

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14618

研究課題名（和文）伝播現象におけるバースト性の役割：理論的解明と多様な伝播現象への応用

研究課題名（英文）Spreading phenomena and burstiness: theoretical investigation and application to wide range of spreading phenomena

研究代表者

翁長 朝功 (Onaga, Tomokatsu)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：90823922

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：意見や情報の伝播、感染症の伝播、購買行動の拡散は、イベントが次のイベントを引き起こすという共通点があり、伝播現象と呼ばれる。感染症などは単純伝染と呼ばれるのに対し、アイデアや情報、新技術の社会的な拡散は複雑伝染と分類される。本研究では、社会ネットワークにおける拡散現象について、ネットワーク科学とゲーム理論を用いた手法で分析した。さらに、Twitter データを用いて理論の仮定を検証し、感染症の政策的介入の効果検証への応用を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2010年前後のSNSの登場とともに、大規模なデータを得ることができるようになり、研究が急速に進展している。近年、社会的な伝播現象について、TwitterなどのSNSのデータを用いて分析する研究が活発になされてきた。一方で、社会的な伝播現象を数理的に扱えるフレームワークの研究は発展の途上である。数理的なフレームワークを構築すると、広い範囲の社会的伝播現象を統一的に研究することが可能になる。また特定の現象について得られた知見を他の現象に応用できるといった利点が見られる。

研究成果の概要（英文）：The spread of ideas, information, infectious diseases, and purchasing behavior are called as spreading phenomena. In these phenomena, an event cause an additional event. Infectious diseases are classified as simple contagion, while the social diffusion of ideas, information and new technologies are classified as complex contagion. In this study, we analyzed social diffusion using methods based on network science and game theory. We verify assumptions in our theory using Twitter data. We apply the theory to compare policy intervention plans for infectious diseases.

研究分野：ネットワーク科学、非線形科学

キーワード：伝播現象 ネットワーク科学 ゲーム理論 物理学 経済学

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。

1. 研究開始当初の背景

意見や情報の伝播、感染症の伝播、購買行動の拡散は、イベントが次のイベントを引き起こすという共通点があり、伝播現象と呼ばれる。伝播現象は、社会・経済現象および自然現象を問わず、広く見られる。社会・経済現象で見られる伝播現象の例は、意見や情報の伝播、購買行動の拡散、金融機関の破綻の連鎖、株式市場における投げ売りの連鎖、犯罪の連鎖などがある。自然現象における伝播現象の例は、神経スパイク信号の伝達、余震の連鎖、感染症の伝播などがあり、20世紀より多数の研究者によって研究が進んできた。社会的な伝播現象は、自然現象における伝播現象と比較すると、数理モデルを用いた分析法の研究は少なかった。しかしながら、2010年前後のSNSの登場とともに、大規模なデータを得ることができるようになり、研究が急速に進展している。近年、社会的な伝播現象について、TwitterなどのSNSのデータを用いて分析する研究が活発になされている。しかしながら、社会的な伝播現象を数理的に扱えるフレームワークの研究は発展の途上である。数理的なフレームワークの研究が発展すると、広い範囲の社会的伝播現象を統一的に扱うことができ、理解が深まる、また特定の現象について得られた知見を他の現象に応用できるといった利点がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「社会・経済減少で見られる伝播現象に対して、統一的な分析方法はあるか？」という問いに答えることである。第一に、「ネットワーク上のゲーム理論を用いた分析法」を提案する。第二に、グローバルカスケード(拡散相)への相転移があること、および、対称性の破れ概念によって分析できることを紹介する。第三に、意見や情報の拡散に用いられる、ワッツ閾値モデル、金融機関の破綻の連鎖を表現するGai-Kapadiaモデル、新技術の拡散をモデル化するネットワーク上の調整ゲームが、同じフレームワークで分析できることを示す。そして、分析法をTwitterデータの分析や新型コロナウイルスに対する政策介入の効果の検証に応用する。

3. 研究の方法

(1) まず、ネットワーク科学のワッツ閾値モデルと経済学(ゲーム理論)の調整ゲームは数学的に同値なモデルであることを示す。

(2) そして、(1)を用いて、統計物理学で発展してきたキャピティ法により分析可能であることを示す。

		Player j	
		0	1
Player i	0	$(0, 0)$	$(0, -c)$
	1	$(-c, 0)$	(a, a)

図1. 調整ゲームの利得行列。N人のプレイヤーがランダムネットワークで結合している。プレイヤーは0または1の戦略をとる。 (u_i, u_j) はそれぞれ i, j の利得を表す。

