

原 著

COVID-19 新規感染者数と感染動向の地域間比較のための新たな指標と
人口関連因子の影響に関する検討

那須信*, 中牟田真帆**, 堀碧香**

A new index for Geographic Comparison of COVID-19 infection

Makoto Nasu*, Maho Nakamuta **, Aoka Hori **

Abstract: Since December 2019, COVID-19 has been an ongoing pandemic disease around the world, including in Japan. To take public health and social measures to prevent the spread of COVID-19, we need to grasp daily infection status as well as the domestic expansion of infection. Considering that “the case number of infections” strongly reflects the population gaps living in a territory in Japan, an effective scaling is required for geographic comparison. “The scaled case number of infections by the population” is sometimes used for geographic comparison at a prefectural level in Japan. However, we showed that it persisted to be strongly co-related to “the population by prefecture” through the first to fifth waves of infections, indicating that it is dependent on the population gaps. The effective reproductive number (R_t) is the mean number of additional infections caused by an initial infection at a specific time, t . We investigated whether the power of R_t was free from the population gaps and revealed that the correlation coefficients between “the scaled case number of infections by the population to the power of R_t (R_t^{\wedge})” and “the population by prefecture” were low among the second, the fourth, and the fifth waves of infections. The inverse correlation between “the scaled case number of infections by the population $^{\wedge}R_t$ ” and “the rate of aging” were moderate, supporting the hypothesis that the non-elderly population contributed to the spread of infections. These tendencies were verified by the geographic comparison among Japanese cities designated by ordinance. We propose that “the scaled case number of infections by the population $^{\wedge}R_t$ ” can be used as an effective index for geographic comparison of infection status in Japan.

Key words: COVID-19, geographic comparison, the case number of infections, the scaled case number of infections, the effective reproductive number

受付日 2022 年 10 月 21 日 採択日 2023 年 1 月 19 日

*熊本大学大学院生命科学研究部 健康科学講座 **熊本大学医学部保健学科

投稿責任者：那須信 mnas@kumamoto-u.ac.jp

I. 緒言

COVID-19 と命名された新型コロナウイルス感染症は、2019 年 12 月中国武漢市での感染報告以来、世界的に広がり感染の昇降を繰り返しながら現在までパンデミック（世界的大流行）は続いている¹⁻³⁾。

COVID-19 の特徴として、感染力が高いこと、感染すると多くは軽症の呼吸器症状を呈しながら一部重症化すること、長期化率 6%程度、致死率 1%程度と高い頻度で報告されること、当初はワクチンや特効薬など利用できる医療がなかったことなどが挙げられる⁴⁾。WHO（世界保健機関）は、2020 年 1 月 30

日に最高度の警戒が必要な「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態」と宣言、同年 3 月 11 日にパンデミックに至っていることを表明し各国の対策強化を求めた^{2,3)}。日本国内では 2020 年 1 月 15 日に初めての感染が報告され、以降都心部から日本全国に感染が広がり全国的に普段の生活の変化を余儀なくされた⁹⁾。

毎日の COVID-19 新規感染者数は、国内各所の保健所の報告をベースに地域ごとの感染者数として報告される。地域ごとの新規感染者数の日ごとの動向把握は、感染の拡大と縮小を把握するために有効である。また地域間の動向の違いは、感染の拡大と縮小の地理的情報として日本国内の保健衛生を検討する手がかりになる。しかし、新規感染者数は地域に暮らす人口に依存し、人口の異なる地域の感染者数を単純比較することはできない。また、感染拡大の阻止のためには感染拡大に寄与する因子を適切に特定することが必要である。人口が密になっている地域や若者の活動が高い地域では、密であることや若年層が感染拡大に寄与しているとの見方もある一方⁶⁻⁹⁾、人口密度の高い地域は、経済の中心として比較的若者が集まりやすく交通網も発達する傾向にあり関連の有無は区別しにくい。本研究では、新規感染者数を用いて人口の異なる地域間で感染の動向を比較するため、人口に依存する要素を排除する方策を検討した。

II. 方法

1. 人口関連データ

都道府県別総人口および高齢化率 (65 歳以上人口の総人口に占める割合) は、総務省統計局が公表する「人口推計 (2019 年 (令和元年) 10 月 1 日現在)」を利用した¹⁰⁾。政令指定都市の総人口および高齢化率は、総務省が公表する「[総計]令和 4 年住民基本台帳年齢階級別人口 (市区町村別)」(2022 年 (令和 4 年) 1 月 1 日現在) を元に算出した¹¹⁾。都道府県別人口密度 (単位面積当たりの人口 (人/km²)) は、総務省統計局公表の「第六十五回日本統計年鑑 平成 28 年」から都道府県別面積 (平成 25 年) を元に¹²⁾、都市別人口密度は、国土地理院公表の「全国都道府

