170. 世界主要都市の都市空間構造の比較分析

—均等性と集積性の指標を用いた都市内人口分布比較—

Comparative Study on Urban Spatial Structure of Worldwide Major Cities

—Population Distribution Characteristics Using Indices for the Degree of Equal Distribution and Clustering—

劉 俐伶*・長谷川 大輔**・石井 儀光***・鈴木 勉****
Liling Liu*, Daisuke Hasegawa**, Norimitsu Ishii***, Tsutomu Suzuki****

This paper analyzes urban structure of worldwide major cities focusing on population distribution. To reveal the degree of equal distribution and that of clustering, two indices, Gini and Moran coefficient, are employed. A global perspective is employed in this study, where 1,710 cities with population over 300,000 are analyzed and classified using these two coefficients. The main findings are as follows. In general, populated cities tend to be highly clustered and to be concentrated in some sub-areas, while less populated cities tend to distribute equally and spread widely. Regional differences among countries are also revealed.

Keywords: population distribution, Gini coefficient, Moran coefficient, compact city, world major cities

人口分布, ジニ係数, モラン係数, コンパクトシティ, 世界主要都市

1. はじめに

日本では平成 26 年には都市再生特別措置法および地域公共交通活性化再生法の一部改正がそれぞれ施行され、将来の都市空間構造として、コンパクト・アンド・ネットワークの考え方が実践に移されている。空間、環境、財政の制約の下でより暮らしやすい都市形成のため、さらには持続可能性やレジリエンスの観点からも、今後の都市計画の方向として位置づけられている。

コンパクトシティの概念が重要視され始めたのは、リオサミット以降の温暖化対策の議論が本格化して以降のことである。以降、欧州各国の政府が主要な都市政策として取り上げ始め、欧州各国でのコンパクトシティへの誘導の取り組みが数多く見られる。OECD もコンパクトシティは環境的・経済的持続可能性の観点から優れた将来の都市像として重要視している。¹⁾

しかしながら、都市のコンパクト性がどの程度の水準なのか、さらにはどの程度の水準にすべきかについて、世界の都市を対象に定量的に比較分析した例はほとんど見られない。そもそも都市（都市圏）の内部の空間的人口分布の構造（以降、都市空間構造という）を計量する手段は確立されているとはいえず、政策効果を確認するための方法と仕組みについては課題が多い。

そのような中であって、Tsai (2005) はマクロな視点から都市の空間構造を特徴づける指標として、均等度を表すジニ係数とクラス形成の度合を表すモラン係数の両指標で都市空間構造を捉える方法を提案した²⁾。鈴木・石井・長谷川・劉 (2019) はこれを応用し、上記の 2 指標で表される特性を均等性、集積性と呼び、日本の市区町村人口分布の時系列データを対象に計測し、その動向を分析した³⁾。しかし、分析対象都市は日本の市区町村に留まっており、都市

圏単位での比較や世界都市を対象にした国際比較には及んでいない。また、近年ではリモートセンシングデータから都市形態を分析する研究が盛んになされている^{4,5,6,7)}。安・松橋・鈴木(2017)は、同様のデータを用いて世界主要都市の鉄道網と市街地の形状の関係を分析する方法を提案しているが⁸⁾、前者のネットワーク形状と後者の面形状との相関に留まっており、人口分布の内部構造には及んでいない。

そこで本論文は、世界主要都市の都市内人口分布構造を、均等性と集積性の 2 つの観点から捉える Tsai の方法を用いて、推計人口分布データに基づいて、ジニ係数とモラン係数の値から把握するとともに、その類型化を通じて都市間比較を行い、類型毎の特徴とその分布や都市規模との関係を明らかにすることを目的とする。これにより、世界諸都市の都市空間構造とそのコンパクト性を相対化し、地域的な特徴を明らかにするとともに、達成すべき水準を考える上での示唆を得ることを意図する。

2. 都市空間構造を表す指標

2.1 人口データおよび都市の定義

本研究では、欧州連合(EU: European Union)が作成している GHS Population Grid (LDS) の 2015 年の人口データ⁹⁾を用いる。このデータは、航空写真からビルドアップ地域を特定し、そこに各国の人口センサスの総人口を配分して作成されたラスターデータである（したがって、各国の人口統計の精度の影響を受けている）。このデータは、モルワイデ図法により描かれた世界地図に格子メッシュを被せて計測されており、格子が南北方向に揃っていないという問題点はあるが、等積図法によっているため、格子が代表する面積は一定であり、人口分布を比較検討することが可能である。

