

大項目	1-1	地図から学ぶ現代世界の地域構成, world-region			
中項目	1-2	地図と地理情報システム digital-map-gis			
小項目	1-2-3	社会と GIS (日常生活における GIS の有用性) gis-society			
細項目 (発問)	1-2-3-4	新型コロナウイルス感染症の流行状況を可視化する GIS の有用性			
作成者名	中谷友樹・永田彰平	作成・修正年	2021/2022/2023/2024	Ver.	1.3
キーワード 5~10 個程度	疾病地図 (流行地図)、空間的伝播、時空間地図、COVID-19、空間疫学				

発問の意図と説明

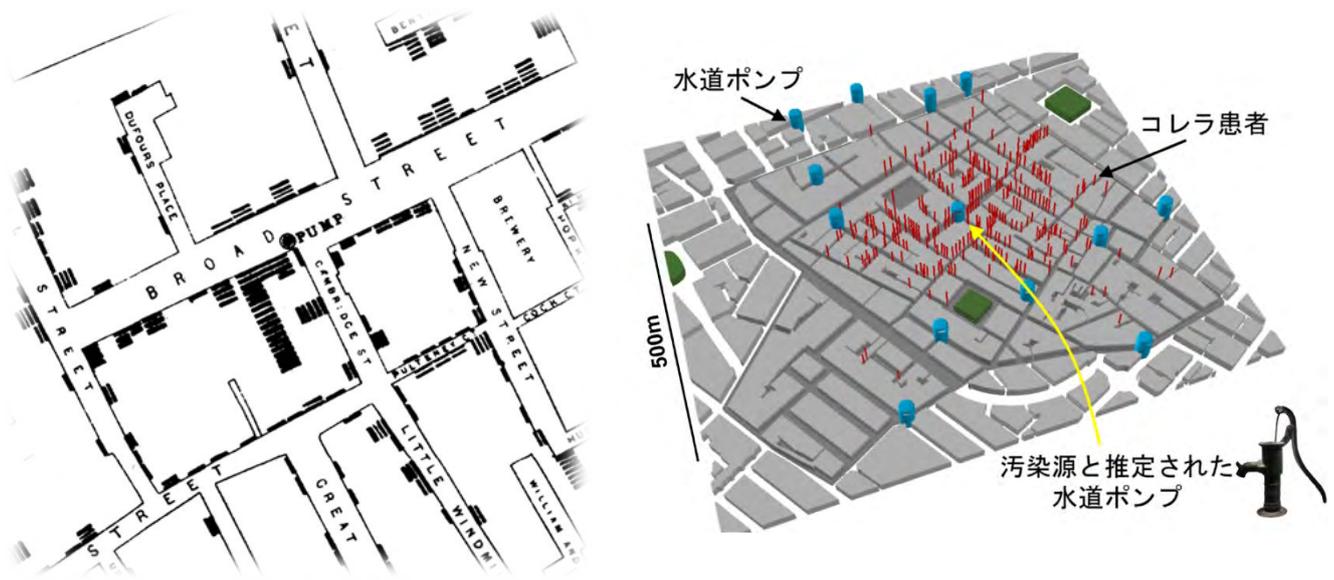
p. 1

1) なぜ感染症対策に地理情報が必要なのか

感染症の流行状況を、地図を用いて可視化する有効性を語る上で、必ず引き合いに出される事例に、医師ジョン・スノウが作成したコレラマップがあります。19 世紀の中頃に英国ロンドンを襲ったコレラ・パンデミックは、多くの人的被害をもたらしました。当時、コレラ感染について、下水等から発生する「悪い空気」に起因するというミアスマ (瘴気) 説が優勢的であったのに対し、スノウは見えない病原体に汚染された水を介しての感染説を唱えました。これを支持する情報として、スノウは、ロンドンの管轄する水道会社が異なる地域間で、感染者の割合に大きな差が見られることに加え、ソーホーと呼ばれる地区でのコレラ患者分布の詳細を地図化し、1つの水道ポンプの周りに患者が集中していたことを提示します (第 1 図)。当時、ロンドンで暮らす多くの人々は、こうした公共の水道ポンプで水を汲み、家庭で使っていました。スノウは、この水道ポンプがコレラを引き起こす病原体に汚染されたことが流行の原因と考え、水道ポンプの使用を停止する措置を取ります。後に、コッホによりコレラ菌が特定され、これを伴った水や食物の摂取が、コレラの主たる感染経路であることが明らかにされたことで、スノウの推論や対処が適切であったことが証明されます。この事例は地図を利用したデータ分析 (空間分析) の有用性を示す古典であるとともに、疾病の集団的な挙動から流行の原因を突き止め対処することを目指す疫学の古典でもあります。疫学の中でも GIS による高度な地理的可視化や統計分析を主たる解析手段とする領域を今日では空間疫学と呼び、それは GIS を用いた新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 対策にも引き継がれてきました。

