

人々の移動と新型コロナウイルス感染者の 都市的連鎖に関する一考察

A Study of the Movement of People and the Urban Chain of People
Infected with Covid-19

足立 基浩
Motohiro ADACHI

はじめに

2019年12月に中国の武漢で発生したといわれる新型コロナウイルスであるが、当初は人から人への感染がしないとされていたものの、その後、急速に人から人へと感染することが分かってきた。

2020年4月上旬時点では約8000人の感染者数が記録されていたが、2021年3月31日時点には約47万人にまで感染者が増加した。1年ほどで感染者数は約60倍増加したことになる。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思われるが、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。

2021年2月17日以降、医療関係者をはじめとしてワクチン接種（日本ではファイザー社製品）が始まったが、供給量が不足しており年内での国民への全配布は難しい状況である¹⁾。よって、年内は医療機関の新型コロナウイルス感染者対応の病床数の範囲内で、新型コロナ対策を政策的な手法（緊急事態宣言や、ソーシャルディスタンスの確保、マスクや手洗いなど）で対応する必要がある。

一方、2021年4月以降はGo Toキャンペーンの再開をはじめ、東京オリンピック・パラリンピック開催（8月、9月）も開催され人の移動が増えた。

本論文では、第1回目の緊急事態宣言が発出された2020年4月7日の前後²⁾の新型コロナウイルスの感染者数の地理的な広がり方の特徴について分析を行いたい。特に、厚生労働省が日々発信している都道府県別の「感染者数（PCR検査陽性者数）」について、その地域の「居

1) 新型コロナワクチンは2021年3月31日時点で接種を受けた人数は87万7159人で、2回目の接種が完了したのは12万5580人に達している。

<https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-japan-vaccine-status/> 参照。

2) 埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府、兵庫県、及び福岡県の7都府県が対象。当初予定は5月6日までであったが、その後最大5月31日まで延長された。

住人口データ」と「外国人観光客の訪問確率（2019年データ使用）データ」を説明変数として用いて分析を行うものとする（地理的加重回帰分析）。

新型コロナウイルスの都道府県での拡散状況に関する地理的分析

新型コロナウイルスは、無症状感染者がいるのが特徴であり、また感染経路不明といわれる「クラスターでは説明できない感染」も増えている。さらに2021年1月以降は変異株といわれるウイルスの変異種が増えており、2021年3月23日時点で神戸市などでは50%を超える感染者がこの新型株に罹患したとの分析もある³⁾。新型株にはイギリス型、ブラジル型、南アフリカ型などがあるが、日本で多く発見されているイギリス型は感染力が強く、また重症化リスクも高いという。

2021年3月時点でワクチンが国内に十分にいきわたっておらず、このような状況下では従来型の都市型的手法（移動制限や外出自粛）が求められよう。しかしながら、緊急事態宣言が解除（2021年3月）されたこともあり、都市から都市への移動は避けられず、感染者数と「移動」との因果関係の分析が急務となっている。

このような地理的な特徴・隣接性の強さをコロナ感染者の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。今回の分析では、地理的な相関関係などを分析する空間計量経済学的手法を援用することとする。この手法はイギリスの数計量地理学のBrunsdon et al (1996)⁴⁾たちによって考案、発展したが、社会経済学分野の多方面で利用されている（交通経済学等）。

今回、緊急事態宣言は大都市東京や大阪等とその周辺都市で発令されたように、新型コロナウイルスの拡散状況を都市の地理的特徴と絡めて分析をする必要がある。

一般に感染はランダムで拡散すると仮定した場合、感染の伝播において「地理的近接性」は重要な要素となろう。特に各地域の訪問確率と感染者数、また感染後においては地域内での人口数が影響するものと考えられる。

この場合、観光客数は各地域への「訪問率データ」、また各地域の「人口」については、感染者数に影響を与えるものと考えられる。

Go To キャンペーンについて

ここで、国内移動を促進するGo To キャンペーンについてみてみよう。Go To キャンペーンは観光業界の救済策ともいえるが、一方で移動を伴うためにその運用については慎重さが求められる。

