

都市集積の秩序に基づく地域政策のマクロ的視点

都市集積と地域経済圏形成の要因分析：理論・実証分析枠組の開発と応用
研究プロジェクト

2022年7月

公益社団法人日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究
成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印
刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。

シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。

シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、
折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によっ
てとりまとめたものを収める。

シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。

シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査
活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。

シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山 内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番
号を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電 話 (03) 3263-1945 (代表)

F a x (03) 3234-4593

E-Mail: office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-846

令和3年度自主研究プロジェクト

「都市集積と地域経済圏形成の要因分析：理論・実証分析枠組の開発と応用」

刊行：2022 年 7 月

都市集積の秩序に基づく地域政策のマクロ的視点

主査：森 知也（京都大学経済研究所）

Tomoya Mori

要 旨

本稿では、都市集積と地域経済圏形成における秩序形成に関する令和3年度研究プロジェクトの成果を概観し、その政策的な意味について議論する。多くの国において都市規模分布が概ねべき乗則に従うことは長く既知の事実であったが、それが、産業の空間的コーディネーションを介した都市形成と地理的配置に密接に関連することを明らかにした。国内の都市群の地理的配置は、大都市を小都市群が取り囲む「中心地パターン」が再帰的に繰り返される階層構造を持ち、この構造は、都市の産業構造の階層性と密接に関連している。各階層の大都市を中心とした都市群からなる地域に注目すると、各地域の都市規模分布は概ね共通のべき乗則に従う。「国」は国内の階層的な地域構造における最上位層の地域に他ならず、国内の各地域では、国全体と概ね相似な都市の規模・地理的配置および産業構造が実現している。どの都市が成長するか、それは椅子取りゲームであり、都市の規模・空間分布・産業立地パターン自体は維持される傾向にある。都市規模・空間分布・産業構造における秩序は、地域政策において事実上の制約として認識する必要がある。

キーワード：都市規模、中心地パターン、産業集積、べき乗則、フラクタル

Abstract

This paper reviews the research outputs of our R3 project on the urban agglomeration and the formation of economic regions. It is a well-known fact that city size distribution follows a power law in many countries. We found that this regularity holds not only at the country level, but also in regions within a country. Specifically, the sizes and spatial patterns of cities exhibit the recursive "central place pattern" in which a large city has many surrounding small cities, from which a spatial fractal structure of cities results. Each part of the fractal consists of cities that exhibit the central place pattern with a city-size distribution following a common power law. Such regularity has important policy implications, as the size of a city is known to correlate with various socio-economic indices such as industrial diversity, household income, and education levels of workers. City growth is strictly subject to this regularity since the size and spatial distributions of cities remain essentially the same. The regional policies must take this persistent regularity as a de facto constraint.

目 次

1. 序論	1
2. データ	2
3. 都市の規模と地理的配置	4
4. 階層的地域分割と地域レベルの都市規模分布	6
5. 都市規模分布のべき乗則とフラクタル構造	8
6. 中心地パターンと貿易	9
7. 政策的示唆	13
8. 結語	15

研究メンバー および執筆担当（敬称略・順不同）

主査：	森 知也	京都大学経済研究所教授（執筆担当）
メンバー：	文 世一	京都大学大学院教授
	大澤 実	京都大学経済研究所助教
	町北 朋洋	京都大東南アジア地域研究所准教授
	松島 格也	京都大学大学院准教授
	松尾 美和	神戸大学経済経営研究所准教授

（2022年3月現在）

都市集積の秩序に基づく地域政策のマクロ的視点

1. 序論

個々の都市はときに激しい盛衰を経験する一方で(Batty, 2006)、都市(人口)規模分布の形状は極めて安定的で、かつ、多くの国で、概ねべき乗則に従うことが知られている(Eaton and Eckstein, 1997; Black and Henderson, 2003; Gabaix and Ioannides, 2004, Mori, 2020)。都市規模は、立地産業数・賃金・教育水準・犯罪発生件数等、都市の様々な社会経済指標と強く相関することから(Bettencourt et al., 2007)、都市規模分布を特徴づけ、その分布形の背景にあるメカニズムを説明することは、都市経済学の主たる研究テーマの一つとされてきた。

都市規模分布におけるべき乗則発現のメカニズムとして、従来最も有力視されてきたのは、都市の成長率が独立同分布に従うとするランダム成長理論である(e. g., Gabaix, 1999; Duranton, 2006)。しかし、この理論の下では、個々の都市が他より成長する理由はなく、また、都市の規模と地理的配置は独立であるため、都市成長を介した地域成長を促す政策は基本的に無意味であることになる。

一方で、Mori, Smith and Hsu(2020)は、日本・アメリカ・フランス・ドイツ・インド・中国のデータを用いて、都市の規模と地理的配置が密接に関連すること、またその関連性はこれらすべての国において質的に同様であることを明らかにした。具体的には、一国内における都市群の地理的配置は、大都市(中心地)を小都市群が取り囲む「中心地パターン」が再帰的に繰り返される階層構造を持ち、結果として、より大規模な都市ほど互いに離れ、それらの都市間にはより多くの小都市が存在するように配置されている。各階層の大都市とそれを囲む小都市群からなる地域に注目すれば、各地域の都市規模分布は概ね共通のべき乗則に従い、その意味で、国内の都市システムは空間的なフラクタル構造を持つ¹。さらに、Mori and Wrona (2021)は、日米の物流データを用いて都市間貿易を分析し、このように定義された各地域が国内地域間貿易に関して自律的な地域経済圏を構成すること、つまり、地域圏界には一般的な重力モデルで考慮される効果で説明できない貿易障壁が存在することを示した。

これらの研究成果は、国内地域経済を都市集積の中心地パターンの視点で捉えることの重要性を示唆している。どの都市が成長するか、それは椅子取りゲームであり、ある規模以上の都市が実現する空間頻度について自由度は低く、地域政策の設計にお

¹ ランダム成長理論の下では、十分なサイズの任意の都市集合について共通べき乗則が成り立つ。しかし、Mori, Smith and Hsu (2020)は上述の6カ国についてこの仮説を棄却している。

いて、都市規模・空間分布における秩序は事実上の制約として作用する事実を認識する必要がある。本稿では、都市集積の中心地パターンについてデータを用いて概説し、その政策的示唆を議論する。

2. データ

都市の同定には約 1km メッシュの人口分布データを用い、一つの都市を、総人口が 1 万人以上かつ、人口密度 1000 人/km² 以上の連続的な地域として定義する。人口データは、日本については国勢調査地域メッシュ統計²、その他の国については Bright et al. (2016) による LandScan 2015 データベースに基づく。図 1 はアメリカと日本の 2015 年における都市の地理的配置と都市規模分布を示している³。