*学生会員・筑波大学(University of Tsukuba)

***正会員・国土技術政策総合研究所 (NILIM)

**正会員・(株) ディー・エヌ・イー (DeNA Co., Ltd.)

****正会員・筑波大学(University of Tsukuba)

表1 世界主要都市（都市圏人口上位50都市ほか）の面積・人口・人口密度・ジニ係数・モラン係数（2015年）とその類型

人口 順位	都市圏名	国名	面積 (km ²)	人口 (人)	人口密度 (人/km ²)	ジニ係数	モラン係数	類型	人口分布 (図1)
1	Guangzhou	China	7412	45,248,843.49	6,104.81	0.495	0.721	G3M4	
2	Jakarta	Indonesia	6246	37,904,150.59	6,068.55	0.396	0.914	G2M4	
3	Shanghai	China	5944	37,051,573.98	6,233.44	0.526	0.744	G4M4	⑪
4	Tokyo	Japan	6094	34,999,837.10	5,743.33	0.405	0.911	G3M4	⑧
5	Dhaka	Bangladesh	3329	29,605,820.10	8,893.31	0.622	0.736	G4M4	
6	Cairo	Egypt	3784	29,543,462.34	7,807.47	0.606	0.759	G4M4	
7	Delhi	India	2341	28,298,206.02	12,088.08	0.491	0.781	G3M4	
8	Kolkata	India	3429	25,693,867.99	7,493.11	0.614	0.787	G4M4	
9	Manila	Philippines	2110	22,534,833.12	10,680.02	0.537	0.631	G4M3	
10	Seoul	South Korea	2353	22,318,367.43	9,485.07	0.491	0.692	G3M4	
11	Mumbai	India	1374	21,993,526.59	16,006.93	0.526	0.830	G4M4	⑩
12	Beijing	China	2823	19,940,753.32	7,063.67	0.557	0.775	G4M4	
13	Mexico City	Mexico	2001	19,878,213.78	9,934.14	0.387	0.604	G2M3	
14	São Paulo	Brazil	1957	19,458,581.61	9,943.07	0.377	0.589	G2M3	③
15	Osaka	Japan	2977	15,933,924.64	5,352.34	0.346	0.809	G2M4	
16	Bangkok	Thailand	2754	15,307,043.61	5,558.11	0.407	0.834	G3M4	
17	Lahore	Pakistan	1625	14,983,374.48	9,220.54	0.483	0.678	G3M4	
18	Buenos Aires	Argentina	2241	14,363,427.03	6,409.38	0.346	0.855	G2M4	
19	Moscow	Russia	1820	14,313,830.44	7,864.74	0.448	0.786	G3M4	
20	Istanbul	Turkey	1274	14,097,903.83	11,065.86	0.495	0.841	G3M4	
21	New York	United States	2687	13,900,585.86	5,173.27	0.514	0.726	G4M4	⑫
22	Karachi	Pakistan	693	13,218,314.62	19,074.05	0.454	0.816	G3M4	
23	Surabaya	Indonesia	3726	12,923,482.23	3,468.46	0.391	0.794	G2M4	
24	Tehran	Iran	1461	12,834,454.56	8,784.71	0.423	0.761	G3M4	
25	Los Angeles	United States	3592	12,493,370.69	3,478.11	0.310	0.583	G2M3	
26	Ho Chi Minh	Vietnam	1514	12,122,748.38	8,007.10	0.523	0.892	G4M4	
27	Lagos	Nigeria	1352	11,787,679.89	8,718.70	0.512	0.857	G4M4	
28	Shantou	China	2786	11,649,251.31	4,181.35	0.396	0.627	G2M3	
29	Bangalore	India	649	10,641,171.36	16,396.26	0.523	0.801	G4M4	
30	Chengdu	China	1501	10,194,698.70	6,791.94	0.488	0.578	G3M3	
31	Paris	France	1809	10,157,755.67	5,615.12	0.458	0.897	G3M4	
32	Chennai	India	993	10,006,062.98	10,076.60	0.473	0.811	G3M4	
33	Kozhikode	India	2495	9,844,593.01	3,945.73	0.379	0.578	G2M3	
34	London	United Kingdom	1690	9,575,336.71	5,665.88	0.369	0.695	G2M4	
35	Lima	Peru	1088	9,446,271.88	8,682.24	0.431	0.784	G3M4	
36	Rio de Janeiro	Brazil	1039	9,283,693.05	8,935.22	0.393	0.541	G2M3	⑦
37	New Taipei	Taiwan	1051	9,161,738.51	8,717.16	0.494	0.777	G3M4	
38	Bogotá	Colombia	687	8,762,426.50	12,754.62	0.401	0.785	G3M4	⑨
39	Hyderabad	India	1129	8,492,677.74	7,522.30	0.480	0.829	G3M4	
40	Surakarta	Indonesia	2606	8,209,710.71	3,150.31	0.332	0.697	G2M4	
41	Hangzhou	China	1939	8,125,758.24	4,190.70	0.492	0.624	G3M3	
42	Bandung	Indonesia	941	8,125,398.10	8,634.85	0.466	0.842	G3M4	
43	Peshawar	Pakistan	1775	7,445,281.39	4,194.52	0.373	0.463	G2M2	
44	Ha Noi	Vietnam	1542	7,443,785.33	4,827.36	0.497	0.784	G3M4	
45	Wuhan	China	707	7,338,293.42	10,379.48	0.557	0.674	G4M4	
46	Nagoya	Japan	2288	7,298,342.86	3,189.84	0.306	0.867	G2M4	
47	Bardhaman	India	1212	7,115,064.46	5,870.52	0.464	0.655	G3M3	
48	Tianjin	China	726	7,065,667.52	9,732.32	0.615	0.724	G4M4	
49	Singapore	Singapore	794	7,010,426.92	8,829.25	0.487	0.743	G3M4	
50	Hong Kong	Hong Kong	371	6,981,840.81	18,818.98	0.598	0.404	G4M2	⑬
66	Riyadh	Saudi Arabia	1290	5,848,071.01	4,533.39	0.187	0.679	G1M4	①
193	Birmingham	United Kingdom	638	2,436,442.95	3,818.88	0.259	0.375	G1M2	⑥
223	Minsk	Belarus	246	2,068,088.83	8,406.87	0.338	0.531	G2M3	④
256	Wien	Austria	375	1,853,802.96	4,943.47	0.272	0.685	G1M4	②
700	Buenos Aires	Argentina	286	739,305.26	2,584.98	0.237	0.627	G1M3	⑤

