

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K21571

研究課題名（和文）Spontaneous ideological escalation without leaders as a distributed socio-dynamical process

研究課題名（英文）Spontaneous ideological escalation without leaders as a distributed socio-dynamical process

研究代表者

佐山 弘樹（Sayama, Hiroki）

早稲田大学・商学大学院・教授（任期付）

研究者番号：30345425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：現代の高度情報化社会では、背景が異なる様々な社会構成員の間で考え方やイデオロギーの相違がエスカレートし、相容れないグループ同士の間で克服しがたいギャップが生成・拡大している。その一因として、情報通信技術の高度化・高速化と、利用者の恣意的な情報源選択能力の向上が挙げられる。本研究では、数理モデルによる構成的手法とデータドリブンな実証手法を用いて、高度化する情報通信技術が社会における思想・意見の極端化にどのような影響を及ぼしているのかを考察した。その結果、人々の情報収集能力が高度化しかつ同種親和性が強まるにつれ社会分断と思想・意見の極端化が促進されることなど、示唆に富む知見を多数得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、社会ネットワークにおける自然発生的な思想の極端化の機構を数理モデルを用いて理論的に説明し、かつ複数の実データを用いて定量的な実証を行った。プロジェクト全体を通じて、人々の情報収集能力が高度化しかつ同種親和性が強まるにつれ社会分断と思想・意見の極端化が促進されること、極端な意見は関心を集めやすいこと、個人の意見は変遷するが周囲も同様に変遷するので自身の意見の極端化に気づきにくいこと、新規性を指向する挙動や個人間の挙動のばらつきが社会分断を抑制すること、など高度情報化社会における社会の構造・状態の変化を理解するうえで、示唆に富む重要な知見を多数得ることができた。

研究成果の概要（英文）：In today's highly advanced information society, differences in opinions and ideologies are escalating among various members of society with different backgrounds, creating and expanding insurmountable gaps between them. One possible cause for this is the sophistication and acceleration of information communication technology and the improvement of users' ability to select favorite information sources arbitrarily. In this project, we used both a mathematical modeling-based constructive method and a data-driven empirical method to study how advanced information communication technology would affect the extremization of opinions and ideologies in society. As a result, we obtained many useful findings, including the fact that as people's information gathering ability and homophilic tendency increase, social fragmentation and extremization of ideologies and opinions are promoted.

研究分野：複雑系科学

キーワード：意見の極端化 社会ネットワーク 情報通信技術 数理モデル化 機械学習 データサイエンス 複雑系

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

現代の高度情報化社会では、政治・文化・経済・民族・宗教・言語・その他の背景が異なる様々な社会構成員の間で考え方やイデオロギーの相違がエスカレートし、相容れないグループ同士の間で克服しがたいギャップが刻々と生成・拡大しているように見受けられる。こうした社会問題の原因の一つと考えられるものとして、情報通信技術の高度化・高速化と、利用者の恣意的な情報源選択能力の向上が挙げられる。そういった構成員間の相互作用の強化によって引き起こされる社会進化や意見ダイナミクスを考察するために、様々な動的な社会ネットワークの数理モデルがこれまでに考案・研究されてきた。特に、構成員がより極端な意見により多くの関心を寄せるような「選択的注意」の機構が存在すると、社会全体の平均意見が自発的にドリフトしエスカレートしていくことが、研究代表者自身の過去の研究によって理論的に示されている。またここ数十年ほどの SNS の急速な発展と浸透にとともに、外部の世論から隔離され極端化した“ソーシャルバブル”の形成も指摘されるようになってきている。しかし、社会ネットワークにおける自然発生的な思想の極端化の機構を数理モデルの観点から明確に説明し、かつ実データを用いてモデルを実証するような定量的研究は、これまでほとんど行われてこなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、情報伝達強度と選択的注意傾向を主要なパラメータとして持つ動的な社会ネットワークの数理モデルを複数開発し、それらの性質を体系的・定量的に解析することを通じて、情報通信技術の高度化が社会における思想等の極端化に与える影響を明らかにすることである。モデルの検証は、ソーシャルメディア等のソースから収集された意見変遷に関する実データに対して、機械学習を用いて各個人の意見状態を意味空間に埋め込み、それらの距離の時間的変化を測ることで実施する。複数の枠組みを用いた数理モデルによる構成的手法に加え、データドリブンで計算的かつ定量的な実証手法も駆使し、学際的なアプローチを用いて研究を遂行する点に特色がある。