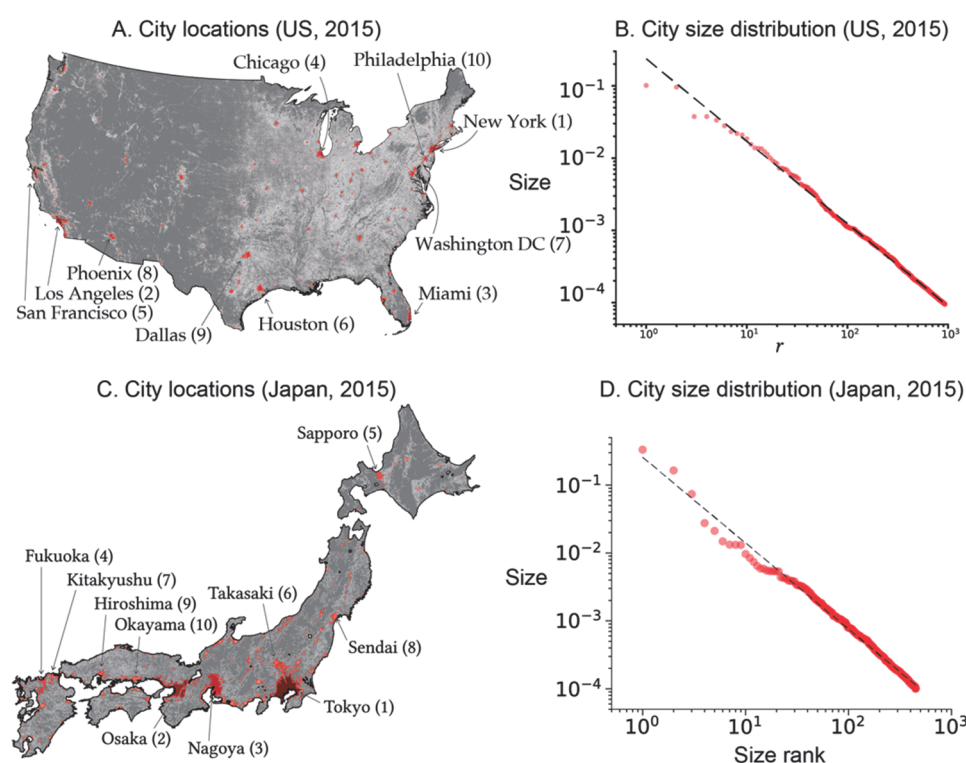


図 1. 都市の地理的配置と都市規模分布(2015 年)

² <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> を参照。

³ 図 1 において、(A)は 2015 年データから同定されたアメリカ本土に存在する 931 都市の地理的配置を示している。赤色領域が都市、色が濃いメッシュほど人口密度が高いことを意味する。その他は都市に属さない地域で、色が薄いメッシュほど人口密度が高いことを意味する。都市規模上位 10 都市について具体的な位置を示している(括弧内の数字は都市規模順位)。(B)はアメリカの都市人口規模分布を示し、縦軸は都市規模で全国に対する人口シェア、横軸は規模についての都市順位。点線は OLS 回帰直線である。(C)は、2015 年データから同定された日本の 450 都市の地理的配置を示す。ただし、本州あるいは北海道と道路網で接続する地域のみを含む。(D)は日本 450 都市の人口規模分布を示している。

このような都市定義の利点として以下 3 つがある。第 1 に、定義が単純で簡単に計算でき、かつ LandScan などの世界を網羅するデータが存在するため、全ての国に対して基本的に同じ定義・条件で都市を同定できる。第 2 に、都市規模分布の形状が人口密度や総人口などの具体的なパラメタ値に殆ど依存しない。上記の人口密度・総人口の条件の下で、2015 年時の都市数は、アメリカで 931、日本で 450、中国で 7,204 と、国によって大きく異なる。このような場合に、国際比較を行う上で計算費用と統計的精度を勘案した適当なサンプル数を念頭にパラメタ値を設定しても、都市規模分布の形状は殆ど影響を受けない。都市の同定手続き自体が単純なため、感度分析も容易である⁴。

第 3 に空間的な集計バイアスが少ない。従来一般的に用いられる通勤圏に依拠した都市雇用圏(e.g., Kanemoto and Tokuoka, 2001)は、アメリカの郡や日本の市町村など、データが得られる地域単位が大きいと、ニューヨークや東京など郡/市町村の範囲を大幅に越える規模を持つ大都市を除けば、多くの郡/市町村は、Mori et al. (2020)による都市定義の下で検出される都市を複数含む。このような場合、中規模の都市雇用圏は複数の都市集積を含む傾向がありその規模は過大に評価される。一方で、その分、小規模の都市雇用圏の数は過小となる⁵。都市の規模は、立地産業数を始め都市の様々な社会経済的性質と強く相関するため、このような都市規模に対する系統的なバイアスの存在は結果の解釈に影響し、誤った政策的示唆に繋がる可能性がある。なお、Mori et al. (2020)と同様な都市定義は、最近 EU の公式統計でも用いられている(Dijkstra and Poelman, 2012)。

各都市間の距離は、OpenStreetMap に基づく自動車道路網距離を用いる⁶。ただし、都市の最大人口密度地点をその都市の代表地点とし、都市間距離は都市の代表地点間の道路網距離として定義する。また、各国の都市は、基本的には本土と道路網で接続しているか、あるいは、適切な道路網距離換算ができる本土に近接した大規模な島に存在するもののみを含んでいる。例えば、日本の北海道や中国の海南島は含むが、アメリカのハワイは含まない。

⁴ 例えば、Mori et al. (2020)では総人口下限値を 10,000 人と 20,000 人の場合で比較している。

⁵ Kanemoto and Tokuoka (2001)による都市雇用圏との比較については Mori and Wrona (2021)の[オンライン付録](#)を参照されたい。

⁶ [Mori et al. \(2020\)](#)は緯度経度で位置が与えられる地点群の各地点ペア間距離の具体的な計算手続きを公開している。

日本とアメリカについては、さらに都市集積パターンと都市間貿易の関係について物流センサス個票を用いることにより分析できる⁷。本稿では、Mori and Wrona (2021)の研究結果から日本についての結果を中心に概観する。

3. 都市の規模と地理的配置

一国内の都市の規模と数の関係については、図 1 が示すアメリカと日本の場合のように、小規模な都市ほど多数存在し、その増加は指数的である。経済地理学の分野では Christaller (1933) や Batty and Longley (1994) らが、このような都市の規模と数の関係が、大都市(中心地)を小都市群が取り囲む「中心地パターン」が再帰的に繰り返される、階層構造を持つ理的配置を伴うことを指摘してきた。これらの著作において提唱された中心地理論は Quinzii and Thisse (1990), Fujita, Krugman and Mori (1999), Tabuchi and Thisse (2011) および Hsu (2012) らによりミクロ経済学的基礎が与えられ、都市形成パターンの階層構造は、規模/集積の経済の程度が異なる多数の経済活動の地理的なコーディネーションの結果として得られることが示された。特に Hsu (2012) は、異なる経済活動の規模の経済の程度(彼のモデルでは企業の固定費用)が正則変動関数である場合に、都市規模分布は漸近的に図 1(B)(D)に見られるようなべき乗則に従うことを示した。この条件を満たす分布は、べき乗則を厳密に満たすパレート分布より一般的な分布であることから、Hsu (2012) は、実経済で観察される都市規模分布のべき乗則の頑健性に対して、中心地理論の立場から理論的な基礎を与えていると言える。

