

# 人の流れから見た都市間の関係の可視化

嚴先鏞\*・長谷川大輔\*\*・西堀泰英\*\*\*

## Visualization of inter-municipal relationship based on human mobility

Sunyong EOM\*, Daisuke HASEGAWA\*\*, Yasuhide NISHIHORI\*\*\*

The activities of residents and businesses extend beyond administrative areas, requiring urban planners to understand inter-municipal relationships. The importance of inter-municipal relationships has been increasing in pandemic situations as well as in daily travel. This study visualizes the inter-municipal relationships in the Kanto region using human flow data and analyzes the changes in regional partitions related to COVID-19, a community extraction method. First, overall inter-municipal mobility in 2020 compared to 2019 decreased by 36%, and it is still at 85% of the 2019 level in 2021. Second, Cross-prefecture flow related to Tokyo has significantly reduced and has not recovered even in 2021, while intra-prefecture flows not related to Tokyo and inner-prefecture flows with a large volume in 2019 show greater recovery. Third, community detection results show a significant change in regional partitions due to COVID-19, but it is returning to the pre-COVID-19 status.

**Keywords:** 人の流れ (human mobility), 地域間関係 (inter-municipal relationship), 広域計画 (regional planning), コミュニティ抽出 (community detection)

### 1. はじめに

居住者や企業の活動は行政地域を超えて展開しており、行政区域によらない地域間の関係を把握することは都市計画において重要な意味を持つ。例えば、地理学分野では地域間の関係に基づき、地域計画や交通計画などにおける有効な圏域を決めるための研究がなされてきた (de Montis et al., 2013; 福本・岡本, 2012)。機能地域 (Functional Regions) はその一つの例であり、複数の地理的な単位で構成され、地域間の地理的単位が地域外の地理的単位と比べて強い空間関係を有する地域として定義される (氏家・福本, 2014)。

地域間の関係は日常生活だけでなく、近年は感染症の拡大防止のためにもその重要性が高まっている。多くの国では COVID-19 の拡大を防ぐため地域間の移動を減らすための様々な政策が実施された。それによりこれまでとは異なる地域間の関係が形成された可能性もあり、これからの地域計画を考える際に

は地域間の関係がどのように変化したのかを把握することは不可欠である。例えば, Buchel et al. (2021) はアメリカにおいて大規模のロックダウンを行わず感染拡大を防ぐための政策の検討のために人の移動データを用いた圏域分析を行った。

本研究では、人流データを用いて地域間の関係をネットワークとして構築して可視化を行い、コミュニティ抽出手法を用いてその変化を把握する。それにより、ポストコロナ時代における地域・交通計画や新たな感染症拡大防止における移動制約の在り方の検討に基礎を提供することを目的とする。そこで本研究では関東地域を対象に、まず 2 章では使用データと人の流れを用いた分析方法について説明する。次に、地域間の関係を移動量の変化から把握し COVID-19 による地域間の関係の変化を計測する。そして、4 章ではコミュニティ抽出を用いた圏域の時系列変化の比較を行い、最後に 5 章で本研究を総括する。COVID-19 の流行前から回復期までを含ん

---

\* 正会員 筑波大学システム情報系 (University of Tsukuba)  
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail : eom.sunyong.fw@u.tsukuba.ac.jp  
\*\* 正会員 東京大学不動産イノベーション研究センター (The University of Tokyo)  
\*\*\* 非会員 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科 (Osaka Institute of Technology)

だ時系列の変化を把握することで、これからの地域計画の基礎を提供することが期待される。

## 2. 研究方法

### 2.1. 使用データ

本研究における人の流れは、株式会社NTTドコモの携帯基地局データから生成される「モバイル空間統計®(人口分布統計)」(以下、モバイル空間統計とする)のデータに基づいて把握する。本研究では、市区町村ごとの1時間帯における滞在人口とその居住地の情報を持つデータを用いる。対象期間は、2015年から2021年の4月上旬の2週間(4月1日を含んでいる週の火曜日から2週間、2021年の場合3月30日~4月19日)の平日のみを対象とする。1時間単位に記録されている滞在人口から9時台から19時台までの合計を用いる。

