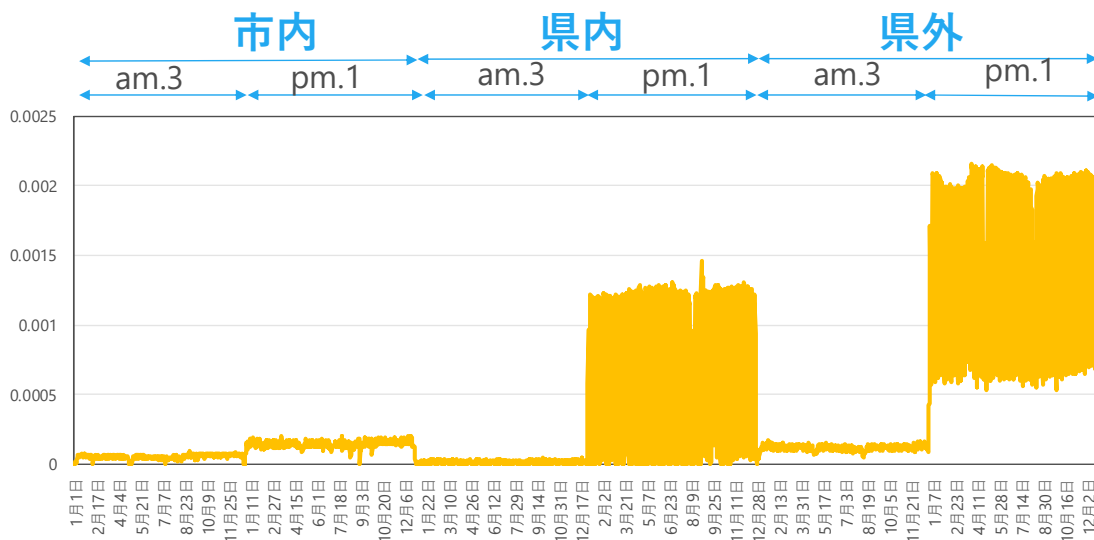


図-3 パターン 1 の行列 H の分析結果

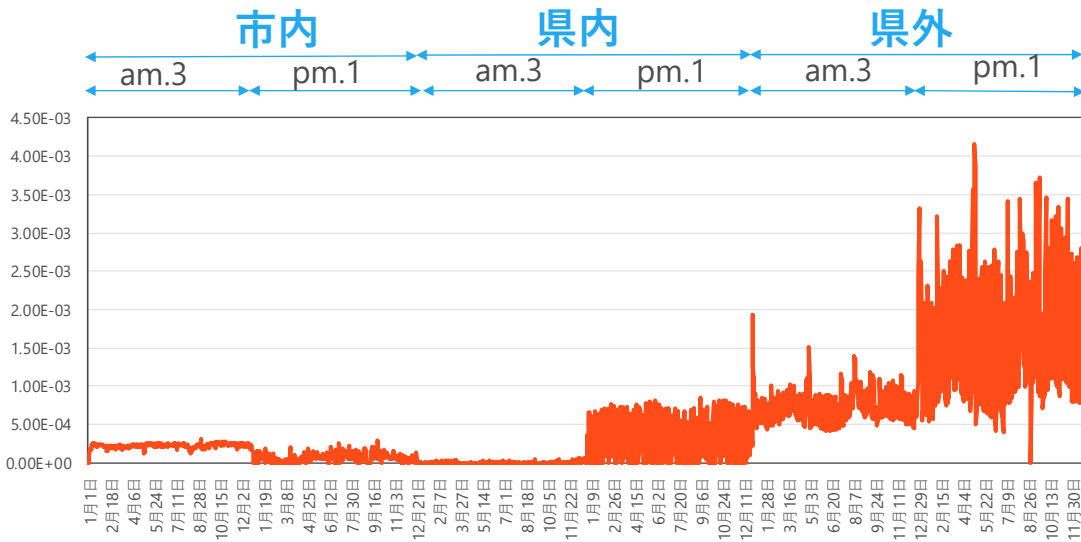


図4 パターン2の行列Hの分析結果

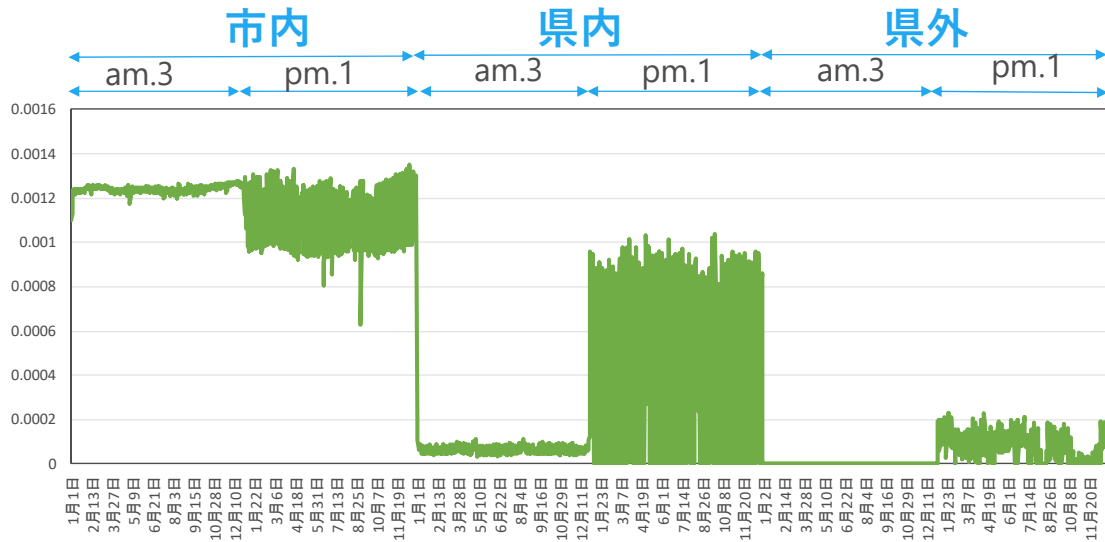


図5 パターン3の行列Hの分析結果

