

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02872

研究課題名(和文)人口・産業集積の時空間ビッグデータにみられる相転移挙動の計算科学的研究

研究課題名(英文) Computational science study on phase transition behavior in spatio-temporal big data of population and industrial agglomeration

研究代表者

大西 立顕(OHNISHI, Takaaki)

立教大学・人工知能科学研究科・教授

研究者番号：10376387

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：都市における人口と施設数の間には非自明なスケーリング関係が存在し、業種を特徴づけるスケーリング指数が存在することを確認した。空間分布の同一性に注目することで、現実に即した空間的な集積度合いの指標を開発した。人口や施設数の時系列を解析し、連続する2時点間の成長率には正の相関があり、連続増加(減少)すると翌年も増加(減少)しやすい傾向を明らかにした。人口と施設数の間の厳密な関係性を散布図から特徴づける新たな手法を開発した。特異性指数と大域スペクトルを用いて、業種ごとに店舗・施設の空間分布の特徴を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人口・産業集積は、日本を含む多くの国において様々な空間スケールで観測される普遍的な性質である。空間的な集積は、理想的な二次元平面を仮定した上で分析されることがほとんどであるが、本研究では人口・施設の密度に応じて自然な形で長さの尺度を自動的に調整することで、より現実的な集積度合いの指標を開発した。さらに、現実世界では人・施設が三次元空間中のフラクタル的な図形上に分布していることを考慮して、マルチフラクタルの観点からも集積度合いを評価した。人・施設に関する時空間ビッグデータにこれらの手法を適用することで、集積現象の理解を深めた。

研究成果の概要(英文)：We confirmed the existence of allometric scaling relationships between population and number of facilities in a city, and the existence of scaling exponents characterizing the industry. By focusing on the spatial distribution, we developed a realistic index of degree of spatial concentration. We analyzed the time series of population and the number of facilities, and found that the growth rate between two consecutive time points is positively correlated, and that a continuous increase (decrease) tends to be followed by an increase (decrease) in the following year. We developed a new method to characterize the exact relationship between population and number of facilities from scatter plots. Using the singularity strength and the multifractal spectrum, we examined the characteristics of the spatial distribution of shops and facilities by industry.

研究分野：ビッグデータ解析

キーワード：人口集積 産業集積 都市のスケーリング則 二次元コロモゴロフ・スミルノフ検定 地理空間情報  
時空間ビッグデータ 超並列計算 マルチフラクタル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、人口・産業集積に関係した多様な時空間ビッグデータが利用できるようになってきている。人口減少・超高齢化に伴い過疎化や自治体の破綻などの課題が懸念されるため、この様なビッグデータを活用した人口・産業集積の計算科学的研究の重要性は増している。人口・産業集積は、日本を含む多くの国において様々な空間スケールで観測される普遍的な性質である。スケーリング則やフィードバック効果などの相転移挙動特有の性質に注目することで、人口・産業の集積・過疎化を相転移挙動の視点から理解できることが期待される。

### 2. 研究の目的

大量のマイクロな地理空間情報に注目し、スーパーコンピュータを活用して人口・産業集積に関する時空間ビッグデータを効率的に処理し、相転移挙動の視点から解析することで人口・産業集積現象の解明を目指す。スケーリング則で観測される非線形性を詳細に分析し、人口・産業の創発的な集積効果を考察する。動的な特性を解析することで、時間発展の観点から集積現象を解析する。

### 3. 研究の方法

(1) 人口・産業集積に関する全国規模の網羅的な時空間ビッグデータを調査・取得し、解析に用いるための時系列地図情報を整備した。人口集積に関するデータとして平成22年国勢調査100mメッシュ推計データ、モバイル空間統計サマリーデータ（携帯電話の位置データ）などを整備した。産業集積に関するデータとして座標付き電話帳データベーステレデータPack!、ハローページ電話帳リストなどを整備し、店舗・施設1件1件の位置・業種の情報を時系列として利用できる環境を整えた。そして、データの基本的統計性を確認した。