COVID-19 流行の可視化を具体的にみる前に、GIS を用いた疾病地図が果たす主な機能を整理しておきます。

- (1) 分布特性の解析： 患者の分布 (あるいは地域人口に対する患者割合の分布) の特性が、流行の仕組みや対処に向けて重要な情報をもたらす可能性があります。例えば、特定の範囲に患者が集中している状況 (空間クラスター) は、感染リスクの高い地区を特定したり、行動制限の実施範囲の検討、必要な医療資源の集中的な配分計画など、重点的に対処すべき地区を明らかにします。
- (2) 地理的要因との関連性： 患者の分布 (あるいは地域人口に対する患者割合の分布) と他の地理情報を重ね合わせることで、流行を規定する地理的な要因が明らかになる可能性があります。高い解像度での解析では、汚染された水道ポンプのような直接的な流行要因を特定し、具体的な介入に結びつけられるかもしれません。また、より広域的には、それぞれの地域の居住者特性と患者分布を比較することで、特定の疾病や健康上の問題に対してリスクの高い集団を明らかにし、社会的な支援などの対策を考えることに貢献する場合があります。
- (3) 効果的な情報伝達： GIS による流行状況の地図化は、流行対策措置の説明や、日常的な生活空間での予防的な行動実施 (例えば外出の自粛) の判断を支援することが期待されます。スノウのコレラマップは、ポンプの水を介したコレラの感染を説得的に提示しました。COVID-19 の世界的な流行に際しては、その早い段階から GIS を利用した情報の蓄積と可視化が進められ、インターネット上に公開されてきました。インターネットを介した地図による非専門家に向けた情報配信の仕組みは、世界スケールのもの (図 2 参考 URL1) から、都市内部の流行状況の違いを詳細に示すものまで、様々なものが公開されています。



(a) ジョン・スノウのコレラマップ原図中心部付近拡大 (Snow, 1855) (b) GISによる図解 (中谷・永田, 2021)