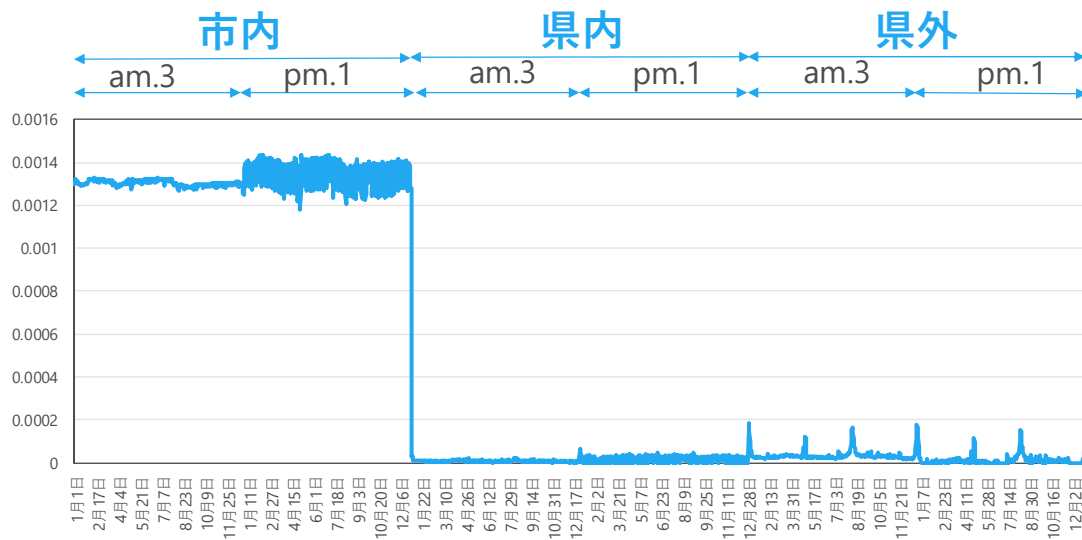


図6 パターン4の行列Hの分析結果

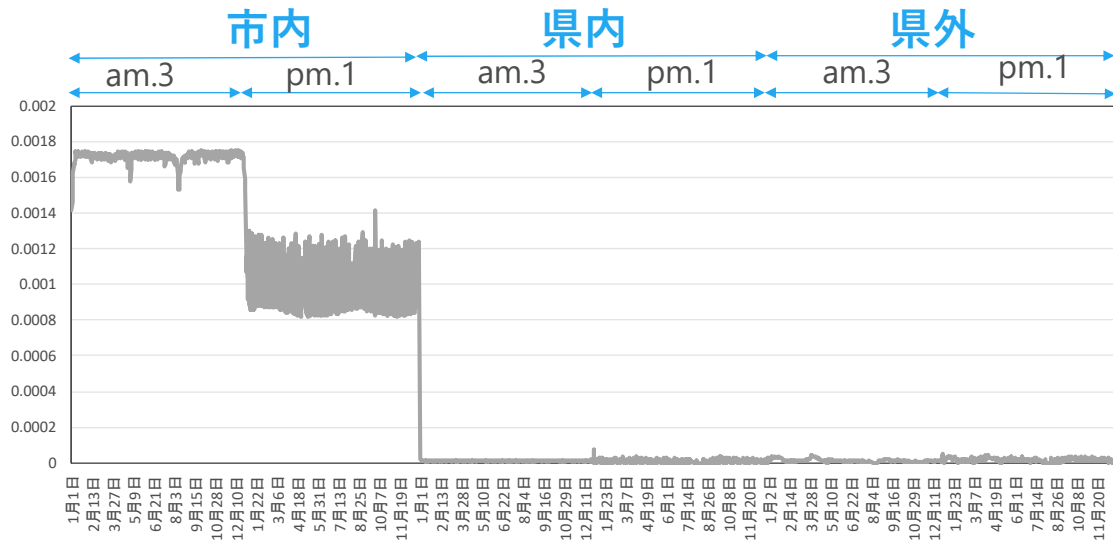


図-7 パターン5の行列Hの分析結果

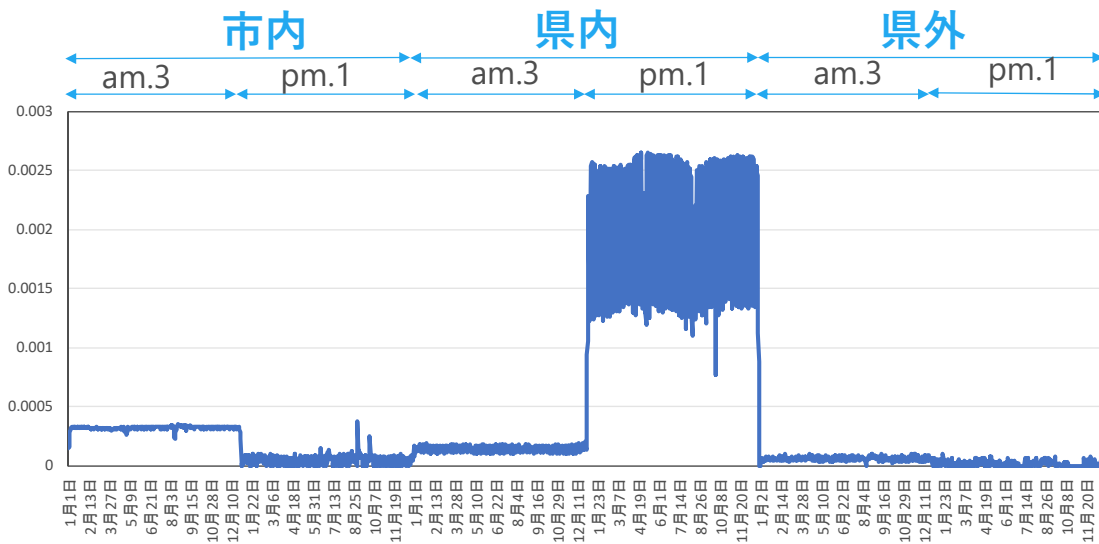


図-8 パターン6の行列Hの分析結果

表-1 各パターンの特徴まとめ

パターン	属性	曜日変動	年変動
1	県内 (pm) 県外(pm)	平日>休日	—
2	県内 (pm) 県外 (am,pm)	休日>平日	—
3	市内 (am,pm) 県内 (pm)	市内 (am) 変動なし 休日>平日	—
4	市内 (am,pm)	平日>休日	GW,お盆,年末年始
5	市内 (am,pm)	平日>休日 (am) 休日>平日 (pm)	—
6	県内 (pm)	平日>休日	—