2020年4月7日に発出された第1回目の緊急事態宣言はその後、新型コロナウイルスの感

3) NHK News Web <https://www3.nhk.or.jp/kansai-news/20210319/2000042706.html>

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

染者を激減させたものの、経済自粛や移動制限のためにインバウンド客（訪日外国人観光客）に支えられてきた宿泊・運輸（交通）・土産などの観光関連産業（就労人口400万人以上）は大きな打撃を受けることとなった。このために、新型コロナウイルスの感染者数の一定数の減少を条件に、観光産業の再生のために1兆6794億円が旅行・飲食・イベントなどの需要喚起事業としてのGo Toキャンペーンが実施されることとなった。

なお、Go Toキャンペーンは、国内旅行の費用を補助する国土交通省（観光庁）が所管する「Go To トラベル（観光）」と飲食需要を喚起する農林水産省の「Go To イート」（飲食キャンペーン）、また、イベントなどに対する補助を目的とした経済産業省所管の「Go To イベント」、さらに地域の商店街振興の「Go To 商店街」などがある。

Go To トラベル事業（宿泊代の割引）は、2020年7月22日から開始され、旅先での飲食や買い物に使えるクーポン券の発行については同年10月から開始されることとなった。また、Go To Eat キャンペーンは、ポイントの還元やプレミアム付き食事券の発行など飲食店等の再生を目的とし2020年9月下旬から開始された。

経済効果

国土交通省は、7月22日から10月31日までに、Go To トラベル事業のもとで宿泊・旅行代金が割引された総額は、少なくとも約1,886億円、10月1日から11月9日までの地域共通クーポンの付与額は少なくとも約201億円としている。

Go To トラベル事業の経済効果などについては、既にいくつかの分析がなされている。

木内（2020）⁵⁾は、宿泊・旅行代金の35%に相当する割引額から、その間のGo To トラベルを利用した全体の旅行支出額は5,389億円だったとし、これをGo To トラベル事業によって追加的に生まれた国内旅行需要額としている。なお、Go To トラベル事業では、東京都が除外されているが、東京が盛り込まれた場合には、推定で6,150億円、月間平均で1,809億円、年換算で2兆1,708億円の経済効果が発生すると試算している。

2020年10月以降は、しかし、感染は再び増大し旅行の新規予約を一時停止した感染地域が増えるようになった。

Go To トラベル事業自体は感染拡大には影響していないという見方とAnzai and Nishiura（2020）などの分析にあるように感染を拡大させた、との見方がある⁶⁾。人の移動、交流の増加が感染リスクを拡大させるとの見方に立てば、結果として感染者は増加するという見方は確かに成り立つであろう。

5) 木内登英 エグゼクティブ・エコノミスト（参照）

<https://www.nri.com/jp/knowledge/blog/1st/2020/fis/kiuchi/1124>

6) Anzai, A. and Nishiura, H., "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.

ところで、地域間の潜在的な移動量については外国人の訪問確率というデータがある。Go To トラベル事業は基本的には国内客を対象としたものであるが、外国人の人気のあるスポットは日本人からも需要が高い傾向がある⁷⁾。2020年3月までは外国人客が日本に一定期間訪問していた点を鑑み、「国内移動」に関する指標として外国人観光客の訪問確率（都道府県別）を用いて、以下分析を行いたい。

モデル 地理的加重回帰分析

従来の回帰分析における研究では、地域ごとの回帰モデルの係数が一定であるとの仮定に立っている。この仮定を緩めたのが、地理的加重回帰分析である。都市部の地価を被説明変数とした場合、説明変数としてその土地の利便性（土地への公共交通機関等の近接性）が大きな役割を果たしているかもしれない。しかし、都市部では車の移動が中心であり、こうした説明変数の影響力は弱いことが予想される。一般的な回帰分析では、この説明変数は都市部や地方部に関係なく一律に計算されるため、パラメーターにバイアスがかかる。

新型コロナウイルス感染者について統計モデルを作る場合にも同様のバイアスが予想される。ある地域では地域人口要因（説明変数）が強く、別の地域では人口要因ではなく地域間移動などの要因が強い、などがこのケースに当たる。その他、地域ごとに医療機関の有無や住民の生活様式などにも感染者数は影響される可能性がある。実際、今回の新型コロナウイルスも、例えば2020年4月13日時点で岩手県のみ感染者がゼロであった。

