

モバイル空間統計を活用した COVID-19 感染拡大時の建物種別人口動態変化 ：北海道地方都市のケース

石川 玲衣¹・浅田 拓海²・有村 幹治³

¹学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)
E-mail: 20041003@mmm.muroran-it.ac.jp

²正会員 室蘭工業大学助教 大学院工学研究科 もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

³正会員 室蘭工業大学教授 大学院工学研究科 もの創造系系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail: arimura@mmm.muroran-it.ac.jpkuation

COVID-19 感染拡大に伴い、緊急事態宣言等による外出自粛の要請や Go To トラベルキャンペーン等の経済対策が実施された。これらの施策は、人々の行動や経済活動に大きな影響を及ぼしている。今後は、感染拡大防止と経済対策のバランスの取れた持続可能な自粛行動の確立が求められる。そのためには、都市空間の特性による人々の行動変容の把握が重要となる。

本研究では、人口およそ 10～30 万人の北海道地方都市を対象に、建物用途属性毎の人口動態の影響を確認する。具体的にはモバイル空間統計の滞在人口分布と都市計画基礎調査の建物データを活用し、建物用途分類毎に重回帰分析を行うことで、建物用途分類別のメッシュ滞在人口に与えた時系列的影響を確認する。これにより、COVID-19 感染拡大が北海道地方都市の人々の活動に及ぼした影響を評価する。

Key Words: COVID-19, Mobile spatial statistics, Building classification

1. はじめに

2019 年末から急速に感染が拡大した新型コロナウイルス(以下、COVID-19)感染症は、2019 年に急速に世界中に広がり、21 世紀における最も危険なパンデミックの一つとなった。2021 年 9 月 28 日現在、世界全体の累計感染者数は 2 億 3 千万人以上に達し、475 万人以上の命が奪われた¹⁾。COVID-19 の感染拡大を受け、日本政府は 2020 年 4 月に全国規模の緊急事態宣言を発令し、外出自粛要請や新しい生活様式の提唱を行った。これらはコミュニティ間の接触頻度を低下させ感染拡大を防ぐという意味では効果的であったが、同時に経済活動に大きな影響を及ぼした。政府は落ち込んだ経済を立て直す施策として、2020 年 7 月 22 日から GoTo トラベル事業の運用を開始したが、11 月末から再び感染者数が増加したことから、同年 12 月 28 日より一時停止となった。翌年 2021 年も COVID-19 の感染拡大は収まらず、感染リスクの高い地域に絞った形での緊急事態宣言やまん延防止等重点措置が発令され、感染防止措置区域への往来や不要不急の外出、飲食店等への休業・時短営業等の自粛要請の措

置がとられた。昨今の COVID-19 の感染拡大は人々の行動や経済活動に大きな影響を及ぼしている。今後は、感染拡大防止と経済対策のバランスの取れた持続可能な自粛行動の確立が求められている。

2. 既存研究の整理と本研究の目的

今後のポストコロナ社会の施策の方向性を導き出すための基盤情報として、都市における様々なアプローチの分析が試みられている。

Arimura et al. の先行研究²⁾では、携帯電話網の位置情報データを活用したモバイル空間統計³⁾を用い、札幌市における 500 m メッシュ別人口動態を曜日や非常時などの時期毎に推計し、人口の増減率を示した。また、高田らの先行研究⁴⁾では、各ゾーンに内在する建物用途別の人口密度が接触頻度にどの程度影響を及ぼすのかパーソントリップ調査と都市計画基礎調査を用いて推計を行った。これらの分析は、メッシュ全体の滞在人口で集計することによる空間解像度の低下という課題に対し、建物の詳

