

# 新型コロナウイルスの空間的相関に関する分析

—— 第1波, 第2波に関する分析 ——

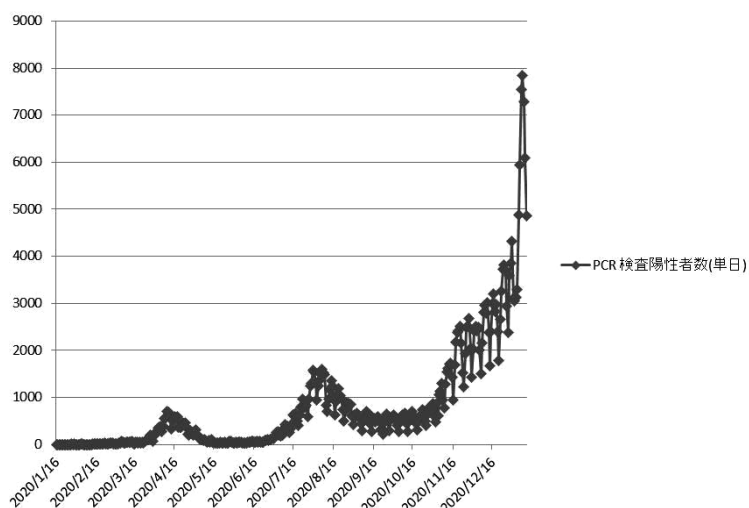
足立 基浩

## はじめに

2020年1月に日本で最初の感染者が現れた新型コロナウイルスであるが、その後増加の一途をたどっている。2021年2月16日時点では、約41万人の感染が観測されている。

新型コロナウイルスの特徴として、感染初期においては倦怠感、微熱や悪寒などを感じるが、その後37度5分以上の発熱がみられる。発熱が確認されて以降は、肺炎を発症し、免疫不全状態に陥る患者もいる。現時点では、約8割の感染者は軽症とされているが、2割については重症化する。重症化すると人工呼吸器などが必要になる。

なお、日本の場合、諸外国でみられるような外出時における罰金措置を伴う都市封鎖ではなく、「ゆるやかな」都市封鎖となった（2021年1月の通常国会では一部罰則を伴う法改正（新型コロナウイルス特別措置法改正）がなされている）。政府は2020年4月7日に1回目の緊急事態宣言を実施し、この措置により、いったんは鎮静化したものの、同年7月と11月にそれぞれ第2波、第3波と呼ばれるような感染拡大が観測された（図1参照）。当初は東京都、愛知



出所) 厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」をもとに著者が作成。

図1 全国の新型コロナウイルスのPCR検査陽性者数(2020年1月16日から12月16日まで)

県、大阪府などの3大都市圏で拡大したが、その後、地方都市部でも感染拡大が観測されるようになった。

このように、新型コロナウイルスの感染は一つの地域にとどまらず、周辺地区や主要交通軸（新幹線沿線等）地区（東京都、名古屋、大阪、広島、福岡など）での伝播・拡大が続いている。

本稿では、まず、新型コロナウイルスの感染拡大の地理的な分布の特徴について本稿執筆時点（2021年2月1日）までの時系列データでその特徴をとらえ、続いて空間計量経済学的手法（モランのIを用いた地域相関）を用いて空間的相関の統計的有意性に関する検定を行う。なお、データについては、厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料（日時データ）」を用いた。

## 先行研究

本稿では、統計学アプローチの一つである「空間統計学」の手法を採用している。特に、地理的な分布での地域相関に関する分析手法を援用しているが、この手法は、1990年代のころに英国の数理計量地理学のBrunsdon et al (1996)<sup>1)</sup>たちが考案したものである。現在では環境学、交通経済学を含め多方面で利用されている。

新型コロナウイルスは、症状が出ている感染判明者を介して拡散されるが、一方で2020年4月以降は無症状者などをはじめ感染経路不明といわれる感染拡大も増えている。特に、大都市東京都では感染経路不明者が多く確認されている。いずれにせよ、感染は人の移動を介してなされるので、移動の多い大都市を中心に隣接地区（府県区域）での感染拡大が懸念される。ところで、空間的な事象（人口や経済など）の隣接性の強さを因果関係のモデルの一つとして用いるのが空間統計学である。今回、緊急事態宣言は大都市東京大阪とその周辺都市で発出されたように、新型コロナウイルスの拡散状況を厳密に調べるには、地域の隣接性にまずは配慮する必要がある。つまり、都市の地理的特徴を考慮して分析を行う必要がある。

空間的な隣接性をみる尺度の一つにモランのI統計量がある。これは空間的な相関の強さについて検討を行うものであるが、この値が大きい場合には、新型コロナウイルスも周辺の都市空間との相関が強い（p値は低い）ということになる。逆に、この値が低い場合（p値は高い）には、都市を超えての感染率が強くはないということになる。本稿後半では、このモランのIを用いた分析を行うが、まずは、都道府県ごとの時系列データの特徴や人口規模との関係を見るために、1次的なデータ（加工前）の分析を行いたい。

---

1) Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., and Charlton, M. E., 'Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity', *Geographical Analysis*, Vol. 28, No.4, October 1996.