本研究においては、コロナウイルスの「周辺の地理的状況」について明示的に取り上げた地理的加重回帰分析の手法を用いて分析を行うこととした。

通常の最小二乗法を用いた回帰分析（通称 OLS, Ordinary Least Square）では、地域情報をダミー変数としてこれを行うことが多い。ただし、ダミー変数が多くなると自由度に対して負の影響を与えるなどの課題も生じる。

以下に述べる地理的加重回帰分析（Geographically Weighted Regression, 以下 GWR）では、各地区周辺のデータに重みをつけることで、地域固有のパラメーターが推定できる⁸⁾。つまり、地点ごとに個別のパラメーターが存在し、そのこと自体が有益な情報を提供するものと思われる。

GWR においては、ある地区に対するパラメーターは以下の式で表現される。

$$\min \sum_j^n \left[y_i - \hat{y}_i (\beta_0(u_i, v_j) \cdot \beta_1(u_i, v_j)) \right]^2 h_{ij}$$

7) 都道府県別の国内客を被説明変数に取り、外国人観光客の訪問確率（都道府県）を説明変数に取り単回帰分析を行ったところ、決定係数は0.662であった。国内データについては観光庁・宿泊旅行統計調査(2018年)を用いた。

8) 大西暁生・奥岡桂次郎・石峰・森杉雅史「地理的加重回帰法を用いた緑地の熱環境緩和効果の季節・空間特性の把握」日本都市計画学会 都市計画報告集, No.9, 2010年11月, pp. 93-97

u = 観測地点 i の座標（経度方向）

v = 観測地点 j の座標（緯度方向）

ここで h_{ij} は各地域のパラメーターを推定する際にかけて重みとする。つまり、地域ごとの特徴（重み）が存在するために、その地区分の回帰分析を行うことで、パラメーター推定を行うというものである。

ところで、この「重み」についてであるが、ここで、以下のガウス型のカーネル関数を想定する。

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

ここで、重み w_{ij} は各地点間の距離 d とバンド幅 θ を用いて決定される。つまり、このガウス型のカーネル関数を用いることで、分析地点の重みが 1 であり、バンド幅 θ の地点での変曲点を有することを仮定している⁹⁾。

データ

本分析においては、被説明変数を新型コロナウイルス陽性者数のデータとした。利用するデータは、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3月31日、4月7日、4月14日、4月21日）」を用いた。緊急事態宣言の発出が4月7日だったので、潜伏期間といわれる2週間後のデータである4月21日のデータが緊急事態宣言発出後の効果を見ることができよう。

説明変数としては都道府県の人口データ（住民基本台帳，総務省，2019年）と、外国人観光客の訪問確率データ（観光庁，2019年¹⁰⁾）を用いた。コロナ禍においては、外国人訪問客は99%減少（2020年10月）したが、外国人の訪問確率データを用いることで、都道府県の潜在的な移動需要の代替指標と考えることとする。

それぞれのデータにおいて、位置情報を取得し、データマッチングを行った¹¹⁾。これを下記地理的加重回帰分析にて利用した。地理的加重回帰分析におけるパラメータ推定についてはRを用いて分析を行った。

分析結果

以下、地理的加重回帰分析の結果について見てみよう（各結果は表 1-1 から表 1-4 を参照）。

-
- 9) 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号，p.1695-1704，2013年
- 10) 2019年都道府県別訪問率ランキング（観光庁「訪日外国人消費動向調査」）
<https://statistics.jnto.go.jp/graph/#graph-inbound-prefecture-ranking>
- 11) インフォーマティクス社のGISソフトであるSISと無料ソフトのQGISの2種類のGISソフトを利用した。

表1-1 地理的加重回帰分析 3月31日のデータを用いた分析

	切片		人口		訪問確率	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値
最小値	-26.380	-4.262*	0.019	8.096*	2.643	4.177*
第1四分位	-26.340	-4.256*	0.019	8.109*	2.701	4.268*
メジアン	-26.300	-4.249*	0.019	8.118*	2.705	4.274*
中央値	-26.280	-4.244*	0.019	8.131*	2.702	4.269*
第3四分位	-26.250	-4.239*	0.019	8.132*	2.708	4.278*
最大値	-26.010	-4.180*	0.020	8.313*	2.712	4.279*