3. 研究の方法

本研究では、高度情報化社会におけるインタラクションの強化が社会における思想・意見の極端化の過程に及ぼす影響について、エージェントベースドモデルによる計算的考察、偏微分方程式を用いた数理モデルによる解析的考察、SNS や被験者実験から得られた実データの解析、の3面から考察を行った。

エージェントベースドモデルでは、社会構造を明示的に動的ネットワークとして表し、その中で個人（ノード）の情報源選択の自由度（同種親和性）と情報の新規性を志向する度合をそれぞれ行動のパラメータとして設定した。個々のノードが持つ意見状態とノード間の接続重みが相互に影響を及ぼしながら時間的に変遷する適応的ネットワーク（adaptive network）としてモデル化し、そのダイナミクスは意見状態と接続重みの双方について大自由度常微分方程式系として記述した。このモデルを用いて体系的な計算機シミュレーションを実施し、情報伝達強度と選択的注意傾向が社会における意見状態と接続状態に対して及ぼす影響を明らかにした。各シミュレーションの結果は、ネットワーク内の大域的な平均意見状態、ネットワーク構造のモジュラリティ、各コミュニティ内の局所的な平均状態、等の指標を用いて計測した。

偏微分方程式によるモデルでは、社会における意見の分布を1次元連続値の意見空間内に表し、その中で人口動態（各意見の人気度の変遷）を移動項・拡散項を用いて表現することとした。対立意見を持つコミュニティの形成は意見空間における不均質パターンの形成として表現され、その成立条件は、均質な定常解の線形安定性解析を行うことで解析的に求めた。またモデル方程式の数値積分によってシミュレーションを行い、解析的に得られた知見の確認を行った。

実社会データの解析に関しては、米国右派に人気があった Gab と Parler という2つの SNS から、ユーザ間の接続に関するデータ、及びそこでやりとりされた意見のデータを収集した。また、ニューヨーク州立大学ビンガムトン校にて実施された被験者実験に基づく集団意思決定のデータについても提供を受けた。これらの実社会データの解析は、各ソースから得られた自然言語による情報（意見）を機械学習における意味論的埋め込み手法を用いてベクトル化し、それらの間の距離を用いて意見の奇抜性（eccentricity；情報の受領者がその時点で持っている意見群の平均値からの距離）を特徴づけ、奇抜性がネットワーク構造（意見に寄せられる関心・興味の度合い）にどのような影響を与えるのか、またその時間的変遷と空間的構造はどのようなものか、について解析を行った。

4. 研究成果

エージェントベースドモデルを用いた計算機実験の結果、個人の情報源選択の自由度が高まるほど社会ネットワークの分断と意見の極端化が促進され、逆に個人が新規性を志向する度合が高まるほど社会ネットワークは統合され意見の均質化が生じる、という逆説的で興味深い結果を得た。さらに、モデルの挙動をより広範に解析するため、パラメータ掃引領域を約 7.6 倍に広

げた大規模な計算機実験を実施し、複数パラメータ間の非線形相互作用をニューラルネットを用いてモデル化・可視化して、社会全体の挙動が個人レベルの挙動にどのように影響されるのかについてより詳細な洞察を得た。その結果、社会分断の相転移面が、これまでに分かっていた「同種親和性」と「新規性志向」という2つの行動原理の間のみにあるのではなく、「同種親和性」と「同調性」の間にも存在することが明らかとなった（図1）。同種親和性と同調性は互いに非常に似通った行動原理であり経験的に混同されることも多いが、そのどちらが優位であるかが社会全体の構造の進化に多大な影響を及ぼす、という本研究の知見は、非常にユニークで示唆に富むものである。