表-2 各パターンの行動内容の推測まとめ

パターン	行動内容の推測
パターン 1	県内+県外からある市町村に通勤する行動
パターン 2	休日にある市町村に来訪する行動
パターン 3	ある市町村から外へ通勤する行動
パターン 4	市町村内とその付近での生活行動+帰省行動など
パターン 5	市域外への通勤行動
パターン 6	県内からある市町村に通勤する行動

パターン 4 の時系列変動をみると、以下の 3 点の特徴が読み取れる。(1) 居住地別の属性では、「市内の値が他の属性より相対的に高くなっている。(2) 「市内」の午後について曜日との関係を見ていくと、休日より平日の方が高い値となる。(3) 「県外」についてはほとんどの期間について値は低いが、年末年始・お盆・ゴールデンウィークの期間の値は高くなっている。このような特徴から、パターン 4 の行動内容は、表-2 でも示した通り、市町村内とその付近での生活行動と帰省行動など、と推測した。このような結果は、短距離行動である生活行動と長距離行動である帰省行動というのは同時に発生する移動行動パターンであると考えられる。

次に、パターン 5 の行列 H について説明する。図-7 のパターン 5 の時系列変動の特徴は、(1) 「市内」の値が高い。(2) 「市内」の曜日との関係を見ると、「市内」の午前は休日より平日が高く、午後は平日より休日が高い値となる。これらの特徴からパターン 5 の行動内容は、平日の昼間に近隣市町村へ通勤するような、市域外への通勤行動と推測した。このパターンはベッドタウンに住む人々に近い行動内容と考えられる。

最後にパターン 6 の行列 H について説明する。図-8 のパターン 6 の時系列変動の特徴は、(1) 「県内」の午後の値が高い。(2) 「県内」の午後について曜日との関係は、休日より平日の方が高い値となる。この特徴から、パターン 6 の行動内容は、県内からある市町村に通勤する行動と推測した。

これら各パターンの行動内容を表-2 にまとめた。

(3) 行列 W の行列 W' への変換

次に、分解後の行列 $W_{i,k}$ について説明する。分解後の行列 $W_{i,k}$ は滞在人口・属性・時点の情報を含んだ「量」である。ここで、(4) のように、 $W_{i,k}$ を各市区

町村ごとに足し合わせ、それで $W_{i,k}$ を割ったものを $w'_{i,k}$ とする。

$$w'_{i,k} = \frac{W_{i,k}}{\sum_k W_{i,k}} \quad \forall k \in [1, 2, \dots, K], i \in [1, 2, \dots, I] \quad (4)$$

