

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03507

研究課題名（和文）人流ネットワークに特化した数理解析基盤の整備とその応用

研究課題名（英文）Development of the analytical framework of human mobility networks

研究代表者

藤原 直哉（Fujiwara, Naoya）

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：00637449

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、居住地からの外出と帰宅や流動パターンの時間的な周期性など、人流の特殊性を考慮したネットワーク解析の基盤を整備するとともに、その手法を大規模人流データに適用した。自宅位置を考慮した地域間流動量の集計方法を提案し、その性質を議論したほか、組み合わせホッジ理論を用いたポテンシャルによるデータ駆動型の人流量数理モデルを提案した。さらに、放射モデルを用いた数理モデルの拡張を行うとともに、COVID-19による外的な変化が人流ネットワークに与える影響の解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市における人々の地域間の流動はネットワークとして見る事ができる。しかし、強い周期性などの人流が持つ特殊性により、通常のネットワーク分析を実施することが難しい。そこで、本研究では、人流の特殊性を考慮したデータ集計手法とネットワーク分析手法を提案した。これにより、人流の集計量を扱う基盤ができた。また、ネットワークの時系列変化を分析する手法により、COVID-19前後の変化を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：In this project, we developed a foundation for network analysis that takes into account the unique characteristics of human mobility, such as returning to one's residence, as well as the temporal periodicity of flow patterns. We applied these methods to large-scale human mobility data. We proposed a method for aggregating interregional flow volumes considering residential locations and discussed its properties. Additionally, we proposed data-driven mathematical models of human mobility using a potential-based approach via combinatorial Hodge theory. Furthermore, we extended a mathematical model of human mobility based on the radiation model, and analyzed the impact of external changes due to COVID-19 on the human mobility network.

研究分野：ネットワーク科学

キーワード：人流 ネットワーク分析 ポテンシャル コミュニティ検出

## 1. 研究開始当初の背景

社会活動を行う人々の地理空間での流動(人流)は社会経済活動の根幹を成している。今日では国内の携帯端末から取得される GPS データが 1,000 万人オーダーで利用可能となり、人流研究は近年一気に発展している。先般の COVID-19 パンデミックにおいては、感染拡大前後での人の来訪量変化推定などにも活用された[1]。このような巨大な人流データを用いて、人流の性質、そして人流が社会経済に与える影響を理解することが求められている。

人流を介して、異なる居住地の住民の活動がネットワーク状に相関することから、人流解析にネットワーク科学の手法を用いることが可能である。文献[2]では、ネットワークのコミュニティ分割手法である Map Equation を GPS データより構成した地域間 Origin-Destination (OD) 行列に対して適用した結果、地域間の距離のような地理的な条件を陽には用いていないにも関わらず、空間的に連続的なコミュニティが自動的に得られることが報告されている。ここで、地理的要素が希薄な系を中心に発展してきた上記のコミュニティ分割手法はマルコフ遷移を前提としていることに注意が必要である[3]。一方、人には自宅があり、多くの人は、平日には、日中には勤務先あるいは学校などがある場所に行き、夜は再びそれぞれの自宅に戻る。すなわち、人の地理空間上における移動はマルコフ遷移ではなく、強い周期性を持つ。また、居住地や移動経路は、距離、地形、そして地理空間がほぼ 2 次元であることなどの地理的制約を受けている。そのため、既存のネットワーク分析手法は人流の特徴を十分に捉えているとは言えない。

人流解析の応用例として、人流の構造の経時変化の分析・予測が挙げられる。人流は、東日本大震災などの自然災害、新幹線や高速道路の開業といった社会基盤(インフラ)整備などの要因で中長期的に変化する。これらのイベントは地域コミュニティの変化を引き起こすと考えられる。インフラ整備で広域的な移動が容易になり、遠隔地の地域コミュニティが一体化し地域振興に資することはインフラ整備の重要な目的の一つである。また、人流や地域コミュニティの経年変化の追跡調査や事前の効果予測は、政策評価の上で重要である。しかし、地域コミュニティの変化を議論するために必要な、人流ネットワークを考慮した大域的な評価手法は確立していない状況であった。

## 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本課題では、人流ネットワークと一般的なネットワークとの差異は何かを明らかにし、人流の特殊性を考慮した数理解析の基盤を整備するとともに、開発した手法を GPS などの大規模人流データに適用し、変化に対する応答を予測する。また、予測精度を高めるために、人流の数理解析モデルの精緻化を行い、社会に変化が加わった時の人流ネットワークの変化を特徴付けるとともに、その変化を予測する。