図1 ジョン・スノウのコレラマップ

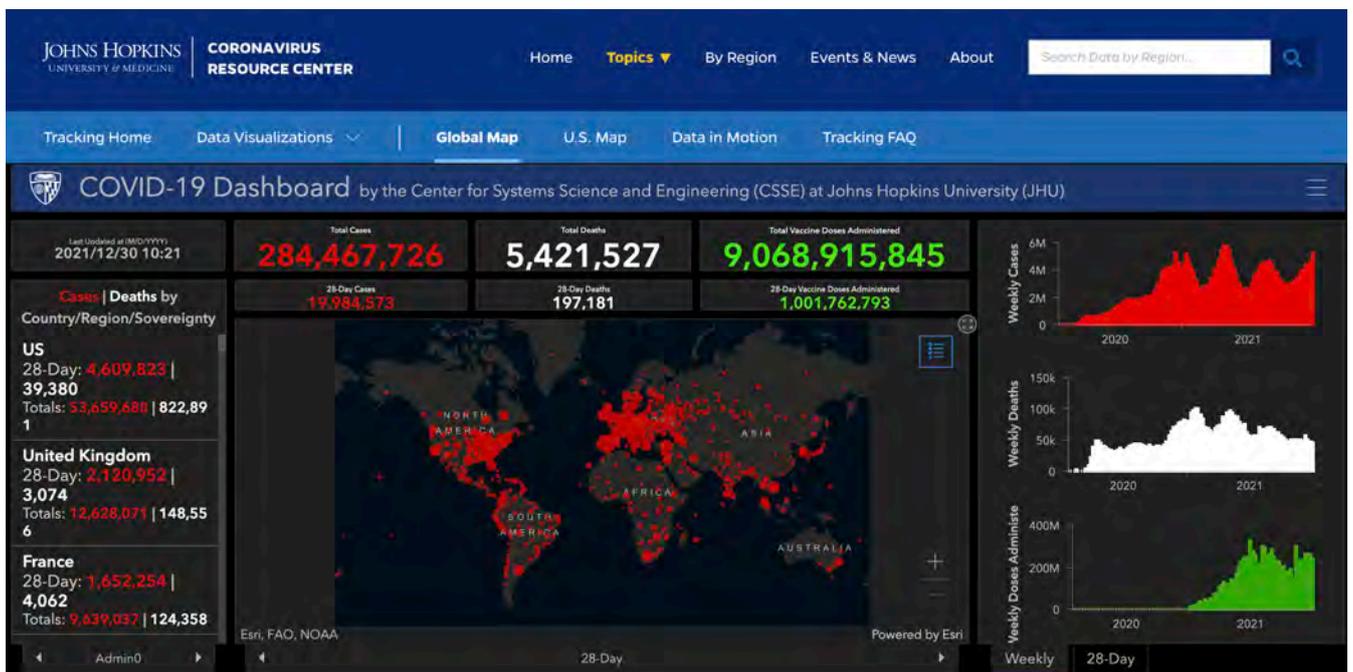


図2 ジョーンズ・ホプキンス大学による COVID-19 流行ダッシュボード
<https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (閲覧 2021年12月30日)

2) COVID-19 流行推移の可視化から何が分かるのか

まず COVID-19 流行の分布特性について考えてみます。COVID-19 は 2019 年末に中国の武漢で流行が確認された後、急速に世界中へと伝播しました。日本でも 2020 年 1 月に最初の患者が確認された後、各地での感染者の集団発生（クラスター）が見られるようになりました。ただし、当初は患者の地理的な集中が明確ではなく、GIS を用いた情報の整理が効果的とは思われない段階もありました。例えば、2020 年 2 月中旬頃から全国に先んじて北海道の患者数の増加が目立ち、札幌市の雪まつりや北見市のイベントでのクラスターが報じられたものの、感染者の発生は北海道の全域にわたって散発的にみられました。しかし、流行が進むにつれて大都市を中心とした流行拡大が明確になります。図 3 は、ジャグジャパン株式会社が配信していた新型コロナウイルス感染者数マップ（参照 url2）を用いて、第 1 波が収束した時期に対応する 2020 年 6 月 22 日の患者分布を密度マップで示したものです。白く表示されている高密度な患者発生箇所は、北海道では札幌の位置に、他にも首都圏など大都市に主に見られたことが分かります。なお、日本では患者発生の情報が各自治体の個別の判断で配信されたため、患者に関する地理的参照の単位が異なる問題がありました。これに対処するために、図 3 の地図ではカーネル密度推定を利用して、曖昧に高密度な範囲を表示しています。それは GIS ではよく知られた点分布を密度変換する手法で、点の存在を地理的に一度曖昧な存在に変換した後に集計し直すことで、滑らかな点密度の分布を得ます。カーネル密度推定についてより詳しくは、中谷(2020)などを参照してください。

しかし、日本国内における COVID-19 感染者の発生に関する公的な情報は、都道府県単位で集計されることが多く、大都市圏内部の詳細な状況を理解することは困難でした。こうした公的な患者発生情報とは別に、商業施設や飲食店、病院、オフィス、学校など各種の施設が、その施設での感染発生をインターネット上で独自に発信することがあります。こうした、自発的な取り組みがより集まってインターネット上に形成される地理情報はボランティア地理情報 volunteered geographic information (VGI) と呼ばれます。施設の具体的な地理的位置が明らかであるため、公的な情報よりも高い解像度で流行推移を把握することが可能となりました。

図 4(a) は、この施設での感染発生情報に基づいて流行の時空間的な推移を、時空間に拡張したカーネル密度推定により 3D マップとして表現したものです（水平方向を地理的次元、垂直方向を時間次元として表現）。この時空間マップは、インタラクティブな Web GIS アプリケーションとして公開されています（参考 URL3）。積乱雲のようにみえる領域は、およそ周囲 4 km の範囲（日常生活圏と想定）での感染施設の密度が一定程度高い領域で、その時空間密度に応じて 3 段階で着色されています。最も薄い灰色の領域は、4 日に 1 施設程度の低密度の発生領域で、青色と赤色の領域はそれぞれ毎日 1 件以上、5 件以上の施設で患者が発生している状況に対応しています。この着色された領域が縦方向に長くつながる地域は、その地域の中で感染が続いていることを示唆します。全国的に見ると、大都市において感染が継続的に発生しており、中でも東京を中心とする首都圏では途切れることなく流行が推移してきたことが分かります。様々な人の移動の結節点である大都市は、海外からの流行の侵入箇所となりやすい性格を有するとともに、感染を長期にわたって持続させ、各地に流行を伝播させる基点となっていると理解できます。それ以外の地域では、一時的に感染施設数が増加しても、長期的に感染は継続せず局地的な流行は途絶えています。大都市と地方の間での人の移動が、地方での流行の契機になると考えれば、大都市における流行対策は、より広域的な範囲での流行抑制にも重要であると考えられます。

