

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

Estimating contact frequency by building type using demographics of mobile phone networks when COVID-19 infection spreads

室蘭工業大学大学院 工学研究科 ○学生員 奥村航太 (Kota Okumura)
室蘭工業大学建築社会基盤系学科 学生員 高田光太 (Kota Takata)
室蘭工業大学大学院 工学研究科 正 員 浅田拓海 (Takumi Asada)
室蘭工業大学大学院 工学研究科 正 員 有村幹治 (Mikiharu Arimura)

1. はじめに

新型コロナウイルス（以下、COVID-19）感染症は2019年末から急速に世界中に広がり、日本においても、あらゆる場面で影響を及ぼしている。この深刻な状況下において、政府は外出自粛要請や新しい生活様式を提唱した。これらの施策はコミュニティ間の接触頻度を低下させ、感染拡大を防ぐ意味で効果的であった。また、Go To トラベル事業は2020年7月22日から運用を開始し、経済対策を進めてきた。しかし11月末に入り、感染者数が再び増加したことから12月28日より全国で一時的停止となっている。このように、昨今のCOVID-19感染拡大状況により、人々の移動に与える影響は大きいと考えられる。従って、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、様々なアプローチによる自粛率や接触頻度に関する分析が始まっている。著者らの先行研究^{1,2)}において、各該当エリアに内在する建物用途別人口密度が接触頻度にどの程度影響を及ぼすのかを、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した。また、携帯電話網の位置情報データを活用した人口統計であるモバイル空間統計³⁾を用いて、札幌市における500mメッシュ別滞在人口の動態を曜日や非常時などの時期毎に集計し、その減少率を示した。また、感染症の中でも濃厚接触によるものについては、Zaghemi, E.⁴⁾らが、接触する時間と集団の人数および空間の大きさを考慮した接触頻度の式を提唱した。以上の研究に用いられたデータや導出方法は2020年5月1日の政府専門家会議での報告⁵⁾で活用され、500mメッシュ毎の接触頻度の推計が行われた。しかし、これらの分析は、メッシュ全体の滞在人口で集計したことによって空間解像度が低く、建物種類の特性によって変化する人口密度・接触頻度に対して及ぼす評価までには至っていない。一方、水野らの研究⁶⁾では、モバイル空間統計とポイント型流動人口データを用いて、4m×4mメッシュの推定滞在人口から接触頻度の変化率を求めている。しかし、その建物データにおける用途区分と時系列に2019年との比較分析がなされていない。

本研究の位置付けとして、2020年の感染拡大期から昨今までの滞在人口分布を活用し、建物ポイントデータから建物一棟当たりの接触頻度を推定することにある。具体的には、携帯電話網の位置情報による人口統計データと個々の建物の詳細な属性データを含む都市計画基礎調

査を使用した。そこで、メッシュにおける滞在人口を目的変数、各メッシュ内における建物用途別延床面積を説明変数に置くことで、最小二乗法により、時間帯建物用途別の人口密度を推定した。これより、メッシュ内の人口推移のみならず建物属性を考慮した人々の行動変容を加味して、より詳細なエリアの接触頻度を推計した。以上の結果、人口密度が高くなる傾向がある時間帯と建物用途が明確になり、感染リスクの評価に対して、時空間単位でより高い情報を得た。

2. 使用データ

本研究では、建物用途別延床面積と滞在人口から建物一棟当たりの建物用途別接触頻度の推計を行う。それぞれのデータについては都市計画基礎調査、モバイル空間統計を用いる。使用したデータの概要を以下に示す。

2.1 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を用いた人口統計であり、あるエリアに滞在する人口を24時間365日、年齢や居住地を含む様々な条件下で取得することが可能である。

本研究では表-1の条件のもと、データを抽出し、活用した。なお、平日において次の日が休日または祝日である場合や、休日において連休の最終日である場合、他の滞在人口の分布と比べて偏りが存在するため、その影響を考慮するために除外した。粒度については、500mメッシュであり、居住地などの属性は考慮しない総人口データを活用した。

2.2 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、築年数等がまとめられている。本研究では平成31年度の札幌市

表-1 モバイル空間統計の活用条件

日時	曜日	条件
2019, 2020年 2,5, 8,11月	平日 休日	火・水・木 (祝日またはその前日を除く) 土・日・祝日 (連休の最終日を除く)