## 3. 研究の方法

本課題では、①人流の特殊性を考慮したネットワーク解析の基盤整備と、その大規模人流データへの適用、②データ駆動型の人流量数理解析モデルの提案③演繹的な人流数理解析モデルの拡張、および、④外的な変化が人流ネットワークに与える影響の解析、を実施する。

## 4. 研究成果

①人流の特殊性を考慮したネットワーク解析の基盤整備と、その大規模人流データへの適用  
地域間流動量の集計法として、Origin-Destination 行列の方法は広く採用されている。しかし、個人の移動を考える上では、その自宅位置を考慮することが重要である。人は多くの場合には日中に外出し、夜間に自宅に戻る。自宅位置を考慮することで、このような周期的な行動を捉えることが可能である。そこで、文献[4]では、自宅位置を考慮に入れた、Home-Origin-Destination (HOD) を考慮した人流データ集計法を提案した。これは、地域 A に自宅を持つ人のうち、ある時刻に地域 B から地域 C に移動した人数を集計するものである。この集計法により、多くの人が夜間に自宅位置に帰還する行動を表現することが可能となる。関東における GPS データに対してこの集計法を適用した。文献[4]では、さらに地域間移動が確率的に発生すると仮定して人口分布の時間変化のシミュレーションを行い、HOD 行列を考慮したものと、OD 行列によるもの、そして、自宅と各時刻における滞留のみを考慮した HD 行列によるものを比較した。これらの行列による違いを、エントロピーを用いて定量化を行った。その結果、HOD を用いた場合、OD および HD を用いた場合と比較して、エントロピーが小さくなることを示した。

### ②データ駆動型の人流量分析手法

人流データを扱う上での困難のひとつに、集計データであっても地点が増えると変数が多くなる点が挙げられる。一例として、 $n$ 地点間の OD を記述するためには、 $O(n^2)$ 個の変数が必要となる。この問題を解決するために、より少数の特徴量で人流を記述する試みがなされている。例えば、文献[5]では、平均化された人流のベクトル場が近似的に渦なしと見なせることに着目して、人流をスカラーポテンシャルの勾配で表現することが提案されている。 $n$ 地点のスカラーポテンシャルは自由度  $O(n)$  であり、自由度の低減が実現しているが、この手法は、OD 行列のよう

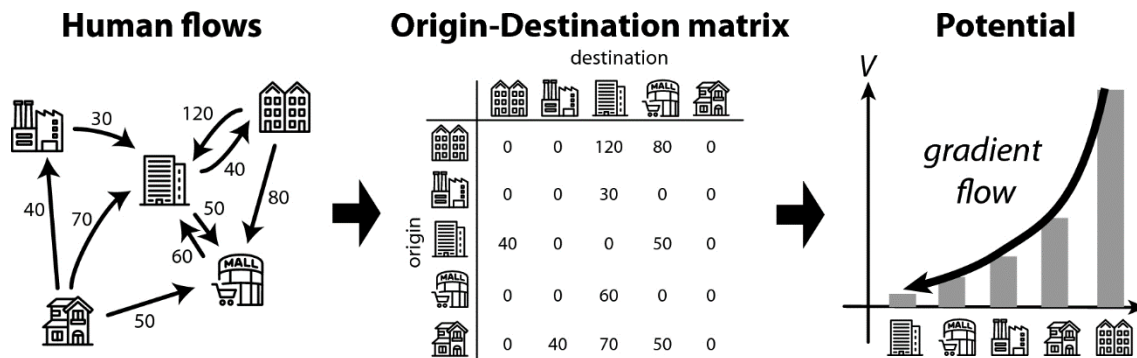


図1：さまざまな Point Of Interest 間の Origin-Destination 行列からのポテンシャル構成に関する概念図。文献[6]より (Licensed under CC BY 4.0)。

な、ネットワーク的な人流に対しては適用できない。

そこで、文献[6]において、組み合わせホッジ理論を用いて OD 行列を分解することでスカラーポテンシャルを求める方法を提案した (図1)。組み合わせホッジ理論においては、反対称行列をポテンシャルの勾配により生成される流れと回転による流れに一意に分解する。本手法を用いて、イギリス、日本、アメリカにおけるポテンシャルを求め、アメリカの流動量のデータにおいて、勾配成分と回転成分の割合を評価し、地域に応じて優位な成分が異なることを示した。