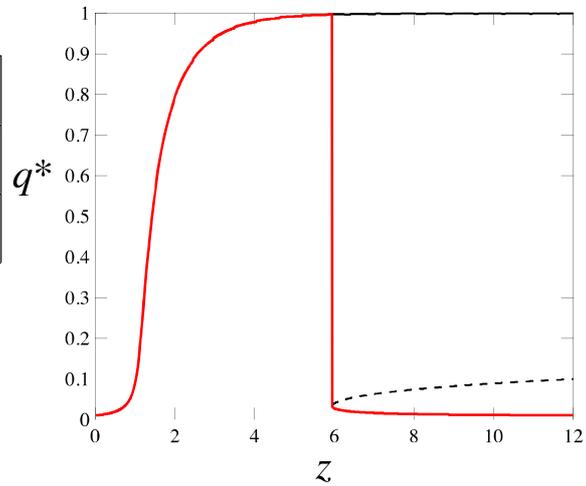


図2. 最終的に戦略1を取る（新技術を用いる）プレイヤーの割合。ネットワークの次数を増やすと、1付近に連続転移が、6付近に不連続転移が現れる。

(3) 不拡散相から拡散相への相転移について分析する。

(4) 代替的な2財の場合は、偶然割合が高かった一方が他方を支配する。対称性の破れという概念を用いて分析可能である。

(5) 応用として、意見や情報の伝播について、Twitter データを用いて分析する。

(6) また、感染症への応用として、新型コロナウイルスに対する政策介入の効果を検証する。

4 . 研究成果

主要な研究成果について記述する。これまでの「ネットワーク・ゲーム」の研究は、主に2人のプレイヤーまたは格子状に並んだプレイヤーに限られていた。我々はランダム・ネットワークで結合したプレイヤーの間での調整ゲームを分析した(図1)。第一に、調整ゲームはネットワーク科学における標準的な拡散モデルの一つであるワッツ閾値モデルに帰着できることを示した。第二に、メッセージ・パッシング法を用いて、ナッシュ均衡を正確に求めた(図2)。第三に、解の存在と収束性について不動点定理を用いて証明した。(図1および図2は Kobayashi and Onaga, Economic Theory 2022 (forthcoming)より抜粋。)

また、1財の拡散だけでなく、2財の拡散も分析できる用に、解析理論を拡張した。競合的な2財の場合には、例え二つの財の魅力が同等でも、偶然に片方が他方を支配することを明らかにした。解の軌道が鞍点経路をたどることで、このような対称性の破れが生じることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kobayashi Teruyoshi, Ogisu Yoshitaka, Onaga Tomokatsu	4. 巻 146
2. 論文標題 Unstable diffusion in social networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JOURNAL OF ECONOMIC DYNAMICS AND CONTROL	6. 最初と最後の頁 104561--104561
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jedc.2022.104561	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 Kobayashi Teruyoshi, Onaga Tomokatsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Dynamics of diffusion on monoplex and multiplex networks: a message-passing approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECONOMIC THEORY	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） 10.1007/s00199-022-01457-x	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 Fujiwara Naoya, Onaga Tomokatsu, Wada Takayuki, Takeuchi Shouhei, Seto Junji, Nakaya Tomoki, Aihara Kazuyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Analytical estimation of maximum fraction of infected individuals with one-shot non-pharmaceutical intervention in a hybrid epidemic model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC INFECTIOUS DISEASES	6. 最初と最後の頁 512--512
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12879-022-07403-5	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 Gleeson James P, Onaga Tomokatsu, Fennell Peter, Cotter James, Burke Raymond, O'Sullivan David J P	4. 巻 8
2. 論文標題 Branching process descriptions of information cascades on Twitter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Complex Networks	6. 最初と最後の頁 cnab002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/comnet/cnab002	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 該当する

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 翁長 朝功
2. 発表標題 Network game and Watts threshold model: An application to the spread of competing goods
3. 学会等名 Conference on Complex Systems 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 翁長 朝功
2. 発表標題 迅速な情報伝播のための最適ネットワーク・モジュラリティ
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 翁長 朝功
2. 発表標題 連続状態の複雑伝染過程：投売り連鎖の分析
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 翁長 朝功
2. 発表標題 Linking the Watts threshold model and network game: An application to the spread of competing goods
3. 学会等名 CompleNet 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 照義, 荻巣 嘉高, 翁長 朝功
2. 発表標題 ネットワーク上の伝播現象と 調整ゲーム
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楊 氷潔, 藤原直哉, 翁長 朝功
2. 発表標題 Branching process 理論によるリツイート活動の予測
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 照義, 荻巣 嘉高, 翁長 朝功
2. 発表標題 社会ネットワーク上の伝播現象へのゲーム理論によるアプローチ
3. 学会等名 ネットワーク科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林照義, 翁長 朝功
2. 発表標題 Diffusion dynamics on monoplex and multiplex networks
3. 学会等名 日本経済学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 翁長朝功、小林照義
2. 発表標題 多状態のワッツ閾値モデル
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 翁長朝功
2. 発表標題 Twitter の情報カスケードの branching process による描写
3. 学会等名 ネットワーク科学セミナー2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomokatsu Onaga, Fabio Caccioli, Teruyoshi Kobayashi
2. 発表標題 Modelling fire sales as heterostate dynamical processes on bipartite networks
3. 学会等名 NetSci-X 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomokatsu Onaga, Fabio Caccioli, Teruyoshi Kobayashi
2. 発表標題 Fire sales as multistate contagion on bipartite networks
3. 学会等名 Complex Networks 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
英国	University College London			
アイルランド	リムリック大学			
米国	南カリフォルニア大学			
英国	University College London			