グローバル決定係数 = 0.884 * = 有意水準 1% で統計的に有意

表1-2 地理的加重回帰分析 4月7日のデータを用いた分析

	切片		人口		訪問確率	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値
最小値	-58.670	-4.089*	0.040	7.299*	6.490	4.424*
第1四分位	-58.510	-4.077*	0.040	7.356*	6.503	4.433*
メジアン	-58.370	-4.065*	0.040	7.360*	6.516	4.439*
中央値	-58.280	-4.058*	0.040	7.356*	6.524	4.444*
第3四分位	-58.220	-4.054*	0.040	7.362*	6.531	4.449*
最大値	-56.950	-3.947*	0.040	7.355*	6.645	4.520*

グローバル決定係数 = 0.884 * = 有意水準 1% で統計的に有意

表1-3 地理的加重回帰分析 4月14日のデータを用いた分析

	切片		人口		訪問確率	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値
最小値	-116.300	-3.984*	0.077	6.949*	11.770	3.944*
第1四分位	-115.900	-3.971*	0.079	7.078*	11.810	3.958*
メジアン	-115.600	-3.959*	0.079	7.091*	11.850	3.970*
中央値	-115.400	-3.952*	0.079	7.083*	11.870	3.977*
第3四分位	-115.300	-3.947*	0.079	7.097*	11.890	3.983*
最大値	-112.500	-3.833*	0.079	7.098*	12.260	4.102*

グローバル決定係数 = 0.847 * = 有意水準 1% で統計的に有意

表1-4 地理的加重回帰分析 4月21日のデータを用いた分析

	切片		人口		訪問確率	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値
最小値	-171.700	-3.934*	0.114	6.843	17.570	3.937*
第1四分位	-171.100	-3.920*	0.116	6.941	17.620	3.948*
メジアン	-170.600	-3.907*	0.116	6.948	17.660	3.956*
中央値	-170.300	-3.900*	0.116	6.942	17.690	3.963*
第3四分位	-170.100	-3.894*	0.116	6.950*	17.710	3.967*
最大値	-165.700	-3.776*	0.116	6.950*	18.110	4.051*

グローバル決定係数 = 0.843 * = 有意水準 1% で統計的に有意

地理的加重回帰分析では、都道府県ごとの説明変数のそれぞれの係数の計測が可能となる。2つの説明変数（都道府県の人口と訪問確率）係数の変化（Mean）の値について見てみよう。

表 1-1, 表 1-2, 表 1-3, 表 1-4 より, 人口, 訪問確率共に統計的に有意 (t 値) であり, 日数の経過とともに係数の絶対値が大きくなっていることがわかる。

この点を改めて確認するために, 都道府県ごとに説明変数の係数の変化について見てみよう。以下, 人口規模, 訪問確率のそれぞれの係数の Mean (中間値) の変化 (3月31日, 4月7日, 4月14日, 4月21日) が図 1-1 に示されている。