文献[7]では、ポテンシャルに基づいて都市中心を特定する方法を提案した。本手法により、統計的に有意である人流の吸収点と出発点を検出することが可能となる。また、異なる移動目的に対して独立に適用可能であることも本手法の特徴の一つである。この分析により、都市の構造を、人の移動の異なる側面の組み合わせとして理解することが可能となる。提案手法の応用例として、都市圏における通勤および買い物行動の吸収点と出発点を特定した。

これらの手法は、複雑な構造を持つ都市圏の人流の可視化を可能とし、商業、都市計画、感染症対策など、様々な場面における活用の可能性がある。また、他の移動データセットにも適用でき、現代の大都市圏における複雑な空間構造を、多様な人の移動の視点から検証するのに役立つと考えられる。

### ③演繹的な人流数理モデルの拡張

文献[8]では、人流モデルの枠組みの一つである放射モデル[9]の拡張を行った。放射モデルは、以下のような枠組みである。各地域に様々な介在機会が存在し、各個人は地理的に最も近い場所から順番に検索を行う。もしも検索で得られた介在機会が個人の要求する水準を満たしている場合、その個人はその場所に移動する。ある地域の介在機会の数がその地域の人口に比例すると仮定し、個人の要求の水準と提供される介在機会の水準が同一の分布に従うと仮定すると、地域間の流動人口が発地、着地、およびその背景地域の人口を用いて表現することができる。放射モデルの特徴として、調整するパラメータが存在しないという点がある。この式は、個人が要求する水準と介在機会が提供する水準が同じ分布に従うことを仮定することで導出することができるが、これは一般的な状況では必ずしも当てはまるわけではない。そこで、我々は、要求と機会の分布が異なる状況を考え修正された放射モデルを提案した。このモデルを用いることで、アメリカの郡間の流動データセットに対して、元の放射モデルよりも改善された予測結果を示した[8]。

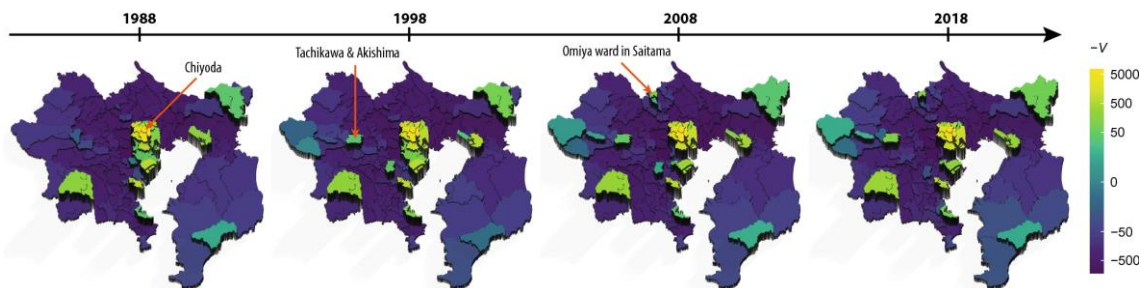


図2：東京都市圏におけるポテンシャルの経時変化と、ポテンシャルが大きく変化した地域。文献[6]より (Licensed under CC BY 4.0)。

#### ④外的な変化が人流ネットワークに与える影響の解析

開発した手法を用いて、人流ネットワークの経時変化の分析を行った。通勤流動に起因する都市のポテンシャルを計算の経年変化を明らかにし(図2)、その結果、ポテンシャルの値が時代の変遷とともに大きく変化した地域を特定した[6]。また、COVID-19 の前後において、年単位での人流ネットワークのポテンシャル構造の経時変化の解析を行った(論文準備中)。