県市区町村別面積調」(2021 年 (令和 3 年) 1 月 1 日現在) を元に算出した¹³⁾。

2. COVID-19 関連データ

2020 年 1 月 16 日から 2021 年 10 月 31 日までを本研究における調査対象期間とした。新規感染者数の拡大と縮小を表す感染の”波”は、大阪府感染症情報センターの定義を採用した (第 1 波: 2020/1/16~2020/6/13 (149 日); 第 2 波: 2020/6/14~2020/10/9 (117 日); 第 3 波: 2020/10/10~2021/2/28 (141 日); 第 4 波: 2021/3/1~2021/6/20 (111 日); 第 5 波: 2021/6/21~2021/10/31 (132 日))¹⁴⁾。

都道府県別の新規感染者数は、各都道府県が発表する日ごとの感染者数を NHK が集計し web 公開するデータを利用し期間ごとに集計した¹⁵⁾。政令指定都市別の新規感染者数は、各政令指定都市の公開データを利用した (公開データの見付からなかった新潟市と大阪市は本解析から除外した)。国内全体の実効再生産数 (Rt) は、「直近 7 日間の全国新規陽性者数/その前 7 日間の全国新規陽性者数」で各日算出した。感染拡大を表す $Rt \geq 1$ の実効再生産数について期間ごとに平均値を算出し期間ごとの実効再生産数とした^{16,17)}。

3. 地理情報システム

人口データの日本白地図上への可視化は、総務省統計局提供の地理情報システム「jSTATMAP」を利用し、人口データは jSTATMAP 内にデフォルトで提供される 2020 年国勢調査のデータを利用した¹⁸⁾。