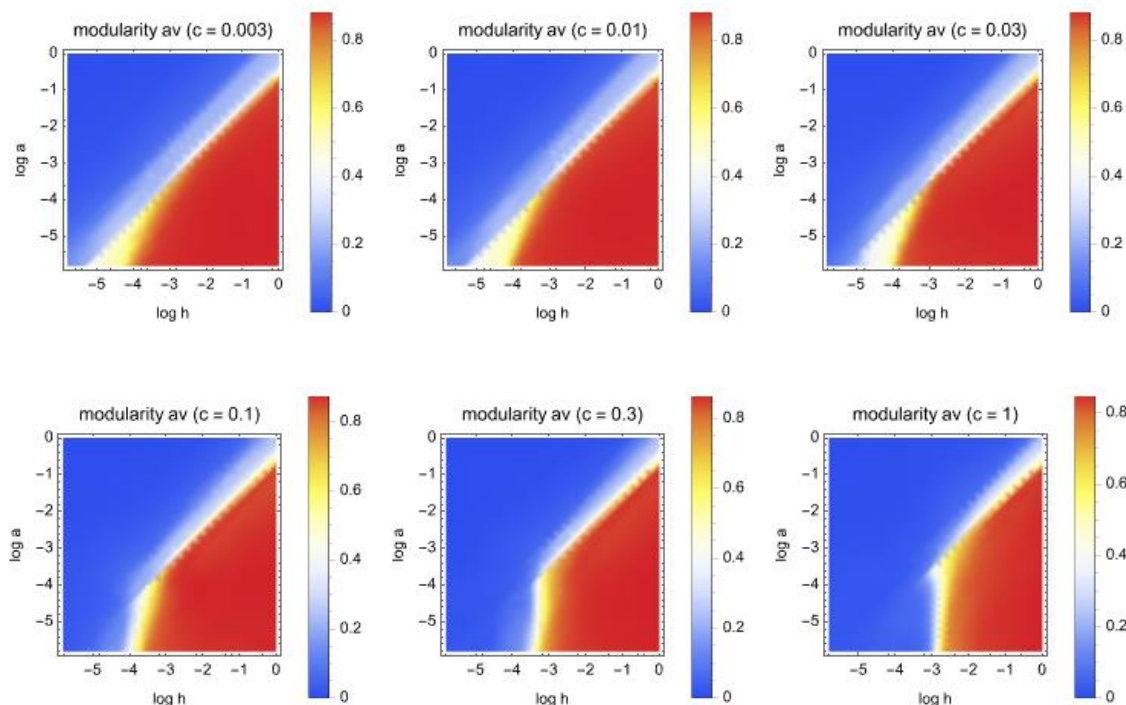


図1：エージェントベースモデルの状態図。シミュレーションで得られた最終状態の指標と複数のパラメータ値との非線形な関連性を、ニューラルネットワークによる学習を通じて要約し可視化したもの。ここではネットワークの最終状態のモジュラリティを、同調性(c)を変化させながら同種親和性(h)-新規性志向(a)の状態図に描画している。赤い領域が極端化の進行した社会分断状態に相当する。cの値が増加するに伴い、新しい相転移の境界線（下段、特にc = 0.3, 1）が図の中央部に出現するのがわかる。

また本モデルについて英国ブリストル大学と共同研究を開始し、個人の挙動パラメータの値にばらつきがあった場合に社会ネットワークの進化にどのような影響が現れるかを計算的に解析した。その結果、個人の挙動にばらつきのある社会ではそうでない場合に比べ意見の極端化がより進行しやすく、その一方で社会分断の進行は抑制される、という結果が得られた。これは、個人の挙動の多様性が意見の多様化と社会構造の接続性の双方を両立する効果を持つことを示し、研究代表者が推進する他の科研費プロジェクトの結果（使用しているモデルの枠組みは全く異なるもの）とも整合性があり、この知見の普遍性・頑健性を示している。

偏微分方程式による数理モデルでは、個人の情報収集能力の高度化を非局所的な相互作用カーネル関数として表す、という新しいモデル化手法を提案した。また数理解析及び数値計算実験によって、意見の異なる複数の社会グループが自発的に創発する条件を数学的に明らかにし、さらに個人の情報収集能力が高まることによって社会グループ間の意見の距離（対立の激しさ）が増加することを示した（図2）。更に、情報収集の偏向と人口の増減を表現できるようにモデルの拡張を行い、それらにより意見の極端化がさらに促進され、かつ時空間的なカオス状態が生成されうることも見出した。