表-1 本研究における建物用途分類の集約対応

n	説明変数	該当建物分類 (都市計画基礎調査)	旭川市		函館市		苫小牧市	
			建物数	延床面積[m ²] 中央値	建物数	延床面積[m ²] 中央値	建物数	延床面積[m ²] 中央値
1	住居施設	専用住宅, 共同住宅, 一般店舗併用住宅, 飲食店併用住宅, 事務所併用住宅, 作業所併用住宅	101,094	117.0	85,577	112.0	64,199	107.0
2	厚生施設	医療施設, 運動施設, 社会福祉施設, 厚生施設	974	305.0	897	298.0	422	335.0
3	官公署施設	地方国家施設, 自治体施設	94	192.0	264	112.5	98	71.0
4	専用商業施設	業務施設, 集合販売施設, 宿泊施設	3,160	226.5	2,705	193.0	3,592	124.0
5	店舗娯楽施設	専用店舗施設, 興行施設, 遊戯施設, スポーツ施設, 風俗営業施設	1,875	199.0	2,715	171.0	1,269	174.0
6	文教施設	教育施設, 研究施設, 文化施設, 宗教施設, 記念施設	530	322.0	1,169	232.0	631	100.0
7	都市工業施設	農業施設, 漁業施設, 通信施設, 運輸倉庫施設, 重化学工業施設, 軽工業施設, サービス工業施設, 家内工業施設, 供給処理施設	3,318	194.0	2,861	140.0	3,932	134.0

細な属性を含む都市計画基礎調査を使用することで、建物種類の特性によって変化する人口密度・接触頻度が及ぼす影響の評価を行った。しかし、パーソントリップ調査では COVID-19 感染拡大時の月や曜日毎での人口密度及び建物用途別接触頻度を推計できていなかった。奥村らの先行研究⁹⁾では、北海道札幌市を対象にモバイル空間統計と都市計画基礎調査を用い、2020年の感染拡大期から昨今までのより詳細な時間帯建物用途別の人口密度と接触頻度の推計を行った。一方で、集団感染の発生事例、場所によっても札幌市と北海道地方都市で差がみられ^{6,7,8)}、感染者の発生状況は都市の構造や人流パターン、建物用途属性別の滞在人口によって異なる。従って、COVID-19 感染拡大における人々の行動変容を把握するためには、札幌市のほかに観光都市や工業都市等の特徴のある地方都市に着目した分析を行う必要がある。

そこで本研究の目的は、モバイル空間統計による滞在人口分布と個々の詳細な属性データを含む都市計画基礎調査を活用し、北海道地方都市における建物用途毎の人口動態の影響を評価する。対象期間は COVID-19 感染拡大前である 2019 年 1 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日まで、対象都市を観光や工業都市等の特徴のある旭川市、函館市、苫小牧市の 3 都市とした。これらの都市において、建物用途分類別のメッシュ滞在人口に与えた時系列的影響を確認するため、メッシュ内における滞在人口を目的変数、各メッシュにおける建物用途別延床面積を説明変数として重回帰分析を行った。これにより、メッシュ内の人口推移のみならず建物用途属性を考慮した人々の行動変容を把握することが可能となる。

3. データの概要

本研究では、対象都市におけるモバイル空間統計の時

間帯別滞在人口と都市計画基礎調査の建物用途別延床面積を集計して活用した。以下にデータの概要を示す。

(1) モバイル空間統計

モバイル空間統計とは、NTT Docomo の携帯電話ネットワークの運用データから拡大推計された人口統計である、あるエリアに滞在する人口を 24 時間 365 日、性別、年代、居住地を含む様々な条件のもとでの情報の取得が可能である。これらの統計データを活用した観光分析やまちづくり、防災計画等あらゆる分野からの報告が挙げられている。

本研究では COVID-19 感染拡大前の 2019 年 1 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日までを集計期間とし、粒度は 500 m メッシュ、居住地等の属性は考慮しない総人口データを活用した。

(2) 都市計画基礎調査データ

都市計画基礎調査とは、人口、産業、土地利用、建物、交通などのデータを記録し、都市計画の運用を行うための基礎となるものである。建物利用状況の項目では個々の建物に関する用途、階数、構造、延床面積、築年数等の属性がまとめられている。

本研究では、旭川市、函館市、苫小牧市 3 都市において、平成 27 年度版の「都市計画基礎調査」を使用した。建物用途分類に関しては全 34 種に分類されているところ、都市計画基礎調査実施要領の建物用途分類表に則り、表-1 に示す 7 分類 : n に分けた。都市によって都市計画基礎調査の建物用途属性から確認されなかった建物用途分類があり、旭川市では風俗娯楽施設、厚生施設、重化学工業施設を除く全 31 種、苫小牧市では風俗娯楽施設、記念施設を除く全 32 種で集計を行った。該当するメッシュ番号 : m と置いた場合、メッシュ毎に各建物の延床面積を合計した建物用途別延床面積 $x_{(n,m)}$ を集計した。

