

令和元年6月12日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2014～2018

課題番号：26310207

研究課題名（和文）企業取引ネットワークを活用したストレステストシミュレーションの数理的基盤

研究課題名（英文）Mathematical foundation of stress test simulation based on business transaction network

研究代表者

高安 美佐子（TAKAYASU, MISAKO）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：20296776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,800,000円

研究成果の概要（和文）：国内約100万社の企業間の取引関係ネットワーク上でのお金の流れを記述する一般化重力型輸送モデルの基盤を確立した。データからモデルのパラメータを最適推定する手法を確立し、それに基づいて、大規模自然災害などの様々なシナリオの下での数理シミュレーションができるようになった。理論解析とシミュレーションにより、モデルの非線形分配のパラメータを大きくするとお金の流れが大企業の周辺に局在化する新しいタイプの相転移が起こることが分かった。また、大企業の同士の合併確率が高くなると、大企業による寡占の傾向が強くなり、生態系として不安定になることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複雑ネットワーク構造の研究は、学術的に大きなブームになっているが、本研究では、現実の企業間の取引が典型的な複雑ネットワークとして記述されることを明らかにし、さらに、そのネットワーク上の輸送現象に見られる相転移を研究した点において先駆的である。

現実のデータと同化したシミュレーションが可能となり、様々な災害のシナリオに合わせて、ある地域で企業活動が一定期間停止したとき、それがどのような経済的な影響をもたらすのかをシミュレーションで推定することができるようになった。また、内閣府が提供する地域経済活性化のためのプラットフォームRESASの中で地域間のお金の流れを推定する手法として用いられた。

研究成果の概要（英文）：We established the basis of a generalized gravity-type transport model that describes the flow of money on the business relationship network between approximately 1 million companies in Japan. We established a method to estimate model parameters optimally from data, and it becomes possible to perform mathematical simulation under various scenarios such as large scale natural disasters.

Theoretical analysis and simulations have shown that increasing the power exponent of the nonlinear partition results in a new type of phase transition in which the flow of money is localized around large enterprises. In addition, we found that when the probability of merger between large companies is higher, the tendency of oligopolistic by large companies becomes stronger, and the ecosystem will become unstable.

研究分野：統計物理学

キーワード：経済物理学 複雑ネットワーク 非線形輸送現象 企業取引ネットワーク 社会シミュレーション ストレステスト 相転移

1. 研究開始当初の背景

学術研究用に提供された日本国内約100万社の取引関係が網羅されたビッグデータを解析し、複雑ネットワークの特性を持っていることを明らかにし、幾つかの基本的な経験則を見出し、複雑ネットワーク構造の形成メカニズムを数理モデル化することができていた。さらに、そのようなネットワークの上での企業間のお金の流れを、一般化重力型輸送モデルによって近似できることがわかってきていた。これらのこれまでの自分たちの研究成果を踏まえ、現実の現象の予測や制御につながるような応用研究に進むことを計画した。

2. 研究の目的

当該研究では、まず、実際の企業の売上や取引量のデータをできるだけ正確に再現できるように非線形方程式のパラメータを調整する方法を確立する。次に、例えば自然災害などによってある地域の企業活動が突然停止したような場合を想定し、その影響が企業ネットワークを介して、日本中にどのような影響を与えるのかを定量的に推定できるような数理モデル、ストレステストシミュレータ、の構築をめざす。

このような数値モデルを確立することにより、災害などの経済的影響をコンピュータシミュレーションによって素早く予測することが可能となり、さらに、復興計画を科学的に構築することができるようになると期待される。また、このシミュレータを用いれば、どこに入れたお金がどのように社会の中に流れていくかを推定できるので、産業の振興などの政策立案にも広く活用することが期待される。

3. 研究の方法

当該研究の基盤となる企業取引ネットワーク上でのお金の流れを記述する一般化重力方程式のパラメータの推定方法としては、企業の売上分布関数と企業間のお金の流れに関し、実データとのずれを定量化し、そのずれを最小化するようにモデルのパラメータを決定する。

方程式の解の基本的な特性としては、モデルのパラメータの範囲を広げてシミュレーションを行い、非線形に起因してどのような相転移現象が起こりうるのかを解析する。また、ストレスシミュレーションとしては、大規模な自然災害や人口減少などのシナリオを想定し、数値シミュレーションを通して、どのような影響が起こるのかを推定する。

