

モバイル空間統計データによる 都市活動水準の時系列分析

赤塚 昌哉¹・奥村 誠²

¹学生非会員 東北大学大学院工学研究科 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S-502)

E-mail:masaya.akatsuka.s6@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S-502)

E-mail:mokmr@tohoku.ac.jp (Corresponding Author)

COVID-19の感染拡大は、我々の日常的な都市活動に大きな変容をもたらし、外出自粛を起点とする経済停滞を引き起こしている。今後のCOVID-19に対する対策、あるいは同様の感染症対策を政府や自治体として、各都市の感染拡大防止と経済の回復をバランスをとりながら進めていくことが求められ、その前提として、都市活動状況の適切な把握にすることが不可欠である。本研究では、都市全域における携帯電話位置情報データから得られる滞在人口変化量を因子分析により解析し、都市活動量を集約的に把握する指標を作成する。さらに重回帰分析によってその時系列的変動を解明する。実際に複数の政令指定都市に適用して、COVID-19の影響の違いを示した。

Key Words : mobile population data, urban activity level, time series analysis, COVID-19

1. はじめに

(1) 本研究の背景と目的

COVID-19の感染拡大は、我々の日常的な都市活動に大きな変容をもたらし、経済停滞を引き起こしている。このような情勢の中で感染拡大の抑制と経済の活性化の両立を図るため、政府や自治体には各都市における活動の現状の適切な把握、および感染拡大状況に応じた活動量の回復のための政策が求められる。しかし、定量的に捉えられる感染者数とは異なり、都市ごとの活動量の変化を捉えることは容易でない。

そこで本研究では、携帯電話位置情報データのモバイル空間統計から COVID-19 感染拡大前後の滞在人口変化量を求め、これを因子分析により解析して都市活動量変化を集約的に把握する指標を作成する。次に、得られた各因子の因子得点を利用した重回帰分析によってその時系列的変動を解明する。さらに複数の都市に対して一連の手法を適用することで、COVID-19 が都市活動水準に及ぼした影響の都市間比較を行う。

(2) 使用するデータ

本研究では、NTTドコモが集計している「モバイル空間統計」を用いる。携帯電話ネットワークは電話やメー

ルをいつでもどこでも利用できるように各基地局のエリアごとに所在する携帯電話を周期的に把握している。この仕組みを利用して携帯電話の存在台数を集計し、500メートルメッシュに区分された地域ごとにドコモの普及率を加味することで推計された人口データが、モバイル空間統計である。

このデータは、どの属性項目ごとに集計するかに応じて複数の種類のデータファイルが用意されている。多くの項目を採用するほど細かな構成が把握できるが、その分人口推計値が小さくなり、秘匿限界値を下回るケースが多くなる。また、データのサイズが莫大となるため、計算処理時間やメモリーサイズの制約も厳しくなる。

本研究は都市全体の傾向を把握することが目的であるため、居住地、年代、性別の区分がなく、日付、時間、メッシュ、人口推計値のみを含む最も基本的なデータファイルを利用する。

対象地域として、特定の都市（具体的には仙台市、札幌市、さいたま市、名古屋市、神戸市、広島市、福岡市）を取り上げ、その中の500mメッシュのうちで、分析の基準とする2020年第4週(1月20日~1月26日)および第19週(5月4日~5月10日)の14日間の24時点ごとのデータに欠損/秘匿を含まないメッシュを分析対象とした。

2. 都市活動変化の時空間分解

(1) 都市活動把握の考え方

都市活動水準の把握方法として、複数の通信事業者が HP 上で公開し、マスコミが報道に用いているように、「〇〇駅周辺」の特定時刻の存在人数でその都市の活動水準を代表させるという単純な方法が考えられる。鉄道事業者の駅改札通過人数データを用いることも可能である。この方法はわかりやすいものの、都市の中で行われている外出を伴う様々な活動を少数のメッシュの人口で代表させることの困難さに直面する。元々、都心の大規模商業地で行われていた活動をより居住地に近い小規模な商業地に場所を移した場合や、特定の混雑時間帯を避けて罰の時間帯にシフトしただけで、行動の総量は従前と変わらないような場合、それらの傾向を把握することができない。また、少数のメッシュを用いると、メッシュ境界付近の位置判定の誤差や、基地局の故障や混雑等の影響によるデータ欠損の影響が大きくなる。逆に集計するメッシュ数を多くすると、その中に異なる土地利用が混在することになり、外出の目的地となる施設の人口減少分と出発地の住居の人口減少分が相殺してしまい、変動が抽出できなくなるという問題もある。