$w'_{i,k}$ は市区町村が各パターンがどのくらい含んでいるかを示す「割合」となる。

(4) 行列 W' の分析結果と考察

次に、変換後の行列 W' についてみていく。本紙では、紙面の都合上、行列 W' についてはパターン 4 のみについて考察を行う。

図-9 に行列 W' のパターン 4 の結果を示す。各市区町村

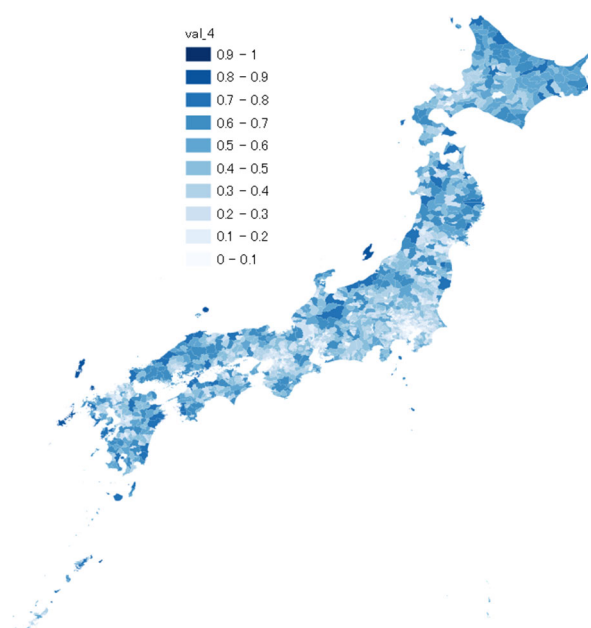


図-9 パターン 4 の空間分布

のパターン 4 の日本全体での分布を、QGIS を用いて表現した。図9 では青色が濃い市区町村ほど、パターン 4 の行動内容をする人が多い市区町村であり、青色が薄い市区町村ほど、パターン 4 の行動内容をする人が少ない市区町村である。図9 を見てみると、東京や大阪などの都市部では薄くなっており、反対に地方部と考えられる地域では濃くなっている。これは、パターン4の行動の分布として、市町村内とその付近での生活行動をする人の割合が高い市区町村は、普段はあまり市区町村外からの人の流入は少ないが、お盆や正月などの連休には遠方の市区町村から帰省などの人の流入がある、という特徴があることを意味している。このように生活行動という短距離行動と、帰省という長距離行動の相関関係を把握することが出来るようになった。短距離行動と長距離行動の相関関係を把握することは、これまで別々に分析されてきた短、長距離行動の関係性を見出すことができ、短・長距離の行動モデルを構築していくうえで、一つの手がかりになりうると考える。

5. おわりに

(1) 本研究のまとめ

本研究では、モバイル空間統計の短、長距離移動行動を含むデータに NMF を適用した。その結果、移動行動パターンを 6 種類に分解することができ、移動行動全体を簡潔に記述することが出来た。さらに、これまで明らかにされることがなかった、短距離、長距離移動の関係性を把握することが出来た。また QGIS を用いて、日本全国における移動行動パターンの分布状況を把握することが出来るようになった。

(2) 今後の課題

本研究では短、長距離という定義に、携帯電話の契約地で分類された 3 つの属性を利用した。今後は都市雇用圏の中心都市、郊外、雇用圏間の移動行動と短、長距離を定義することでより実態に即した結果が得られると考

えられる。

また、行列 W' の空間分布の考察においては、都市施設の立地との関係性については考察を行っていない。今回示した分布状況の地図に、高速道路、駅などの施設立地のメッシュを加えながら考察を行っていきたい。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金 18H01560, 20H02267, 20H02270, 文部科学省卓越研究員事業の支援を受けた研究活動による成果の一部です。

注釈

(注 1) 「モバイル空間統計」は株式会社 NTT ドコモの登録商標です。

参考文献

- 1) NTT ドコモ「モバイル空間統計」 <https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/spatial_statistics/> (参照 2020-09-20)
- 2) 室井寿明, 磯野文暁, 鈴木俊博: モバイル・ビッグデータを用いた都市間旅客交通への活用にかんする研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 2015
- 3) 清家剛, 三牧浩也, 森田祥子: 柏市および横浜市を対象としたモバイル空間統計による地域評価モデルに関する研究, 日本建築学会技術報告集, 21 巻, 48 号, 2015
- 4) 石塚千尋, 塚井誠人: モバイル空間統計を用いた地方都市への来訪者分析, 第 60 回土木計画学研究発表会・講演集, 2019
- 5) 亀岡弘和: 非負値行列因子分解, 計測と制御, 第 51 巻第 9 号, pp.835-844, 2012
- 6) 石黒勝彦, 林浩平: 関係学習データ, pp.87-154, 講談社, 2016

(Received July 1, 2020)
(Accepted November 1, 2020)

ANALYSIS OF SPATIO-TEMPORAL PATTERNS OF MOVEMENT BETWEEN PREFECTURES AND MUNICIPALITIES

Naoki ZENIYA, Hiromichi YAMAGUCHI and Shoichiro NAKAYAMA

Most migratory behavior models have separately described long-distance movement that crosses prefectures and daily short-distance movement that moves within prefectures. However, data such as mobile phone location information made it possible to obtain both movement information in a uniform format. With this aggregated data, it is possible to simultaneously take short- and long-distance movement behavior, which has been difficult until now, and a new analysis method that can describe the behavior of all of them is required.

In this study, we clarify the basic temporal variation and spatial distribution pattern by using the data of 365 days for each municipality and across municipalities and across prefectures. Here, by applying non-negative matrix factorization to the data, we were able to concisely describe the entire movement behavior by dividing the movement behavior pattern into 6 types. Then, the spatial characteristics of human movement behavior in Japan were clarified by grasping the distribution situation of those patterns throughout Japan.