図 4(b) は、東京大都市圏内部での感染発生施設の時間密度を拡大して示したものです。大都市圏の中でも感染発生が長期間にわたり持続するのは、大規模な繁華街（「夜の街」）が集中する都心部に限られ、ここが大都市圏の流行の核、スノウのコレラマップの水道ポンプのような存在であることが示唆されます。図 4(c) は第 5 波に相当する 2021 年 8 月後半における東京都心部の感染発生施設分布を、2 次元の密度分布図でより詳細にみたものですが、大規模な繁華街を有する地区と感染発生施設の集中する地区が重なることがより明瞭です。繁華街のように、高い匿名性が確保された空間の中で多くの人々が行き交う環境は、感染リスクの高い行動の抑制や感染の原因となる接触の追跡を困難にし、この地区での持続的な流行に寄与していると考えられます。また、都心部での持続的な流行と都心から郊外への感染の波及で表される一連の流行拡大パターンは、第 1 波（2020 年春）から第 5 波（2021 年夏）に至るまで、同様に繰り返されており、感染拡大初期における都心部での対策がより広域的な地域への流行拡大の抑制に重要であることが示唆されます。

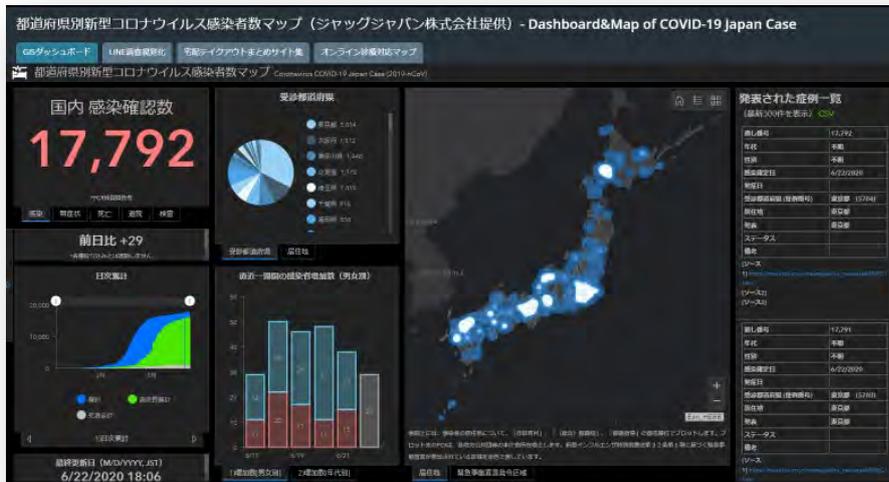
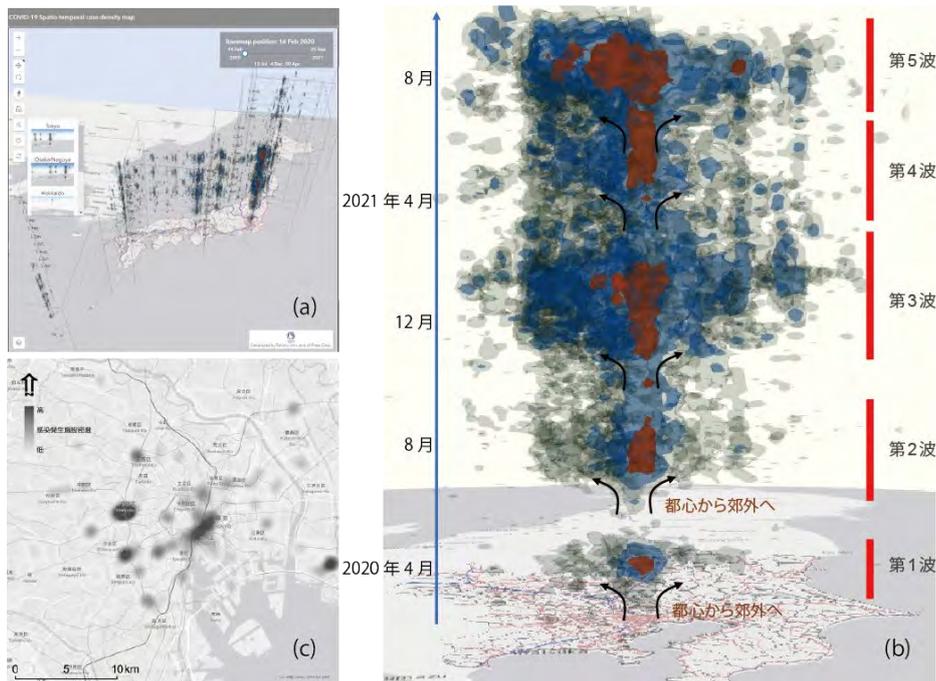