4. 分析手法

本研究では、説明変数を建物用途別延床面積 $x_{(n,m)}$ とし、目的変数を日時: t とおいたときのメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ として重回帰分析を行った。ここでは、式(1)に示す単純な重回帰モデルを用いる。 t は 2019 年 1 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日の 0 時から 3 時間毎に抽出した。ただし、本研究では北海道地方都市における日中と夜間の人口動態を確認するため 12 時と 21 時の 2 断面に着目する。分析結果から得られた式(1)より、それぞれの係数がどの程度 $P_{(t,m)}$ に影響を与えているのかを評価する。

$$P_{(t,m)} = \alpha_{(t,m)} + \sum_{n \in N} \beta_{(n,t,m)} x_{(n,m)} + e_{(t,m)} \quad (1)$$

$$e_{(t,m)} \sim \text{Normal}(0, \sigma_{t,m}^2)$$

また決定係数 R^2 については、モバイル空間統計から得られた時間帯別滞在人口の実測値と式(1)から得られた時間帯別滞在人口の予測値の相関より求めた。各都市における 12 時、21 時の R^2 の結果を表-3 に示す。

5. 分析結果

旭川市、函館市、苫小牧市の重回帰分析の結果をそれぞれ図-1、図-2、図-3 に示す。重回帰分析により得られた偏回帰係数から、建物用途別のメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ に与える時系列的影響について確認する。また得られた結果を標準化し、建物用途毎の相対的な影響力の強さについても確認する。なお、結果については区間を 7 日間として移動平均をとっている。これより、北海道地方都市の建物用途毎の人口動態の影響を評価する。

(1) 3 都市共通の滞在人口の変化

まずはじめに、本研究対象都市に共通する建物用途分類別のメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ への影響について確認する。緊急事態宣言が発令された 2020 年 5 月 12 時の偏回帰係数の値は、文教施設、店舗娯楽施設、専用商業施設で緊急事態宣言発令直前よりも下がった。同期間の 3 分類を 2019 年 5 月と比較すると、やはり緊急事態宣言下で偏回帰係数の値が下がっている。2020 年 5 月 21 時の店舗娯楽施設と専用商業施設についても同様に発令前と比較して偏回帰係数の値が下がった。標準化後でみると、これらの建物用途分類は緊急事態宣言下で他の建物用途分類より相対的に値の落ち込みがあった。これより緊急事態宣言下では、日中は文教施設、店舗娯楽施設、専用商業施設が、夜間では店舗娯楽施設と専用商業施設がメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ に負の影響を与えていることがわかる。これは緊急事態宣言が発令され、教育機関や研究機関等

の一斉休校や店舗娯楽施設、専用商業施設での休業による自粛の傾向がみられたと考えられる。また 2020 年 5 月の 12 時と 21 時の住居施設の確認すると、偏回帰係数の値が緊急事態宣言発令直前や 2019 年の 5 月より高く $P_{(t,m)}$ に正の影響を与えた。従って、北海道地方都市において住居施設でのステイホームの動きがあったと推測される。緊急事態宣言が解除された 2020 年 6 月の 12 時では、再び文教施設、専用商業施設、店舗娯楽施設で緊急事態宣言下より偏回帰係数の値が増加し $P_{(t,m)}$ に与える影響が正となった。このことから文教施設、専用商業施設、店舗娯楽施設で自粛の傾向が緩和されたと推測することができる。また同期間 21 時の店舗娯楽施設と専用商業施設においても似たような自粛緩和の傾向が見られた。ただし店舗娯楽施設に着目すると、緊急事態宣言前ほどの係数の値が確認されていることから、緊急事態宣言前の人々の活動量には戻らず引き続き自粛傾向があったと考えられる。