本研究では、都市全域のメッシュ人口を使いながら、外出を伴う都市活動の全体的な水準をつかむことを考える。この時、モバイル空間統計はあくまでメッシュ内の滞在人口の統計データであり、人々のメッシュ内の滞在目的の情報は含まれていないという問題に直面する。しかし、先行研究⁴⁾で明らかになっているように、平常時の人々の都市活動はその目的ごとに一定の時空間的なパターンをもつことから、時空間的な滞在人口変化パターンを把握することで、間接的に異なるタイプの活動の水準を捉えることができると考える。

(2) 都市活動変化の分析方法

COVID-19 流行後の都市活動の変動の把握という目的を考え、時間的にも複数の時点を集計して安定的に結果を得ることを考え、1 週間ごとの平均値に着目することとした。

そこで、モバイル空間統計からまず仙台市の欠損のないメッシュについて「COVID-19 流行前の平休日 24 時刻別の滞在人口の週平均値」と「COVID-19 流行後の平休日 24 時刻別の滞在人口の週平均値」を求め、その差分をとった 1283 メッシュ × 48 時点の行列データを作成し、これを因子分析に適用する。なお、2020 年で外出行動が最も多かった第 4 週(1月 20 日~1月 26 日)を流行前、最も少なかった第 19 週(5月 4 日~5月 10 日)を流行後の期間とした。これにより、滞在人口変化の時空間的なパターンを因子として抽出し、その特徴から具体的な都市活動変化

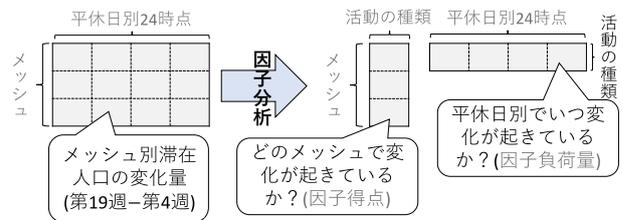


図-1 因子分析による時空間分解の手順

を考察する。なお、因子の解釈の容易化のため因子軸のプロマックス回転を行い、カイザー基準を中心に検討した結果3つの因子を抽出する。以上の手順を図-1に示す。

(3) 仙台市における因子分析の結果

仙台市のメッシュデータから計算した3つの因子について、平休日各 24 時点に対する因子負荷量と、4 次メッシュ産業別従業者数のデータと因子得点との相関係数を用いて、因子の持つ意味を考察する。

第一因子の計算結果を図-2に示す。休日の 10 時以降の昼間時間帯の因子負荷量が強く、「卸売業,小売業」や「生活関連サービス,娯楽業」との相関が強かったことからショッピング、娯楽等を含む「全体的な昼間活動の減少」と名付けた。