図3 ジャックジャパン株式会社による日本 COVID-19 ダッシュボード

<https://gis.jag-japan.com/covid19jp/> (閲覧 2020年6月22日)

注意:このサイトのデータは、2020年11月30日まで更新されていますが、その後は、更新されていません、ただし、ダッシュボードはそのまま、公開されています。



第4図 COVID-19 感染発生施設の時空間密度分布図 出典 (中谷・永田 2021)

(a) 全国の時空間密度分布図 (アクセス日: 2021年9月25日)

<https://nakaya-geolab.com/covid19-stkd/japan/> (東北大学とJX通信社の共同研究による)

(b) 時空間密度分布図の東京大都市圏の拡大図

(c) 東京都心付近の2次元密度分布図 (2021年8月18日~8月31日)

3) COVID-19 流行は誰に厳しかったのか

次に GIS による可視化を通じた COVID-19 流行と地理的要因との関連性を考えてみます。スノウのコレラマップのように、複数の地理情報（例 患者の分布と水道ポンプ）の重ね合わせにより現象の背後にある地理的要因を推測することは、GIS におけるデータ可視化の様々な場面で多用されてきました。COVID-19 においても、流行に対する脆弱性、つまり「どのような地区で暮らす人々が感染して健康被害を受けやすいのか」を検討する上で、地理情報の重ねあわせが有用です。ただし、これまで見てきた患者分布や密度マップは、「どこで感染が生じているのか／続いているのか」を理解するには役立ちますが、流行に対する脆弱性については、感染者数や死亡者数の居住人口の比率に基づいたリスク分布を考える必要があります。日本以上に COVID-19 による感染者数、死亡数が多く、深刻な健康被害を経験した欧米社会では、そうした COVID-19 に関するリスク分布の詳細な地域差を示す地図が GIS で作成され公開されてきました。

図 5(a)・(b)は、COVID-19 流行初期の段階である 2020 年春（3月1日から4月17日）の COVID-19 関連死亡について、大ロンドン庁がインターネット上に公開したインタラクティブ地図を加工して示したものです。

（参考 URL4）地図には円シンボルと地区の塗り分けの2種類の情報が同時に示されています。ここで円シンボルの大きさは居住地に基づいた COVID-19 に関連する死亡者の対人口比（死亡率）に応じており、シンボルが大きいほど死亡率が高いことを示しています。一方で、各地区の塗り分け（コロプレス表現）は、各地区の居住者の特徴として選んだ地域指標値の違いを示します。このインタラクティブな地図では様々な指標が選択可能ですが、図 5(a)は民族的マイノリティ集団（BAME：Black, Asian and minority ethnic）の割合を、図 5(b)では成人の肥満率の高さを表示しています。

これらの図は、COVID-19 流行に脆弱で関連した死亡率の高い地区が、ロンドンの郊外に多く分布したことを示しています。そうした郊外地区は民族的マイノリティ集団の集住地区と重なっており、これらの地区で暮らす人々の就業機会が対人接触を避けがたい職種に偏っていることや、比較的多くの人数が集まって暮らすといった住宅事情による感染リスクの高さを反映していると考えられます。一方で、COVID-19 の重症化リスク因子である肥満や糖尿病などの慢性疾患の有病率もこれらの地区で高い傾向にあります。地理学的にみると、郊外の貧困地区における居住者の肥満率の高さは、こうした健康の社会格差の一端が環境要因であることも示しています。欧米社会では低密度で住宅のみが広がる画一的な郊外住宅地が広がることで、歩いて生活できない（自動車に頼る）住宅地が「肥満の流行」をもたらしたと言われ、COVID-19 の流行はそうした健康の居住地間格差を反映したものと考えられます。