## 新型コロナウイルス感染者の地理的な広がり

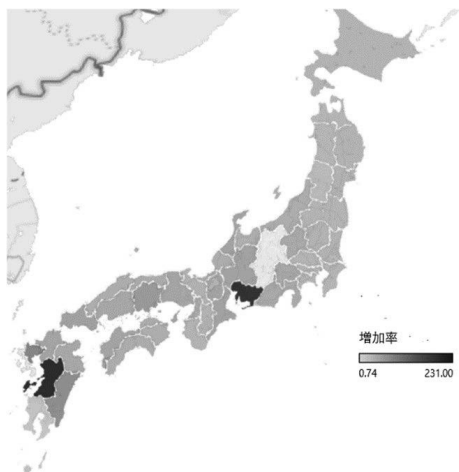
### 7月1日から8月31日にかけての感染者数の増加（図2-1）

感染症は、経験的に人の移動を抑制すると収まる傾向にある。第1波の時は4月7日からの緊急事態宣言で明らかに感染は収束した。

しかし、7月1日から8月31日にかけては感染が再び増加している（図2-1参照、この間の感染者の増加率を都道府県別区画の濃淡で表示）。図1などの新型コロナウイルスの陽性者数の時系列の動きからもわかるように、第1波（2020年3月下旬で発生）が収束すべきレベルを（政策的に何も行わない場合）R1とし、ハンマーアンドダンス<sup>2)</sup>（感染者の拡大をハンマーでたたいたように抑制すること）で十分に下がったレベルをR2とした場合、緊急事態宣言解除後に下がりすぎたR2がR1レベル（この時点ですでに収束傾向にある）にまでリバウンド（再上昇）した可能性がある。注目したいのが、この時期の愛知県と熊本県の感染者数である。この時期、特に熊本県では豪雨が発生（7月4日）したため、人の移動が増加し、またその後、救済活動などのために人の移動が再び増加している点に注意が必要である。なお、毎日新聞の2020年7月21日の記事では、愛知県の感染者の増加について若い世代の増加、東京都の往復者の増加などが原因の一つとして挙げられている<sup>3)</sup>。

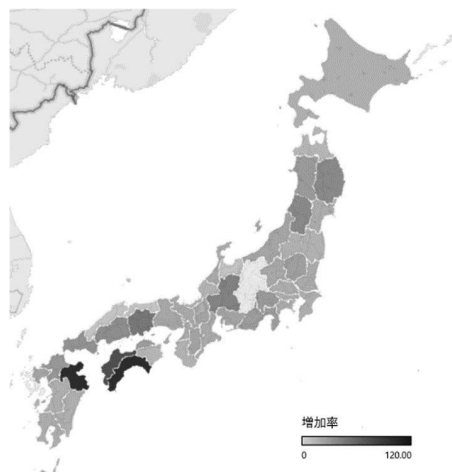
### 7月1日から12月31日までの新型コロナウイルス感染者数の地理的分布の特徴（図2-1、図2-2）

続いて図2-2を参照されたい（感染者の増加率を地図上で表示（濃い方が増加））。大分県、高



出所）厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料（2020年、2021年）」より作成。

図2-1 7月1日から8月31日にかけての感染者数（第2波）



出所）厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料（2020年、2021年）」より作成。

図2-2 10月1日から12月31日までの感染者数（第3波）

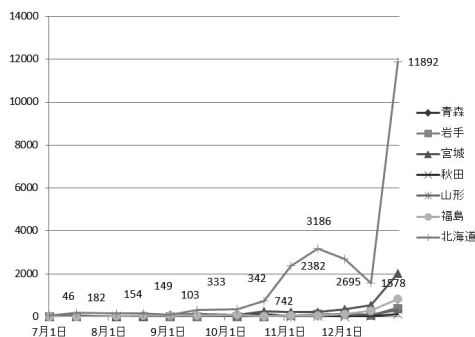
知県、広島県、岐阜県、岩手県の感染者の増大が特に顕著である。広島県、岐阜県、岩手県などの地域は新幹線の通過ライン（軸）と一致しているが、高知県や大分県はこのラインから外れている。つまり、高知県や大分県については他地域からの移動（空路を含む）が感染者の拡大をもたらした可能性がある。

続いて、各地方県別の分布の広がりについて北海道・東北地方、関東地方、中部地方、関西地方、中国地方、四国地方、九州地方に分類し、その特徴を分析したので以下を参照されたい（なお、以下の分析における「感染者数」であるが、新型コロナウイルス感染症の「陽性者数」を感染者数の目安のデータとして用いている）。

## 全国の各地域（都道府県別）における新型コロナウイルス感染者

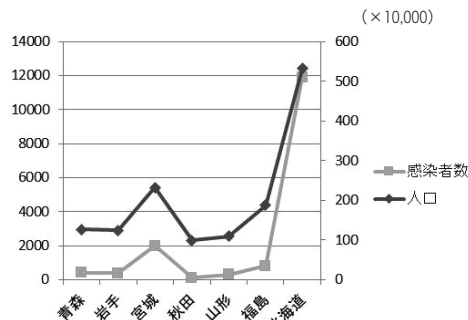
### 北海道・東北地方（青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、北海道）

北海道・東北地方の場合、新型コロナウイルスの感染の拡大について2つの地域に分けて考える必要がある。まず、「宮城県、福島県」と「それ以外の地域」、また、「新幹線の主要停車