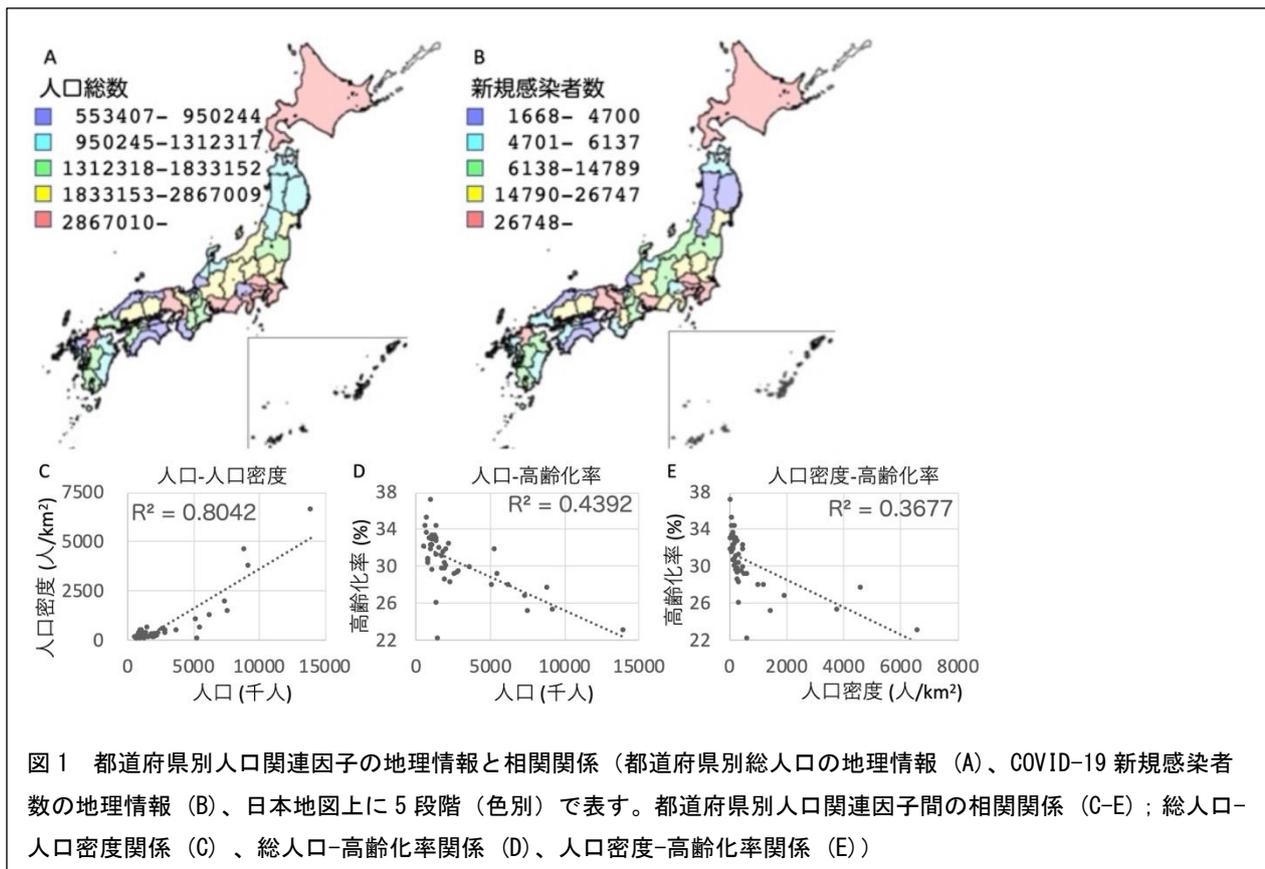
4. 統計分析

各因子間の関連性は Microsoft Excel が算出する相関係数 (R) の大きさより判断した。回帰方程式の当てはまりの良さは図中に R^2 で示した。

III. 結果

1. 人口関連因子

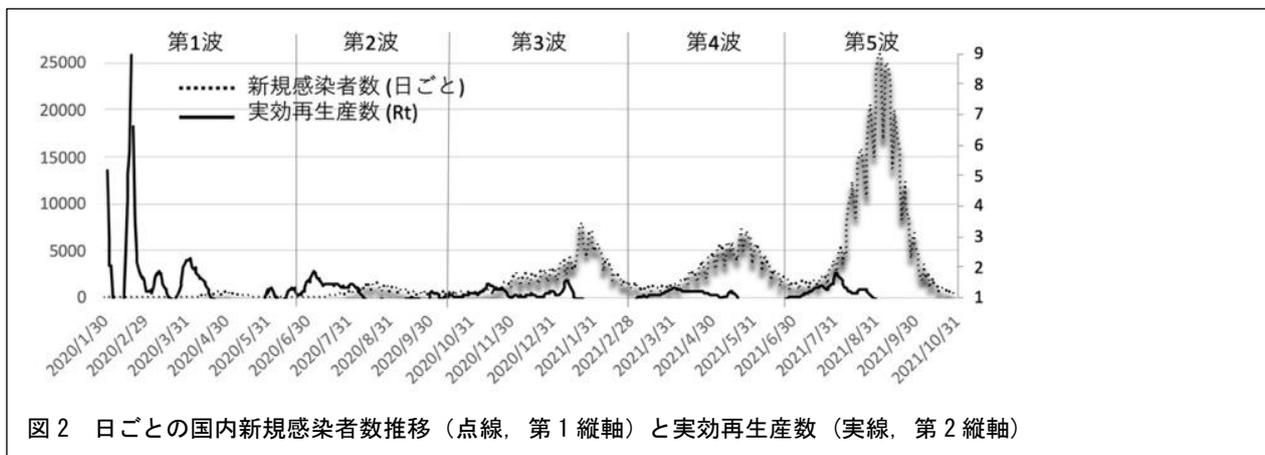
新規感染者数は感染の媒体となる人の数、すなわち人口の大きさに依存すると期待される。実際に、都道府県別「総人口」および 2020 年 1 月 16 日から