### 2.2. 地域間移動の分析

地域間の移動に着目するため、滞在地と居住地が同じ人口を除いて市区町村間の移動を対象に、ある2つの市区町村間の移動人口の合計が10,000以上の市区町村のODのみ(全体の移動の約97%)を用いる。OD分析は2019年、2020年、2021年を中心に行う。ODの方向を考慮しない場合、市区町村ペアの数は33,181(2019年:12,391ペア,2020年:9,626ペア,2019年:11,164)である。

地域間移動の変化を把握するため、外部から各市区町村に滞在している人数の合計である集中量(以下、集中量とする)、2つの市区町村ペア間の移動人口の総和であるOD量、2019年の集中量とOD量に比した各年次の集中量の比である2019年対比の指標を用いる。また、Gini係数により集中量の集中度合いの把握する。

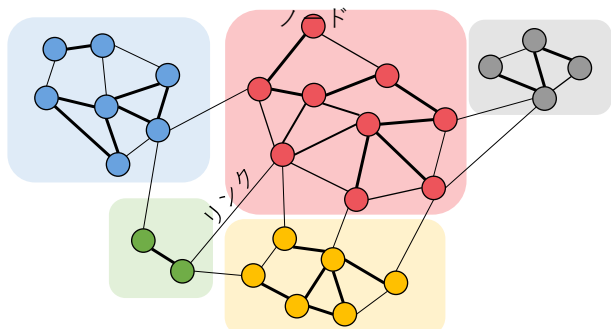


図1 コミュニティ抽出の概念

### 2.3. コミュニティ抽出による移動圏域分析

多くのネットワーク構造を有するシステムでは、図1のようにコミュニティ(リンクが高密度に張り巡らされた部分ネットワーク)を大規模ネットワークから発見するコミュニティ抽出(Community detection)問題がネットワーク科学の重要な研究課題である(福本・岡本, 2012)。市区町村間の移動は、市区町村をノード、そのノードを結ぶ線をリンクとするネットワークとして考えることができる。したがって、地理的単位をネットワークのノード、地理的単位間の相互作用の強さをネットワークのリンクの重みとしたうえで、機能地域区分問題にコミュニティ抽出法を適用されてきた(氏家・福本, 2014; 福本・岡本, 2012)。本研究では、コミュニティ抽出アルゴリズムであるLouvain法を用いて地域間移動から見たコミュニティの時系列の変化を考察する。Louvain法はModularityを局所最大化することで高速でコミュニティ分割を得る手法である(Blondel et al., 2008)。

Louvain法の実行はPython-louvain libraryを用いる(Aynaud, 2022)。コミュニティはノード間の相対的なつながりの密度によって検出される。同一な基準で検出されたコミュニティの時系列の比較のため、異なる年次の間には接続がないようにし、3年分のネットワークを1つのネットワークに結合した上で、コミュニティ検出を行う。

## 3. 地域間移動の変化

### 3.1. 集中量の変化

図2は集中量の合計の変化を表しているものである。COVID-19による影響が長期的な変化と関連しているかを確かめるため、2015年からの比較を行った。2019年までの集中量は若干増加傾向であったが、COVID-19の影響で2020年には集中量が大幅に減少している。図3から見ると、2020年には2019年の64%水準まで減少し、2021年には回復したものの85%水準に留まっている。移動の範囲を県内移動、県外移動(東京都一他県)、県外移動(東京都以外の県)に分けてみると、東京都と関連した移動の減少幅が最も大きかったことが読み取れる。