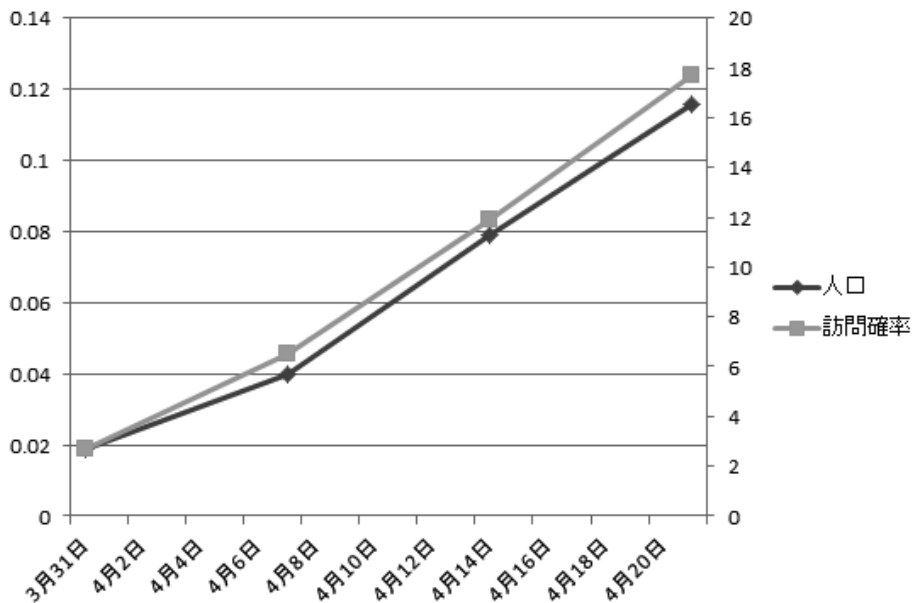


図 1-1 「人口」と「訪問確率」の係数の推移 (3月31日, 4月7日, 4月14日, 4月21日)

図 1-1 より, 「人口」「訪問確率」共に日数の経過とともに係数の平均値が徐々に上昇していることがわかる。

また, 表 1-1 から表 1-4 より, グローバル決定係数も 0.8 (グローバル値) 以上を示し, モデルそのもののあてはまり度は良好であることがわかる。係数や係数の統計的有意性の観点 (t 値) から都道府県の人口規模が少なく, 観光客数も少ない地域ほどコロナウイルスの感染確率も低い点が見られる。

各種係数の地理的な特徴

続いて人口と訪問確率のそれぞれの地域別の係数の特徴について見てみよう。緊急事態宣言前 (3月31日) と宣言後 (4月21日) とに分けて分析を行った。以下, 図 2-1 から図 2-4 までの図は都道府県別の「訪問確率」と「人口」データの係数が示されている。

訪問確率の係数について

3月31日（緊急事態宣言前）と4月21日（緊急事態宣言発出後2週間経過時点）を比較した場合、3月31日時点では北海道地区などの観光客の訪問確率の係数が低い値であったが、4月21日時点ではこの値が上昇している（図1-1 からみても日が続ごとに係数はいずれも上昇している）。つまり、同様な傾向は北部地域（東北地方）などにもみられる。

一方で、関東以西の地域では、上記と逆の傾向を示している。例えば、関西地区の3月31日時点の係数と比較し、4月21日時点（緊急事態宣言後）では下落している。同様に、中国地方、九州地方も同じような傾向がみられる。

「観光客の訪問確率」という要因は「外部からの人口流入」の潜在性を示す指標と考えられる。

新型コロナウイルスの感染が収まりつつある4月中旬では北海道地区の影響力が高くなり、逆に本州西部地区では相対的に弱まっている。これは、東海道新幹線を利用する大規模な移動が減少するなど「ビジネスマンの移動」が制限されたことに起因するのかもしれない。逆に（相対的に）東北地方や北海道地方

