

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K03247

研究課題名(和文) 複雑ネットワークを用いた都市システム分析に関する数理地理学的研究

研究課題名(英文) Mathematical urban systems modeling and analysis using the complex network framework

研究代表者

石崎 研二 (Ishizaki, Kenji)

奈良女子大学・人文科学系・教授

研究者番号：10281239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：都市の空間的配置を考慮したネットワーク成長モデルのアルゴリズムを開発し、従来の中心地理論で想定されている六角形網の規則的な配列からランダムな配列までの、種々の空間的配置を設定した仮想データを用いて数値実験を行なった。また、過去の文献や資料・データから復元した日本の諸都市の階層別分布に対してネットワーク成長モデルを適用した。その結果、スモールワールド性およびスケールフリー性が現れる空間的配置や規模の条件がある程度明らかになった。さらに、企業間取引データを用いて、企業間の取引関係からみた都市システムのネットワーク特性を検証した結果、顕著なスケールフリー性を見出すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の複雑ネットワークに関する研究成果を活かしつつ、都市システム研究における新たな分析方法とモデル構築の可能性を探ることに貢献した。とくに都市システム研究の理論的基盤となる中心地理論に欠けていた動態的視点に着目し、ネットワークとしての都市システムの特性を把握するための定量的指標の精緻化、都市の空間的配置を考慮したネットワーク成長モデルの構築、仮想データと現実データを用いたネットワーク特性の把握に努めた。これら一連の研究成果によって都市システムの成長過程が明らかになり、都市システム研究に新たな分析視角をもたらすことができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have developed an algorithm for a network growth model that takes into account the spatial arrangement of cities. The model was tested on hypothetical spatial arrangements, from regular lattice assumed in central place theory to random arrangement. Furthermore, the model was applied to the hierarchical structure and distribution of Japanese cities restored from past literature and data. As a result of applying the model to numerical examples and real-world data, the conditions of spatial arrangement and hierarchical structure in which properties of small-world network and scale-free network appear have been clarified to some extent. Finally, in order to verify the network properties of current urban system in Japan, the inter-urban linkages measured from business-to-business transaction data were examined. The results represented a markedly scale-free network structure concentrated in Tokyo.

研究分野：都市地理学

キーワード：都市システム 複雑ネットワーク 数理計画法

1. 研究開始当初の背景

2000年代以降に進展した（新）ネットワーク科学によって、スモールワールド性やスケールフリー性などのネットワーク構造を検証する数理モデルが定式化され、従来の社会的ネットワークに関する新たな知見がもたらされた。地理学でもこうした研究成果の適用可能性について検討されつつあり、わが国では関係論的視点を導入した経済地理学分野で、記述的な社会的ネットワーク分析の援用が模索されている。こうした新たな分析ツールとしての意義とともに、特筆されるべきは、複雑系科学との接点である。自己組織化、べき乗則 power law、セル・オートマトンといった複雑系の現象・モデルは、以前から地理学でも注目されていたが、とくに都市の成長、都市規模分布、都市化の過程など、都市の機能的関係に着目する都市システム研究では、複雑系科学と結びついた複雑ネットワークの視点の導入が注目される。

従来の都市システム研究では、量的な流動データに対する多変量解析などを応用した実証研究が積み重ねられてきたが、都市間あるいは企業間の結合関係を質的に分析する計量的な方法はグラフ理論や Q-分析以降、あまり適用事例がない。中枢管理機能などの企業活動にみるネットワーク構造や都市の成長過程における自己組織化現象、そして都市規模分布の法則性などの、これまで蓄積されてきた都市システムに関する研究成果を統合的にとらえる視点として、複雑ネットワークに着目するのが本研究の特色である。