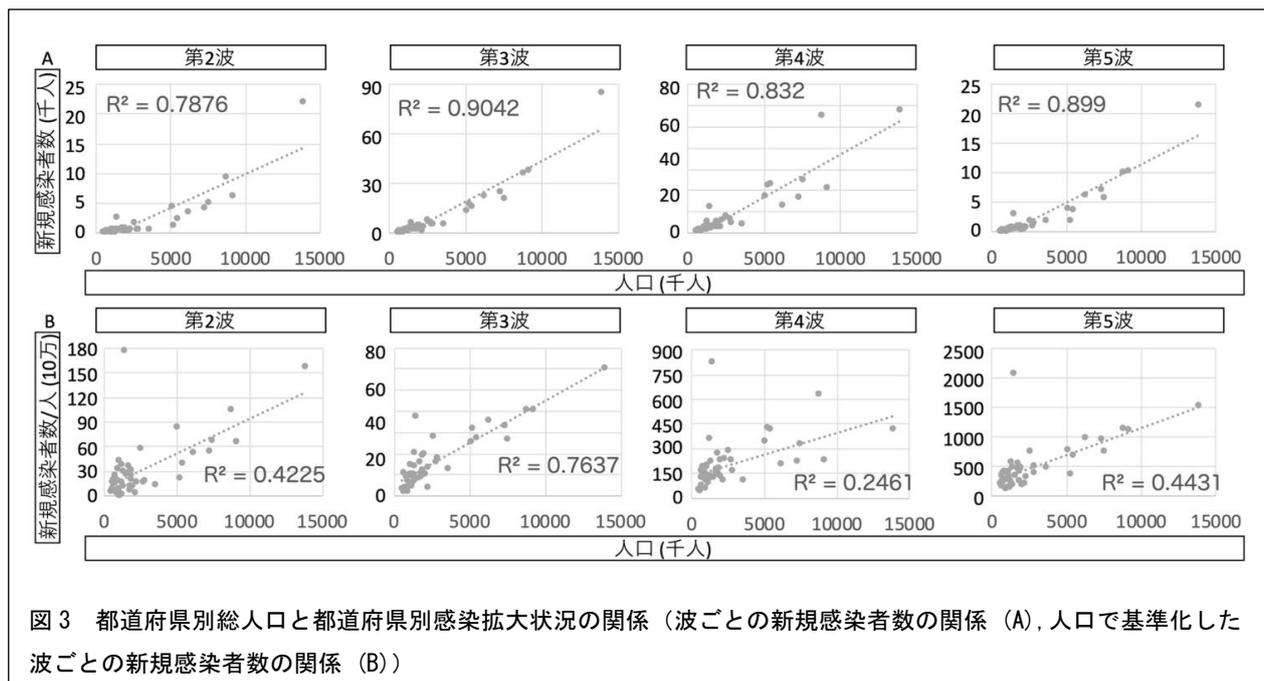


2021 年 10 月 31 日までの「COVID-19 新規感染者数」を日本地図上に 5 段階で表すと、類似性が高いことがわかる (図 1A,B)。また、都道府県別「総人口」、「人口密度」、「高齢化率」の間の関連性を互いの相関関係から検討した。「総人口-人口密度」は極めて強い相関関係が見られ ($R=0.90$, 図 1C)、「高齢化率」は「総人口」および「人口密度」と中程度の負の相関関係が見られた (それぞれ $R=-0.66$, 図 1D; $R=-0.61$, 図 1E)。都道府県別「総人口」、「人口密度」、「高齢

化率」は、三因子間で正負の違いはあるものの互いに相関性の高い人口関連因子であることが確認された。一般的に COVID-19 感染が広まる地域は、人口が多く、人口密度が高く、高齢化率が低い地域であることがわかる。

2. 都道府県別総人口と新規感染者数の関連性
 新規感染者数はどの程度人口の大きさに影響を受けるのか、より詳しく調査することにした。ここで、





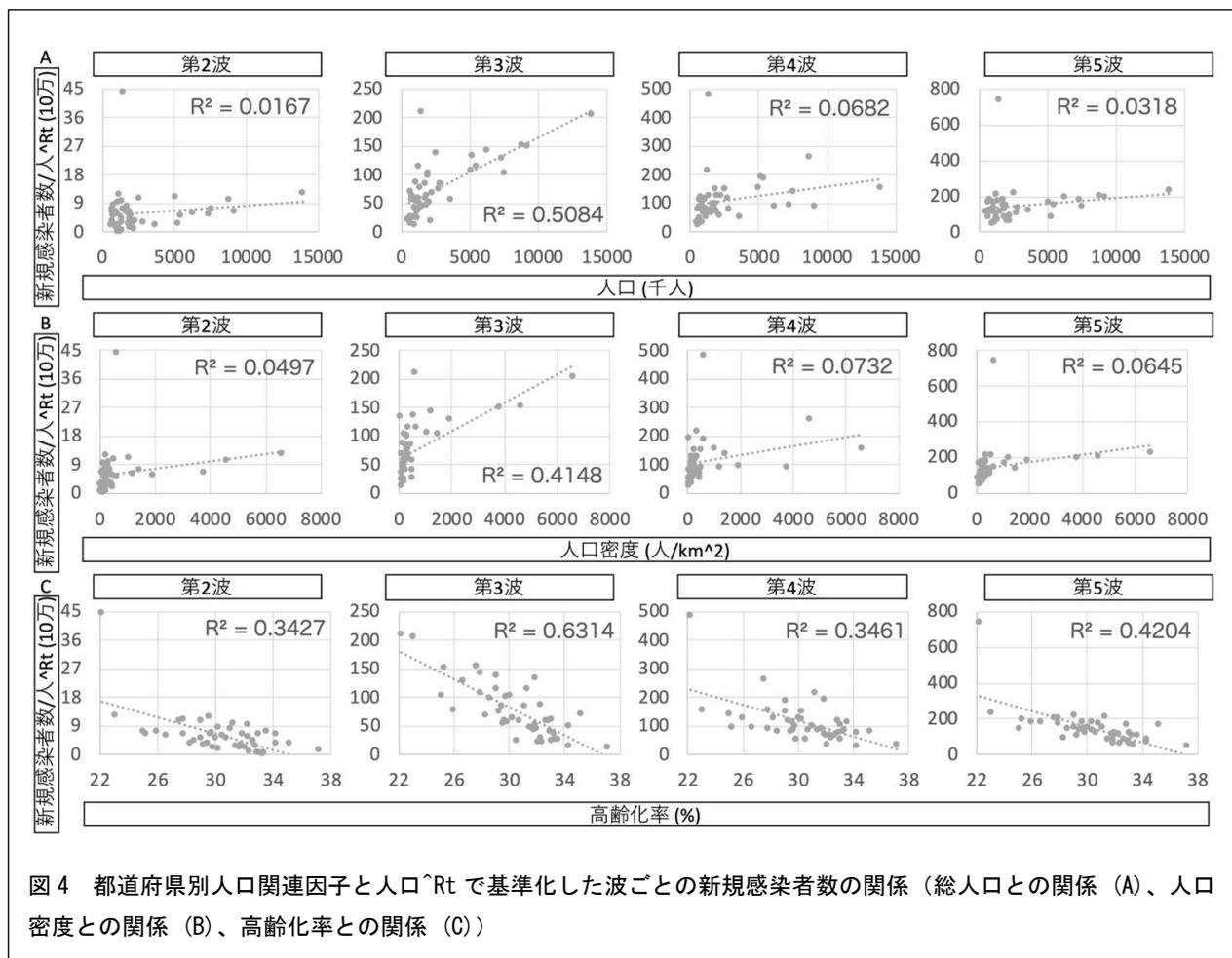
COVID-19の感染は2020年1月以来継続的に続いているが、“波”と表現される一定期間ごとに増減を繰り返しており感染状況は各波によって異なる可能性が考えられた(図2)。2021年10月31日までの期間には第1~5波までが含まれる¹⁴⁾。波ごとの特性を合わせて検討する目的で、波ごとの新規感染者数を集計した。ただし第1波の当初、COVID-19の国内への感染拡大は大都市に集中し、全国的な感染拡大まで最大3ヶ月の時間的隔たりが生じた^{19,20)}。第1波は全国的な比較に適さないと考え、以降の分析から除外した。第2~5波までの都道府県別「新規感染者数」と「総人口」の関係調べたところ、いずれの期間においても極めて強い相関関係が見られた(第2波, R=0.89; 第3波, R=0.95; 第4波, R=0.91; 第5波, R=0.95; 図3A)。「新規感染者数」は地域の人口に強く依存することが改めて確認された。「新規感染者数」それ自体は地域の人口的特性を反映するため、感染拡大の大きさを地域間で比較する指標になりえないことを意味する。