(2) 都市のスケーリング則が生じる機構や人口・産業の創発的な集積効果を分析するために、空間的な集積度合いを測る指標を開発した。空間的な集積度合いを測る指標として、クラスターに基づく指標と距離に基づく指標が広く使われている。クラスターに基づく指標は、空間を分割した上で分析を行うため分割する境界や観測スケールが問題になる。距離に基づく指標は、連続空間で分析するため空間分割の問題は生じないが、計算コストが高くパラメータやカーネル関数の設定が必要になってしまう。これら二つの指標は空間を二次元平面とみなした上で算出するものであるため、空間の異質性を十分に考慮できていない。特に日本は周囲を海に囲まれ平野が狭く山地が多いため、人・施設が理想的な二次元平面上に分布しているとみなすことは難しく、現実には三次元空間中のフラクタル的な図形の上に分布している。さらに、例えば同じ300メートルでも都心と田舎では移動手段や人口・施設の密度が異なるため、生活する上では必ずしも同じ長さで解釈できるとは限らないという問題もある。これらの問題を解決する指標を開発する。

(3) 法人の電話帳に掲載されている店舗・施設の数(都市サイズ)を全国規模で市区町村毎に解析した。

(4) 個人の電話帳データを用いて郵便番号単位に定義される集落の世帯数を全国規模で推定す

る手法を開発し、地域毎に人口の時間変化を解析した。

(5) 都市における人口と施設数の間の非自明なスケーリング関係は、一つのスケーリング指数のみのスカラー量として完全に特徴づけられるわけではなく、厳密には二次元分布の散布図として特徴づける必要がある。実際、二つの業種で指数が同一であるにもかかわらず散布図が大きく異なるもの、あるいは、散布図がほぼ同一であるにもかかわらず指数が異なるものも存在する。そこで、人口と施設数の間の関係を散布図から特徴づける手法を開発した。

(6) 人口・産業集積を通じて、店舗・施設の空間分布は人口の空間分布と共変化してきたと考えられる。そこで、各業種に属する店舗・施設の空間分布についてマルチフラクタル性が見られるかを評価した。業種ごとに店舗・施設空間分布の特徴を解析した。

#### 4. 研究成果

(1) データの基本的統計性を分析した結果、都市の人口はベキ分布に従うと言われるが、本研究で扱う人口データはきれいなベキ分布に従っているわけではなく拡張指数分布に近いことが判明した。店舗・施設数もこれと同じような分布に従っていることが判明した(図1)。都市における人口と施設数の間には非自明なスケーリング関係が存在し、業種を特徴づけるスケーリング指数が存在する。たとえば、人口が2倍になるとアウトカム(富, 特許数, 犯罪数など)は2倍以上に増加するが、公共インフラ(道路, 病院数など)の増加は2倍以下になることが知られている。整備したデータの様々な店舗・施設についても、同様のスケーリング則が成り立つことが確認できた(図2)。