表-2 建物用途の集約対応

n	説明変数	該当建物分類（都市計画基礎調査）	建物数	延床面積[m ²]	
				平均値	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	395,067	230.6	124
2	専用商業施設	業務施設，集合販売施設，宿泊施設	8,675	1323.7	369
3	店舗娯楽施設	専用店舗施設，興業施設，遊技施設，スポーツ施設	5,738	1106.8	279
4	風俗娯楽施設	風俗営業施設	128	1794.8	1018.5
5	官公署施設	地方国家施設，自治体施設	612	1594.4	144.5
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	2,622	2375.1	577.5
7	厚生施設	医療施設，運動施設，社会福祉施設，厚生施設	3,375	1500.5	452
8	都市工場農業施設	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	8,132	905.1	279

「都市計画基礎調査」を使用した。建物用途に関しては34種に分けられているところ、表-2に示すように8分類： n に分けた。その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。

3. 分析方法

3.1 建物用途別人口密度 a_n の推定

本研究では、建物用途別延床面積 $x_{(n,m)}$ を説明変数とし、時刻： t とおいたときのメッシュ滞在人口 $P_{(t,m)}$ を目的変数とする。式(1)から、最小二乗法により、それぞれの係数である建物用途別人口密度 a_n (ただし、 $a_n > 0$)を推定する。

$$P_{(t,m)} = a_1 x_{(1,m)} + a_2 x_{(2,m)} + \cdots + a_8 x_{(8,m)} \quad (1)$$

なお、この係数はモバイル空間統計で観測された人口をすべて建物に収容することと仮定としたため、基本的な重回帰分析で用いられる切片を設けず、必ず原点を通過し、 a_n に非負条件を持たせて最適化を行う。なお多重共線性を考慮し各説明変数間の相関係数は0.7を下回ることを確認した。

3.3 建物一棟当たりの接触頻度

建物一棟当たりの推定滞在人口 p_t は3.1節に基づいた建物用途別人口密度 a_n に対し、その用途に対応する延床面積 x_n を掛け合わせることで算出する。その推定滞在人口 p_t を用いて、建物一棟当たりの接触頻度を推計した。接触頻度の推定式については、同一空間における接触者の組み合わせと、疫学における感染についての人口密度の影響の経験則を用いた水野ら既存研究⁹⁾を参考にし、下記の式(2)を用いた。式中の q 値に関して、COVID-19について接触頻度に関する人口密度依存性の確実な情報は十分でない。例に実験室におけるハタネズミの牛痘感染症の事例から、接触頻度は滞在人口の1.38乗に比例した。従って、本研究においては、その算出された平均値 $q=0.62$ を用いる。

$$t_b = \frac{p_t \cdot \kappa (p_t - 1)^{1-q}}{2} \quad (2)$$

表-3 最小二乗法による推定結果

	平均値	中央値	最小値	最大値
R^2	0.901	0.898	0.809	0.941
MAE	227	222	211	270
$RMSE$	345	305	281	626

p_t : 建物一棟当たりの推定滞在人口（人）

κ : 比例定数

q : 接触回数の調整係数（本研究では0.62）

$q=0$ のとき、各滞在者は「 $\kappa \times$ 自身を除く建物内の全滞在者」回、接触する。 $q=1$ のとき、各滞在者は「自身を除く建物内の滞在者と κ 回」接触する。

4. 分析結果

4.1 建物用途別人口密度の推定結果

平日休日の2種類と、4カ月、時刻24時間を前年との2年分で推定するため、計384パターンの時空間断面による最小二乗法での推定結果を得た。その統計的指標について表-3に示す。これらの値は、建物一棟当たりの推定滞在人口 p_t を活用したメッシュ内の滞在人口の総和と、目的変数による滞在人口 $P_{(t,m)}$ との比較である。各時空間断面の推定精度は平均値において $R^2=0.901$ と $RMSE=345$ 人となった。また、その回帰係数である建物用途別人口密度 a_n を比較するため、平日における両年の5月と11月の推移を図-1に示す。2019年に関しては両月とも大きな差異は確認できない。また、緊急事態宣言時であった本年の5月に関しては、2019年比で風俗娯楽施設や専用商業施設がより顕著に滞在人口の減少を確認できる。