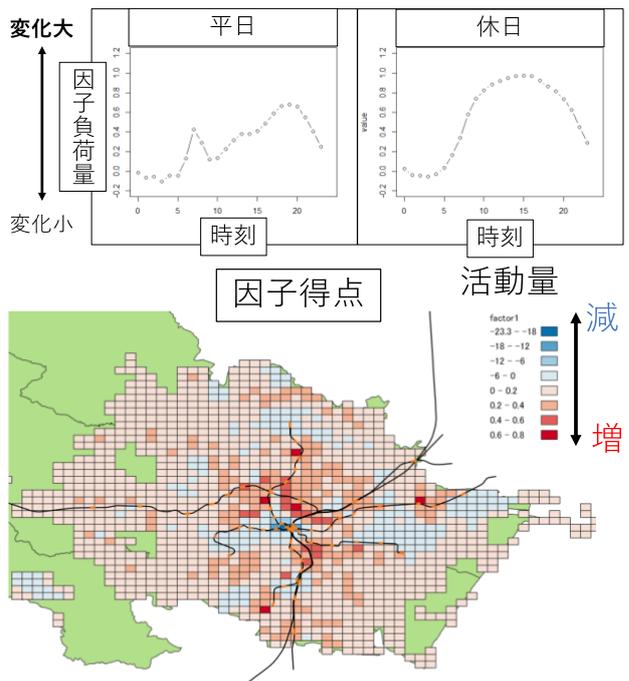


図-2 第1因子の因子負荷量と因子得点の分布

第二因子の計算結果を図-3に示す。因子負荷量は午前 0 時頃にピークを示し、「宿泊業,飲食サービス業」との相関が強かったことから「夜の街の人出の減少」と名付けた。

第三因子の計算結果を図-4に示す。因子負荷量は平日の午前から昼過ぎにかけてのが強く、「教育,学習支援

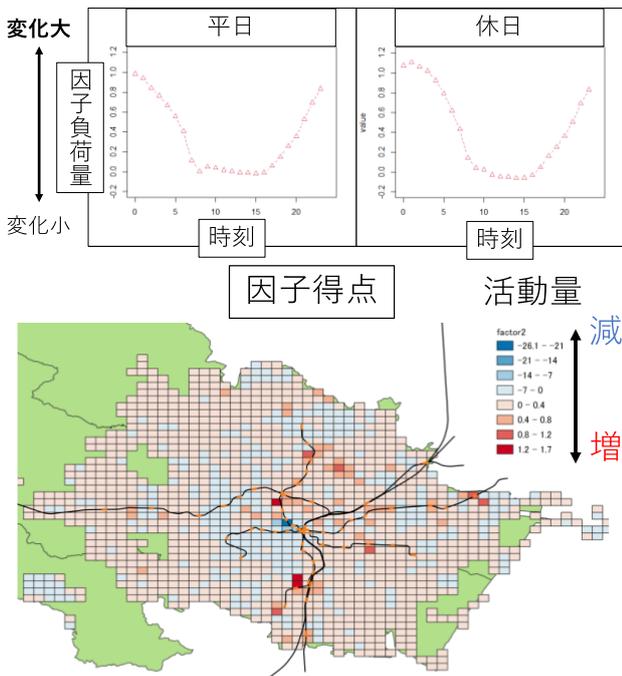


図-3 第2因子の因子負荷量と因子得点の分布

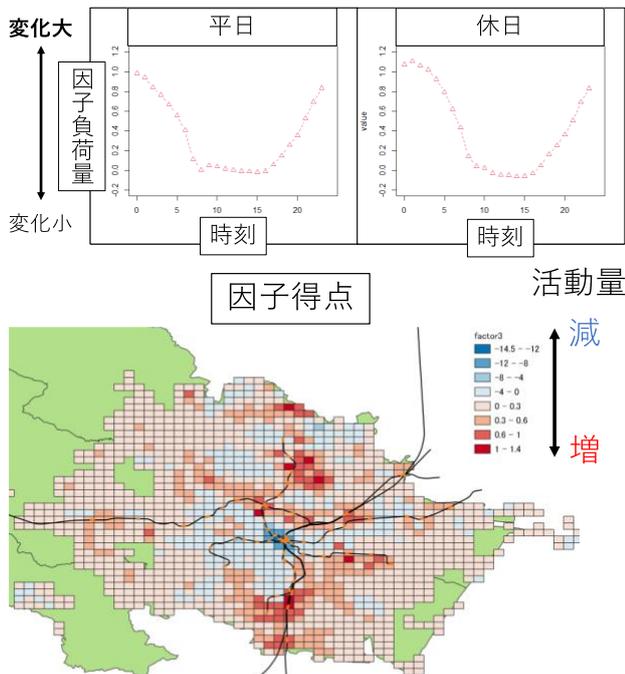


図-4 第3因子の因子負荷量と因子得点の分布

業」をはじめとする多くの産業との相関が見られたことから「平日の昼間活動の減少」と名付けた。

3. 都市活動水準の時系列分析

(4) 各施策の概要と表現方法

因子分析によって分類された3つの都市活動変化について、その時系列変化を重回帰分析によって求める。まず、各都市活動の行われる場所は、短期間には大きく変化せず、先に示した各因子の因子得点の空間分布が安定