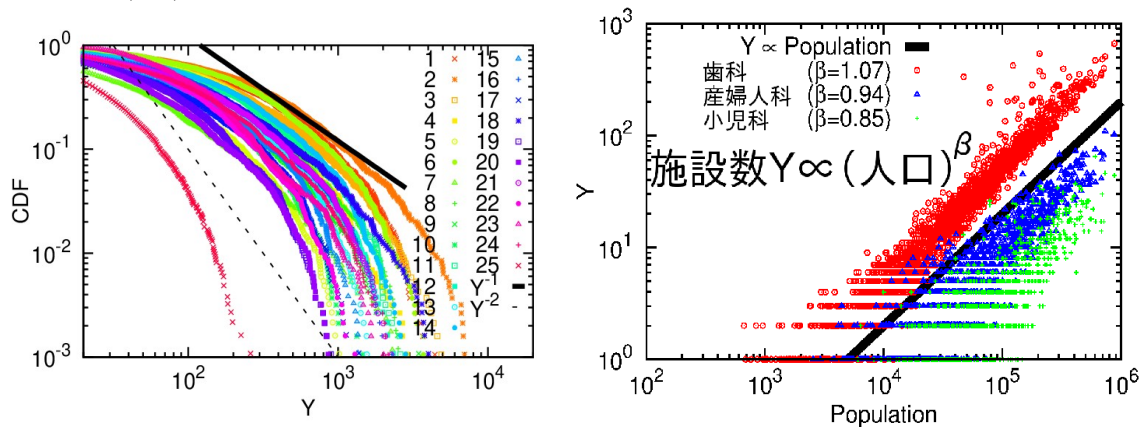


図1. 店舗・施設数の累積分布. 色は業種を表す. 図2. 市区町村の人口と店舗・施設数の関係

(2) 空間分布の同一性に着目し、二次元コルモゴロフ・スミルノフ検定を用いて空間的な集積度合いを定量化する新たな手法を提案した。計算コストが高いためスーパーコンピュータを活用して本手法を実装し、異なる二業種間に働く引力と斥力を推定した。これにより、空間的な集積度合いを測るより現実的な指標を開発することができた。

(3) 都市サイズは指数分布に、成長率はラプラス分布に従い、成長率は都市サイズに依存せずジブラ則が成り立つことを明らかにした。都市サイズの年次時系列を解析したところ、連続する2時点間の成長率には正の相関があり、大きくなった都市は翌年も大きくなりやすい性質がある成長率を中央値の大小で二値化し、都市サイズの時間変化履歴で条件つけた確率を考える。連続して同符号が出た後に次も同符号が出現する確率は統計的有意に0.5より大きくなり、同符号

が連続すればするほど次も同符号が出現しやすい、つまり、都市の店舗・施設の数が増加・減少傾向は継続しやすい性質があることを明らかにした(図3).

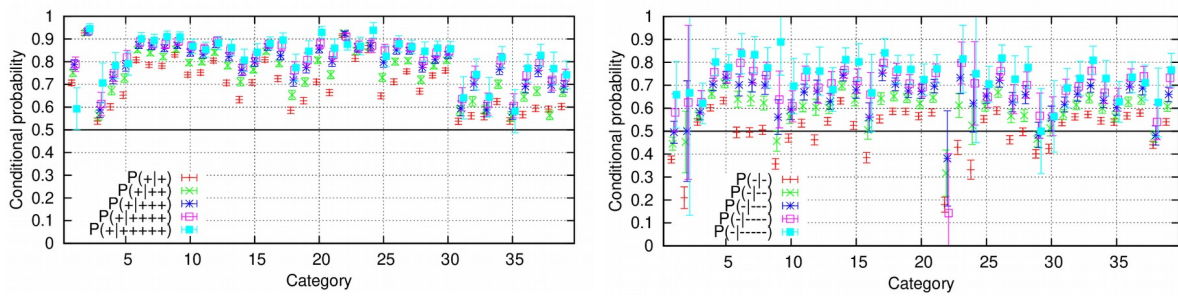


図3. 各業種について、店舗・施設の数が増加・減少する条件つき確率

(4) 2015年について、国勢調査データの世帯数と電話帳データ収録件数を比較したところ、世帯数の多い大きな都市になるほど収録割合は少なくなるが、世帯数の少ない小さい都市になるほど収録割合は高くなり、都市の大きさが小さくなるにつれて1世帯に1件の割合で収録される傾向に近づいていくことが分かった(図4)。人口の少ない地域については、電話帳データの収録件数は人口を反映していると期待できる。店舗・施設の数(都市サイズ)で行った解析と同様の分析を行い、人口が連続増加(減少)すると翌年も増加(減少)しやすい傾向などを明らかにした(図5).