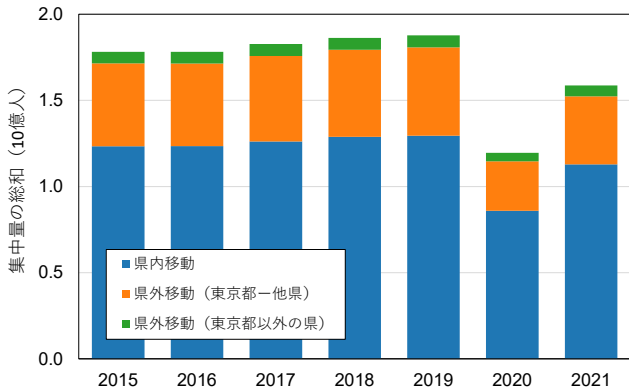


図2 集中量の変化

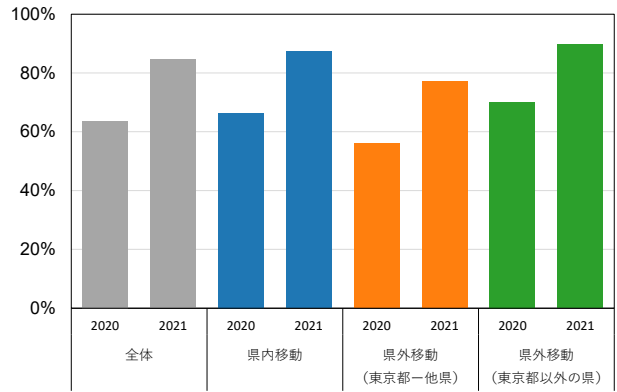


図3 移動範囲別の集中量の2019年対比

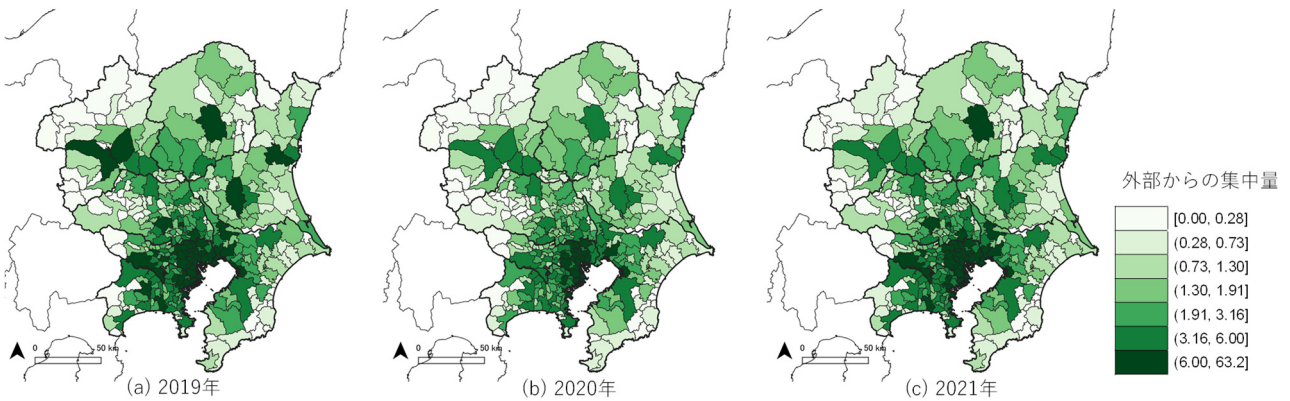


図4 市区町村ごとの集中量の分布

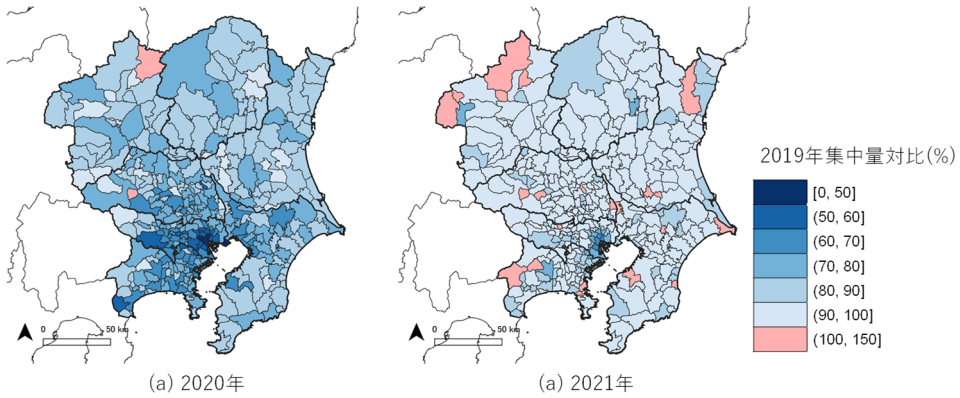


図5 市区町村ごとの集中量の変化

図4と図5はそれぞれ3か年の市区町村ごとの集中量と2019年対比を表している。東京区部での減少が著しいが、地方部の主要都市での減少も大きい。図5からみると、2021年には一部の市区町村で2019年の集中量を上回っていることも見られる。