4. 研究成果

パラメータの推定方法に関しては、パラメータ空間中を効率よく最適解に漸近する手法を確立することができ、手作業で行っていたときよりも、誤差を減らすことができるようになった。これによって、仮想した災害などの影響もより正確に推定できるようになった。

一般化重力型輸送モデルの中の最も重要な分配の非線形性を特徴づけるパラメータを変えていくと、非線形が弱い時にはお金の流れは日本中に拡散する状態であるのに対し、非線形が強くなると、お金の流れが局在化するような相転移が起こり、巨大企業を中心とした幾つかのブロックに分割されることが見出された。また、企業合併買収の効果をデータから分析すると、この数十年の間に大企業同士の合併の発生頻度が高まっており、そのままの傾向が継続すると想定すると、近い将来、寡占状態になりうるパラメータ領域にあることがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 12 件)

1. Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu, Shlomo Havlin and Misako Takayasu, "Time evolution of companies towards a stable scaling curve obtained from flow diagrams in three-dimensional phase space", *New Journal of Physics* 21, 043038 (2019), 査読有
2. Hayato Goto, Eduardo Viegas, Henrik Jeldtoft Jensen, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Smoluchowski Equation for Networks: Merger Induced Intermittent Giant Node Formation and Degree Gap", *Journal of Statistical Physics*, 172(4), 1086-1100 (2018), 査読有
3. Koutarou Tamura, Hideki Takayasu, and Misako Takayasu, "Diffusion-localization

- transition caused by nonlinear transport on complex networks", Scientific Reports 8, 5517 (2018), 査読有
4. Hayato Goto, Eduardo Viegas, Henrik Jeldtoft Jensen, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Appearance of Unstable Monopoly State Caused by Selective and Concentrative Mergers in Business Networks", Scientific Report 7, 5064 (2017), 査読有
 5. Hirokazu Kawamoto, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Network Anatomy Controlling Abrupt-like Percolation Transition", Scientific Reports 7, 163 (2017), 査読有
 6. Julian Maluck, Reik V. Donner, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Motif formation and industry specific topologies in the Japanese Business Firm Network", J. Stat. Mech. 053404 (2017), 査読有
 7. Koutarou Tamura, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Extraction of conjugate main-stream structures from a complex network flow", Physical Review E 91, 042815 (2015), 査読有
 8. Hirokazu Kawamoto, Hideki Takayasu, Henrik Jeldtoft Jensen, Misako Takayasu, "Precise Calculation of a Bond Percolation Transition and Survival Rates of Nodes in a Complex Network", PLOS ONE 10(4): e0119979 (2015), 査読有
 9. Hayato Goto, Hideki Takayasu, and Misako Takayasu, "Empirical Analysis of Firm-Dynamics on Japanese Interfirm trade Network", Proceedings of the International Conference on Social Modeling and Simulation, plus Econophysics Colloquium 2014, Springer Proceedings in Complexity (Editors H.Takayasu, N.Ito, I.Noda and M.Takayasu), 195-204 (2015), 査読有
 10. Nicky Zachariou, Paul Expert, Misako Takayasu, Kim Christensen, "Generalized Sandpile Dynamics on Artificial and Real-World Directed Networks", PLOS ONE 10(1371): e0142685 (2015), 査読有
 11. Koutarou Tamura, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, "Extraction of conjugate main-stream structures from a complex network flow", Physical Review E 91, 042815 (2015), 査読有
 12. Hirokazu Kawamoto, Hideki Takayasu, Henrik Jeldtoft Jensen, Misako Takayasu, "Precise Calculation of a Bond Percolation Transition and Survival Rates of Nodes in a Complex Network", PLoS ONE 10(4): e0119979 (2015), 査読有

学会発表 (計 24 件)

1. 2019.3.14, 小林祐一郎, 高安秀樹, 高安美佐子, 日本物理学会第 74 回年次大会,九州大学, “日本企業の網羅的データを全面利用した企業業績の時間発展シミュレーション”
2. 2019.3.14, 尾崎順一, 高安秀樹, 高安美佐子, 日本物理学会第 74 回年次大会,九州大学, “地域性を取り入れた企業間取引ネットワークのモデル化”
3. 2018.9.28, Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, Conference on Complex Systems 2018, “Evolution of Companies towards Scaling in 3-Dimensional State Space: Visualization by Evolutionary Flow Diagrams”
4. 2018.9.28, Jun'Ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu, Conference on Complex Systems 2018, “Linear Stability Analysis of Money Flow in Inter-firm Trading networks: Exact Diagonalization”