図 6 は、2021 年 6 月末における米国シカゴでの COVID-19 死亡率とワクチンの接種率の分布を、社会的脆弱性指数（低所得者やエスニックマイノリティの構成比等の指標を合成し、社会的に弱い立場にいる人々の多さを推定した指数）の分布と比較したものです。（参考 URL 5）ロンドンの事例のように、社会的立場の弱い人々が多く居住する地区（社会的に脆弱な地区）に高い死亡率がみられます。また、そうした地区のワクチンの接種率が明瞭に低いことから、医療アクセスについての顕著な社会的格差の存在にも気付かされます。

COVID-19 による健康被害の居住地間格差をめぐっては、重症化に寄与する大気汚染も、社会的に弱い立場の人々が多く暮らす地域で深刻化しやすいといった環境の不正の問題として指摘されています。また外出規制がかかる状況下では、精神的健康や身体活動の低下による感染以外の健康被害も発生しうのですが、居住地の近くに緑地や公園があれば、人との接触を最小限に留めながら外出や身体活動を維持できるとも考えられています。しかし、そうした好ましい環境資源の利用可能性についても社会格差が存在し、貧困地区における環境面での境遇が、COVID-19 流行下での健康被害を多面的に深刻化させる一因であることが懸念されています。

つまり、欧米の大都市でみられた COVID-19 流行による健康被害の地理的格差は、居住地の地理的環境とも関連した従来からの健康の社会格差を反映して、社会的に弱い立場の人々に COVID-19 による被害が偏って現れやすいこと、さらには社会経済的な被害も通して、その健康格差を含む社会格差全般を増幅させた状況を明らかにしています。今後のパンデミックによる被害抑制に向けては、居住地の環境とその公正にも配慮した健康な都市のデザインを長期的な視点で考える必要があります。

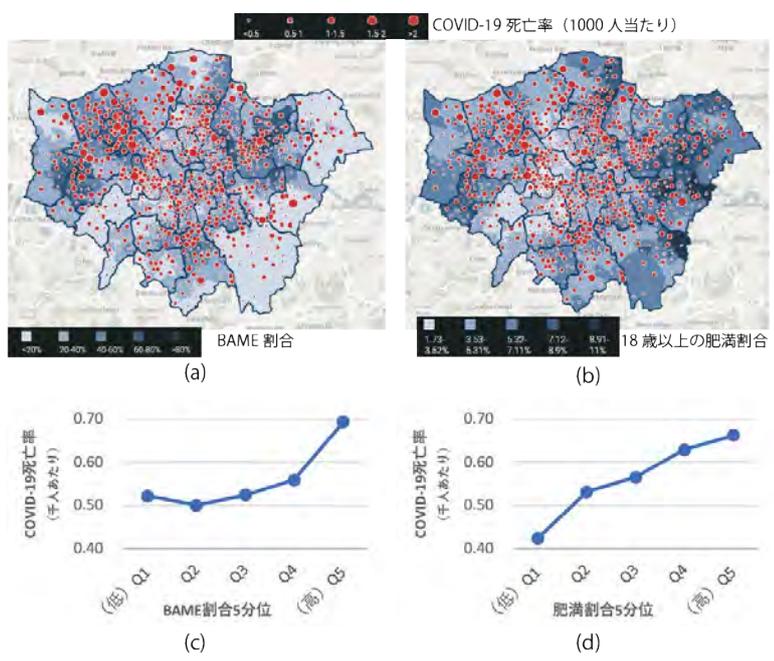


図5 ロンドン都市圏の COVID-19 関連死亡率の地図 (出典：中谷・永田, 2021)

Greater London Authority の COVID-19 Deaths Mapping Tool を編集。

<https://data.london.gov.uk/dataset/covid-19-deaths-mapping-tool> 【参照は 2021 年、現在は、サイトはあるがその後データは更新されている。】