集中量の分布の偏りを把握するために、Gini係数を算出した結果を図6に表す。全体の集中量のGini係数を見ると、全体の集中量と同様に2020年に大きく減少している。すなわち、集中量が多い地域で

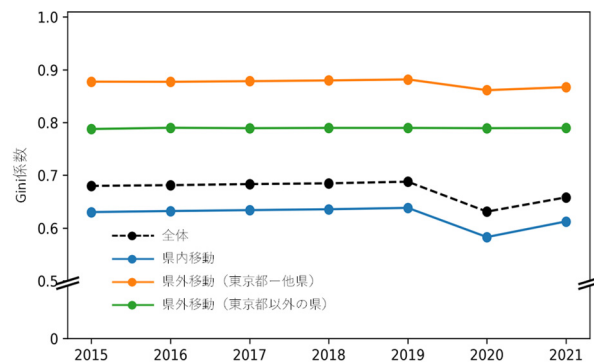


図6 集中量のGini係数の推移

の減少が著しかったことがわかる。移動範囲ごとに見ると、県内と東京都との県外移動については集中量が多い市区町村での減少が著しい一方、東京都以外の県外の移動においては集中量が均一に減少している。

### 3.2. OD 量の変化

OD 量の変化について変化を詳細に見るために、図 7 に個別 OD に対する 2019 年対比を表している。また、その空間分布をみるために、図 8 に移動範囲区分ごとの 2019 年の OD 量の上位 1,000 ペアについて 2020 年の 2019 年対比を表している。2020 年には、すべての OD において OD 量が大きく減少しており、県内移動と東京都の県外の移動については、2019 年の OD 量が多いほど (10 万人以上) 減少幅が大きいことが読み取れる。一方、東京都以外の県外の移動については、OD 量が多いほど減少幅が小さい結果となっている。図 8 の分布をみると、東京都の区部と多摩部間の移動、神奈川と東京間の移動の減少が著しい。県内の移動に着目すると、図 5 の地方主要都市の減少は県内からの移動の減少と関連しているといえる。

2021 年には OD 量の回復が見られる中で、県内移動と東京都以外の県外移動は 8 割以上まで回復したものの、2021 年 4 月 25 日に緊急事態宣言が出された東京都との OD は回復が遅いことが読み取れる。2019 年基準の OD 量による違いを見ると、県内移動・東京都以外の県外移動においては、10 万人以上の OD における回復が早いことが読み取れる。