2. 研究の目的

本研究は、近年の複雑ネットワークに関する研究成果を活かしつつ、都市システム研究における新たな分析方法とモデル構築の可能性を探ることを目的とする。具体的には、ネットワークとしての都市システムの特徴を把握するための定量的指標の精緻化、地理的分布を考慮したネットワーク成長モデルの検証、数理計画法を用いたネットワーク構築モデルの開発などである。まずは仮想的な都市間結合データを用いて数値実験を行ない、分析方法とモデルの確立を試みる。そして、企業間取引データなどの企業活動の関係性を示す現実データを用いて、都市間結合の実証分析の可能性を探る。

3. 研究の方法

都市の地理的分布を考慮したネットワーク指標の精緻化とネットワーク成長モデルの構築のために、まず、現実の都市システムに類似した空間構造を持つ仮想データを用いて数値実験を行ない、諸条件やネットワーク特性の評価基準を変えることで多様なモデルを構築する。つぎに、過去の文献や資料・データから復元した日本の諸都市の階層別分布に対してネットワーク成長モデルを適用し、日本における都市システムのネットワーク構造の変化を捉える。最後に、企業間取引データを用いて質的關係からみた現在の都市システム構造を把握し、先に定式化した種々のモデルを適用結果と比較検討する。

4. 研究成果

(1) ネットワーク成長モデルの構築

ワッツによるスモールワールド・ネットワークの特徴は、規則的にリンクが張られたネットワークから一部のリンクをランダムに付け替えることで、強い結びつきを保ったまま急速にネットワーク全体の平均距離が縮まるという点である。しかし、スモールワールド・ネットワークは基本的に各ノードのリンク数（次数）が均一であることを前提としており、現実の様々なネットワークにみられる次数の不均一分布が見逃されていた。それに対して、次数が多いノードほど優先的に他のノードとつながる可能性が高いことを示したのが、バラバシによるネットワーク成長モデルであり、ネットワーク成長モデルでは、べき乗則にしたがうスケールフリー・ネットワークが導出されるという特徴がある。

現実の都市規模分布でも、都市規模と順位の間にはべき乗則あるいは対数正規分布にしたがうスケールフリー性が観測される。しかし、現実の都市間結合は、単純に規模の大きい都市との結合関係のみが優先されるわけではなく、市・町・村といった階層的な関係や、近隣の都市との関係が優先される場合もある。したがって、ノードへのリンク選択確率が次数のみに比例する従来のネットワーク成長モデルに対して、現実的な都市の規模と空間的配置を考慮した新たなネットワーク成長モデルの構築が都市システム研究への適用には必要である。

本研究では、バラバシ以降に考案された種々のネットワーク成長モデルを整理し、リンク選択確率に空間的相互作用モデルを導入したモデル、介在機会モデルを導入したモデル、階層的拡散過程を導入したモデルを考案し、モデルを適用する際の実アルゴリズムを開発した。そして、従来の中心地理理論で想定されている六角形網の規則的な配列からランダムな配列までの、種々の空間的配置を設定した仮想データを用いて数値実験を行なった。数値実験の際は、距離減衰効果などの種々のパラメータを可変的に設定し、仮想データのノード数や配列も様々なパターンを想定した。

その結果、空間的相互作用モデルを導入したモデルの場合、距離減衰効果が強いほど分散的な都市システムが形成されること、介在機会モデルでは都市の空間的分布に偏りがある場合に、都市の規模別分布と都市間結合に地域差が生じること、階層的拡散効果を考慮した場合は、垂直的な都市間結合が卓越すること、などの知見を得ることができた。これら仮想データでの数値実験の結果は、現実の都市システムにモデルを適用する際の比較対象になり得る。

(2) 日本の都市システムのネットワーク構造

つぎに、日本における都市システムのネットワーク構造の変化を検討するため、過去の文献や資料・データにおける日本の諸都市の階層別分布を復元し、ネットワーク特性の計測とネットワーク成長モデルの適用を試みた。対象とした時期と都市システムは、明治期における銀行為替流動に基づく都市間結合、同じ明治期における銀行の本店・支店関係、高度成長期以降の都市間人口移動に基づく都市間結合、中枢管理機能の本店・支店関係などである。その結果、対象時期や都市間を結びつける要素によってネットワーク特性が異なり、都市間結合のスマールワールド性やスケールフリー性を明らかにすることができた。