#### 【参考文献】

- [1] T. Yabe, K. Tsubouchi, N. Fujiwara, T. Wada, Y. Sekimoto, and S.V. Ukkusuri, “Non-compulsory measures sufficiently reduced human mobility in Tokyo during the COVID-19 epidemic”, *Scientific Reports* 10, 18053 (2020).
- [2] S. Fujishima, N. Fujiwara, Y. Akiyama, R. Shibasaki, and R. Sakuramachi, “The size distribution of ‘cities’ delineated with a network theory-based method and mobile phone GPS data”, *International Journal of Economic Theory* 16, 38 (2020).
- [3] M. Rosvall and C.T. Bergstrom, “Maps of random walks on complex networks reveal community structure”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 1118 (2008).
- [4] Y. Du, T. Aoki, and N. Fujiwara, “Unveiling realistic mobility patterns with home-origin-destination data aggregation”, *The European Physical Journal Plus* 139, 403 (2024).
- [5] M. Mazzoli, A. Molas, A. Bassolas, M. Lenormand, P. Colet, and J.J. Ramasco, “Field theory for recurrent mobility”, *Nature Communications* 10, 3895 (2019).
- [6] T. Aoki, S. Fujishima, and N. Fujiwara, “Urban spatial structures from human flow by Hodge-Kodaira decomposition”, *Scientific Reports* 12, 11258 (2022).
- [7] T. Aoki, S. Fujishima, and N. Fujiwara, “Identifying sinks and sources of human flows: A new approach to characterizing urban structures”, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 51, 419 (2023).
- [8] Y. Du and N. Fujiwara, “A modified radiation model for human mobility: effects of distinct job-seeker expectation and job-offer benefit distributions”, *Proceedings of 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022)*, 415 (2022).
- [9] F. Simini, M.C. Gonzalez, A. Maritan, A.-L. Barabási, “A universal model for mobility and migration patterns”, *Nature* 484, 96 (2012).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, and Naoya Fujiwara	4. 巻 51
2. 論文標題 Identifying sinks and sources of human flows: A new approach to characterizing urban structures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science	6. 最初と最後の頁 419 ~ 437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/23998083231180608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yunhan Du, Takaaki Aokia, and Naoya Fujiwara	4. 巻 139
2. 論文標題 Unveiling realistic mobility patterns with home-origin-destination data aggregation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The European Physical Journal Plus	6. 最初と最後の頁 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjp/s13360-024-05142-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤嶋翔太	4. 巻 -
2. 論文標題 時代の論点 人の流れから都市の姿を描く	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 一橋大学広報誌「HQ」	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, Naoya Fujiwara	4. 巻 12
2. 論文標題 Urban spatial structures from human flow by Hodge--Kodaira decomposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11258-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15512-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤原直哉	4. 巻 24
2. 論文標題 人流データのネットワーク分析とその応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関東都市学会年報	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計46件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Kohei Nagamachi, Tetsuya Shimane
2. 発表標題 移住者を引き付ける魅力とは？移住者流動のポテンシャル分析
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ikpe ThankGod, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Exploring the Impacts of the Complex Interplay Between Waning Immunity and Disease Fatality on the Topology of Scale Free Networks
3. 学会等名 Seventh Northeast Regional Conference of Complex Systems (NERCSS 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Kohei Nagamachi, Tetsuya Shimane
2. 発表標題 Where are livable cities by voting with migrants feet?
3. 学会等名 第3回計算社会科学学会大会 (CSSJ2024)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 街と道ができる条件:イタリアのシミュレーションから
3. 学会等名 震災・災害シンポジウム2023
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuzan Liu, 青木 高明, 藤原 直哉
2. 発表標題 City size distribution by percolation simulation on Japan real terrain
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ThankGod IfrekeSylvanus Ikpe, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Effects of Epidemics Dynamics with Births and Deaths on the Topology of a Scale Free Network
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杜 云瀚, 青木 高明, 藤原 直哉
2. 発表標題 Beyond origin-destination: Home information in mobility data aggregation
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Kohei Nagamachi, Tetsuya Shimane
2. 発表標題 Potential of migration flow: Which municipalities attract residents?
3. 学会等名 第37回応用地域学会研究発表大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 Multi-regional industrial network clustering on the basis of money circulation
3. 学会等名 第37回応用地域学会研究発表大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原直哉
2. 発表標題 人流が創発する地理コネクティビティ
3. 学会等名 GEOCONNECTIVITY2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Potential landscape of human flow in cities
3. 学会等名 Applied Algebraic Topology Research Network (AATRN) (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Yunhan Du, Takaaki Aoki, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 A comparative analysis of aggregation methods for human mobility data
3. 学会等名 NetMob2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 Multi-regional industrial network clustering on the basis of money circulation
3. 学会等名 Interdisciplinary Meeting ON Evolution and Engineering
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 A Model for Simulating Emergent Patterns of Cities and Roads on Real-World Landscapes