5. 2018.9.13, Jun'Ichi Ozaki, Econophysics Colloquium 2018, Palermo, Italy, “Dynamical model of Japanese inter-firm trading network: for GDP simulation”
6. 2018.9.9, 小林祐一郎, 高安秀樹, 高安美佐子, 日本物理学会 2018 年秋季大会,同志社大学, “平均流ダイアグラムから見る日本企業の時間発展とスケーリング則”
7. 2017.7.12, Misako Takayasu, Invited Talk, International Conference on $\Sigma\Phi$ conference,Corfu-Greece, “Growth dynamics of complex business firms network”
8. 2017.7.5, Misako Takayasu, Invited Talk, 13th Econophysics Colloquium & 9th Polish Symposium on Physics in Economy and Social Sciences,Warsaw, “Business firms networks:From basic properties to advanced application”
9. 2017.6.19, Misako Takayasu, Invited Talk, 2ND Workshop on Statistical Physics for Financeal and Economic Networks NetSci2017,China, “Dynamical Properties of Monetary Flow on Business Transaction Networks”
10. 2017.3.5, Misako Takayasu, Invited Talk, International Workshop on Dynamic Risk Management of Transport Network,Tokyo Institute of Technology, “Dynamical Money Transport on One Million Business Transaction Network”
11. 2016.09.08. Misako Takayasu, Invited Talk: Plenaly Speaker, 6th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked System, “Instability of Nationwide Business Transaction Network”
12. 2016.09.19. Misako Takayasu, Invited Talk: Keynote Speaker, The Conference on Complex Systems 2016, Amsterdam, “Modeling & Application of Transaction Network of Real Business Firms”
13. 2016.12.13, Misako Takayasu, Invited Talk, APCTP 2016 Workshop on Frontiers of Physics, “Generalized Central Limit Theorem for Randomly Growing Aggregates”
14. 2015.11.05. Misako Takayasu, Invited Talk, Fens2015(8th Polish Symposium on Econo-and Sociophysics), Rzeszow, Poland, “Analysis and modeling of complex business relation network”
15. 2015.10.22. Misako Takayasu, Invited Talk. The Latin-America School and International Workshop on Foundations of Complexity-Nonadditive entropies and nonextensive statistical mechanics, Rio de Janeiro, Brazil, “Various power laws in business firms and evolution dynamics of their trading network”
16. 2015.09.18., 田村光太郎,高安秀樹,高安美佐子, 日本物理学会 2015 年秋季大会,関西大学千里山キャンパス, “複雑ネットワークから抽出される流路分岐構造の特徴づけ”
17. 2015.09.18., 河本弘和,高安秀樹,高安美佐子, 日本物理学会 2015 年秋季大会,関西大学千里山キャンパス, “企業間取引ネットワーク上の重み付きパーコレーション”
18. 2015.09.18., 後藤隼人,高安秀樹,高安美佐子, 日本物理学会 2015 年秋季大会,関西大学千里山キャンパス, “生成、消滅、凝集を考慮したネットワーク成長モデルのパラメータ依存性の解析”
19. 2015.09.18., 用害愛希,田村光太郎,高安秀樹,高安美佐子, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 関西大学千里山キャンパス, “企業ネットワークにおける重力相互作用モデルの検証”

20. 2015.09.17., 村上優太,高安秀樹,高安美佐子, 日本物理学会 2015 年秋季大会,関西大学千里山キャンパス, “ネットワーク成長の優先的選択則とネットワーク上の輸送の関係性”
21. 2015.09.14., Misako Takayasu, Invited talk, Econophysics Colloquium 2015, Prague, “Practical application of mathematical models of business firm networks”
22. 2015.07.14., Misako Takayasu, Invited talk, Symposium on Complex Network Approaches to Business Relations, London, United Kingdom, “Mathematical models of business firm networks”
23. 2015.09.20., 高安美佐子, 招待講演, 宇宙から脳まで 自然科学研究の ”ビッグバン” - コンピュータが切り開く自然科学の未来、名古屋大学, “ビッグデータと数理モデル：経済物理学の先端で”
24. 2014.08.07, 高安美佐子, 招待講演, 2014 年度日本物理学会科学セミナー「非平衡の世界ー凝集系、地震、経済、生命まで」(開催地：東大駒場キャンパス), “経済・社会に観測される非平衡現象”

〔図書〕(計 1 件)

1. 高安美佐子 / 編著、田村光太郎・三浦航 / 著、「学生・技術者のためのビッグデータ解析入門」、日本評論社、255 頁、(2014)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。