全体的には分散型の都市システムから東京を中心とするスケールフリー・ネットワークへと移行しており、とりわけ高度成長期以降に東京と大阪・名古屋との格差が開いたことがわかった。つまり、次数の多い（都市規模が大きい）ノード（都市）がますます発展し、さらに他都市からの結合関係を集めるといったネットワーク成長モデルの性質を表している。しかし、バラバシによる単純なネットワーク成長モデルで説明できるものではなく、(1)の数値実験の結果と比較すると、東京や大阪、名古屋、そして他の地方都市との空間的な位置関係や、各都市の発展・衰退に関わる歴史的要因などが複雑に絡み合っており、今日の日本におけるスケールフリー的な都市システムが形成されたと考えられる。このことは、自己組織化現象としての都市システムの視点の重要性を示唆するものである。

仮想データでの数値実験と、現実地域における都市システムへの適用によって、様々なネットワーク特性が現れる都市の空間的配置や規模の条件がある程度明らかになった。しかし、都市間結合をもたらす要素が人口移動のような流動データの場合と、中枢管理機能の本店・支店関係のような場合とでは、都市システムをネットワークとして捉えることの妥当性や、都市間結合の構成要素としての限界性などの問題点も明らかになった。すなわち、量的データを質的データに置き換える際に留意すべき点や、直接的な機能間の関係のみならず間接的な結合関係を考慮すべき点、異なる業種間における企業間結合によって都市間結合を把握すべき点、などである。

(3) 企業間取引データに基づく都市システムの特性

そこで、(株)帝国データバンク提供の企業間取引データを取得し、業種別・地域別に企業間取引のネットワーク特性と企業間取引からみた都市システムの分析を試みた。予算内で取得可能なデータは、17,634社の企業、26,470件の取引件数であり、業種構成と都道府県別構成に基づいて層化ランダム法でデータを抽出した。具体的な内訳は、業種別で企業数が卸売業5,244件、総合工事1,227件、職別工事783件などの60業種、地域別で東京都4,526件、大阪府1,984件、愛知県1,090件であり、業種間で偏りがなく、また、都市規模に応じて企業数が抽出されたデータ構成となっている。

都道府県間での取引関係に着目すると、仕入先・得意先両方の取引件数26,470件のうち、東京都が本社所在地である企業が同じ東京都にある企業と取引する（東京ー東京）件数が3,841件と1位であり、ついで大阪ー大阪が1,168件、大阪ー東京926件と続いている。上位100位の組み合わせのうち、東京都の企業に関わる組み合わせは43パターンあることから、企業間取引の地域的傾向としては東京への集中が際立っているといえる。また、今回のデータは全企業データではなく抽出データであるため、すべての都道府県間の関係が網羅されていないが、東京都の企業が他の府県すべてと取引関係があるのに対して、秋田県、島根県は他の都道府県と11地域しか取引関係がなく、地域間結合に大都市と地方との格差がみられることもわかった。

以上のことから、企業の所在地と取引関係をみると、東京への一極集中傾向が読み取れることと、取引先として大企業に集中する傾向にあることがわかった。すなわち、企業間取引に関しては、スケールフリー・ネットワークの特徴が顕著に表れているといえる。しかし、企業間取引からみた都市間の結合関係の分析やネットワーク成長モデルの適用までは研究期間内に十分に実施することができなかった。また、購入したデータは予算の都合上、全体の企業間取引のごく一部であり、本格的な分析はデータの補充を待つ必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 石崎研二	4. 巻 71
2. 論文標題 学界展望 数理・計量・地理情報	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 人文地理	6. 最初と最後の頁 271-273
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4200/jjhg.71.03_245	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 石崎研二	4. 巻 19
2. 論文標題 都市間結合を考慮した中心地モデルの定式化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 理論地理学ノート	6. 最初と最後の頁 99-104
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------