中心地理論が示唆する中心地パターンの再帰構造の下では、規模が大きい都市ほど相互に地理的に隔離されている。しかし、実際の都市間距離は地形や歴史的経緯による地域間の条件の違いに依存するため、それらを適切に制御しない限り、大都市の地理的隔離性を検証できない。実際、アメリカの都市配置に関する Dobkins and Ioannides (2001) は、大きい都市ほど近接していると結論するなど、Mori et al. (2020) 以前の研究では実証されていない。Mori et al. (2020) は、都市の位置と都市間距離のみを用いる単純な方法によって背景にある地理的な異質性を制御し、大都市の隔離性の検定を可能にした。以下、アメリカの場合を例に Mori et al. (2020) の方法の要点を解説する。

図 2(A)(B) に示すいずれにおいても、アメリカ本土を全 931 都市に関してボロノイ

⁷ ただし、貿易データは行政区単位でしか得られないため、都市集積を行政区レベルで粗視化した都市群を用いる必要がある。

分割し、都市を一つずつ含む 931 のポリゴンを表示している。図から明らかなように、アメリカ本土の都市の地理的配置は西半分より東半分の方が密である。この違いは主として地形と歴史的経緯によると思われる。まず、最も歴史が古い北東部海岸は、欧州からの入植当初の交通手段は人馬が主であり、鉄道敷設以降に急速に成長した西地域とは、都市形成当時、同じ物理的な距離でも経済的な距離は東側で大きかったと考えられる。また、西部はロッキー山脈や砂漠地域など、地形の面で都市形成が起こりにくい領域を多く含む。このように、都市の地理的配置は、歴史的経緯(都市形成時期の違いによる輸送費の違いなど)や自然条件(気候・地形・地質)の地域差を反映していると考えられる。都市の規模と都市間距離の関係を評価するには、これらの地域差を適切に制御する必要がある。

このような外生的な地域差による都市間距離効果の差異を制御するため Mori et al. (2020) は以下のように検定を設計した。 U を国内の全都市からなる集合とし、その中から K 都市 $\{u_1, \dots, u_K\}$ をランダム選び、それらのうち残りの都市のうち u_i に最も近接する U 内の都市群を U_i とする。得られた都市群 $(U_1, \dots, U_K)$ は U の K 都市についてのボロノイ分割で、個々の U_i はボロノイ地域(セル)と呼ばれる。

図 2(A) では、 $K=3$ の下でランダムに選んだ 3 都市についてのボロノイ分割の例を示している。図から明らかなように、ボロノイ分割では地理的に連続な(赤・青・緑の)3 つのセルが得られる。次に、図 2(A) に示すボロノイ K 分割の各セルサイズ(都市数)を固定して、全都市群 U を、距離関係を無視してランダムに K 分割する。その結果、図 2(B) が示す、地理的な連続性を必ずしも満たさない 3 つのセルが得られる。

ここで大都市数 $L (\geq 2)$ を決め、ボロノイ K 分割(図 2A) おいて少なくとも L 大都市のうち 1 つを含むセル数 $N_L \in [1, \min(K, L)]$ と、ランダムな K 分割(図 2B)における値 $\bar{N}_L$ とを比較する。もし、大都市ほど相互に地理的に隔離されているならば、 $N_L > \bar{N}_L$ となる傾向があるはずである。この仮説は、図 2 のようなボロノイ・ランダム K 分割の組合せを多数生成して統計的に検証できる。帰無仮説 H_0 を「ボロノイ分割・ランダム分割のそれぞれから得られる N_L と $\bar{N}_L$ の値が同じ確率分布に従う」とすると、生成したボロノイ・ランダム K 分割のうち $N_L < \bar{N}_L$ を満たすシェア p_0 を p 値として H_0 の片側検定を行うことができる。この検定により、Mori et al. (2020) I は、分析対象 6 カ国全てにおいて、大都市ほど高い地理的隔離性を示すことを実証し、実際の都市の地理的配置が中心地理論に整合的であることを示した⁸。

⁸ 図 2 では、都市群の分割の視認性を高めるために、まずアメリカ本土を構成する 1km メッシュセル群を都市に関してボロノイ分割している。したがって、地図中の各セルに都市が一つずつ含まれる。ただし、単純化のため、ここでのボロノイ分割には直線距離を用いている。(A) は、ランダムに選んだ 3 都

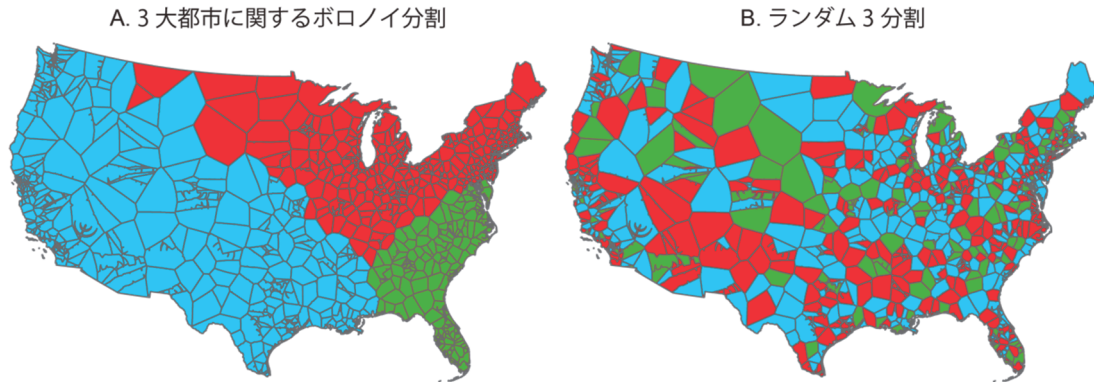


図 2. アメリカ都市群のボロノイ 3 分割とランダム 3 分割

4. 階層的地域分割と地域レベルの都市規模分布

本節では階層的な中心地パターンに整合する地域分割を生成する。実際には様々なメカニズムの下で均衡において中心地パターンが発現することが知られているが (e.g., Fujita, Krugman and Mori, 1999; Tabuchi and Thisse, 2011; Hsu, 2012)、Mori et al. (2020) では Christaller (1933) に習った単純な地域分割を採用している。まず、地域階層の第 1 層を国全体とする。次に、分割数 $L \geq 2$ を固定し、 L 大都市に関して全都市群 U をボロノイ分割する。ここで得られる各分割セルは L 大都市のうちのひとつとそれを取り囲む小都市群からなる第 2 層の地域である。同様に、各地域を地域内の L 大都市に関してボロノイ分割し、第 3 層の地域群を得る。この手続きを都市が尽きるまで繰り返すことにより、各地域が中心地パターンに整合する階層的な地域分割を得る。