的であると仮定する。ついで、COVID-19流行後の週を順次ずらしてメッシュの平休日別時点別の滞在人口の週平均値の差分データを作成する。それを各因子の因子得点の空間分布に対して回帰して、流行語の各週の各時点ごとの、都市活動の水準を求める。この手順を図-5に示す。各偏回帰係数の推計値が、目的とする週の因子負荷量に相当する。

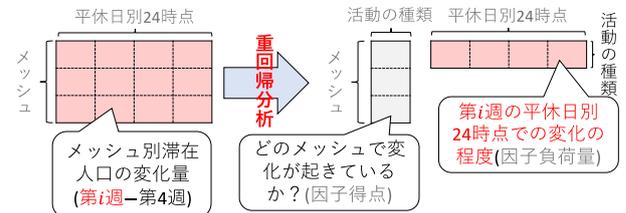


図-5 回帰分析による都市活動水準変化の分析手順

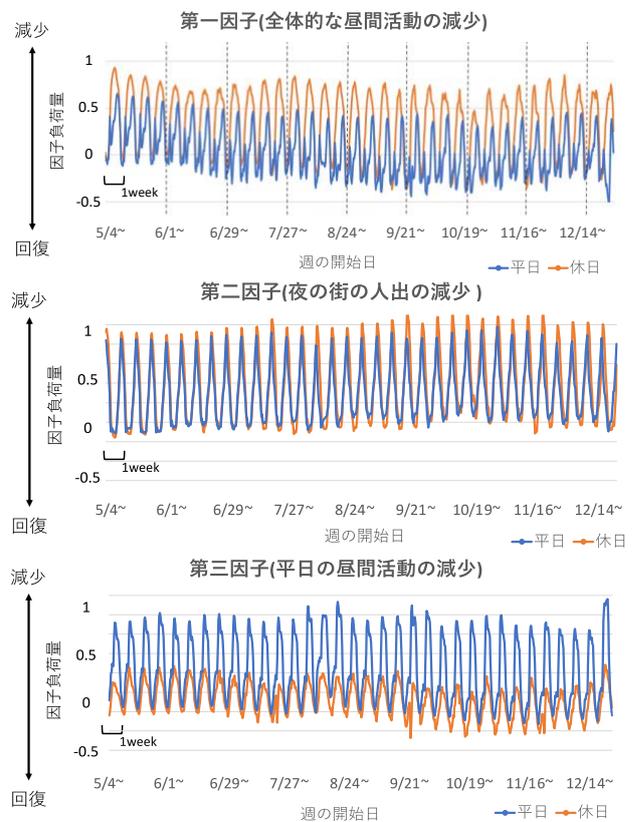


図-6 仙台市の都市活動水準変化の計算結果

仙台市の分析対象メッシュにおける2020年第19週(5月4日~5月10日)から、第52週(12月21日~12月27日)までの滞在人口差分データを作成して、3つの因子得点に対する回帰分析を行なった結果を図-6に示す。縦軸は因子負荷量を示し、その絶対値が第19週と比較して減少し、0に近づくほどその都市活動量が回復していることを表す。

全体的な昼間活動を表す第一因子は、平日休日ともに因子負荷量の最大値がピーク時から最大およそ半分となり、回復傾向が見られる。しかしその推移は単調減少ではなく、市内の感染状況に応じて増減している。夜間の活動を表す第二因子は、因子負荷量が平日で横ばい、休日