最近の一部報道では、人口当たりの新規感染者数「新規感染者数/人口(10万人)」が日本国内各地域の感染状況を伝える指標として使用されている²¹⁾。そこで

次に、「新規感染者数/人口(10万人)」と「総人口」の関連性を検討したところ、相関係数は人口で基準化しない場合に比べてやや低いが R=0.5~0.87 と中程度に高かった(第2波, R=0.65; 第3波, R=0.87; 第4波, R=0.50; 第5波, R=0.67; 図3B)。このことから、「人口当たりの新規感染者数」は、依然として各地域の人口格差を反映する人口関連因子であり感染状況を地域間で比較するための数値として適当ではないと言える。

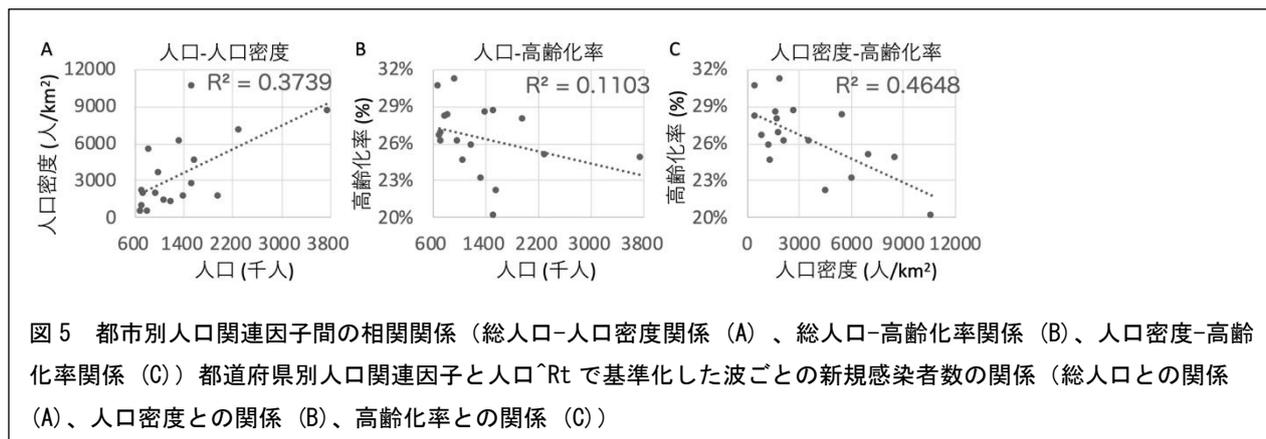
3. 実効再生産数と感染拡大の関連性

集団内の人と人の繋がりは多対多のネットワークを形成する。人口はネットワーク内の点、人と人の繋がりは枝と表現され、感染は枝で起こる。枝の数は人口に対して指数関数的に増えるが、指数の大きさはウイルスや細菌の感染力によって異なり、集団としての活動量や感染対策を含めた人々の接触行動によっても影響を受けるため一定数を定めることはできない¹⁶⁾。「実効再生産数 (Rt)」は、1人の感染者が平均して何人に感染させるかを表す指標であり、感染力と行動選択の結果として現れる感染の拡大状況を表す。実効再生産数が1を超えると感染は拡