図 3 は、 $L = 3$ の場合のアメリカと日本における第 2, 3 層の地域を示している。アメリカの第 2 層は New York, Los Angeles, Miami を中心とした 3 地域 (図 3A) で、第 3 層では各地域がさらに 3 分割される。例えば、Los Angeles 地域は、Los Angeles, San Francisco 及び Phoenix を中心とした地域に分割される (図 3B)。同様に、日本では、第 2 層が東京、大阪、名古屋を中心とした地域 (図 3C)、第 2 層の大阪地域は、第 3 層では大阪、福岡及び北九州を中心とした 3 地域に分割される (図 3D)⁹。

市に関するアメリカ本土上のボロノイ分割の 1 例を示している。都市間距離には、都市の人口密度最大地点間の道路網距離を用いた。(B)は図 A の各赤・青・緑の分割セルのサイズ(都市数)を固定した下でのアメリカ本土全都市のランダム 3 分割の 1 例を示している。

⁹ 図 3 において、(A)は、アメリカの第 2 層地域分割を示している。具体的には、3 大都市 (New York, Los Angeles, Miami) に関するボロノイ分割である。(B)は、アメリカの第 3 層地域分割を示している。第 2 層の Los Angeles 地域は、Los Angeles, San Francisco, Phoenix に関するボロノイ 3 分割と

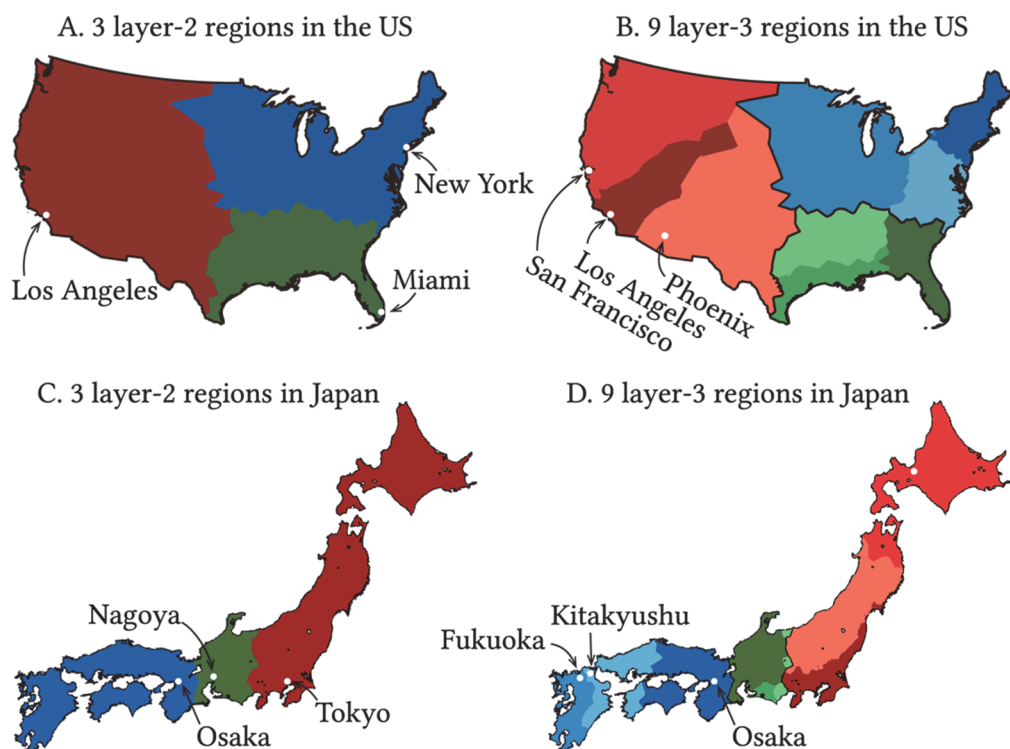


図 3. アメリカと日本の都市群のボロノイ 3 分割(2015 年)

図 4 (A) (B) は、それぞれアメリカと日本について、 $L = 3$ の下での階層的ボロノイ分割から得られた各地域の都市規模分布を示している。いずれの場合も、各地域における都市規模分布は概ね共通のべき乗則に従うように見える。しかし、階層的ボロノイ分割下でのべき係数の共通性を統計的に検定するには、適切に定義されたランダム反実仮想地域分割の場合と比較する必要がある。ランダム地域分割には複数の定義が可能であるが、都市配置の中心地パターンの役割に注目して、上記の階層的地域分割から都市間の空間的な関係(中心地パターン)のみを排除したランダムな階層的な地域分割を採用する。

そのためには、各階層において行った、各地域内の L 大都市に関するボロノイ分割を、各セルのサイズを固定した上で、 L 大都市に関するランダムな分割に変更する。この方法で得られた地域分割は、都市規模に基づく地域分割の階層性と各地域に含まれる都

して得られる。(C) は、日本の第 2 層地域分割を示している。具体的には、3 大都市(東京、大阪、名古屋)に関するボロノイ分割である。(D) は、日本の第 3 層地域分割を示している。第 2 層の大阪地域は、大阪、福岡、北九州に関するボロノイ 3 分割として得られる。

市数は元のボロノイ分割と共有しつつ、都市間の空間関係のみを排除した地域分割である。特に、ランダム成長モデル(e.g., Gabaix, 1999; Duranton, 2006)の下では、

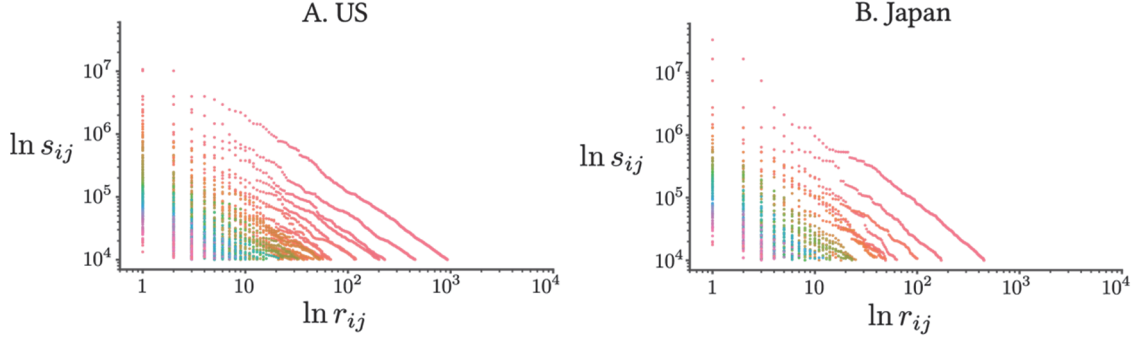


図 4. 階層的な地域構造と都市規模分布の共通べき乗則

これら 2 種類の地域分割の間に共通べき乗則の適合度の差は統計的には生じない。つまり、もし階層的ボロノイ地域分割において共通べき乗則への適合度が有意に高い結果が得られれば、実経済で観察される都市形成はランダム成長より中心地理論を支持することを意味する¹⁰。