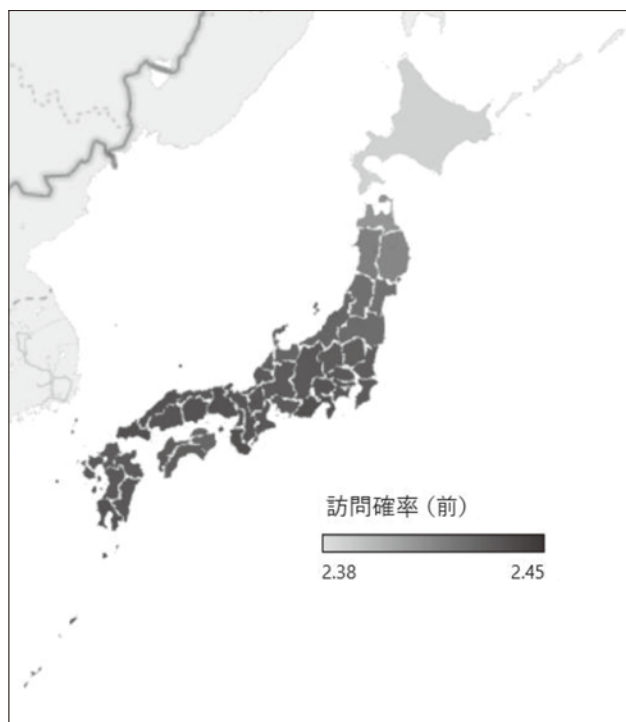


図2-1 観光客の訪問確率データの係数
緊急事態宣言前（3月31日）

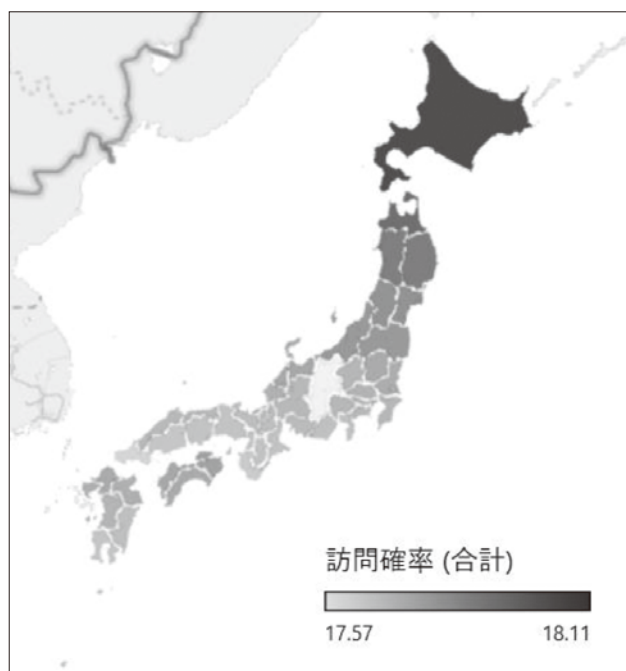


図2-2 観光客の訪問確率データの係数
緊急事態宣言後（4月21日）

は徐々に域内観光移動が大きくなった結果、こうした要因が新型コロナウイルスの陽性者数増加に影響を与えた可能性がある。

都道府県の「人口」の係数との関係

続いて、都道府県の「人口（説明変数）」の係数についてみてみよう。緊急事態宣言発出前については、北方地区と比較し、関東地方、関西地方など南部の相対的に低い値となっている。一つの可能性として、緊急事態宣言発出前は関東地方、関西地方などは「人口要因」よりも、先述の「移動要因（訪問確率）」の方が相対的に影響している点が挙げられる。

宣言後（図2-4）においては、北海道地区をはじめ、北方方面が薄い（都道府県別に見た時に相対的に低い値）。緊急事態宣言後、移動制限の発生により新型コロナウイルスの感染が減少しつつあるときは、北方地区と比較し、関東地方、関西地方など南部が相対的に高い値となっている。本州の東側（北方地区を含む）と西側（南部地区）とを比較したときにやはり西側（南部地区）の人口の方がそもそも多く、人口密度も高い。こうしたことが係数の地域差を生んだものと思われる。

つまり、緊急事態宣言前には、「移動」を中心とする要素（観光客の訪問確率など）が新型コロナの陽性者数の増加に対して大きな要因を占めたが、宣言後は「地域人口（もしくは小規模な地域内移動）」が相対的に大きな要因を示している可能性がある。このように、地理的な特徴が明確に示されている点が上記分析でわかった。