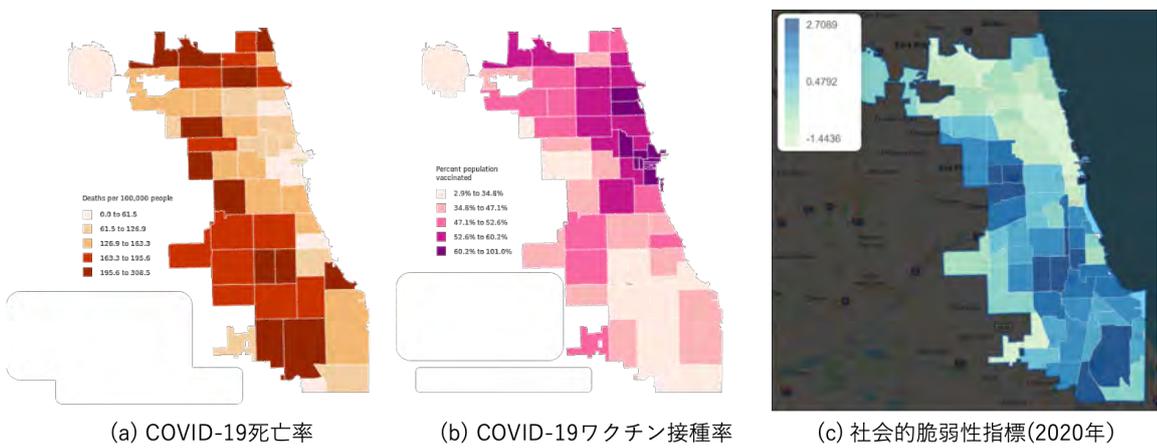


図6 シカゴにおける COVID-19 死亡率、ワクチン接種率、社会的脆弱性指標の分布 (出典：中谷 2021)

COVID-19 死亡率 (10 万人あたり) とワクチン接種率の分布図は The South Side Weekly 誌の Twitter bot による (<https://twitter.com/ChiVaxBot>) 2021 年 6 月 27 日までの状況。

社会的脆弱性指標は、イリノイ大学シカゴ校公衆衛生学部による (<https://metop.io/insights/NEkO/>)。 (上記 2 つのサイトはあるが、データは更新されている。)

4) 感染症の流行対策における地理情報の今後に向けて

効果的な情報伝達手段としての GIS による情報の可視化について、情報の表現方法や活用の例については既に事例を示してきました。ただし、その基礎となる地理情報の利用・公開について、もう少し考えておく必要があります。近年では、様々な地理情報が公開・提供されており、各地区に居住する人々の特性や店舗・公園等のアクセス可能な施設についての情報を容易に活用できるようになってきました。また、携帯電話等の移動体から得られる位置情報を利用した、いわゆる人流データは、リアルタイムに近い形で数百メートル四方の領域での人の動きを伝え、COVID-19 流行時には継続的に報道でも利用されてきました。韓国では検査で陽性となった患者の移動記録やクレジットカードの利用記録に基づく感染者の詳細な行動履歴を公開することで、感染対策を進めました。また、英国では、検査で陽性となった感染者数に限らず、入院している患者数、死亡者数等の地理情報が公的な機関で公開されています。さらに、ゲノム解析の結果に基づくウィルス型別の検出数の地理情報も利用できます。

他方、日本では公的な感染者に関する地理情報は、ほとんどの場合、都道府県での集計値に限られており、詳細な地理的解像度で利用できる様々な地理情報に見合った集計単位での情報の公開や活用は限定的です。医療機関によって陽性と判定された人はすべからず記録される仕組みは存在し、様々な形で情報の公開はされています。しかし、以下のような現状があります。第1に詳細な地理情報の共有に関する仕組みが欠けており、感染者に関する情報の発出は自治体ごとの判断に委ねられています。第2に自治体から発出される情報は、しばしば pdf 形式での記録など、情報の再利用を前提としない形式で発出されています。第3に自治体ごとに居住地等の地理的参照単位が異なります。市区町村単位で公開する県もあれば、各地域独自の（定義の明瞭でない）地区単位を利用する県もあります。これらの結果、統一的な基準で広域的な流行の状況を俯瞰するには、データの収集と正規化に多大な労力が必要であったり、そもそも不可能であったりします（図7）。

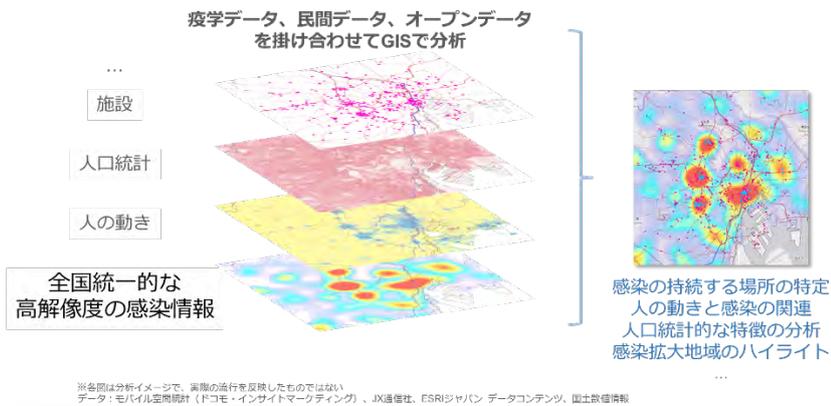
この結果、外出抑制が必要な流行の拡大する地区が都道府県の境界を超えて存在するとしても、その詳細な範囲や状況が伝わらず、十分な対応措置や外出抑制への協力が得られないかもしれません。また、欧米の都市の事例で見たように、本来明らかにして対処すべき流行状況の居住地間の格差が存在するとしても、それが見過ごされているといった事態が生じているかもしれません。また、将来的に流行とその対応を評価するにあたり詳細な流行の地理情報がアーカイブ化されていなければ、今後貴重な経験を活かすことができません。