3. 学会等名 国際シンポジウム・ワークショップ “GISを用いて言語情報と非言語情報をつなぐ”(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Potential field of human flow extracted by Hodge-Kodaira decomposition
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Towards science of multi-scale human flow
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Potential landscape of human flow in cities
3. 学会等名 STATPHYS 28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuzan Liu, Takaaki Aoki, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 A model of city formation and scaling laws
3. 学会等名 STATPHYS 28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 人の流れから都市の姿を描く
3. 学会等名 第16回京都算学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原直哉
2. 発表標題 人流データの複雑ネットワーク分析とその応用
3. 学会等名 第44回数学入門公開講座（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Potential landscape of human flow in cities
3. 学会等名 NetSci2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuzan Liu, Takaaki Aoki, Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Scaling laws associated with percolation transition in the city size distribution
3. 学会等名 NetSci2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Identifying sinks and sources of human flows
3. 学会等名 Networks & cities NETSCI2023 Satellite (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原直哉
2. 発表標題 地形効果を考慮した都市の数理解モデル
3. 学会等名 RIMS共同研究「人口と環境の数理解地理モデリング」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Intersections of Nonlinearity and Networks in Human Mobility Data
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Data-driven Nonlinear and Stochastic Dynamics with the Control (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 人の流れから都市の姿を描く
3. 学会等名 Kobe Studio Seminar
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原直哉
2. 発表標題 コロナ禍における人流分析
3. 学会等名 関東都市学会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yunhan Du and Naoya Fujiwara
2. 発表標題 A Modified Radiation Model for Human Mobility: Effects of Distinct Job-Seeker Expectation and Job-Offer Benefit Distributions
3. 学会等名 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原直哉, 劉雨謙, 青木高明
2. 発表標題 都市規模分布は スケーリング則に従うか?
3. 学会等名 第36回応用地域学会研究発表大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuzan Liu, Takaaki Aoki, and Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Robustness of the scaling laws in the city size distribution
3. 学会等名 地理情報システム学会 2022年度 東北支部研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 The Hodge-Kodaira decomposition of human flows
3. 学会等名 システム適応動学セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 都市・地域経済学の展望：ネットワーク・構造推定・政策評価の観点から
3. 学会等名 第36回応用地域学会研究発表大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 人の流れから都市の姿を描く
3. 学会等名 キヤノングローバル戦略研究所 経済・社会との分野横断的研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 GPS位置情報分析における非ポアソン性を考慮したグリッドサイズ推定法
3. 学会等名 CSIS DAYS 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Finding a potential of human flow for revealing urban spatial structures
3. 学会等名 Roles of Heterogeneity in Nonequilibrium Collective Dynamics 2022 (RHINO2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Potential field of human flow extracted by Hodge-Kodaira decomposition
3. 学会等名 Research Institute for Mathematical Sciences
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 人流データに基づく都市空間構造の可視化: 0D 行列の Hodge-小平分解
3. 学会等名 香川大学・地域科学セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木高明, 藤嶋翔太, 藤原直哉
2. 発表標題 人流データに基づく都市空間構造の可視化: 0D行列のHodge-小平分解
3. 学会等名 CSIS DAYS 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Finding a potential of human flow for revealing urban spatial structures
3. 学会等名 Seminar at The complex systems institute, Ghent University (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木高明
2. 発表標題 人流データに基づく都市空間構造の可視化
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazufumi Tsuboi, Naoya Fujiwara, Ryo Itoh
2. 発表標題 Network analysis of human mobility and impact of COVID-19 pandemic on human mobility
3. 学会等名 Mathematical geographical modelling for environmental humanities
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoya Fujiwara
2. 発表標題 Response to severe disasters revealed by the human mobility data
3. 学会等名 JICA Innovative Asia JFY 2021 (Big data and Sustainable Development Goals (SDGs)) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Aoki
2. 発表標題 Finding a potential of human flow
3. 学会等名 JICA Innovative Asia JFY 2021 (Big data and Sustainable Development Goals (SDGs)) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 藤嶋翔太, 青木高明, 藤原直哉
2. 発表標題 Urban spatial structures from human flow by Hodge-Kodaira decomposition
3. 学会等名 第35回 応用地域学会 (ARSC) 研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Naoya Fujiwara, Shota Fujishima
2. 発表標題 ホッジ・小平分解を用いた, 人流データの背後にあるポテンシャル場の決定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Aoki, Naoya Fujiwara, Shota Fujishima
2. 発表標題 人流データの背後にあるポテンシャル場の決定
3. 学会等名 第13回 数理モデリング研究会: Workshop on multitrack event-trains in neural, social, seismological, and financial data
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	青木 高明  (Takaaki Aoki)  (30553284)	滋賀大学・データサイエンス学系・准教授    (14201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤嶋 翔太  (Shota Fujishima)  (50706835)	一橋大学・大学院経済学研究科・准教授   (12613)	
研究分担者	秋山 祐樹  (Yuki Akiyama)  (60600054)	東京都市大学・建築都市デザイン学部・准教授   (32678)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	University of Oxford			
米国	Massachusetts Institute of Technology			
スペイン	University of Barcelona			
フィンランド	Aalto University			