(2) 旭川市における滞在人口の変化

旭川市の建物用途毎のメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ に与える影響を確認する。12 時の専用商業施設および 21 時の店舗娯楽施設は、COVID-19 感染拡大前から標準化後偏回帰係数の値が高く、他の建物用途分類よりも $P_{(t,m)}$ への影響が強くあらわれた。これは、他都市と比較しても高い影響があることがわかる。また 2020 年 10 月下旬以降の 12 時の専用商業施設、21 時の店舗娯楽施設に着目すると、偏回帰係数の値が緊急事態宣言解除後初めて下がった。この時期は北海道で感染拡大が広がっており、2020 年 11 月 7 日から北海道の感染ステージが 3 となった。従って、 $P_{(t,m)}$ に一時的に負の影響となったことから、この期間の専用商業施設、店舗娯楽施設への利用自粛があったと考えられる。

(3) 函館市における滞在人口の変化

函館市の建物用途毎のメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ に与える影響を確認する。函館市の住居施設の標準化後偏回帰係数をみると、12 時、21 時において他の建物用途分類より相対的に $P_{(t,m)}$ に与える影響が高い。また Go To トラベルキャンペーンが開始した 2020 年 7 月 22 日から 12 月 28 日の期間における 21 時の専用商業施設に着目すると、Go To キャンペーンが開始された直後に偏回帰係数のピークが複数確認された。標準化偏回帰係数をみても、同期間の他都市よりピークが大きくあらわれた。これら複数のピークは、7 月下旬の祝日も含めた 4 連休、8 月のお盆期間、9 月のシルバーウィーク期間の 4 連休に相当する。専用商業施設は表-1 の通り、会社等を含めた業務施設と集合販売施設、宿泊施設からなるため、21 時に着目すると一般的な勤務時間外で業務施設や集合販売施設