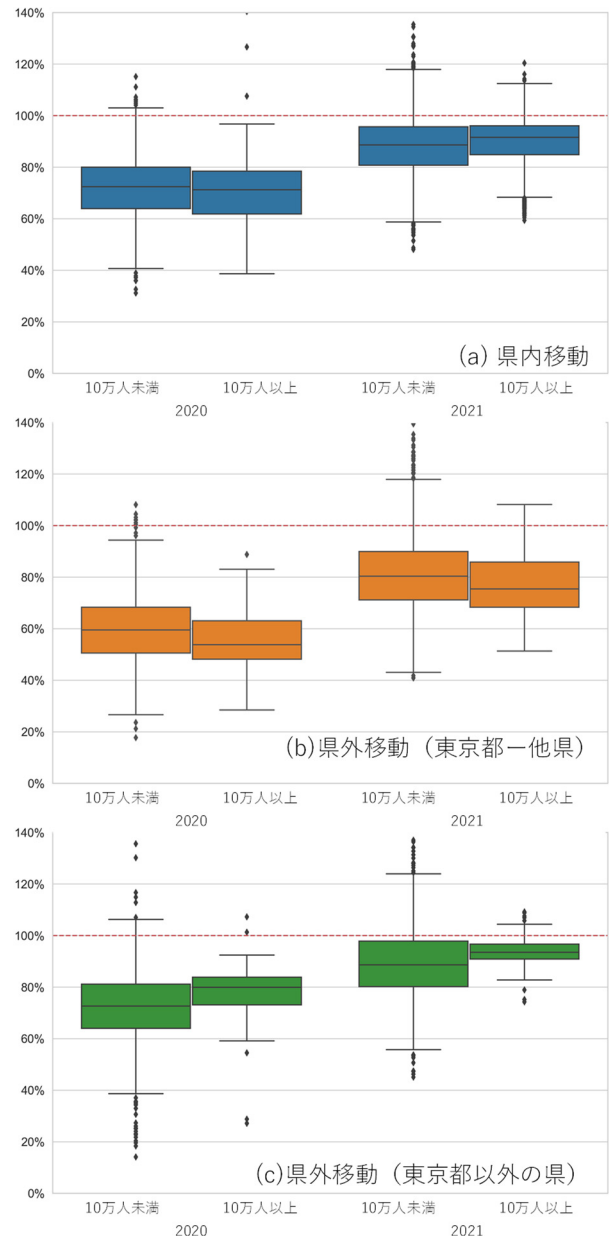


図 7 OD 量の 2019 年対比の比較

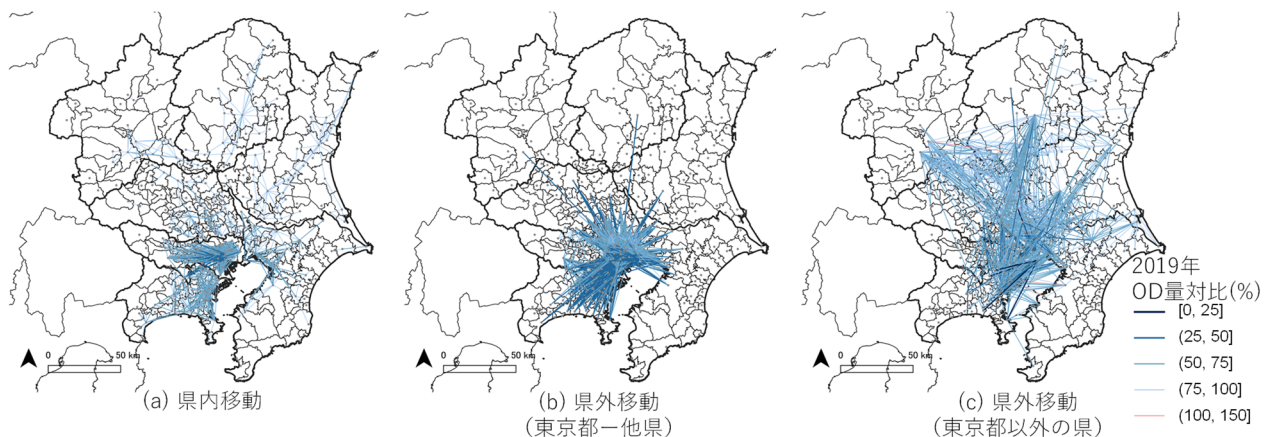


図 8 移動範囲別の 2019 年 OD 量対比の分布



#### 4. コミュニティ検出

図9は市区町村間のOD量に基づいたコミュニティ検出の結果について、同じコミュニティに属している市区町村を同じ色で表したものである(ただし、異なる年次の同じ色は同じコミュニティを意味しない)。コミュニティ検出の際にコミュニティのサイズに影響するresolutionは0.4と設定した結果を用いて解釈を行う。その時のModularityの値は0.60である。図10は、2019年のコミュニティを基準とした分離・統合の推移を示している。

2019年には18の圏域が形成されているが、2020年には23と圏域が細分化されたものの、2021年には20圏域と、元の圏域数に完全には戻っていない状況が示されている。各都道府県の圏域を確認する