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年、2021年)」より作成。

図 3-1 北海道・東北地方 感染者の推移



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年、2021年)」より作成。

図 3-2 北海道・東北地方 感染者と人口  
(左の軸が図 3-1 の各月の感染者数の合計値、右の軸が人口)

- ✓ 2) Tomas Pueyo 氏参照。

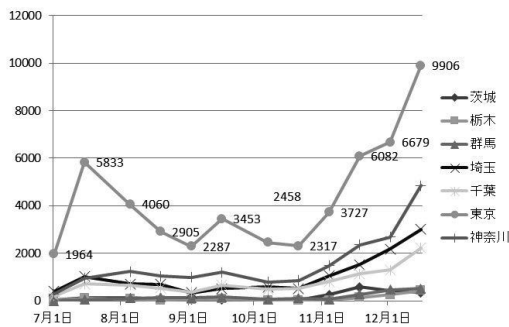
<https://medium.com/@tomaspueyo/coronavirus-the-hammer-and-the-dance-be9337092b56>

- ✓ 3) 愛知県を含む東海地方では緊急事態宣言解除後の5月25日以降、新型コロナウイルスの感染拡大は収束傾向にあったが、7月に入って再び感染が広がった。愛知県の場合、4～5月の緊急事態宣言下では、スポーツジムや介護施設でクラスター（感染者集団）が発生するなど重症化リスクの高い高齢者への感染が広がったのに対し、今回は若い世代の感染が目立っている。県によると、7月1～20日の感染者136人のうち、20代が47.1%、30代が16.2%を占める。また、東京を訪れるなど首都圏由来の感染者は48人で35.3%だった。名古屋市中区のカラオケバーで開かれた会合からクラスターが発生したほか、同市内の別の飲食店でも起きた（毎日新聞2020年7月21日版参照）。

駅」と「それ以外の地域」とである。新幹線は岩手県盛岡市にも停車するが、いわゆるストロー現象（主要駅のみで乗降者が多く中間地点（駅）での立ち寄りには少ない）のためか、影響は小さいものと考えられる。福島県（郡山）と仙台市への停車にともなう移動客の増加が大きな影響を与えている可能性がある。なお、感染者数はほぼ各県の人口規模に連動している。

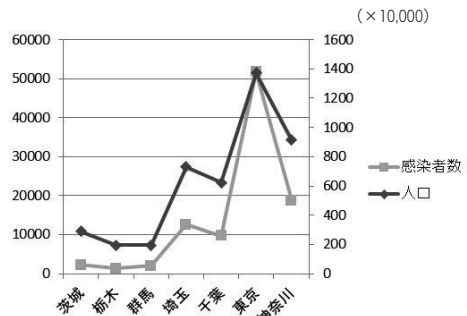
**関東地方（茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県）**

図 3-3、3-4（関東地方）を参照されたい。図より、東京都の感染者数が突出して多いことがわかる。2020 年 7 月中旬よりいったんは減少傾向を示したものの、10 月下旬から 11 月にかけて急増している。また、どの地域も 7 月中旬に感染者数が増加しているが、この時期から夏期休暇などの理由で移動が増加したことと関係しているであろう。感染者数は各都府県の人口規模と比例するような数値を示しているが、東京都は日本の首都であり、やはり移動者数が多く感染者数は他の地域と比較し突出して多い点が示されている。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料 (2020 年, 2021 年)」より作成。

**図 3-3 関東地方 感染者数の推移**

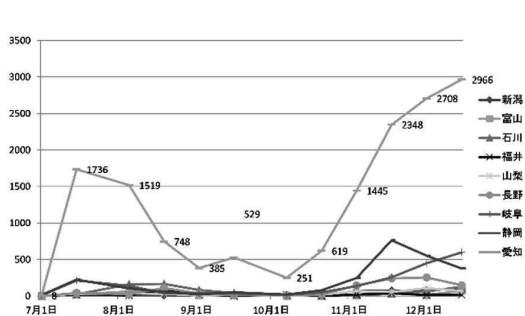


出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料 (2020 年, 2021 年)」より作成。

**図 3-4 関東地方 感染者数と人口**  
(左の軸が図 3-3 の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

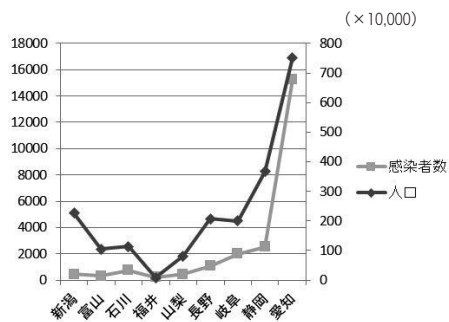
**中部地方（新潟県、富山県、石川県、福井県、山梨県、長野県、岐阜県、静岡県、愛知県）**

中部地方についても、関東圏同様に感染者数は 2020 年 7 月 15 日まで増加しているが、その後は一旦減少している。しかし、10 月中旬を境に再び増加している。中部地方の感染者数の推移も東京都の動きと類似しており、新幹線沿線の主要駅も多く、広域移動客の一部の感染が伝播した可能性がある。石川県は人口規模の面では 9 つの県のうち第 6 位だが、新型コロナウイルス感染者数は第 5 位とやや多い。近年、新幹線が開通 (2015 年) し、観光客などが増えた点なども関係しているであろう。なお、岐阜県は長野県よりも人口は少ないが、感染者は多い。愛知県、名古屋市などと主要交通路がつながっており、感染が空間的に伝播した可能性がある。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-5 中部地方 感染者数の推移