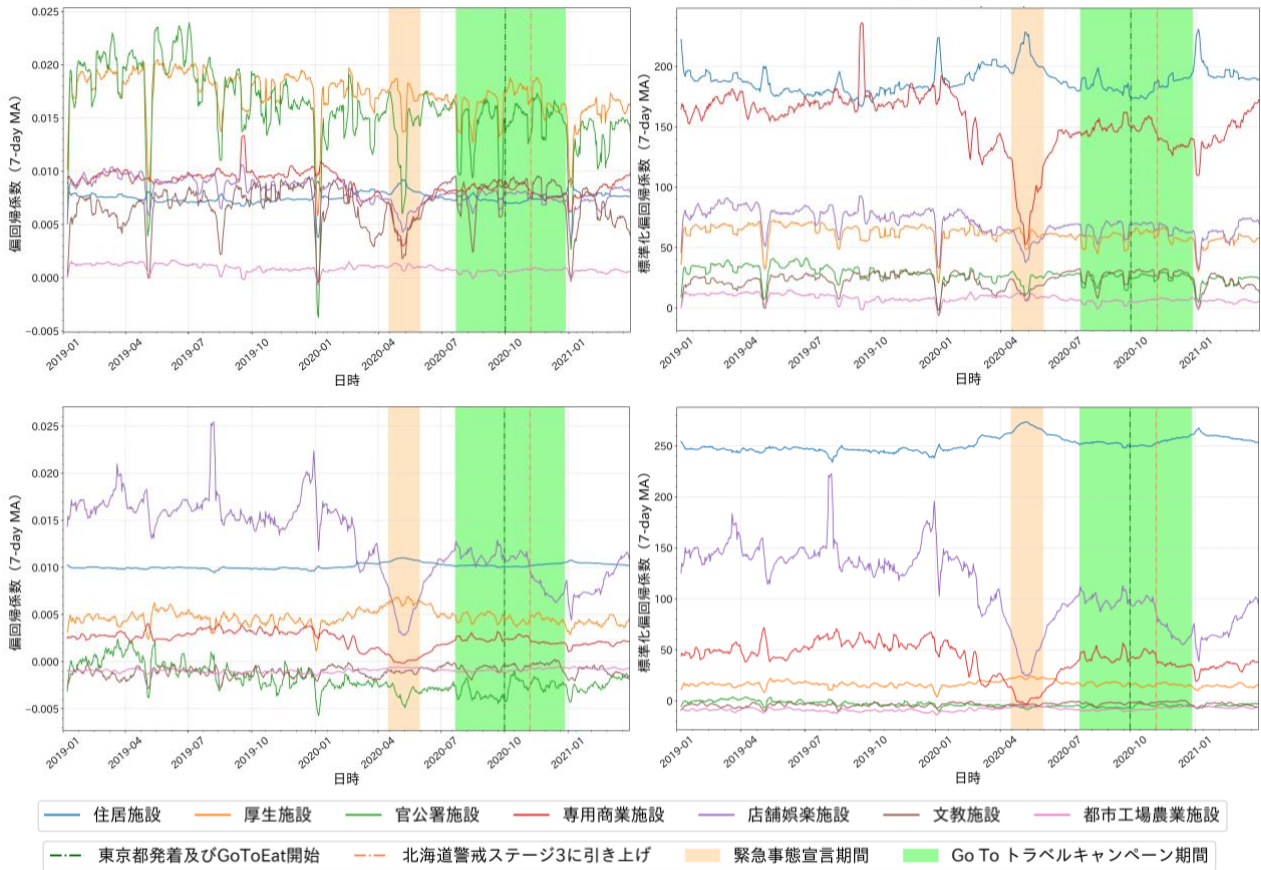


図-1 旭川市におけるメッシュ滞在人口の影響 (上：12時，下：21時，左：偏回帰係数，右：標準化偏回帰係数)