操作手順としては、まず(1)GHS人口データ(1kmメッシュラスターデータ)をポイントに転換して操作する。この研究では、人口密度が基準に満たした連坦地域を都市として定義することとし、(2)人口密度の基準を1,000人/km²とし、1kmメッシュに人口が1,000人以上のポイントを抽出する。連坦地域の判断については、ポイントの間の距離が1,200m以下のものを隣接していると判断することとし、(3)ポイントを中心として測地距離600メートルのバッファを

とり、ディゾルブしてポリゴンデータを作成する。その結果、つながっている一つのポリゴンは一つの連坦地域と見なす。国連のプロジェクト Annual Population of Urban Agglomerations with 300,000 Inhabitants or More in 2018¹⁰⁾を参考にして、(4)人口が30万人以上の連坦地域を抽出する。また、モラン係数の計算結果の信頼性を考慮しつつ、GHSのデータには面積の大きな地区の総人口を小さい範囲のメッシュに誤って割り当てることによる誤差が含まれると考えられるので、こうした誤差が相対的に大きいと考えられる地域を排除するため、(5)連坦地域の面積が30km²以上の地域を分析の対象地域とした。その結果、総計1,710の都市圏が抽出された。

表1に世界の都市圏人口上位50都市などの面積・人口・人口密度・ジニ係数・モラン係数(2015年)を示す(3.4節の類型化結果も含む)。本研究で採用した総人口とメッシュ人口密度によって都市圏を抽出する方法は、国連データにおける都市の定義方法とは異なるため、

2つのデータセット間で直接的に比較できない。しかし、都市圏の数を見ると、本研究の1,710は国連の1,860とほぼ同数であることから、本研究の方法は妥当であると考えられる。

2.2 均等性と集積性の指標

均等性を表す指標としては量的な偏在を表現するために使われるジニ係数 G を用いる。 n を都市内メッシュ数、 a_i を都市全体に対するメッシュ i の面積比、 p_i を都市全体に対

図1 世界主要都市の人口分布 (GHS 人口データ)