実社会データの解析に関しては、Gab・Parlerから収集された意見データ、及びニューヨーク州立大学ビンガムトン校による社会実験データの双方を解析した結果、奇抜性が高い意見ほど他者からの関心を得やすい傾向があること（図3）、社会的近傍同士では意見が同質化しやすいこと、また個々人の意見は時間的に大きく変遷するが近傍での意見同質化のせいで自身の意見の変遷を自覚することが困難なこと、などがそれぞれ明らかとなった。これらの結果は、意見の極端化が自発的にかつ無自覚に進行する機構を定量的に実証するものである。

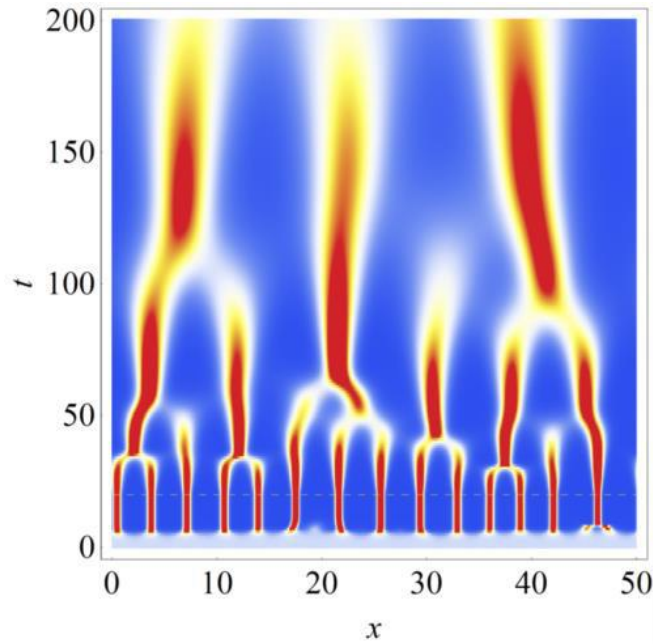


図2：偏微分方程式によるモデルの数値実験結果の一例。横軸(x)は意見空間を、縦軸(t)は時間を表す。均質でランダムな初期状態はまず多数の意見クラスタに自己組織化する($t = 0-20$)。その後、個人の情報収集能力を徐々に高度化(=相互作用カーネル関数を拡大, $t > 20$)していくと、意見クラスタの集約が段階的に進行し、その結果激しく対立する(=意見の距離が大きい)少数の社会グループが形成される。