5. 都市規模分布のべき乗則とフラクタル構造

複数地域の都市規模分布における共通べき乗則の成立を評価するために、以下のカテゴリカル回帰モデルを用いる：

$$\ln s_{ij} = b_1 - \theta \ln(r_{ij} - 0.5) + \sum_{h=2}^m \beta_j \delta_j(h) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

ただし、 m は回帰に含む地域数¹¹、 $j = 1, \dots, m$ は地域インデックス、 s_{ij}, r_{ij} はそれぞれ、地域 j に含まれる都市 i の規模と地域 j 内での規模順位とする。べき係数は全地域共通で θ 、切片のみが地域により異なると仮定する。定数 b_1 と、地域ダミー変数 $\delta_j(h)$ を $h = j$ のとき $\delta_j(h) = 1$ 、 $h \neq j$ のとき $\delta_j(h) = 0$ と定義することで、各地域 j の切片は $b_1 + \beta_j$ で表される。最後に誤差項を ε_{ij} とする¹²。

モデル(1)の適合度には、ノンパラメトリックな設定下で最も一般的な指標の一つである平方平均二乗誤差(Root Mean Squared Error, RMSE)：

¹⁰ 図 4(A) (B) は、それぞれ、アメリカ・日本における、3 大都市に関する階層的ボロノイ分割で得られる各地域の都市規模分布を示している。 s_{ij} は地域 j に属する都市 i の規模、 r_{ij} は地域 j 内での都市 j の規模順位を表している。

¹¹ 実際の回帰では都市数が L 以上地域のみを含めており、 m はそのような地域の数である。

¹² 右辺第 2 項において各地域における規模順位 r_{ij} から 0.5 を減じることにより、Gabaix and Ibragimov (2011)の方法で θ の推定バイアスを補正している。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^m n_j} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (\ln s_{ij} - \widehat{\ln s_{ij}})^2} \quad (2)$$

を採用する。ただし、 n_j は地域 j に含まれる都市数で、 $\widehat{\ln s_{ij}}$ は、式(1)の最小二乗法による推定値 $(\hat{\theta}, \hat{b}_1, \hat{\beta}_2, \dots)$ を用いて得られる $\ln s_{ij}$ の推定値

$$\widehat{\ln s_{ij}} = \hat{b}_1 - \hat{\theta} \ln(r_{ij} - 0.5) + \sum_{h=2}^m \hat{\beta}_h \delta_j(h)$$

を表す。共通べき乗則の検定は、 $L = 2, 3, \dots, 6$ の各 L 値の下で、前節で定義したランダム地域分割を 1000 通り生成して行う。具体的には、帰無仮説を「ボロノイ・ランダム地域分割のいずれについても、モデル(1)をフィットしたときの RMSE が同じ統計的母集団に属する」として、ボロノイ分割の下での RMSE がランダム分割の下でのそれを下回る場合(ボロノイ分割の方が適合度が高い場合)の数シェアを帰無仮説下の P 値として片側検定を行う。アメリカの場合は $L = 2, 3, \dots, 6$ の全て、日本の場合は $L = 4$ を除く全ての L 値で帰無仮説は 1%水準で棄却された¹³。

したがって、中心地理(e.g., Christaller, 1933; Batty and Longley, 1994)が示唆する、都市の中心地パターンに従う地理的配置および都市規模分布のフラクタル構造が支持され、さらに、フラクタル構造が都市規模分布の共通べき乗則を伴うとする Hsu (2012)による最新の中心地理論の結果が実証された。

6. 中心地パターンと貿易

Mori et al. (2020)による都市配置の中心地パターンに依拠した階層的ボロノイ地域分割によって得られた地域群を用いて、Mori and Wrona (2021)はこれらの地域が都市間貿易に関して自律的な地域経済圏を近似することを、日本とアメリカについて実証した。本節では日本の結果を概観する。ただし、Mori et al. (2020)で用いられた都市群が 1km メッシュの地域単位から構築されたのに対して、物流センサス個票は市区町村レベルのデータであるため、都市群を市区町村集合により近似することにより都市間貿易額の算出を可能にする¹⁴。

図 5 は、図 3(C)の 3 大都市に関するボロノイ分割の下で、東京地域(赤領域)に属す

¹³ 都市規模を 20,000 人以上に限った場合は、日本においても $L = 4$ でも 1%水準で帰無仮説は棄却される。また、日米と同様に都市化が基本的に完了しているドイツ・フランスについても、同様の条件で階層的ボロノイ分割の下で共通べき乗則の発現が実証された。中国とインドについては、都市規模の下限を 10,000 人とした場合には結果は弱い、20,000 人とした場合には全ての L 値で 1%水準で有意であった。

¹⁴ 例えば、2015 年については、Mori et al. (2020)による 450 都市は 400 都市に集約される。

る都市と、大阪・名古屋地域(青・緑領域)に属する都市について、東京からの距離と総移入額に占める東京のシェアの関係を示している¹⁵。東京地域に属する都市は、大阪・名古屋地域に属する都市に比べて、東京に近接する距離の効果を考慮してもなお東京から顕著に移入している。貿易の地域境界効果の規模は、図 5 に示す回帰線の切片の差に表れている。この事実は、中心地パターンで特徴づけられる地域単位が、貿易に関して比較的自律的な地域経済圏を近似することを示唆している。

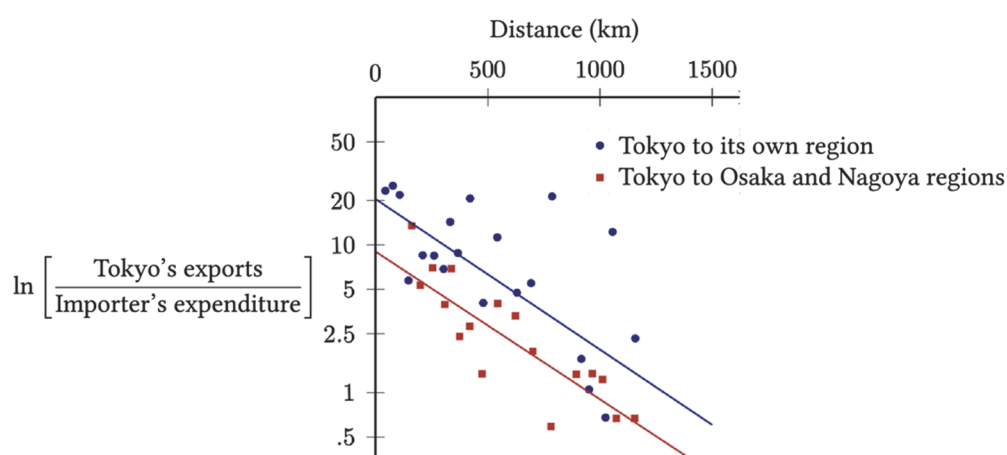


図 5. 見えざる貿易障壁

Mori and Wrona (2021)は、さらに、階層的な中心地パターンの発現が、中心地理論が示唆する産業立地のコーディネーションに起因する可能性が高いことを複数の側面から実証している。