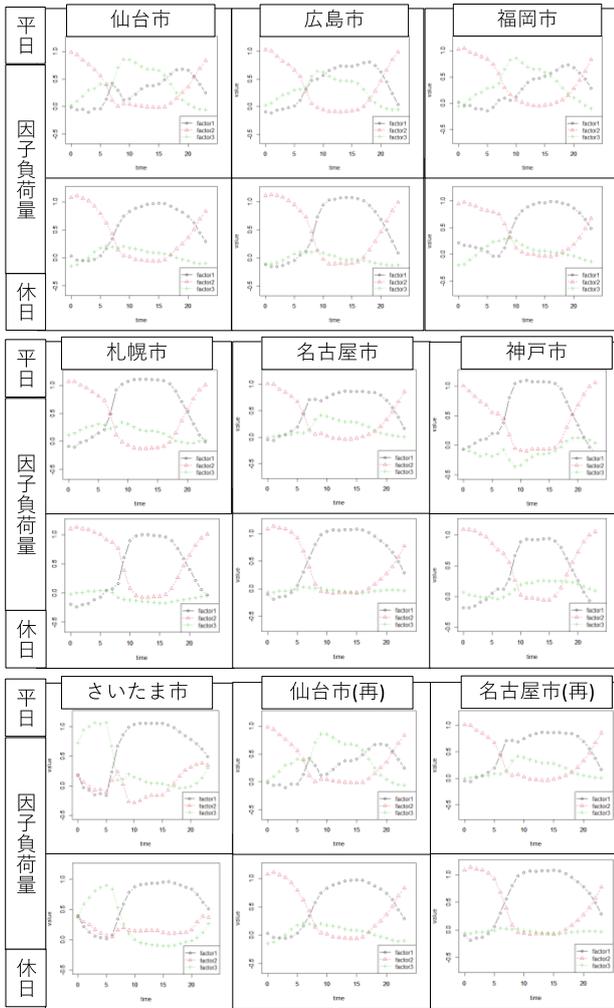


図-7 7つの政令指定都市の因子負荷量の分布

で微増となっており、活動量の回復が見られないことを示している。通勤・通学行動を表す第三因子については、第一因子との因子得点の相関係数が0.76と強い正の相関があるため、第三因子によって説明されるべき変化の一部が第一因子によって説明された可能性がある。第三因子がピークを示す10時について、第一因子の因子負荷量の変動を見ると、第19週時点で0.12だったものが最大で-0.42まで減少しており、実際は通勤・通学行動の回復が起きていたと考えられる。第三因子については、今後ともより特徴が分かりやすい形で抽出して推計を行う必要があると思われる。

4. 都市活動水準の都市間比較

全国の主要都市として6つの政令指定都市を取り上げ、仙台市と同様の手順で因子分析を行った。因子負荷量の計算結果を図-7に示す。これより、都市により得られる因子負荷量の構造が異なるが、大きく分けて、仙台市、広島市、福岡市のグループ、札幌市、名古屋市、神戸市のグループと、さいたま市に特徴が分かれた。市域にお