4.2 建物一棟当たりの推定滞在人口

すべての建物について、建物用途別人口密度 a_n にその用途に対応する延床面積 x_n を掛け合わせることで算出した、建物一棟当たりの推定滞在人口 p_t を可視化したものが図-2である。両年とも札幌駅や高層複合施設での滞在人口が高いことが分かる。また、2019年と比較するとエリアXのススキノにおいて滞在人口の減少が顕著であることも読み取ることが出来る。この時刻や曜日毎の推定滞在人口を求めることで、建物一棟ずつの接触頻度の試算が可能となる。

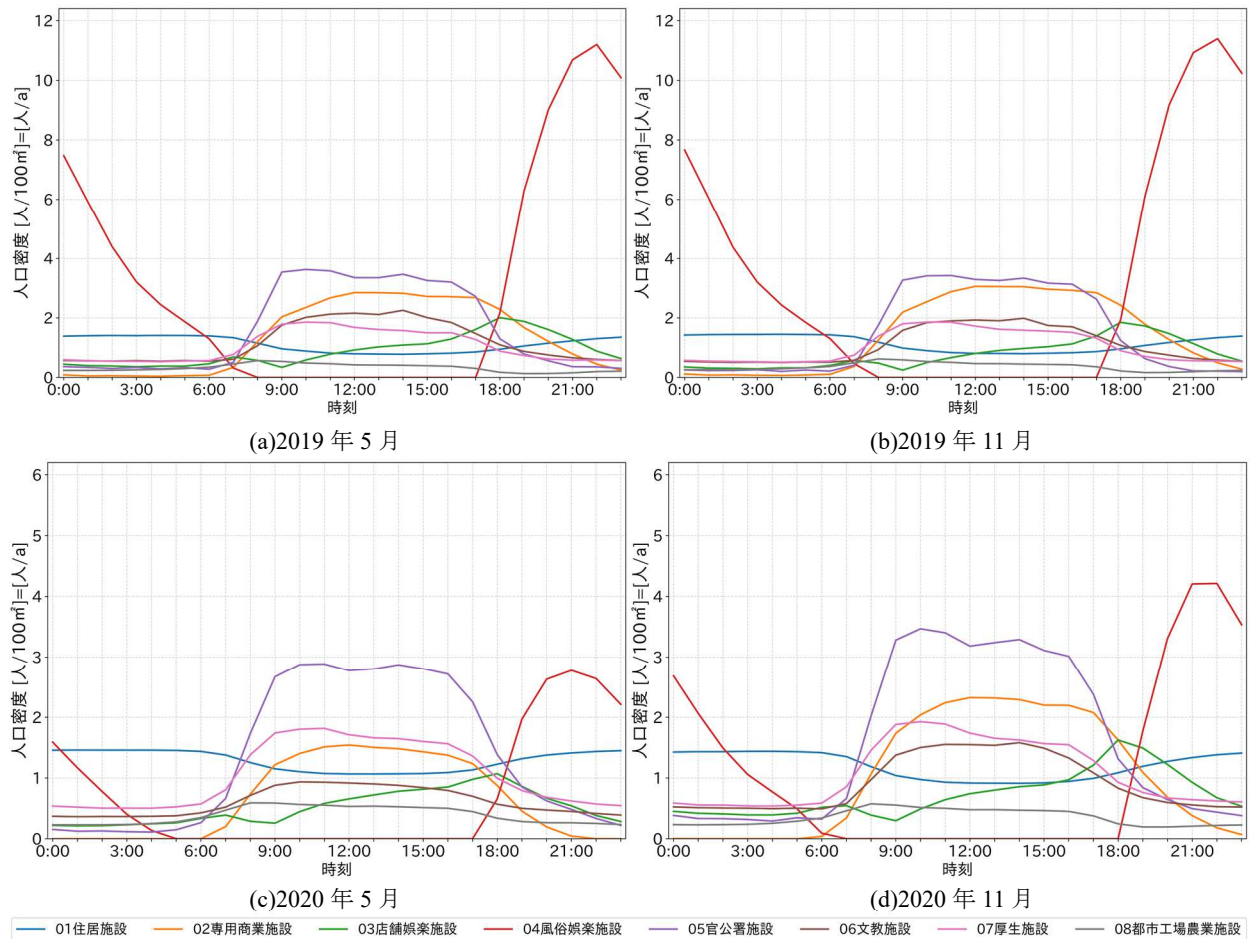


図-1 建物用途別人口密度[人/a] (平日)