図 6 は、中心地理論における産業立地のコーディネーションの概念を示している。産業は 3 種類あり、それらの立地は図中の 1 次元立地空間上の赤・青・黒丸でそれぞれ表されている。個々の産業は固有の規模の経済・輸送費感度に直面しており、その程度により立地(あるいは集積)の空間的頻度が異なる。規模の経済が大きいほど、あるいは、輸送費感度が低いほど立地/集積頻度は低くなり、少数地点に立地が起こる。図中では、赤・青・黒の順で立地/集積数(および密度)は増加する。財・サービスの調達に輸送費がかかるとき、産業立地が消費者立地を伴う産業と人口の共集積が起こり、都市形成が起こる。異なる産業は異なる空間頻度で立地/集積するが、共通の消費者を介

¹⁵ より具体的には、図 5 は、2015 年の東京地域と大阪/名古屋地域のそれぞれに含まれる都市を、東京からの距離に関して同サイズの 20 組に分け、各組について、距離中央値に対して各都市の総移入額に占める東京のシェア平均値をプロットしている。直線は地域ごとの最小二乗法に基づく回帰線を示している。

して産業間で正外部経済が発生し、産業間で共集積が起こる。中心地理論では、このような複数産業の共集積が都市の産業構造に階層構造を生じさせる。図 6 では、青産業が立地する都市にはよりユビキタスな黒産業も立地し、赤産業が立地する都市には、よりユビキタスな青産業、さらに黒産業も立地する。また、立地産業数と都市規模は相関する傾向にあるため、図 6 が示すように、都市の地理的配置には中心地パターンが発現する。

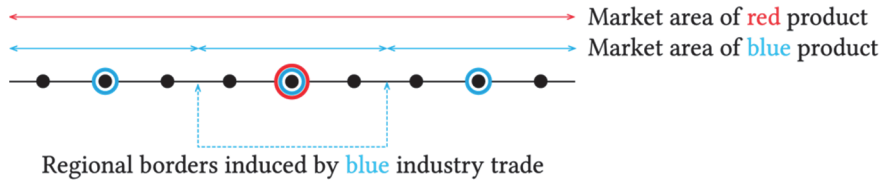


図 6. 産業集積のコーディネートと地域経済圏形成

実データにおいて、産業間のこのような階層的な立地コーディネートがどの程度起こっているか、具体的に計算することができる。所与の都市ペア ij について、階層シェアを次のように定義する：

$$H_{ij} = \frac{|S_i \cap S_j|}{\min\{S_i, S_j\}} \in [0,1] \quad (3)$$

ここで、 S_i は都市 i に立地する産業の集合で、 $S_i = |S_i|$ は立地産業数である。階層シェア H_{ij} は、都市ペア ij 間で共通の立地産業がない場合に値 0 をとり、規模が小さい方の都市の立地産業のうちすべてが規模の大きい都市にも立地する場合に値 1 をとる。後者の場合は、Christaller (1933) の階層原理が完全に成立する場合となる。

都市 i について、自身より多くの産業が立地するすべての都市に関する平均階層シェアは

$$H_i = \frac{1}{G_i} \sum_{j \in \Gamma_i} H_{ij}, \quad G_i = \{j: S_i > S_j\} \quad (4)$$

であり、さらに、産業立地数が最も大きい都市を除く全て都市 i に関する平均階層シェアは次式で得られる：

$$H = \frac{1}{U-1} \sum_i H_i \in [0,1] \quad (5)$$

図 7 は、日本の製造業(2-6 桁分類)について、平均階層シェア(5)をプロットしている。 $\hat{H}$ は、個々の都市の立地産業数を所与として、産業ラベルをランダム化した 10,000 サンプルにおいて得られた平均階層シェアの最大値である。2-6 桁すべての産業分類において、実経済における都市産業構造の階層性が顕著であることを示しており、中心地理論の妥当性を示唆している。

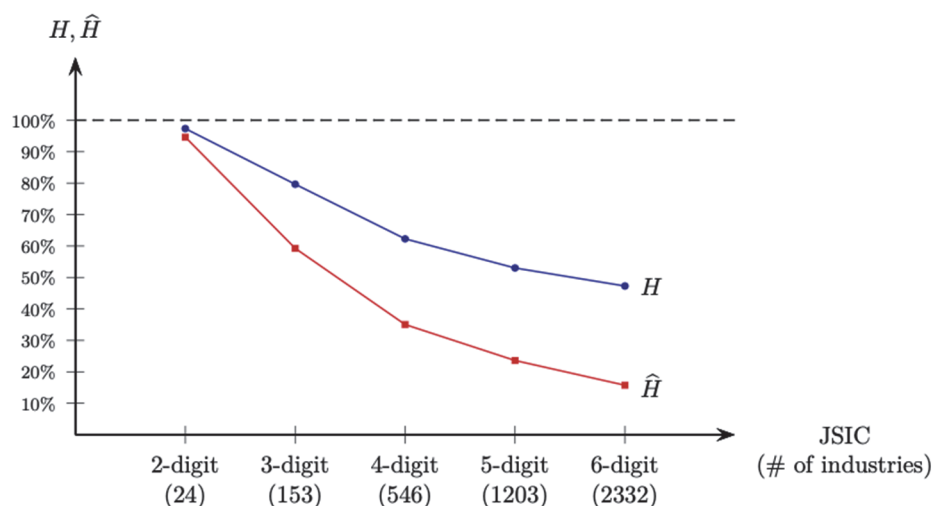


図 7. 日本の都市の産業構造に関する階層性

大都市に関するボロノイ分割において得られた地域では、地域内に比べて地域境界を跨ぐ貿易量が顕著に小さいのは、大都市と周辺小都市群で構成される地域が都市内に立地する産業の市場範囲を近似するためと考えられる。例えば、図 6 における 3 大都市に関する都市群のボロノイ分割は、青産業市場における各 3 大都市の市場範囲に相当する。青産業の受給は、各 3 大都市の周辺で比較的閉じており、地域を越えた交易は少ない。