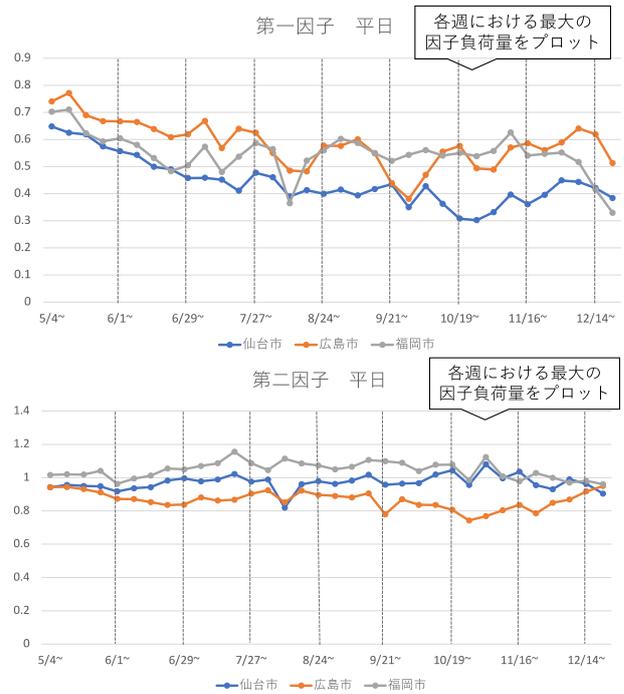


図-8 3つの政令指定都市における時系列の比較

ける商業/飲食と業務の中心地の重なり具合や、東京への通勤者の存在などが、パターンの違いに影響したと考えている。

ついで、仙台市と同様の構造が見られた広島市と福岡市において、仙台市と同様の重回帰分析による都市活動水準の時系列分析を行い、地域ごとのCOVID-19による都市活動変化の違いを比較する。この時、各因子において因子負荷量が最も高い時間帯がその都市活動変化を最も強く表すため、各週24時点で最大の因子負荷量をプロットし、その変動を見る。第一因子と第二因子は平休日ごと、第三因子は平日のみ計算を行う。

ここでは、地域間の差が特に現れた平日の第一、第二因子の因子負荷量推移を図-8に示す。第一因子からは、仙台市が最も回復傾向にあり、広島市がそれに次ぎ、福岡市が最も回復が進んでいないことがわかるが、これが各都市の累計感染者数の少なさに対応した順となっていた。一方で、お盆や年末などの時期には共通して活動量が増加する傾向がある。

第二因子からは、広島市の回復傾向の強さが見られるが、年末の夜間活動に対する自治体の対策の違いにより、差があった仙台市との因子負荷量の逆転が起こったことが読み取れる。

5. おわりに

本研究では、都市全域における携帯電話位置情報データから得られる滞在人口変化量を因子分析により解析し、重回帰分析によって時系列的変動を解明した。結果とし

て、解釈可能な3つの都市活動変化を抽出し、その活動水準の時間的変動を捉えた。

今後の課題として、因子分析を適用する行列データの中身の改善や、年代などの属性情報を利用した詳細な分析を行うことなどが挙げられる。

謝辞 本分析は、東北大学新型コロナウイルス対応特別研究プロジェクト（代表中谷友樹教授）の支援を受けている。さらに土木学会土木計画学研究委員会COVID-19対応モバイル空間統計分析チームにおける共同研究の成果である。

参考文献

- 1) Bagrow J. P., Wang D. and Barabasi A.-L. : Collective response of human populations to large-scale emergencies, PLoS ONE,6(3), e17680. 2011.
- 2) 清家剛ほか：まちづくり分野におけるモバイル空間統計の活用可能性に係る研究，都市計画論文集，Vol.46,No.3,pp.451-456,2011.
- 3) 清家剛，三牧浩也，森田祥子：モバイル空間統計を活用した都市拠点地区の人口特性分析に係る研究—昼夜間を通じて都市の実態人口分布を捉えら新たな統計手法，日本建築学会計画系論文集，Vol.80, No.713, 1625-1633, Jul.2015.
- 4) 奥村誠：都市内災害復旧過程の時空間パターンの把握，都市計画論文集，Vol.50, N0.3, p. 402-408, 2015.
- 5) 山口裕通,奥村誠,金田穂高,土生恭祐 :携帯電話 GPS 情報から分かる熊本地震による行動パターンの被災・回復過程, 土木計画学研究・論文集, Vol.73, No.5, p. I_105-I_117, 2017.

(Received March 7, 2021)

TIME SERIES ANALYSIS OF URBAN ACTIVITY LEVEL BASED ON MOBILE SPATIAL STSTISTICS

Masaya AKATSUKA and Makoto OKUMURA

The spread of COVID-19 has brought about major changes in our daily urban activities, causing economic stagnation as people refrain from going out. In order to take countermeasures against COVID-19 and similar infectious diseases in the future, it is necessary for national and local governments to balance the prevention of the spread of infection and the recovery of the economy in each city. In this study, we use factor analysis to analyze the changes in staying population obtained from cell phone location database “Mobile Spatial Ststistics” throughout the city, and create an index for understanding the amount of urban activity in an aggregated manner. In addition, we will use multiple regression analysis to clarify the time-series variation of the data. We also applied the method to several major cities in Japan to show the difference in the impact of COVID-19.