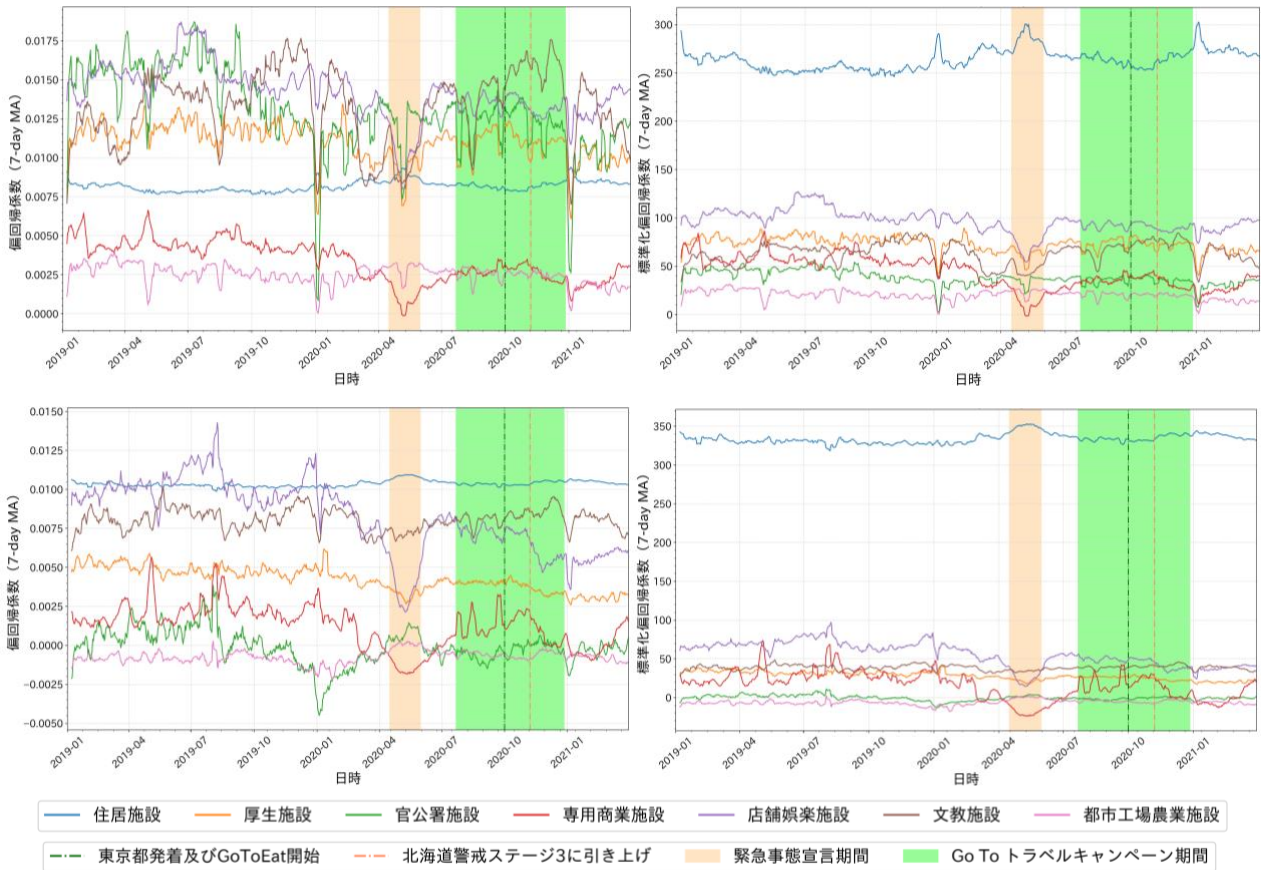


図-2 函館市におけるメッシュ滞在人口の影響 (上：12時，下：21時，左：偏回帰係数，右：標準化偏回帰係数)