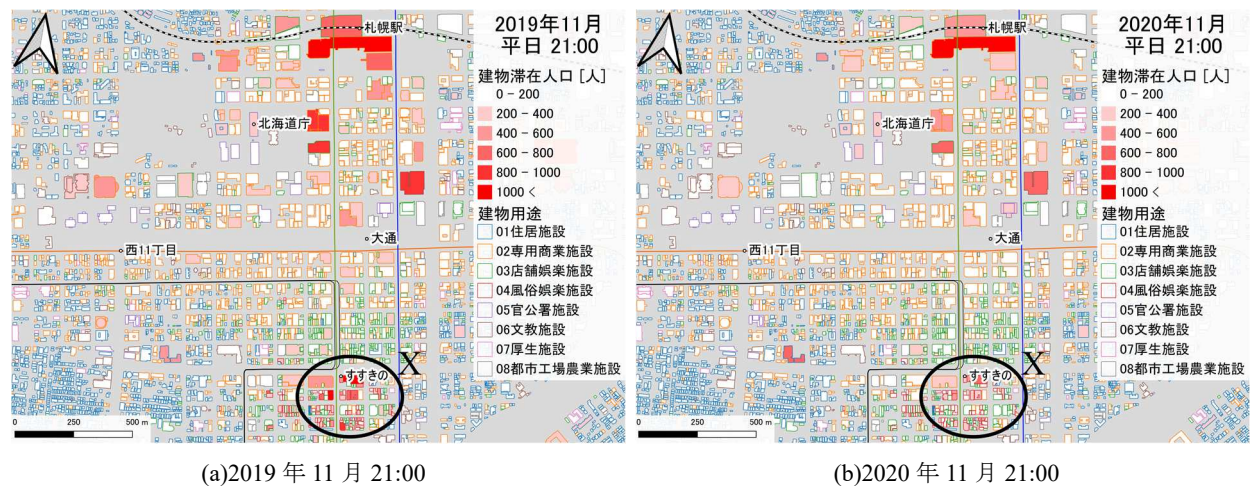


図-2 建物滞在人口[人] (平日)

4.3 建物用途別接触頻度の推定結果

建物用途別接触頻度については、平日と休日、さらに年月と時刻別に表-4で示す。接触頻度を求めるにあたって、ここでは各建物用途別延床面積の中央値を用いて、推定滞在人口を算出した後、接触頻度の式(2)に代入したものを示している。まず、2月の平日12:00においては、両年とも専用商業施設で接触頻度が高いことがわかる。しかし、同年の5月で比較すると接触頻度は約83%減少

していることがわかる。その他、平日の文教施設や休日の店舗娯楽施設なども同様に減少している。一方で両年とも住宅施設の接触頻度は増加している。これは4月から5月にかけての緊急事態宣言期間による自粛の影響によるものであると推測される。また休日の21:00になると、ススキノ付近に多く建ち並ぶ、接待を伴う飲食店を含む風俗娯楽施設での接触頻度の増加が顕著に現れる。これは他の建物用途と比較しても突出している。また、

表-4 建物用途別接触頻度[人×人] (12:00, 21:00)