物流センサスにおいて得られる出荷データは産業中分類と品目分類(2015 年の場合、24 産業 85 品目)の特定ができるため、それらを組み合わせることにより、およそ製造業小分類と同程度数の産業・品目ペアについて都市間貿易額を把握できる(2015 年の場合で 212 産業・品目ペア)。得られた産業・品目ペアを「産業」と定義し、それらの立地都市の市場範囲の違いを比較することができる。例えば、図 7 では、産業を立地都市数の多寡によって 5 のグループに分け、各グループ g に属する財を移出する都市について、その平均的な市場範囲を示している。具体的には、貿易距離を 100km ごとにまとめ、距離ビンごとに、各産業グループの生産都市から直接それらの財を移入する都市

のシェアをプロットしている¹⁶。

立地都市数が大きいユビキタスな産業ほど交易都市のシェアは各距離レベルで低く、さらに距離とともに急速に減少する。立地都市数が小さい産業は基本的に大都市に立地する産業であるため、大都市ほどその市場範囲が大きいことを意味する。図に示すように、10都市以下に立地する産業は1,500kmを超える範囲で顕著な貿易がある。これらの事実は、中心地パターンに則した地域分割により得られる地域群が貿易に関して比較的自律的であることに整合する。

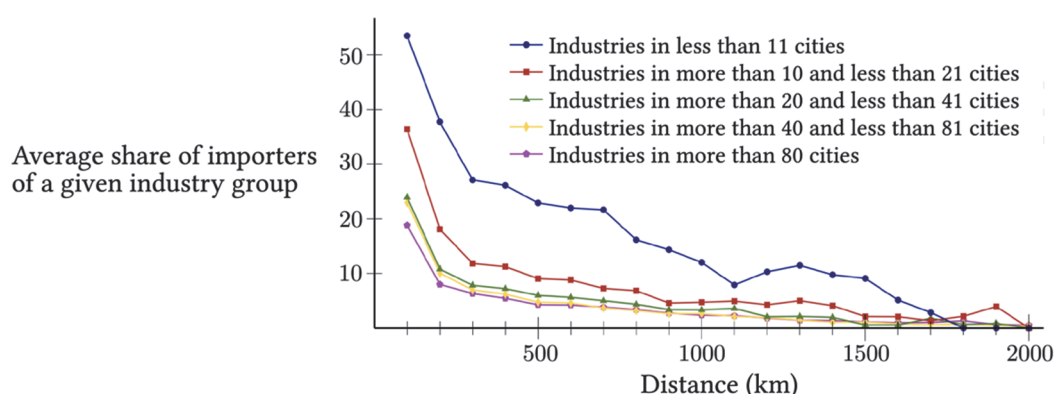


図 8. 各都市の産業ごとの市場範囲

7. 政策的示唆

多くの国において都市の人口規模分布が概ねべき乗則に従うことは長く既知の事実であった(e.g., Gabaix and Ioannides, 2004)。しかし、Mori et al. (2020)は、このような秩序形成が国レベルに限らず国内の地域レベル、さらに各地域内のより小さな地域においても再帰的に観察される事実を、日米などのデータを用いて明らかにした。都市の人口規模は、産業構造・家計所得・学歴など他の様々な社会経済指標と強く相関するため、この事実は現象として興味深いだけでなく重要な政策的示唆を持つ。都市の規模とその空間頻度の関係に自由度は低く、どの地域の都市が成長するかは椅子取りゲームに似ていることを意味する。ある都市が成長すれば、別の都市、特に成長した都市の周辺に位置する都市は衰退しやすい。したがって、特定の都市/地域の成長を目的とした地域主体(placed-based)の地方創生政策の成否は、都市規模・空間分布形

¹⁶ より具体的には、産業は2015年の212産業・品目ペア。横軸は、貿易距離を100kmごとにまとめた距離ビンを用いている。縦軸は、各産業グループの各生産都市から直接それらの財を移入する都市数シェアの(生産都市に関する)平均値を示している。

を維持した下でのゼロサムゲームにおける勝負と同様な結果に陥りやすい。例えば、新幹線や高速道路の敷設は、地域経済に正の効果を及ぼすと考えられがちだが、本研究成果は、そのような新古典派的な状況は少なくとも現在の地域経済にはよく当てはまらないことを示唆している。そもそもある規模以上の都市がどの程度の空間頻度で存在し得るか、そこに大きな自由度はないからだ。

多地域経済における経済集積の基礎理論を構築した Akamatsu et al. (2021)によれば、新幹線網整備のような大域的な交通アクセスの改善は、経済全体で集積を促進する。ここでの集積の促進とは、経済立地がより大都市に集約されることを意味し、都市数が減少し、残った都市の規模および都市間距離が増加する。過去 50 年で、新幹線・高速道路網の両方がほぼ皆無の状況から全国を網羅するまでに整備された日本において、Akamatsu et al. (2020)の結果はよく当てはまる。例えば、1970 年時点では、日本の 10 大都市のうち 3 都市(名古屋・静岡・沼津)が東京・大阪間に存在したが、それらのうち、2015 年時まで 10 大都市に残った都市は名古屋だけである。一方、東京より東の地域で 10 大都市に含まれる都市は、1970 年には札幌のみであったのに対して、2015 年には仙台が加わった¹⁷。つまり、椅子取りゲームの椅子の数が減り、成長はより少数の都市に偏る傾向がある。交通・情報ネットワークなど、大域的に影響が及ぶ地域政策の設計においては、個別の地域に注目するだけでなく、日本全体を含む都市システムの秩序を制約として明示的に考慮する必要がある。特に、椅子の数が決まっている以上、どこから整備するかは決定的に重要である(他の条件が同じであれば、先に整備された地域ほど効果が大きいことが期待される)。システム全体で明確な優先順位を設定した上での広域的な連携が重要になる。

さらに、Mori et al. (2008), Mori and Smith (2011), Hsu (2012), Mori (2017)は、日本・アメリカについて、都市の産業構造は都市の規模に関して階層的であり、小都市の立地産業は概ね大都市の立地産業でもあることを示している。Mori and Wrona (2021)は、Mori et al. (2020)が示した都市形成の再帰的な中心地パターンが、産業立地のこのような階層的なコーディネーションに起因するとする中心地理論(e. g., Christaller, 1933; Batty and Longley, 1994; Hsu, 2012)の有効性を、日本とアメリカについて実証したことを第 6 節で述べた。したがって、都市の規模・地理的配置における秩序は、同時に産業立地における秩序を意味するものである。特定の産業の実現可能な地理的配置(立地/集積がどのような空間頻度で実現するか、あるいは、同

¹⁷ Mori and Osawa (2021)では、1970-2015 年の日本の都市規模と地理的配置の変化について、Akamatsu et al. (2021)の理論に基づいた解説を行っている。

じ産業の既存の立地/集積とどの程度隔離されている必要があるか)の自由度は低く、都市形成と同様に、地域/都市ごとの産業誘致政策の成否は椅子取りゲームに似た状況であると考えられる。ここでも国全体の立地パターンを制約として考慮する必要がある。