大へ向かい、1 を下回ると感染拡大はピークを迎えて縮小へ向かう。また、実効再生産数が 1 を超えたときの数値の大きさと、1 を超える期間の長さは感染の拡大を表す指標となる。人口の「実効再生産数」べき乗を取った数値は、感染の広がりを与える枝の数に相当すると考えられる。そこで、「新規感染者数/人口(10 万人)^{Rt}」と「総人口」との関連性を検討した。国内全体の実効再生産数は、第 1 波では感染対策当初の混乱もあり比較的高い数値を示しながら大きく変動が見られる一方、第 2~5 波は比較的安定した数値を示した(第 1 波, Rt=2.886; 第 2 波, Rt=1.517; 第 3 波, Rt=1.220; 第 4 波, Rt=1.200; 第 5 波, Rt=1.383, いずれも期間内平均値; 図 2)。都道府県別「総人口」と「新規感染者数/人口(10 万人)^{Rt}」との関連性は、第 3 波で比較的強い正の相関が見られたが、第 2,4,5

波で R=0.13~0.26 と低かった(第 2 波, R=0.13; 第 3 波, R=0.71; 第 4 波, R=0.26; 第 5 波, R=0.18; 図 4A)。「人口密度」と「新規感染者数/人口(10 万人)^{Rt}」の関係も、「総人口」と似た傾向となった(第 2 波, R=0.22; 第 3 波, R=0.64; 第 4 波, R=0.27; 第 5 波, R=0.25; 図 4B)。一方、「高齢化率」との関係は、第 2,4,5 波で R=-0.65~-0.59 と中程度の負の相関を示した(第 2 波, R=-0.59; 第 3 波, R=-0.79; 第 4 波, R=-0.59; 第 5 波, R=-0.65; 図 4C)。「新規感染者数/人口(10 万人)^{Rt}」は、第 2,4,5 波では「総人口」に依存しない数値として地域間の感染状況を比較する指標として有効である可能性を示した。一方、「新規感染者数/人口(10 万人)^{Rt}」は「高齢化率」との関連を示唆した。