曜日	時刻	年	月	01住居施設	02専用商業施設	03店舗娯楽施設	04風俗娯楽施設	05官公署施設	06文教施設	07厚生施設	08都市工場農業施設
平日	12:00	2019	2	0.015	172.566	2.150	9.0E-20	13.986	57.535	49.258	0.232
			5	0.001	167.989	1.844	2.2E-19	16.956	145.430	55.695	0.260
			8	0.004	145.365	4.279	7.2E-18	13.091	47.674	49.416	0.130
			11	0.002	140.752	2.856	5.1E-18	17.820	192.692	51.979	0.149
		2020	2	0.014	143.406	3.085	7.1E-17	17.198	69.192	56.004	0.133
			5	0.146	29.033	0.869	7.0E-22	10.570	21.271	54.564	0.493
			8	0.038	83.036	2.618	2.0E-25	14.010	48.560	52.701	0.228
			11	0.040	83.992	1.371	6.4E-17	15.467	83.565	56.800	0.298
	21:00	2019	2	0.373	5.847	5.286	4.0E+04	0.001	4.435	2.323	0.001
			5	0.373	5.065	5.407	3.7E+04	0.000	7.714	2.332	0.000
			8	0.337	5.793	7.807	5.2E+04	0.000	2.564	2.319	0.001
			11	0.326	4.419	7.611	3.5E+04	0.001	8.554	2.605	0.001
		2020	2	0.364	3.998	6.846	3.3E+04	0.003	4.068	3.196	0.003
			5	0.609	0.000	0.388	1.4E+03	0.000	2.697	3.240	0.000
			8	0.444	0.576	4.842	1.1E+04	0.003	3.298	3.332	0.003
			11	0.480	0.294	2.901	3.7E+03	0.000	5.197	3.608	0.000
休日	12:00	2019	2	0.157	51.662	24.798	4.6E-17	0.000	2.490	5.980	0.025
			5	0.090	44.090	27.559	1.4E-19	0.000	2.938	6.175	0.010
			8	0.089	39.855	32.256	5.6E-18	0.004	3.559	6.589	0.261
			11	0.111	49.464	32.689	2.4E-20	0.002	9.361	5.868	0.013
		2020	2	0.176	32.030	25.710	1.8E-18	0.001	3.838	8.200	0.001
			5	0.361	0.763	5.360	9.8E-19	0.002	2.909	9.484	0.102
			8	0.160	17.391	17.633	9.3E-16	0.002	4.003	6.980	0.023
			11	0.224	13.968	14.024	2.1E-15	0.006	5.681	8.481	0.045
	21:00	2019	2	0.372	5.919	9.345	9.9E+04	0.000	1.551	1.832	0.000
			5	0.363	3.281	10.879	8.7E+04	0.000	1.607	1.386	0.000
			8	0.314	6.083	13.240	1.2E+05	0.000	1.149	1.362	0.004
			11	0.327	5.342	18.061	1.0E+05	0.000	2.632	1.261	0.001
		2020	2	0.403	2.261	8.898	7.3E+04	0.000	1.507	1.943	0.001
			5	0.644	0.000	0.083	2.1E+03	0.000	1.399	2.092	0.001
			8	0.436	0.359	6.962	2.3E+04	0.001	2.003	2.344	0.002
			11	0.508	0.057	3.168	9.0E+03	0.003	3.156	2.586	0.005

表-2 からも確認できるように延床面積の中央値も大きく、建物用途別人口密度 a_n も高いことから、他の用途に比べ高い接触頻度に推計された。また、接触頻度は2020年5月の風俗娯楽施設のみならず店舗娯楽施設においても低く、8月には一旦増加傾向がみられたものの、11月で再び減少に転じた。さらに、官公署施設や文教施設、厚生施設に関しては特に平日の昼間で接触頻度の数値が高くなっている。さらに、文教施設は長期休暇や臨時休校といった影響と考えられる推移がみられる。これらから、感染者数などの変化により、人々の行動変容を確認できる可能性がある。

5. おわりに

本研究では、モバイル空間統計と都市計画基礎調査を組み合わせ、建物用途別接触頻度の推移を月や曜日毎に確認した。そこから現在の感染拡大状況下において、どのような種類の建物で接触する可能性が高くなるのかを定量的に評価することができた。しかし、4.3で述べたように分析結果には延床面積の中央値を活用しているため、大型商業施設など大きな延床面積を要する建物に関しては接触頻度が非常に高くなることが懸念として挙げられる。したがって、個々の建物について接触頻度を建物用途から一概に考察するのは難しい。しかし、このように中央値を用いることで、昨今の人々の行動変容を建物用途別の人口密度から推測できる可能性がある。今後においては、携帯電話網の位置情報データを用いた人口統計ではカバーすることのできない、個人ベースでの移動経路や一日の累計接触頻度などを利用し、感染リスクの高いエリアや行動パターンの抽出を試みたい。

謝辞：本稿で用いた、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

- 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.
- Arimura, M., Ha, T. V., Okumura, K., & Asada, T. Changes in urban mobility in Sapporo city, Japan due to the Covid-19 emergency declarations. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100212, 2020.
- 【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: 2020年12月20日).
- Zagheni, E., Billari, F. C., Manfredi, P., Melegaro, A., Mossong, J., & Edmunds, W. J. Using time-use data to parameterize models for the spread of close-contact infectious diseases. *American journal of epidemiology*, 168(9), 1082-1090, 2008.
- 新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言 (2020/5/1), 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000627255.pdf>, (閲覧日: 2020年12月20日).
- 水野貴之, 大西立顕, 渡辺努: 空間情報ビッグデータによる COVID-19 の感染に繋がる接触頻度の推定: キヤノングローバル戦略研究所コラム, 2020, https://cigs.canon/article/20200529_6456.html, (閲覧日: 2020年12月20日).