もちろん、感染された方のプライバシーの保護は重要な課題であり、詳細な地理的解像度の情報公開が一概に望ましいとは限りません。しかし、秘匿する基準を明確化する、期間別に集計することで秘匿化せずに公開できる高解像度の情報を増やす、密度分布等で曖昧化した結果を配信する等の様々な措置を講じることで、より利用価値のある流行状況の地理情報が公開できる仕組みが考えられるはずです。残念ながら、そうした地理情報の公開を考え作業にあたる専門家が、公的機関に不足している状況もあると思います。COVID-19 流行下では、情報技術をもったボランティアが、自治体の情報配信の仕組みを支援する動きも見られました。しかし、外部からの支援は、あくまでも公開される情報があつての作業を前提としたものであり、多くの場合、発出される情報の選定には関与できないでしょう。そのため、公的な機関内部での地理情報リテラシーの普及や GIS の専門的知識を持つ人材の配置は、感染症流行の情報公開に関わる制度設計とならび重要な課題です。

参考 URL (2024年3月参照確認)

- 参考 URL1 ジョンズ・ホプキンス大学による COVID-19 流行ダッシュボード(最新の世界のコロナ死者数等)
<https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (2023年1月も継続して運用中)
- 参考 URL2 ジャックジャパン株式会社による日本 COVID-19 ダッシュボード(2020年11月30日まで運用)
<https://gis.jag-japan.com/covid19jp/>
- 参考 URL3 COVID-19 時空間発生マップ (東北大学と JX 通信社の共同研究による)
<https://nakaya-geolab.com/covid19-stkd/japan/>
- 参考 URL4 Greater London Authority の COVID-19 Deaths Mapping Tool (2020年まで運用)
<https://data.london.gov.uk/dataset/covid-19-deaths-mapping-tool>
- 参考 URL5 The South Side Weekly 誌の Twitter bot(2023年1月も運用されているツイッターサイト)
<https://twitter.com/ChiVaxBot>

理想



現実



自治体ごとの不揃いな情報発出

新型コロナウイルス感染症 県内発生事例

No.	発症日	年代・性別	国籍	発症地	発症状況
1	1月25日	40代男性	中国	伊豆市	中国
2	1月28日	40代男性	中国	伊豆市	中国
3	2月14日	60代女性	日本	名古屋市	アメリカ
4	2月15日	60代女性	日本	名古屋市	No.3と接触
5	2月16日	60代男性	日本	伊豆市	No.4と接触
6	2月17日	60代男性	日本	伊豆市	No.5と接触
7	2月18日	60代男性	日本	伊豆市	No.5、No.6と接触
8	2月19日	50代女性	日本	名古屋市	No.4と接触
9	2月20日	80代男性	日本	名古屋市	No.4と接触

XX地方?
XXセンター
XX圏
XX振興局

図7 COVID-19 流行のGIS活用：日本における＜理想的戦い＞と＜現実＞

参考文献

中谷友樹 (2020) 時空間カーネル密度推定—時空間のイベント分布をあいまいに解析する. 浅見泰司・薄井宏行編『あいまいな時空間情報の分析』古今書院, pp. 56-75.

中谷友樹 (2021) 感染症の災害地理学. 地理 66-9, 47-53.

中谷友樹 (2021) COVID-19 流行と災害の地理学. 科学, 91(5), 468-473.

https://researchmap.jp/tomo.nakaya/published_papers/33213621/attachment_file.pdf

中谷友樹・永田彰平 (2021) COVID-19 流行の空間疫学: コロナ禍の地理学. 学術の動向, 26(11), 60-67.

中谷友樹・谷村晋・二瓶直子・堀越洋一(2004) 『保健医療のための GIS』古今書院.

永田彰平・中谷友樹(2021) COVID-19 流行を GIS で追う. Precision Medicine, 4(7), 1-4.

Snow, J. (1855) On the mode of communication of cholera: John Churchill.

<https://collections.nlm.nih.gov/ext/cholera/PDF/0050707.pdf>