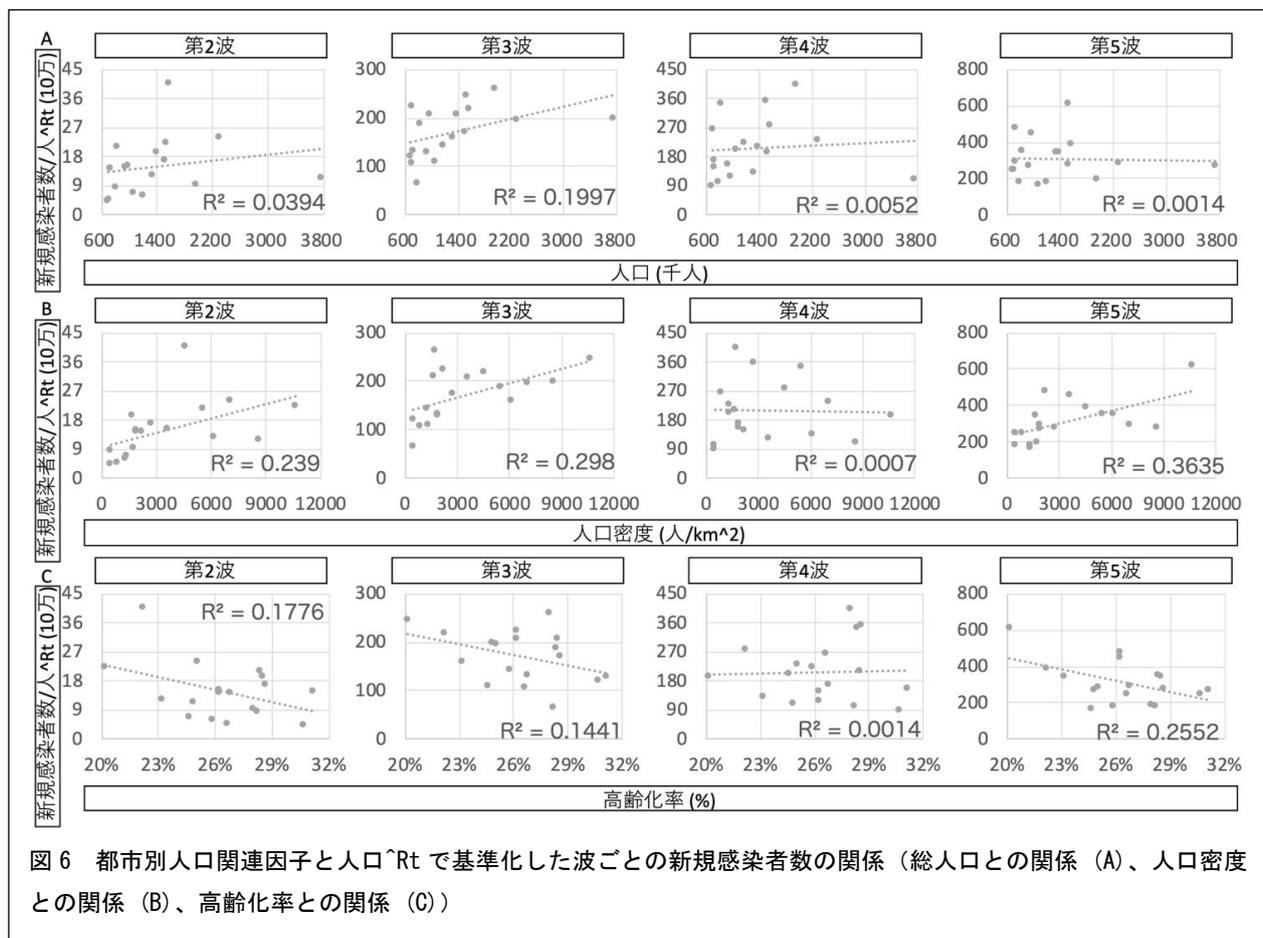
4. 都市別データ

人口構成の異なる集団データとして政令指定都市が公表するデータを用いて結果の妥当性を再検証した。最初に、都市別「総人口」、「人口密度」、「高齢化率」の関連性を検討した (図 5A-C)。都市別「人口密度」は、「総人口」および「高齢化率」とは中程度の相関関係が見られ (それぞれ $R=0.61$, 図 5A; $R=0.68$, 図 5C)、「高齢化率」と「総人口」はその相関度はかなり弱かった ($R=-0.33$, 図 5B)。都市別「人口密度」は人口関連因子であるが、都市別「高齢化率」は人口に強く依存しない因子であり、都道府県別データと都市別データは人口依存性の異なるデータとわかった。都市別人口データを用いて、「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」と「総人口」、「人口密度」、「高齢化率」との関連性を検証した。都市別「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」と「総人口」の関係は、都道府県別データで検証した結果に似た傾向が見られ、第 3 波で中程度の相関関係が観察され、第 2,4,5 波で相関度は低かった (第 2 波, $R=0.20$; 第 3 波, $R=0.45$; 第 4 波, $R=0.072$; 第 5 波, $R=-0.037$; 図 6A)。

「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」と「人口密度」の関係においては、第 3 波に加え第 2,5 波でも $R=0.48 \sim 0.60$ と中程度の相関性が見られた (第 2 波, $R=0.48$; 第 3 波, $R=0.55$; 第 4 波, $R=-0.027$; 第 5 波, $R=0.60$; 図 6B)。「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」と「高齢化率」の関係は、第 2,5 波で $R=-0.51 \sim -0.42$ と中程度の負の相関性が見られ、都道府県別データで検証した結果に似た傾向を示した (第 2 波, $R=-0.42$; 第 3 波, $R=-0.38$; 第 4 波, $R=0.037$; 第 5 波, $R=-0.51$; 図 6C)。

IV. 考察

国内の「新規感染者数」を各地域別に比較することで、国内の感染の拡大状況について有意義な情報を得ることができる。しかし、「新規感染者数」は人口関連因子であることから、単に「新規感染者数」の地域間の比較は「人口」の地域間比較を反映するに過ぎなかった。さらに、人口で基準化した新規感染者数である「新規感染者数/人口(10万人)」も依然として人口関連因子であることが示された。人口規模の異なる地域間で感染動向を比較するためには、人口に依存しない感染状況を評価する指標が必要となる。「新規感染者数」と「人口」の回帰方程式からの逸脱で比較することも考えられるが、どのような関係式で評価するかは検討を要する。「実効再生産数 (R_t)」を用いることで人口に依存しない「新規感染者数」の地域間比較を可能にする新たな指標として「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」が有効である可能性を示した。この指標は数値で感染動向を比較できることが利点であり、数値の高い地域は他の地域と比較して感染が広がる地域であるとわかる。さらに、ある 2 つの因子が人口に相関する場合 2 つの因子同士は一定の相関関係を示すが、新たな指標は感染状況を表しながら人口と関連する要素を排除したため、他の人口関連因子との相関の有無を評価することも可能となった。「新規感染者数/人口(10万人)^{Rt}」と「高齢化率」の関係は、都道府県別データ、都市別データともある程度の負の相関関係が観察された。COVID-19 の感染拡大には、非高齢者層の寄与が大



きいことが示唆されてきたが、本研究で用いた新規感染者数/人口(10万人)¹Rt の指標からもその可能性は支持された。

第 3 波では、「新規感染者数/人口(10万人)¹Rt」と「総人口」との間に高い相関性が見られ、第 2,4,5 波とは異なる状況が想定される。日本国内では第 2 波から 3 波に当たる 2020 年 6 月から翌年 2 月は、夏季休暇や年末年始に合わせて人口の流動が活発化する時期に当たった。加えて 2020 年 7 月 22 日から同年 12 月頃まで政府主導の観光キャンペーン (GOTO キャンペーン) が実施された。国土交通省観光庁「観光白書」によると、宿泊・飲食・観光業の活動指数は、2020 年 4-5 月を底に上昇が始まり 2-4 倍にまで高まった 11 月をピークに再度減少に転じている²²⁾。国外でも感染の波が再度高まり、ヨーロッパなど比較的感染の抑えられていた地域にも広がった¹⁾。国内の人口流動および海外からの流入などの点において第 2~5 波では異なる状況が想定される。流動人口