と、東京都では中心に、埼玉東部、千葉西部、神奈川北部を含んだコミュニティ(東京圏)が抽出されたが、2020年にはその圏域が細かく分かれたことが見られる。2021年には東京中心の圏域が現れたが、その範囲は2019年に比べて狭く、東京都と他の県間の移動の回復が遅いことがその原因として考えられる。

千葉県と埼玉県においては、2020年には県内で細分化されたコミュニティが検出されている。2019年の集中量の県別のGini係数を算出すると、群馬県(0.673)、東京都(0.670)、千葉県(0.591)の順で大きく、一部の市区町村に集中していたOD量がCOVID-19の影響で分散され、細分化されたコミュニティが現れたと考えられる。

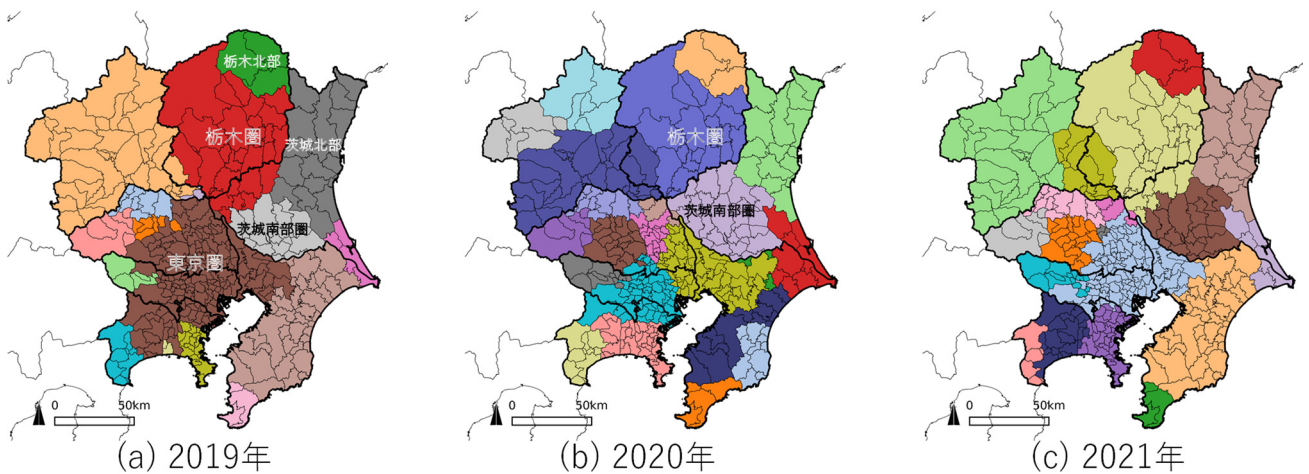
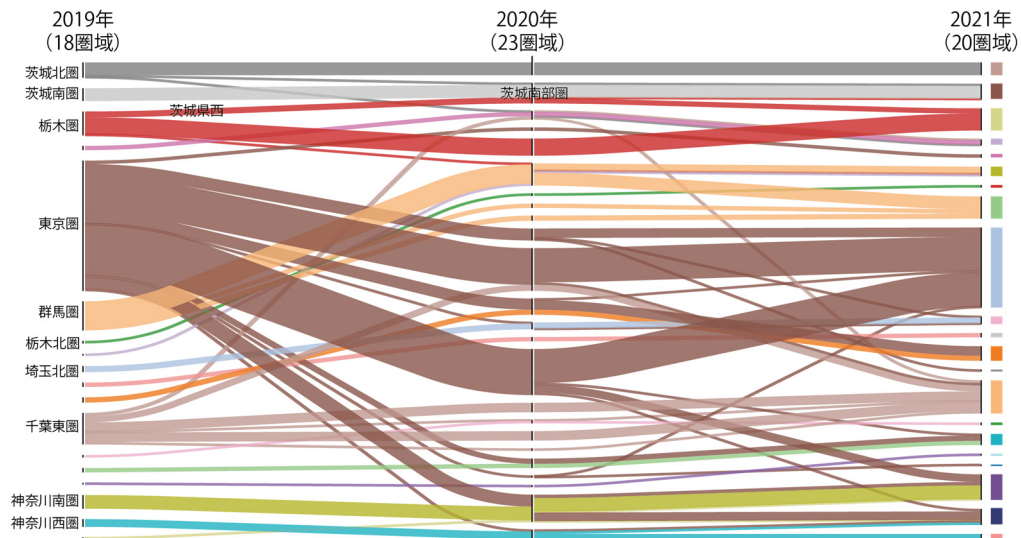