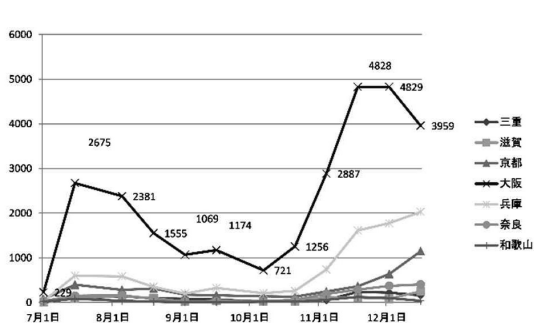


出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-6 中部地方 感染者数と人口  
(左の軸が図 3-5 の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

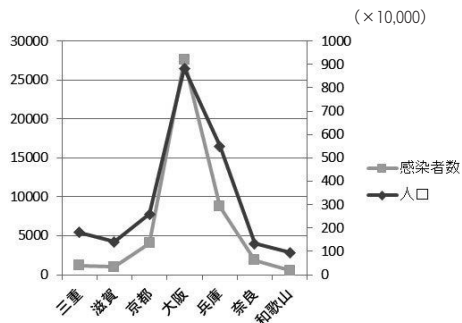
### 関西地方 (三重県, 滋賀県, 京都府, 大阪府, 兵庫県, 奈良県, 和歌山県)

関西地方では, 大阪府が突出して感染者数が多い。人口規模との関係 (図 3-8) において, 大阪府は愛知県, 東京都などと同様大都市部に属しており, こうした要因が影響しているものと思われる。なお, 兵庫県の感染者数の推移は大阪府と類似しており, やはり交通拠点の存在 (新幹線や航空路) による影響が大きいのではないかと思われる。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-7 関西地方 感染者数の推移



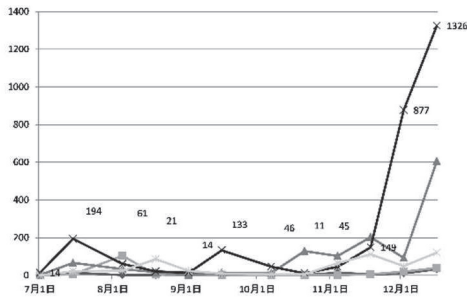
出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-8 関西地方 感染者数と人口  
(左の軸が図 3-7 の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

### 中国地方 (鳥取県, 島根県, 岡山県, 広島県, 山口県)

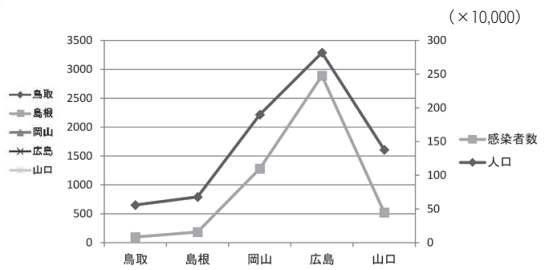
図 3-9, 3-10 が示すように, 中国地方の感染者数は広島県のみが突出しており, 特に 11 月より急増している。東京都や愛知県が 10 月中旬から新型コロナウイルス感染の周辺地域への広が

りが観測されたのに対し、広島県では11月中旬から感染者数が増加しており、少し遅れての感染増加という点に特徴がある。なお、岡山県の感染者数が増加したのは12月に入ってからであり、やはり少し遅れての増加となっている。広島県も岡山県も新幹線の停車駅が存在し、こうした移動者数の潜在的な多さが感染者数の増加に影響した可能性が高い。なお、中国地方のその他の地域は、都市の人口規模で地域（県域内）の感染者数はほぼ説明できる。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-9 中国地方 感染者数の推移

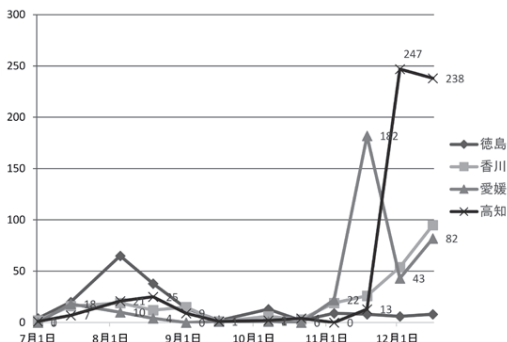


出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-10 中国地方 感染者数と人口  
(左の軸が図 3-9 の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

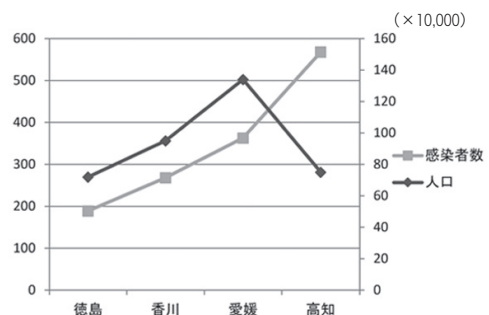
#### 四国地方 (徳島県, 香川県, 愛媛県, 高知県)