するメッシュ i の人口比を表すと、ジニ係数は以下の(1)式で表せる。ジニ係数のとる値は、 $0 \leq G \leq 1$ であり、完全均等のとき0、完全不均等のとき1となる。

$$G = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |a_i - p_i| \quad (1)$$

一方、集積性を表す指標としてはモラン係数 I を用いる。これは空間的自己相関を表現するために用いられ、人口密度の高い (あるいは低い) 空間がどの程度集積しているかを示す。

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (P_i - \bar{P})(P_j - \bar{P})}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (2)$$

ただし、 w_{ij} はメッシュ i, j 間の距離の逆数、 P_i はメッシュ i の人口、 $\bar{P}$ は都市内の平均人口を表す。 $-1 \leq I \leq 1$ であり、完全分散は-1、一極集中は1となる。

ジニ係数は人口密度の高低格差の大きさを表す。一方、モラン係数は人口分布の高いところの空間分布パターンを表し、単一中心か多核集中か完全分散かといったパターンを計量することができ、これらの2指標を合わせることでよりコンパクト性の特徴を判断することができる。

3. 均等性・集積性からみた世界主要都市空間構造の比較

本章では、前章で説明した人口 30 万人以上の都市圏の 2015 年人口分布から計測したジニ係数・モラン係数とそれを用いた類型化により、各都市圏の均等性・集積性の空間的特徴と類似性・相違点を把握する。

3.1 主要都市の人口分布

図1に、主要な都市圏人口上位 (一部、上位でないものも含む) の 2015 年人口分布を示す。上海・ニューヨークなどの大都市は強力な中心を持ち、人口分布の偏りが顕著で

ある一方、欧州や南米の都市やリヤドなどでは、人口の偏りがそれほど顕著ではないか、またはほとんど均等である。また、広域な都市ほど複数の集積が見られることが多く、その塊の分布は都市により様々である。

全 1,710 都市のジニ係数とモラン係数を散布図でプロットした結果を図2に示す。対象とする 1,710 都市のジニ係数の平均は 0.397、標準偏差は 0.107 である。一方、1,710 都市のモラン係数の平均は 0.486、標準偏差は 0.172 である。ジニ係数は都市規模との関係はあまり見られないが、モラン係数は人口規模と密接な関係が見られる。

3.2 均等性指標

図3上に、都市ごとのジニ係数を人口規模に比例した円

図2 ジニ係数・モラン係数による世界主要都市の分類

図3 世界主要都市のジニ係数とモラン係数

図4 ジニ係数・モラン係数による世界主要都市の類型化 (円の色は類型, 面積は人口を示す)

で地図上に示す。円の中心は都市圏の人口加重重心である。全般的に欧米豪州や日本の都市では低い値をとり、均等である傾向にあるのに対し、中国・インドや途上国の都市では高めの値をとり、不均等である傾向が見られる。ただし、ニューヨークやパリ、東京等の強力な CBD を有する大都市ではその中でも相対的に高めの値をとり、不均等になっていることが確認される。

3.3 集積性指標

図3下に、都市毎のモラン係数を地図上に示す。大都市では高い値をとり、比較的人口規模の小さい都市は低い値をとる傾向にあることがわかる。

3.4 両指標による類型化

次に、2指標の値を用いて、平均と平均±標準偏差の値を境に各指標を4分類し、 $4 \times 4 = 16$ の類型を作成した。各類型を構成する都市圏数とその地図上の分布は図4に示す通りである。

まず第一に、日本の大都市圏は集積傾向が強いが、地方都市圏は分散傾向が強いことがわかる。ジニ係数からは東京では不均等であるが大阪や名古屋では均等傾向であることもわかる。また、インドネシアやマレーシアも同様の傾向が見られる。

第二に、ヨーロッパやアジアの大都市も、東京と同じく、集積傾向が強いという特徴が見られる一方、アメリカの大都市は、ニューヨークは集積・不均等、シカゴは集積・均等であるが、ロサンゼルスやメキシコシティはその特徴は弱く、どちらも平均的な値をとることがわかる。