図9 コミュニティ抽出結果



\*グラフ右側の着色は図9の2021年のコミュニティ別の色である

図10 コミュニティの変化の可視化

栃木県と茨城県を見ると、2019年には、栃木の北部を除いた全域と茨城県の県西地域を含む栃木圏が抽出された。しかし、2020年には茨城県と栃木圏にまたぐ圏域は抽出せず、それぞれ独立した栃木圏と茨城南部圏のコミュニティが抽出された。2021年には、2019年と同じ範囲のコミュニティが現れ、図7におけるOD量が多い県をまたぐ移動の回復が早いことがその理由として挙げられる。

## 5. おわりに

本研究では、関東地域を対象に人流データを用いて地域間の関係を可視化し、コミュニティ抽出手法を用いたCOVID-19による圏域の変化を分析した。その結果以下のことを明らかにした。

- 1) COVID-19の影響により、2019年に比べて2020年の地域間の移動は、全体で36%減少し、2021年には回復したものの2019年の85%水準である。東京区部の集中量が大きく減少している点に加え、県内の移動においては地方部の主要都市への集中量の減少が著しいことがわかった。
- 2) 集中量の分布の変化を見た結果、Gini係数が小さくなっていることから、集中量が大きい市区町村での減少が激しかったことがわかった。
- 3) OD量の変化から見ると、県をまたいだ東京都との移動が著しく減少し、2021年にもCOVID-19の影響で回復がされていない状況である。一方、県内移動・東京都を除いた他の県との移動は、2019年のOD量が多いほど回復幅が大きいことがわかった。
- 4) コミュニティ抽出結果からは、東京中心の圏域の範囲が狭くなり、2021年にも2019年時点までは回復されてないこと、人の流れが相対的に一部の市区町村に集中していた群馬県、千葉県は、COVID-19の影響で細かい圏域が形成されていたこと、日常時には往来が多く同じ圏域として検出された茨城県西部と栃木県南部が2020年に別の圏域となったことなどが見られた。

地域連携計画や広域交通計画において、これまで10年に1度のパーソントリップ調査、5年に1度の全国幹線旅客純流動調査などが活用されてきた。そ

れらに加えて、よりタイムリーに得られる本研究の成果を用いることで、今回のパンデミックのような人流が大きく変化する状況が発生しても、実際の人の移動に合致した計画の策定が可能であると考えられる。今後の課題としてより対象地域と期間の拡大、既存の地域計画との整合性の分析などが挙げられる。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K15185, 20K14856, 21K14314, 2021年度ヒロセ財団の助成を受けた。

## 参考文献

- 氏家晃仁・福本潤也 (2014) Functional Region 設定結果の妥当性判定手法の提案,「土木学会論文集 D3 (土木計画学)」, 70 (2), 131-144.
- 福本潤也・岡本佳洋 (2012) コミュニティ抽出法と空間相互作用モデルを組み合わせた機能地域区分手法の提案. 「土木学会論文集 D3 (土木計画学)」, 68 (5), I\_427-I\_436.
- Aynaud, T. (2022). *Community detection for Network X's documentation*. <https://python-louvain.readthedocs.io/en/latest/>.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008.
- Buchel, O., Ninkov, A., Cathel, D., Bar-Yam, Y., & Hedayatifar, L. (2021). Strategizing COVID-19 lockdowns using mobility patterns. *Royal Society Open Science*, 8(12), 210865.
- de Montis, A., Caschili, S., & Chessa, A. (2013). Commuter networks and community detection: A method for planning sub regional areas. *European Physical Journal: Special Topics*, 215(1), 75-91. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2013-01716-4>