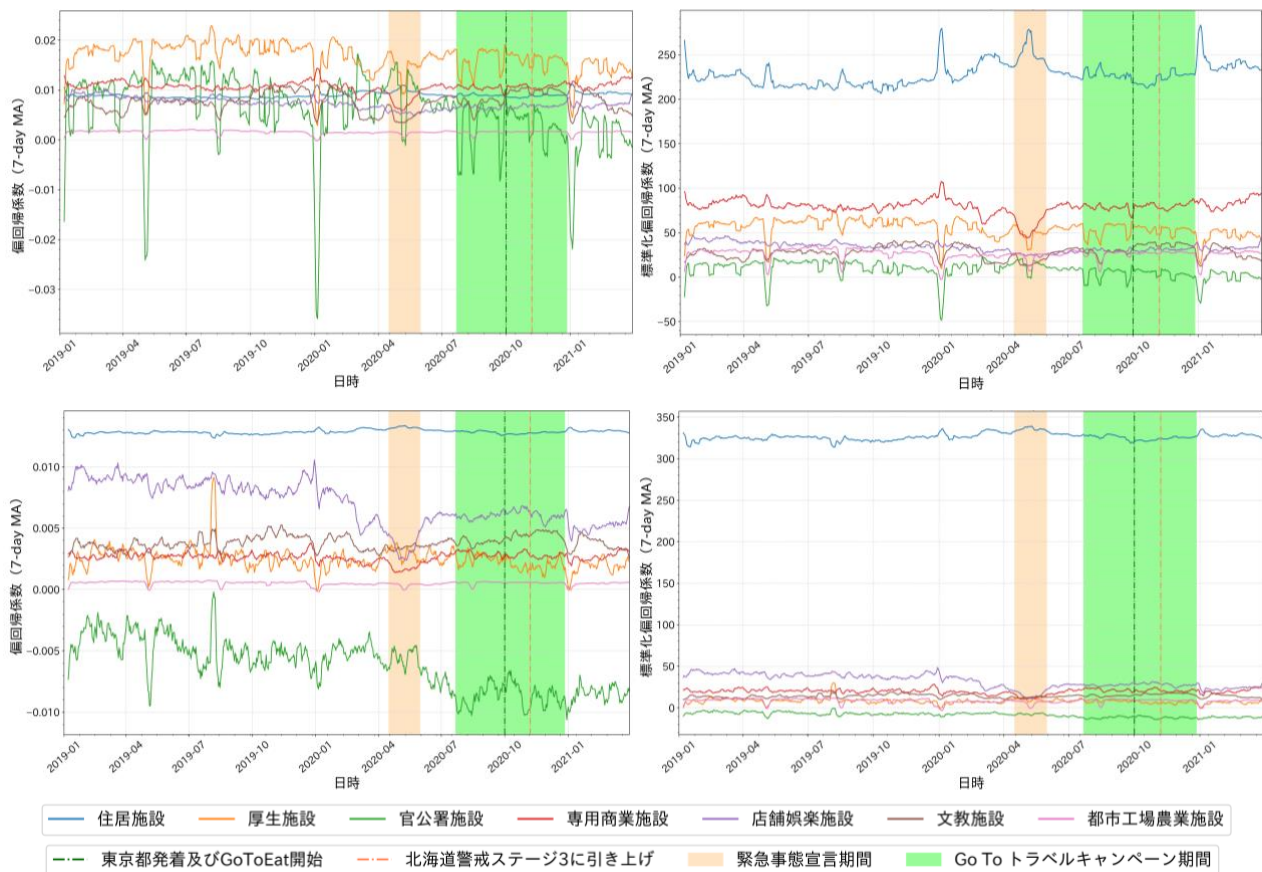


図-3 苫小牧市におけるメッシュ滞在人口の影響 (上: 12時, 下: 21時, 左: 偏回帰係数, 右: 標準化偏回帰係数)

の影響が除かれ宿泊施設の影響が 12 時と比べてあらわれやすい可能性がある。よってこの期間に専用商業施設が $P_{(t,m)}$ へ与える影響が高まったことから、連休中の宿泊施設への滞在人口が増加したと推測される。北海道の感染ステージが上がった 2020 年 11 月 7 日以降の 21 時を確認すると、旭川市と同様宣言解除後初めて店舗娯楽施設と専用商業施設の係数の値が下がった。COVID-19 感染拡大による店舗娯楽施設と専用商業施設による $P_{(t,m)}$ への負の影響が確認された。前述の通り夜間の専用商業施設に宿泊施設の影響があらわれやすいと考え、感染拡大に伴い宿泊施設への滞在人口が減少したのではないかと推測される。2021 年 1 月から発令された都市を絞ったかたちでの緊急事態宣言期間では、北海道は緊急事態宣言措置区域の対象ではなかったものの、函館市 21 時の専用商業施設で係数の値が下がった。前述した 10 月下旬以降の偏回帰係数の低下よりもさらに下回っており、他都市にはみられない傾向であった。これより二度目の緊急事態宣言下においても宿泊施設への滞在人口が減少したと推測される。函館市では、宿泊施設による滞在人口の影響が他都市よりも顕著にあらわれたと考えられる。

(4) 苫小牧市における滞在人口の変化

苫小牧市の建物用途毎のメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ へ与

る影響を確認する。苫小牧市は函館市と同様、12 時、21 時において住居施設の偏回帰係数が非常に高く $P_{(t,m)}$ に正の影響を与えている。標準化後の 21 時では、住居施設と他の建物用途属性との標準化偏回帰係数が他都市に比べ極めて大きくかけ離れている。苫小牧市における 21 時の住居施設は、 $P_{(t,m)}$ へ与える影響が COVID-19 感染拡大前の 2019 年から既に高いことがわかる。また 21 時の都市工業農業施設に着目すると、感染拡大前である 2019 年から偏回帰係数の値が $P_{(t,m)}$ に対し正の影響を与えている。標準化後偏回帰係数から他都市と比較しても都市工業農業施設の $P_{(t,m)}$ へ与える影響が大きいことが確認された。苫小牧市は北海道有数の産業地帯⁹⁾であることから、都市工業農業施設が夜間の $P_{(t,m)}$ へ与える影響が強いと考えられる。加えて都市工業農業施設では、日中、夜間ともに緊急事態宣言発令下での係数低下が特に確認されなかった。苫小牧市の都市工業農業施設では、COVID-19 感染拡大による $P_{(t,m)}$ への影響がほぼ示唆されなかった。

6. まとめ

本研究では、モバイル空間統の時間帯別滞在人口分布と都市計画基礎調査の建物データを組み合わせ重回帰分

析を行い、建物用途分類別のメッシュ滞在人口に与える時系列的影響を確認した。本研究の対象都市では、緊急事態宣言下の 2020 年 5 月 12 時で文教施設、店舗娯楽施設、専用商業施設の時間帯別メッシュ滞在人口の負の影響が確認された。また 21 時も同様に、店舗娯楽施設、専用商業施設で時間帯別メッシュ滞在人口に負の影響があった。これらの建物用途分類ではどの都市においても自粛の傾向があったと考えられる。同期間の日中及び夜間での住居施設は時間帯別メッシュ滞在人口への影響が高いことが確認された。これにより、北海道地方都市の住居施設におけるステイホームの動きがあったと推測される。緊急事態宣言解除後は発令前ほどとはいかないものの、時間帯別メッシュ滞在人口に与える影響が正となり人々の活動が回復傾向であったと推測される。観光都市や工業都市等の特徴がある分析対象 3 都市においても、時間帯別のメッシュ滞在人口に与える建物用途分類の影響が異なっていたことが確認された。これより、COVID-19 感染拡大前後での北海道地方都市における建物用途別の人口動態の影響を評価した。