第三に、中国やインドなどでは、大都市は集積・不均等の傾向にあるが、中小都市は分散・不均等の傾向にあり、いずれも不均等性が強いという特徴が見られる。

第四に、ヨーロッパや北南米、豪州の中小都市は均等傾向が強いという特徴が見られる。

3.5 都市規模別の特徴

都市の人口規模は明らかに指標と関係が確認できる。そこで、表2のように人口規模で4つに区分し、それらによる特徴の差異を見る。

都市空間構造指標の類型別に人口規模の都市数の構成比を表したものを図5に示す。モラン係数の大きい、すなわち集積傾向の強いものほど、大都市の構成比率が高く、逆に、分散傾向の都市ほど、小規模の都市の構成比率が高いことがわかる。前者については、ジニ係数の大きい、すなわち不均等傾向の強いものほど、大都市や中都市の構成比率が高い傾向にある。

図6を見ると、平均的にはジニ係数もモラン係数も大都市ほど大きい傾向があり、大都市ほど集積・不均等傾向が強いことがわかる。

4. 結論と今後の課題

本研究では、均等性と集積性の2つの観点から世界主要都市の推定人口分布に対して、都市空間構造の定量的比較を行うとともに、その類型と特徴を明らかにした。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 対象とする 1,710 都市のジニ係数の平均は 0.397、標準

偏差は0.107である。一方、1,710都市のモラン係数の平均は0.486、標準偏差は0.172である。ジニ係数は都市規模との関係はあまり見られないが、モラン係数は人口規模と密接な関係が見られる。

- (2) ジニ係数は、全般的に欧米豪州や日本の都市では低い値をとり、均等である傾向にあるのに対し、中国・インドや途上国の都市では高めの値をとり、不均等である傾向が見られる。ただし、ニューヨークやパリ、東京等ではその中でも相対的に高めの値をとる。
- (3) モラン係数は、大都市では高い値をとり、比較的人口規模の小さい都市は低い値をとる傾向にある。
- (4) 両指標の高低により世界の1,710都市を類型化した結果、均等性、集積性ともに地域毎に特徴が見られることが明らかになった。例えば、日本の大都市圏は集積傾向が強いが、地方都市圏は分散傾向が強い。
- (5) 都市規模別に見ると、モラン係数の大きい、すなわち集積傾向の強いものほど、大都市の割合が高く、逆に、分散傾向の都市ほど、小規模の都市の割合が高いという特徴が見られる。均等性は地域ごとの特徴が見られるが、都市規模が大きいと高密度の地域が空間的に塊を形成する場合が多いため、集積性は高めの値をとるものが多くなっていると考えられる。

表2 都市規模の区分

分類	要件	個数
A級	人口1000万以上	32
B級	人口300万以上1000万未満	118
C級	人口100万以上300万未満	324
D級	人口30万以上100万未満	1,236

図5 類型別人口規模別構成比

図6 人口規模別ジニ係数・モラン係数の比較

本研究の成果から、世界の大都市の持つ空間構造の相対的な特徴が明らかとなった。時系列データを用いた経年変化や将来動向、コンパクトシティや温暖化対策をはじめとする政策目標と関連づけた都市構造評価への応用などが今後の課題としてあげられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19H02374 による成果の一部である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) OECD (2013) コンパクトシティ政策：世界5都市のケーススタディと国別比較, Paris, OECD.
- 2) Tsai, Y.-H. (2005) Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl,' *Urban Studies*, **42**(1), 141–161.
- 3) 鈴木勉・石井儀光・長谷川大輔・劉俐伶 (2019)：均等性と集積性の指標を用いた都市内人口分布の長期的変化の分析, 都市計画論文集, **54**(2).
- 4) Huang, J., Lu, X.X., Sellers, J.M. (2007) A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing, *Landscape and Urban Planning*, **82**, 184–197.
- 5) Fang, C., Wang, S., Li, G. (2015) Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities, *Applied Energy*, **158**, 519–531.
- 6) Schneider, A., Woodcock, C.E. (2008) Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-five Global Cities using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information, *Urban Studies*, **45**(3), 659–692.
- 7) Schwarz, N. (2010) Urban form revisited—Selecting indicators for characterizing European cities, *Landscape and Urban Planning*, **96**(1), 29–47.
- 8) 安成光・松橋啓介・鈴木勉 (2017) 市街地形状と鉄道網の連携度に関する世界大都市間比較分析, 都市計画論文集, **52**(1), 34–41.
- 9) European Commission, Global Human Settlement: GHS Population Grid: https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/ghs_pop.ph (閲覧日：2018/07/24)
- 10) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Urbanization Prospects 2018: <https://population.un.org/wup/Download/> (閲覧日：2019/02/25)