図2-3 都道府県の人口データの「係数」
緊急事態宣言前

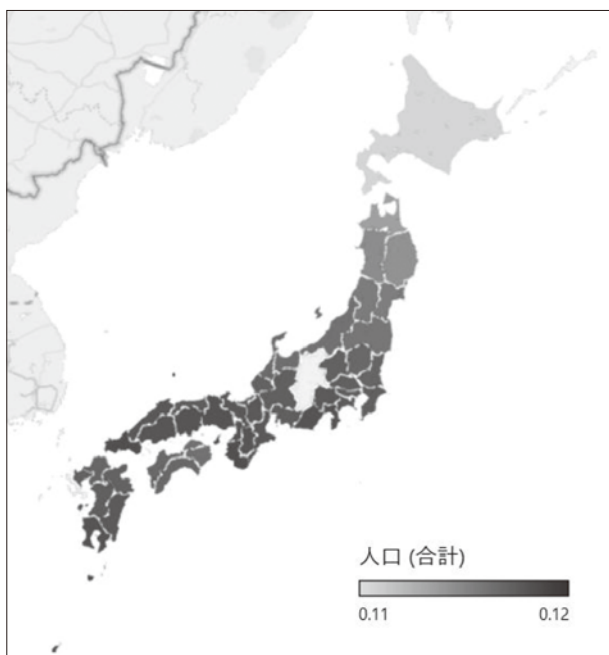


図2-4 都道府県の人口データの「係数」
緊急事態宣言後

まとめ

本稿では、地理的加重回帰分析の手法を用いて、新型コロナウイルスの陽性者数に影響を与える要因について分析を行った。本稿で取り上げた要因は、47都道府県の人口と外国人観光客の訪問確率であった。コロナ禍以降は外国人観光客の訪問はほぼ皆無となっているが、地域への訪問確率を示す一つの指標としてこのデータを分析に用いた。結論は以下に要約される。

第1に、地理的加重回帰分析の結果、上記2変数（都道府県の人口規模、地域への訪問確率）により新型コロナウイルスの感染者数がある程度説明できることが分かった。両変数共に統計的に有意であり、決定係数も0.8を超えている。

第2に、2変数「人口規模」、「地域への訪問確率」の係数の地理的な分布については、緊急事態宣言前と以降では大きな差が存在することが分かった。人口規模については、宣言前は関東地方より以北（東側）の地区の係数は、宣言後と比較して高い値を示していた。地域への訪問確率については、宣言前は関東地方より以北（東側）の地区の係数は、宣言後と比較して低いことが明らかとなった。つまり、「人口」と「訪問確率」については新型コロナウイルスの陽性率に与える影響が地域によって異なることが明らかとなった。

第3に、こうした差異が生まれた要因として、関東地方を境に、日本の地域、都市構造が異なる点が挙げられよう。緊急事態で移動制限がかかる中、それぞれの係数が都道府県別に異なる方向に影響している点は注目し値する。その理由の一つとして、関東以西においては、東海道新幹線などをはじめ、ビジネスでの国土交通軸が確立されており、「国内移動の依存性が高い」点、一方で、関東以北（東北地方、北海道地方）では、新幹線整備などはあるものの、人口規模も小さく、かつ観光要因での利用が相対的大きかった点（国内移動そのものの依存性は高くはない）と関係しているものと思われる。

つまり、緊急事態宣言発出前においては、関東以北地区で人口の多い北海道札幌市や宮城県仙台市、訪問確率については高い南部地域（京都や大阪など）に感染拡大に関する注意が必要であり、緊急事態宣言後においては、関東以南（西部）地区で人口の多い大阪府大阪市や愛知県名古屋市、訪問確率においては関東以北部（北海道地区）に注意が必要であることが、本分析より明らかになった。

参考文献

1. 饗庭伸『都市をたたむ』花伝社、2015年
2. 足立基浩『シャッター通り再生計画』ミネルヴァ書房、2010年
3. 岩田信一郎・隈田和人・藤澤美恵子「地理的市場占有率と不動産価格—東京都心10区からの証拠—」季刊住宅土地経済、No.114（2019年秋季号）、2019年
4. 植杉大「小地域別地価水準のローカル回帰モデル推定～埼玉県さいたま市を例として」摂南経済研究、第2巻第1・2号、2012年

5. 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
6. 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, Vol. 78 No. 689, 2013年
7. 清成忠男『地域創生への挑戦』有斐閣, 2010年
8. 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
9. 小林重敬・森記念財団編『エリアマネジメント—効果と財源』学芸出版社, 2020年
10. 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
11. 古谷知之「ベイズ地理的加重回帰モデルの地価モデル推定への適用」都市計画論文集, No.39-3, 2004年
12. 細野助博『中心市街地活性化の成功方程式—新しい公共の視点で考える“まちづくり”』時事通信社, 2007年
13. 毛利一貴・中川大・大庭哲治「大都市近郊における開発地の立地要因に関する分析」第38回土木計画学会発表論文, 2008年
14. Brunson, S, Fotheringham, S, and Charlton, Geographically, 'Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity', Geographical Analysis, Vol. 28, No. 4 (October 1996)