四国地方においては、愛媛県と高知県の感染者数が相対的に多い点が挙げられる。逆に徳島県がきわめて少ない (人口規模も小さい)。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-11 四国地方 感染者数の推移



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図 3-12 四国地方 感染者数と人口  
(左の軸が図 3-11 の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

徳島県は、観光客数、人口そのものが低いことで感染者数が説明できる。高知県は人口規模、観光客数、共に愛媛県や香川県よりも低いものの、感染者数が相対的に多い（図3-13参照）。この理由として、空路などを含め、2020年11月上旬ごろにこの地に移動した観光客が一時的に多かった点などが考えられよう<sup>4)</sup>。

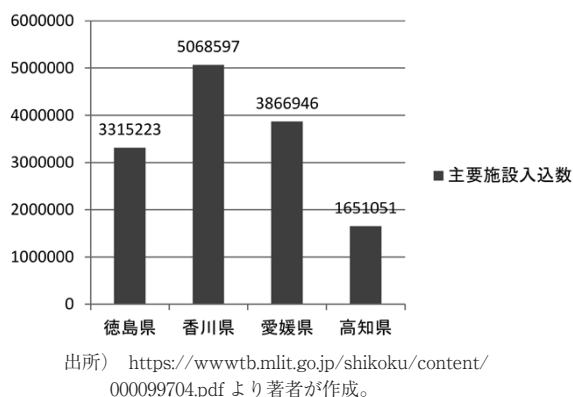
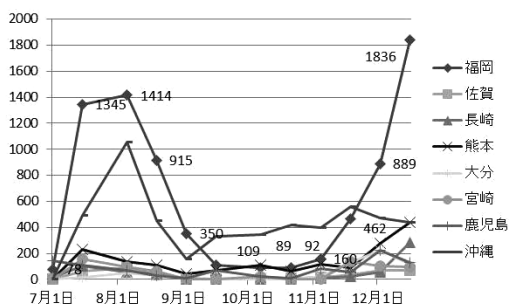


図3-13 県別主要施設入込数(2018年)

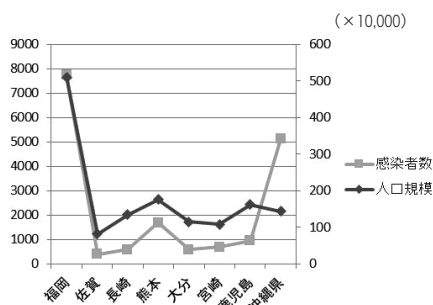
### 九州地方(福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県)

九州地方では、福岡県の感染者の推移が、同じく各地域圏の主要都市である東京都、愛知県などの推移と類似している。なお、12月以降熊本県の感染者数が急増している。福岡県や熊本県に共通しているのは人気観光地としての特徴と新幹線の停車駅の存在、人口規模との相関(熊本県は九州地区第2位の人口規模)などであろう。沖縄県だけが人口規模で説明できる部分以上に感染者が多く、外部からの観光客等(移動者)により感染者が増加したものと考えられる。



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図3-14 九州地方 感染者数の推移



出所) 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」より作成。

図3-15 九州地方 感染者数と人口  
(左の軸が図3-14の各月の感染者数の合計値, 右の軸が人口)

4) 高知県内の56宿泊施設が加盟する高知県旅館ホテル生活衛生同業組合(高知市)によると、11月の56施設の宿泊者は前年同月比5.6%減の13万2000人。政府の観光需要喚起策「GoToトラベル」の効果で、10月の同12.7%減から減少幅が縮小したが、新型コロナウイルスの感染再拡大を受け、12月は予約のキャンセルが相次いでいる(日本経済新聞社2020年12月21日参照)。



## 都道府県別感染者数の推移のまとめ

以下、これまでの分析をまとめたい。地方ごとの感染者の分布、推移状況から以下の点が指摘できよう。

第1に、各地域の大都市地区（関東地方ならば東京都、中部地方では愛知県、関西地方ならば大阪府）では感染規模が特に大きい。特に、人口との関係で感染規模が大きいのが、北海道、東京都、愛知県、大阪府、福岡県などであった。これらの地域の共通点は、人口が多だけでなく、新幹線の停車駅や空港が存在する、という点である。また、各地域の核となる地域でそれぞれ大規模な繁華街で知られた地域が多い点も共通項といえよう（北海道はススキノ、東京は新宿歌舞伎町、愛知県は名古屋の栄地区、大阪は北新地、難波地区、福岡は中洲などである）。

第2に、人口規模や上記の地域の大都市地区ではないにもかかわらず、感染者が拡大している地域が存在するという点である。それらは、熊本県、高知県、沖縄県などである。2020年7月から実施されたGoToトラベルキャンペーンや9月からスタートしたGoTo Eat キャンペーンなどの影響も考えられよう。GoToトラベルキャンペーンの効果について西浦博<sup>5)</sup>は、「観光旅行による感染者の発生は、7月21日のキャンペーン開始時期と比較し、時期によっては3倍程度増加している」と指摘し、上記の地域の感染拡大は地域の移動によってもたらされたとしている。

ただし、GoToトラベルキャンペーンの影響については地域差が大きいのも事実であろう。一般には、感染者数の増減に与える要因として、大都市部とその周辺地区の地理的關係（周辺地区への伝播）が重要な要素と考えられる。以下、こうした地域間の「伝播」について検証するため空間的な相関に関する測定が可能なモランのI統計量を用いて分析を行う。