本研究では建物用途分類 34 種（都市によって種数が異なる）を 7 分類： n として時間帯別メッシュ滞在人口に与える全ての建物用途属性の影響を評価した。今後は説明変数による変数選択を行い、より時間帯別メッシュ滞在人口への影響が高い建物用途属性に着目した北海道地方都市における人口動態の評価を試みたい。

謝辞：本研究は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の取り組みの一つである。使用した国内人口分布統計（リアルタイム版）モバイル空間統計[®]は Docomo Insight Marketing,INC から提

供を受けた。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1) NHK.jp：新型コロナウイルス 世界の感染者数・感染者マップ、
<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/world-data/>, (閲覧日：2021/10/1)。
- 2) Arimura, M., Ha, T. V., Okumura, K., & Asada, T. (2020). Changes in urban mobility in Sapporo city, Japan due to the Covid-19 emergency declarations. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100212.
- 3) 【公式】モバイル空間統計 | 位置情報などのビッグデータを利用した人口統計情報, <https://mobaku.jp/>, (閲覧日：2021/10/1)。
- 4) 高田光太, 奥村航太, 有村幹治：COVID-19 感染拡大に伴う移動自粛時における時間帯別目的別施設滞在人口密度の推計：土木計画学研究・講演集, Vol. 62, 2020.
- 5) 奥村航太, 高田光太, 浅田拓海, 有村幹治：COVID-19 感染拡大時における携帯電話網位置情報を活用した建物用途別接触頻度の推定：土木学会北海道支部令和二年度論文報告集, Vol. 77, No. D-18, 2020.
- 6) 札幌市保健所：新型コロナウイルス感染症対策本部会議, 札幌市の感染状況について (R3.7), https://www.city.sapporo.jp/kikikanri/documents/0709_kansenjokyo.pdf, (閲覧日：2021/10/1)。
- 7) 函館市：函館市のクラスター発生状況 (R3.9), https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2020050300019/files/cluster_20210923.pdf, (閲覧日：2021/10/1)。
- 8) 新型コロナウイルス感染症対策分科会：現在直面する 3 つの課題 (R2.12), https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/bunkakai/cyokumen_3tsunokadai.pdf, (閲覧日：2021/10/1)。
- 9) 北海道経済部産業振興局産業振興課：北海道工業団地ガイド (R2.4 発行), <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/ssg/sgr/kougyou/guide02.html>, (閲覧日：2021/10/1)。

UTILIZING MOBILE SPATIAL STATISTICS POPULATION MOVEMENTS BY BUILDING TYPES WHEN SPREADING COVID-19 INFECTION :THE CASE OF THE REGIONAL CITIES IN HOKKAIDO

Rei ISHIKAWA, Takumi ASADA and Mikiharu ARIMURA

In response to the spread of COVID-19 infection, economic measures such as the Go To Travel Campaign and requests to refrain from going out of the house by declaring a state of emergency have been implemented. These measures have had a significant impact on people's behavior and economic activities. In the future, it will be necessary to establish sustainable self-restraint behavior that balances the prevention of the spread of infection with economic measures. For this purpose, it is important to understand the changes in people's behavior depending on the characteristics of urban space.

In this study, we examine the demographic impact of each building use attribute in a regional city in Hokkaido with a population of approximately 100,000 to 300,000. Specifically, we use the distribution of the resident population from the Mobile Spatial Statistics and the building data from the Basic Survey on Urban Planning, and conduct multiple regression analysis for each building use category to confirm the time-series effects on the resident population of each building use category. In this way, we evaluate the impact of the spread of COVID-19 infection on the activities of people in Hokkaido's local cities.