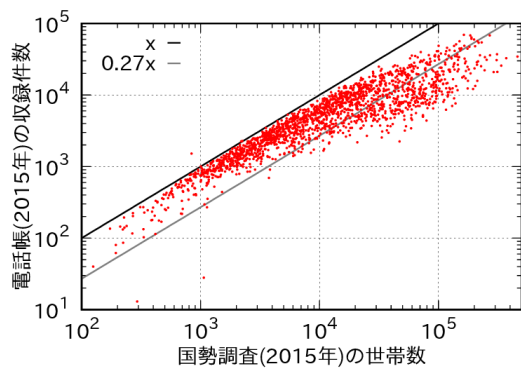


図4. 市区町村毎にみた世帯数と電話帳収録件数

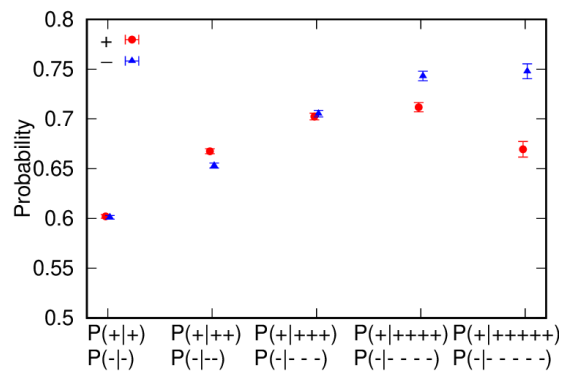


図5. 集落の人口減少(増加)の継続性

(5) 人口と店舗・施設数の関係性を詳細に調べるために、二つの散布図(図6)の間の距離を二次元コルモゴロフ・スミルノフ統計量で定義し、人口と店舗・施設数の散布図を任意の二業種間で比較した。どのような業種で人口と店舗・施設数の関係性が似ているかを定量化し、クラスター分析を用いて人口と店舗・施設数の関係性から業種を特徴づける手法を開発した(図7).

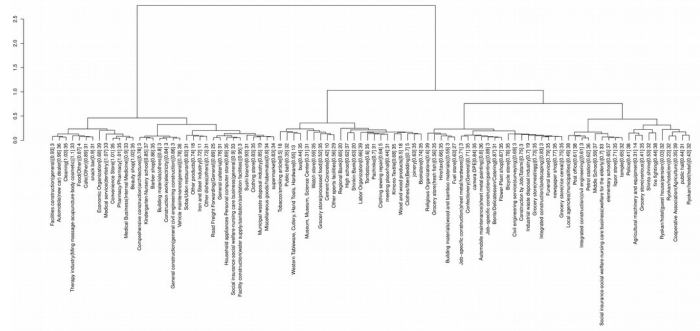
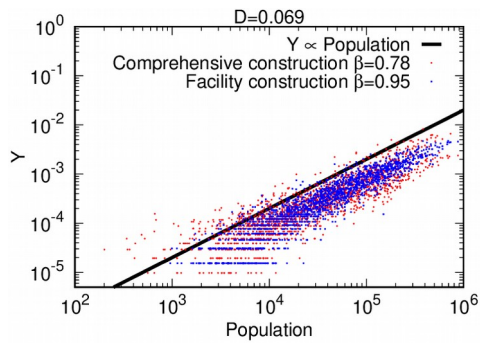


図6. 市区町村の人口と店舗・施設数の散布図 図7. クラスター分析で得られた業種分類の一部

(6) 特異性指数と大域スペクトルを用いて、業種ごとに店舗・施設の空間分布を特徴づけた。全39業種のうち、生活関連店や病院・福祉施設等の12業種において、店舗・施設の空間分布にマルチフラクタル性が見られた。空間分布の特異性指数や大域スペクトルを業種間で比較したところ、専門的な業種や商業色の強い業種では、店舗・施設が極めて集中して立地していることが示唆された。特異性指数や大域スペクトルから空間分布の特徴をどのように解釈できるかについても議論した。