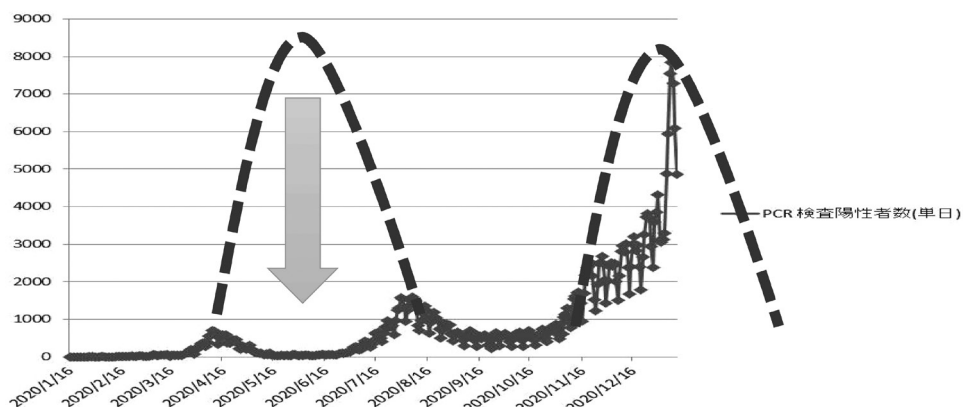
### 第1波と第2波の波形の特徴

ところで、ここで感染者数と日数経過の関係を「波形」としてとらえた場合の特徴について述べたい。

第1波は3月に感染者数は急激に増えたために、政府は4月7日から緊急事態宣言を発出した。その結果、感染は一定程度収束した（図4参照）。図4では緊急事態宣言の効果が下方の矢印で示されている。しかし、いわゆるこの緊急事態宣言は、本来の感染拡大を抑制する効果を有したものの、感染トレンドを大きく下方シフトさせるには至らなかった可能性がある（7月からの感染者数は増加）。なお、ここでいうトレンドとは、日数経過と感染者数の関係性が波

---

5) GoToトラベルキャンペーンの分析についてはAsami Anzai and Hiroshi Nishiura, "Go To Travel" Campaign and Travel-Associated Coronavirus Disease 2019 Cases: A Descriptive Analysis, July–August 2020, Journal of Clinical Medicine, Volume 10 Issue 3, 398, 2021.



出所) 厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料(2020年, 2021年)」をもとに著者が作成。

図4 2020年3月31日から12月16日までのコロナ感染者数の推移と  
トレンド曲線(点線で表示) 縦軸が感染者数

形(正規分布のような形)で示されていることを仮定している。

つまり、先述のように7月に感染者数が再増加したことから、この従来の波形(緊急事態宣言を発出しなかった場合)が9月下旬ごろまで続いた可能性は高い。

また、第2回目の感染者数の再増加は11月下旬ごろから始まっているが、第1波の波形と同じものであると仮定した場合は、2021年5月末まで続く可能性がある(1月下旬付近がピークとなる)。

つまり、いわゆる第1波では、空間的な相関が存在する場合には上記モランのIが大きくなる(p値は低くなる。なお、有意水準は0.05とする)。

#### 地域的な相関について モランのIを用いた分析

続いて、新規感染者の伝播の特徴について、空間的隣接性の尺度の観点から見てみよう。上記のような波形を有する場合、同じように、大都市から周辺地区への感染の伝播も発生しているものと考えられる。

空間的な隣接性に関する研究は1950年代からの蓄積がある。時系列データにおいて、系列相関の存在がすでに示されているが、空間上では地理的な相関(特に周辺空間)が存在するものと考えられる。この分野において、トブラー(1970年)<sup>6)</sup>は、地理学の第一法則とも呼ばれる「データ間の地理的な近接性」を紹介している。

6) Tobler W., 'A computer movie simulating urban growth in the Detroit region', *Economic Geography*, PROCEEDINGS International Geographical Union Commission on Quantitative Methods, Vol.46, pp 234-240, 1970.

こうした、周辺への相関をみる尺度の一つにモランの I 統計量がある。これは空間的な隣接性の強さについてみたものであるが、この値が大きい場合には、新型コロナウイルスも都市空間との相関が強いということになる。逆に、この値が低い場合には、都市を超えての感染率が高くはないということになる。

### モランの統計量

データの空間的な相関の存在については、以下のモランの統計量で検定が可能である。

$$I = \frac{1}{W} \frac{\sum_j \sum_j (w_{ij})(y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sigma^2}$$

$$W_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}}{\theta^2}\right)$$

$y$  = 感染者数

$d$  = 距離

$\theta$  = バンドの域

$i$  = 位置情報（緯度）

$j$  = 位置情報（経度）

$\sigma$  =  $y$  の標準偏差

大井（2016年）<sup>7)</sup> は、日本の各都道府県（分析可能な26道府県を抽出）で公表されている地域観光入込客を対象に Global Moran（地域全域）について I 統計量を使用して分析を行い、観光動態の空間分布の形状を明らかにしている。

なお、Moran の I 統計量は、大きく Global Moran と Local Moran の2つに分類される。Global Moran は対象地域全体の空間的相関を測定する一方、Local Moran は一定地区の相関をみるものである。