最後に、国レベルで都市規模分布がべき乗則に従う事実は、国の領土も長期的には内生的な地域形成の結果であることを意味するのではないか。中心都市は際限なく大きくはなれず、その規模は技術水準などで制約される。自ずと国の規模も制約され、かつてのローマ帝国や中国の王朝など、巨大な国が長く続かなかった理由と、Mori et al. (2020)が明らかにした都市集積のフラクタル構造は密接に関係しているかも知れない。

8. 結語

本プロジェクトでは、都市集積という内生的な地域単位に注目し、国全体を俯瞰的に捉えることで、地域経済構造に極めて明確な秩序が見出されること、特に、国内の地域経済は、国全体と相似的な中心地パターンの階層構造で特徴づけられることを実証した。さらに、その秩序の背後にあるメカニズムとして、中心地理論(e.g., Christaller, 1933; Batty and Longley, 1994; Fujita et al., 1999; Tabuchi and Thisse, 2011; Hsu, 2012)が示唆する産業間の集積のコーディネーションが有力であることを、日本とアメリカの物流データを用いて実証した。この結果は、都市規模のバリエーションが、主として内生的な集積の経済から生ずる可能性を示唆している。規模/集積の経済の下では、一般的に複数均衡が存在する。とりわけ、異なる規模の経済に直面する多数の産業を明示的に含む経済は、多数の安定均衡を持つことが容易に推測される。

このような状況は、最近の定量空間経済学における主流アプローチ(Redding and Rossi-Hansberg, 2017)における設定の真逆に近い。例えば、Redding and Sturm (2008), Allen and Arkolakis (2014)では、規模/集積の経済を含みつつも、内生的経済集積が実現しない、一意均衡を保証するパラメタ領域を仮定し、均衡選択の問題を回避している。しかし、実経済が、本来複数均衡であるならば、それを一意均衡とみなして分析することは、誤解を生む政策示唆に繋がり危険である。実際、内生的集積を禁止する構造モデルによる実際の都市規模のバリエーションの再現性は極めて低い。例えば、Redding and Sturm (2008)は、そのようなモデルをドイツの都市規模・空間分布に対してフィットしているが、実際の都市規模を構造残差で対数線形回帰した場合 $R^2 = 0.896$ であり、モデルと観察可能な外生要因が説明する都市規模のバリエーションは

10%に過ぎない。本研究プロジェクトの成果は、複数均衡の下でも異なる安定均衡において実現する都市の規模・空間分布が共通の秩序に従うこと、つまり、実現可能な経済立地パターンは均衡選択に依らない可能性を示唆している。

引用文献

- Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M., Takayama, Y. (2021) "Multimodal agglomeration in economic geography. arXiv:191205113v3.
- Allen, T., Arkolakis, C. (2014) "Trade and the topography of the spatial economy." *The Quarterly Journal of Economics* 129(3): 1085-1140.
- Batty, M. (2006) "Rank clocks." *Nature* 444: 592-596.
- Bettencourt, L.M., Lobo, J., Helbing, D., Kühnert, C., West, G.B. (2007) "Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 7301-7306.
- Black, D., Henderson, V. (2003) "Urban evolution in the USA." *Journal of Economic Geography* 3(4): 343-372.
- Bright, E.A., Rose, A.N., Urban M.L. (2016) *LandScan 2015 High-Resolution Global Population Dataset* Version 00, US Department of Energy.
- Christaller, W. (1933) *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena: Gustav Fisher.
- Dijkstra, L., Poelman, H. (2012) "Cities in Europe: The new OECD-EC definition." *EU Commission: Regional Focus*.
- Dobkins, L.H., Ioannides, Y. (2001) "Spatial interactions among U.S. cities: 1900-1990." *Regional Science and Urban Economics* 31(6): 701-731.
- Duranton, G. (2006) "Some foundations for Zipf's law: Product proliferation and local spillovers." *Regional Science and Urban Economics* 36(4): 542-563.
- Eaton, J., Eckstein, Z. (1997) "Cities and growth: Theory and evidence from France and Japan." *Regional Science and Urban Economics* 27(4-5): 443-474.
- Fujita, M., Krugman, P., Mori, T. (1999) "On the evolution of hierarchical urban systems." *European Economic Review* 43: 209-251.
- Gabaix, X. (1999) "Zipf's law for cities: An explanation." *The Quarterly Journal of Economics* 114(3): 738-767.
- Gabaix, X., Ibragimov, R. (2011) "Log(Rank-1/2): A simple way to improve the OLS estimation of tail exponents." *Journal of Business & Economic Statistics* 29(1): 24-39.
- Gabaix, X., Ioannides, Y.M. (2004) "The evolution of city size distributions," in *Handbook of Regional and Urban Economics* Vol.4, J.V. Henderson and J.-F. Thisse, eds., Elsevier: 2341-2378.

- Hsu, W.-T. (2012) "Central place theory and city size distribution." *Economic Journal* 122: 903-932.
- Kanemoto, Y., Tokuoka, K. (2001) "Proposal for the standards of metropolitan areas of Japan." *Journal of Applied Regional Science* 7: 1-15.
- Mori, T. (2017) "Evolution of the size and industrial structure of cities in Japan between 1980 and 2010: Constant churning and persistent regularity." *Asian Development Review* 34(2): 86-113.
- Mori, T. (2020) "Spatial pattern and city size distribution" in *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*.
- Mori, T., Wrona, J. (2021) "Centrality bias in inter-city trade." Discussion Paper 21-E-035, Research Institute of Economy, Trade, and Industry.
- Mori, T., Osawa, M. (2021) "Cities in a world of diminishing transport costs." arXiv:2021.12503.
- Mori, T., Smith, T.E. (2011) "An industrial agglomeration approach to central place and city size regularities." *Journal of Regional Science* 51(4): 694-731.
- Mori, T., Nishikimi, K., Smith, T.E. (2008) "The number-average size rule: A new empirical relationship between industrial location and city size." *Journal of Regional Science* 48(1): 165-211.
- Mori, T., Smith, T.E., Hsu, W.-T. (2020) "Common power laws for cities and spatial fractal structures," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(12): 6469-6475.
- Quinzii, M., Thisse, J.-F. (1990) "On the optimality of central places." *Econometrica* 58(5): 1101-1119.
- Redding, S.J., Sturm, D. (2008) "The cost of remoteness: Evidence from German division and reunification." *American Economic Review* 98(5): 1766-1797.
- Redding, S.J., Weinstein, D.E. (2019) "Aggregation and the gravity equation." *AEA Papers and Proceedings* 109: 450-455.
- Redding, S.J., Rossi-Hansberge, E. (2017) "Quantitative spatial economics." *Annual Review of Economics* 9: 21-58.
- Tabuchi, T., Thisse, J.-F. (2011) "A new economic geography model of central places." *Journal of Urban Economics* 69(2): 240-252.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ
http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください。

A-846 「都市集積の秩序に基づく地域政策のマクロ的視点」

都市集積と地域経済圏形成の要因分析：理論・実証分析枠組の開発と
応用研究プロジェクト

2022年 7 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会