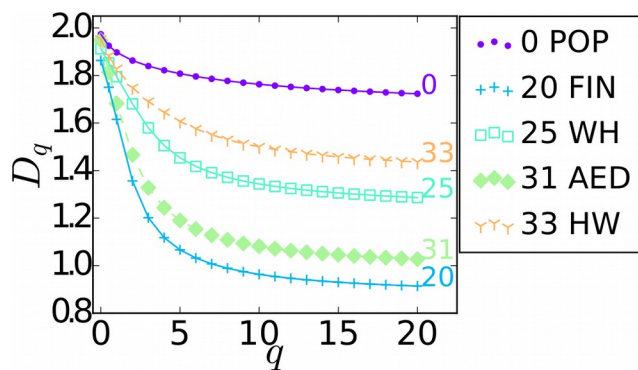


図8. 各業種の一般化次元

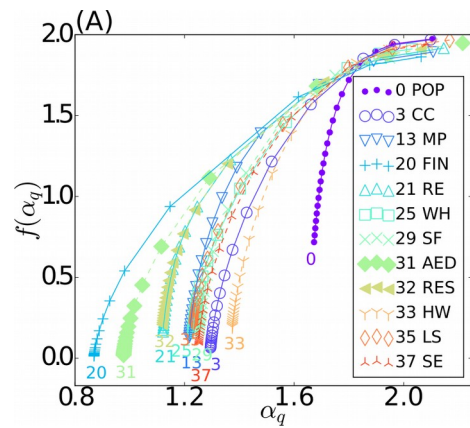


図9. 大域スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11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 6件）

1. 著者名 Ito Mariko I., Ohnishi Takaaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Evaluation of the Heterogeneous Spatial Distribution of Population and Stores/Facilities by Multifractal Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	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) 10.3389/fphy.2020.00291	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 Chikara Mizokami, Takaaki Ohnishi	4. 巻 689
2. 論文標題 Revealing Persistent Structure of International Trade by Nonnegative Matrix Factorization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 In: Complex Networks & Their Applications VI. COMPLEX NETWORKS 2017. Studies in Computational Intelligence, Springer, Cham	6. 最初と最後の頁 1088 ~ 1099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-72150-7_88	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 Shouji Fujimoto, Atushi Ishikawa, Takayuki Mizuno	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison between spatial distributions of tweet base and population in Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Big Data	6. 最初と最後の頁 3052 ~ 3057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/BigData.2017.8258277	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 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Mariko Ito, Takaaki Ohnishi
2. 発表標題 Regional Difference of Store/Facility Agglomeration Observed in Japanese Telephone Directory Data
3. 学会等名 6th International Conference on Computational Social Science (IC2S2) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Using two-dimensional Kolmogorov-Smirnov statistics to characterize allometric scaling between population and number of facilities
3. 学会等名 FENS 2019-10th Polish Symposium on Physics in Economy and Social Sciences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Directional patterns of city size changes in Japan
3. 学会等名 The Computational Social Science Society of the Americas CSS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Continuous increases or decreases in city sizes observed in Japanese telephone directory data
3. 学会等名 DPG Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Indicator of the Number of Stores and Facilities Suitable for Urban Population Using Scaling Exponents
3. 学会等名 Social Informatics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Yuichi Ikeda, Hiroshi Iyetomi, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Using Network Motif Analysis to Characterize the International Trade Network
3. 学会等名 SigmaPhi2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Characteristic Spatial Interaction between Shops and Facilities in Japan
3. 学会等名 Conference on Complex Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Use of the two-dimensional Kolmogorov-Smirnov test to measure spatial concentration in geospatial data
3. 学会等名 11th International Conference on Computational and Financial Econometrics (CFE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Quantification of spatial collocation patterns of shops and facilities using the two-dimensional Kolmogorov-Smirnov statistic
3. 学会等名 13th German Probability and Statistics Days 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Characterizing industry agglomeration in Japan using urban allometric scaling
3. 学会等名 Challenges in Data Science (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Scaling analysis of urban agglomeration observed in Japanese phone directory data
3. 学会等名 Conference on Complex Systems 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Scaling relations between population and number of facilities
3. 学会等名 Dynamics Days Latin America and the Caribbean (国際学会)
4. 発表年 2016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	水野 貴之  (MIZUNO Takayuki)  (50467057)	国立情報学研究所・情報社会相関研究系・准教授   (62615)	

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	久野 遼平  (HISANO Ryohei)  (60725018)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師     (12601)	

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