Global Moran の数値が1に近ければ近いほど、正の空間的自己相関の存在を意味し、0に近ければ無相関を意味する。大井（2016年）は、Local Moran を計測し、福島県（0.444）、北海道（0.346）、滋賀県（0.282）が高い数値であることを示した。一方で秋田県までの上位8県は並び替え検定（9999回）の仮説検定において5%有意水準で帰無仮説（無相関）が棄却され、空間パターンの存在が認識されることになった、と分析している。

7) 大井 達雄「Moran の I 統計量を使用した地域観光入込客の空間パターン分析」, 研究所報 = Bulletin of Japan Statistics Research Institute (法政大学日本統計研究所) (47), pp 245-263, 2016年。

本稿では以下、全国規模の Global Moran (モラン) の I を用いて、都道府県の新型コロナウイルスの感染者数の伝播 (空間的相関) について検証を行う (2020年3月31日から12月16日まで)。

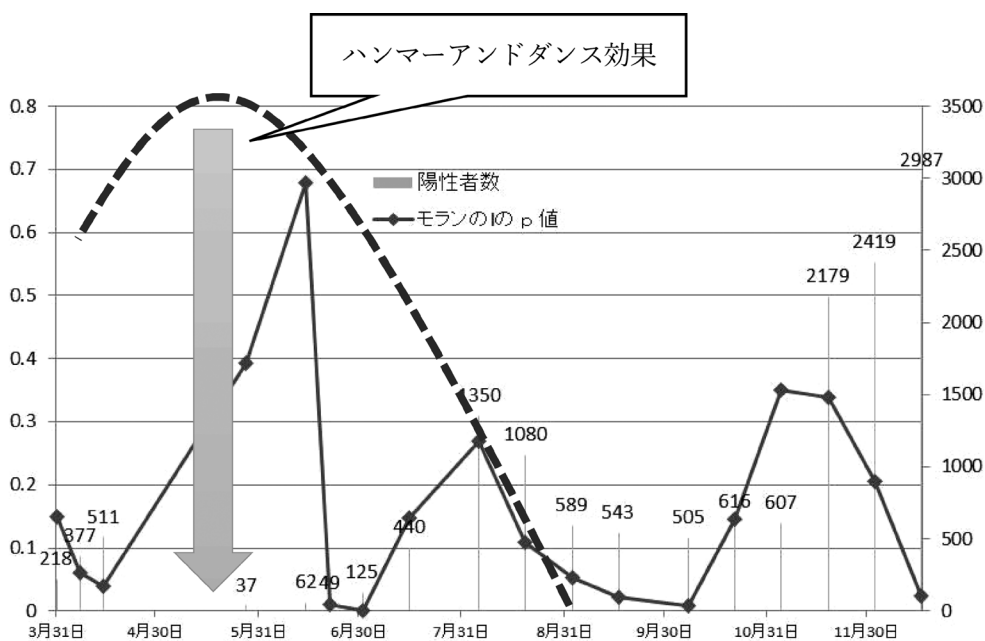
なお、感染者の日々データは、厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料 (発生状況、国内の患者発生、海外の状況、その他)」を利用した<sup>8)</sup>。

## 結果分析

分析結果を見てみよう。

第1に、2020年3月31日の時点では、新型コロナウイルス感染が各地域に広がっていたが、緊急事態宣言後の4月中旬の時点では収まっていることがわかる。

第2に、その後、6月20日までは、空間的相関は観測されなかったが、6月21日には相関がみられた。新型コロナウイルスに罹患してから症状が現れるまでを2週間とすると、6月7日から感染が再度広がってきているということになる。5月27日には緊急事態宣言は解除され



出所) 著者作成。

図5 2020年3月31日から12月16日までのコロナ感染者数 (右縦軸) の他地域への相関 ( Moran I 統計量の p 値 (左縦軸)) 波形の点線は緊急事態宣言を発出しなかった場合の感染者数トレンド (あてはめトレンド曲線)

8) [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431\\_00086.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00086.html) 参照。

たので、解除したその10日後（直後）には拡散が始まっている点（モランのIのp値の低下、図5参照）に注意が必要である。

その後、7月下旬から9月30日にかけては感染者数が減少しているが、これは、自然減であった可能性がある。

つまり、新型コロナウイルス感染の第1波は、6月時点でいったん収束したように見えたものの、実際には収まっておらず「緊急事態宣言」による自粛が一定期間、第1波を「ハンマーでたたく（ハンマーアンドダンス効果）」かのように一時的に抑えていた可能性がある。

つまり、大都市から周辺都市への感染の伝播をもとにしたこの分析からも、感染が徐々に収束しつつある9月末時点が「真」の第1波の収束時期だった可能性を有する。なお、1918年のスペイン風邪の場合、5ヶ月程度の期間を経て第2波、さらに3ヶ月ほどして第3波が到来している。