を加味したモデルの検討が有効かもしれない。

COVID-19 のパンデミックは 2 年以上続くが未だ根絶の兆しはなく、一方でウイルス株の変異やワクチンの開発などによってエンデミック (風土病) となる見方も広がる²³⁾。ウィズコロナ、アフターコロナなど感染対策行動は今後も変化していくと思われるが、アウトブレイク (集団発生) はコロナウイルスに限らず過去繰り返し起こってきた^{3,24)}。COVID-19 への深い洞察は今後起こりうる未知のアウトブレイクへの予備対策にもなると期待される。

参考文献

- 1) WHO 「Coronavirus (COVID-19) Dashboard」 (<https://covid19.who.int/>)
- 2) 国立感染症研究所「注目すべき感染症」 (<https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2487-idsc/idwr-topic/9669-idwrc-2021.html>)

- 3) Wu Z., et al: Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases From the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *Journal of the American Medical Association*, 323(13):1239-1242, 2020 (DOI: 10.1001/jama.2020.2648)
- 4) Global Burden of Disease Long COVID Collaborators: Estimated Global Proportions of Individuals With Persistent Fatigue, Cognitive, and Respiratory Symptom Clusters Following Symptomatic COVID-19 in 2020 and 2021. *Journal of the American Medical Association*, Online ahead of print, 2022 (DOI: 10.1001/jama.2022.18931)
- 5) 厚生労働省 報道発表資料「新型コロナウイルスに関連した肺炎の患者の発生について(1 例目)」 (https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08906.html)
- 6) CDC COVID-19 Response Team: Severe Outcomes Among Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) - United States, February 12-March 16, 2020. *Morbidity and mortality weekly report*, 69(12):343-346, 2020 (DOI: 10.15585/mmwr.mm6912e2)
- 7) Onder G., et al: Case-Fatality Rate and Characteristics of Patients Dying in Relation to COVID-19 in Italy. *Journal of the American Medical Association*, 323(18):1775-1776, 2020 (DOI: 10.1001/jama.2020.4683)
- 8) 調憲, 他: 都道府県ごとの新型コロナウイルス (COVID-19) 累積感染割合と人口密集度の指標との関連に関する研究, *北関東医学*, 70(3):235-242, 2020 (DOI: 10.2974/kmj.70.235)
- 9) 厚生労働省 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の見解 (2020 年 3 月 2 日)」 (https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/newpage_00011.html)
- 10) 総務省統計局「人口推計 (2020 年 4 月 14 日公表)」 (<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2019np/index.html>)
- 11) 総務省「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数」 (https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/daityo/jinkou_jinkoudoutai-setaisuu.html)
- 12) 総務省統計局「第六十五回日本統計年鑑 平成 28 年」 (<https://www.stat.go.jp/data/nenkan/65nenkan/index.html>)
- 13) 国土地理院「全国都道府県市区町村別面積調」 (<https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO-title.htm>)
- 14) 大阪府感染症情報センター「新型コロナウイルス感染症」 (<http://www.iph.pref.osaka.jp/infection/disease/corona.html>)
- 15) NHK 特設サイト「新型コロナウイルス」都道府県別の感染者数 (<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/>)
- 16) 宮原麗子, 他: 新型コロナウイルス感染症の感染性, *Infectious Agents Surveillance Report*, 42:30-32, 2021
- 17) 高勇羅, 他: COVID-19 感染報告者数に基づく簡易実効再生産数推定方法, *Infectious Agents Surveillance Report*, 42:128-129, 2021
- 18) 総務省統計局「jSTATMAP」 (<https://www.e-stat.go.jp/gis/gislp/>)
- 19) Furuse Y., et al: Epidemiology of COVID-19 Outbreak in Japan, from January–March 2020. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 73(5):391-393, 2021 (DOI: 10.7883/yoken.JJID.2020.271)
- 20) Wagatsuma K., et al: Geographic Correlation between the Number of COVID-19 Cases and the Number of Overseas Travelers in Japan, Jan–Feb, 2020. *Japanese Journal of Infectious Diseases*, 74(2):157-160, 2020 (DOI: 10.7883/yoken.JJID.2020.471)
- 21) 日本経済新聞 新型コロナ特集「チャートで見る日本の感染状況 新型コロナウイルス」 (<https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-japan-chart/>)

- 22) 国土交通省観光庁「観光白書」(令和 3 年版)
(<https://www.mlit.go.jp/statistics/file000008.html>)
- 23) Nature EDITORIAL: COVID is here to stay: countries must decide how to adapt. Nature, 601(7892):165, 2022 (DOI: 10.1038/d41586-022-00057-y)
- 24) Wikipedia 「基本再生産数」
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/基本再生産数>)