続いて、10月上旬からの第2波と呼ばれる現象についてみてみよう。第1に、8月31日から9月30日までにはモランのIのp値が急低下しており、感染者数の地域への伝播が広がっている。しかし、9月30日から10月31日にかけてモランのp値は上昇し、山がみられ、つまり、この時期は空間的相関関係がみられない。しかし、12月に入るとモランのIのp値は急激に低下しており、感染者数も急拡大している。このように、8月の伝播、10月の伝播の鎮静化、そして12月の再伝播となっているが、8月の伝播については、おそらく第1波でハンマーでたたいた部分が、たたき切れておらずまだ残っていた可能性が高い。仮にこの仮説が正しければ、真の第1波の収束は8月下旬である。第2波は12月からスタートしたことになる。

### モランのIのp値と感染者数の反比例関係

なお、上記の分析から明らかなように、モランのIのp値と感染者数の増加は本来反比例するはずである。この点を図5において確認したところ、第1波（2020年6月23日まで）の「Global Moran」の統計数値が確かに反比例の関係が見られた。

また、第2波についても、11月30日以降は上記反比例の関係がみられる。しかし、6月30日から8月31日にかけては、モランのI統計量のp値と感染者数は、むしろ比例関係にあった。

この点については、感染の伝播が地域内で閾値に達したこと（慢性化）なども一因に挙げられよう。

## おわりに

本稿で、新型コロナウイルスの地域的な伝播について分析を行った。

結論は以下に要約される。

第1に、各地域の大都市地区（関東地方ならば東京都、関西地方ならば大阪府）では感染が

拡大しており、特に、北海道、東京都、愛知県、大阪府、福岡県などでの感染拡大が目立った。これらの地域の共通点は、人口が多いだけでなく、新幹線が通る「交通の要所」である点も関係しているものと考えられる。

第2に地域ごとに大規模な繁華街を有する地域で感染者数が増えている点が指摘できよう（北海道はススキノ、東京は新宿歌舞伎町、愛知県は名古屋の栄地区、大阪は北新地、難波地区、福岡は中洲などである）。また、高知県、沖縄県については、空路などを經由して感染が拡大した可能性がある。

第3に、新型コロナウイルスの地域的な伝播を見るためのモランのI統計量を使った分析であるが、モランのIのp値と周辺地域への感染者数の増加は本来反比例するはずである。この点で、第1波（2020年6月23日まで）の「グローバルモラン」の統計数値は確かに反比例の関係が見られた（図5参照）。

また、第2波についても、11月30日以降は上記の反比例の関係がみられた。しかし、6月30日から8月31日にかけては、モランのI統計量のp値と感染者数は比例関係にあった。

この点については、感染が周辺都市（大都市からの感染者が伝播した都市）において慢性化し空間的な伝播の影響力が低下したことなども一因に挙げられよう。

なお、今回の研究は、過去のインフルエンザなどのケースを参考に感染者数がある期間は増えるが、その後自然減するという仮定（波形）を置いた（図4、図5のトレンド曲線）。仮に新型コロナウイルスの感染も同様の傾向を見せるのであれば、この波形についてモデル化する必要がある。今後は、この波形を詳細に分析するとともに地域ごとのLocal Moran（モラン）のIを計測することでより一層、地域ごとの感染の拡大の特徴を明らかにしたい。

## 参考文献

- 小林慶一郎・森川正之編『コロナ危機の経済学——提言と分析——』日本経済新聞出版、2020年。
- 小林重敬・森記念財団編『エアリアマネジメント 効果と財源』学芸出版社、2020年。
- 木下斉『稼ぐまちが地方を変える——誰も言わなかった10の鉄則——』NHK出版新書、2015年。
- 客野尚志「空間的自己回帰性に考慮した回帰モデルによる都市圏の都市化現象のモデリング 成熟社会における土地利用変化モデルの考察」『日本建築学会計画系論文集』78巻689、2013年。
- 清成忠男『地域創生への挑戦』有斐閣、2010年。
- 根田克彦『まちづくりのための中心市街地活性化——イギリスと日本の実証研究——』古今書院、2016年。
- 坂田一郎・梶川裕矢・武田善行・柴田尚樹・橋本正洋・松島克守「地域クラスター・ネットワークの構造分析——‘Small-world’ Networks 化した関西医療及び九州半導体産業ネットワーク——」RIETI Discussion Paper Series, 06-J-055, 2006年。
- 坂田一郎・梶川裕矢・武田善行・橋本正洋・柴田尚樹・松島克守「地域クラスターのネットワーク形成のダイナミクス——12地域・分野のネットワーク・アーキテクチャの比較分析」RIETI Discussion Paper Series, 07-J-023, 2007年。
- 若林直樹『日本企業のネットワークと信頼——企業間関係の新しい経済社会学的分析——』有斐閣、2006年。

## Analysis of spatial correlations of COVID-19 during the 1st and 2nd waves

Motohiro ADACHI

### Abstract

In this paper, we apply spatial statistical methods such as Moran's I to examine the geographical pattern of the spread of COVID-19 from metropolitan to rural areas. We first characterize the geographical distribution and spread of COVID-19 in time series data from January 28 to February 1, 2021, and then test the statistical significance of the spatial correlation patterns (regional correlation using Moran's I). In light of the  $p$ -value of Moran's I, our results suggest the number of infected people was inversely proportional to the power of regional transmission of COVID-19 until June 23, which is in line with theoretical expectations. However, from June 30 to August 31, the  $p$ -value of Moran's I statistic and the number of infected people became proportional. There is a possibility that the spread had become chronic in the surrounding cities and that therefore the spatial correlation was weakened to statistical insignificance.