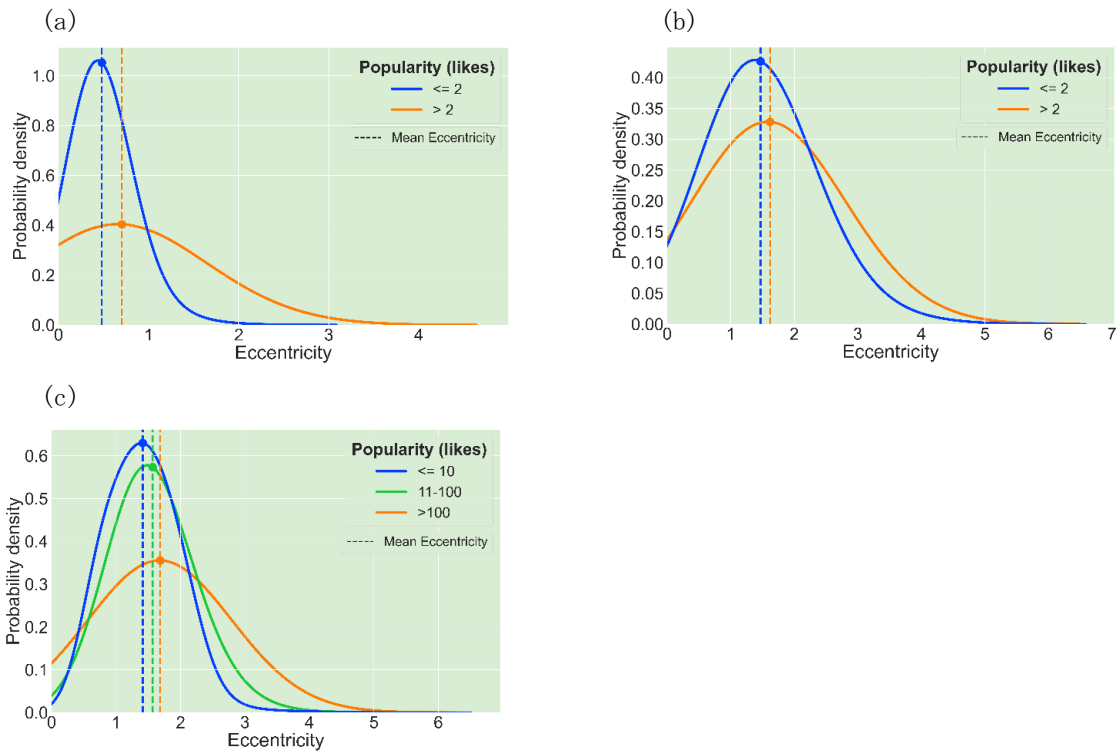


図3：意見の奇抜性の分布を異なる人気・関心のレベルごとにプロットしたもの。(a)と(b)はニューヨーク州立大学ビンガムトン校の社会実験データによる結果(a: キャッチフレーズ生成実験, b: ショートストーリー執筆実験), (c)は Gab・Parler のデータによる結果。いずれの場合においても、より関心を引いた投稿のグループはより奇抜性が高かったことが確認できる。

プロジェクト全体を通じて、人々の情報収集能力が高度化しかつ同種親和性が強まるにつれ社会分断と思想・意見の極端化が促進されること、極端な意見は関心を集めやすいこと、個人の意見は変遷するが周囲も同様に变遷するので自身の意見の極端化に気づきにくいこと、新規性を指向する挙動や個人間の挙動のばらつきが社会分断を抑制すること、など高度情報化社会における社会の構造・状態の変化を理解するうえで、示唆に富む重要な知見を多数得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 佐山 弘樹	4. 巻 37
2. 論文標題 適応的ネットワーク型人工社会モデルによる社会分断の考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 43～49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11517/jjsai.37.1_43	査読の有無 無
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 Hiroki Sayama	4. 巻 NA
2. 論文標題 Detecting new phase transition points in large-scale numerical simulations of an adaptive social network model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 Conference on Artificial Life (ALIFE 2022), 2022, MIT Press, in press	6. 最初と最後の頁 NA
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 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

1. 著者名 Hiroki Sayama	4. 巻 102
2. 論文標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12303
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.102.012303	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

1. 著者名 Hiroki Sayama	4. 巻 2020
2. 論文標題 Extreme ideas emerging from social conformity and homophily: An adaptive social network model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 Conference on Artificial Life (ALIFE 2020)	6. 最初と最後の頁 113-120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1162/isal_a_00349	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

1. 著者名 Hiroki Sayama	4. 巻 1
2. 論文標題 Extreme ideas emerging from social conformity and homophily: An adaptive social network model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 Conference on Artificial Life (ALIFE 2020)	6. 最初と最後の頁 in press
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 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 Hiroki Sayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 改訂後採択見込
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 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 -

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Srinivas Pandey and Hiroki Sayama
2. 発表標題 Dynamics of toxicity in Parler dataset
3. 学会等名 Presented as a poster at NERCCS 2022: Fifth Northeast Regional Conference on Complex Systems, March 30-April 1, 2022, Buffalo, NY / online (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Detecting transition points in adaptive social networks: Large-scale numerical simulations and neural network-based visualization
3. 学会等名 Presented as a talk at the 2021 Conference on Complex Systems (CCS 2021), October 25-29, 2021, Lyon, France / online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Srinivas Pandey and Hiroki Sayama
2. 発表標題 Dynamics of user eccentricity on GAB social media
3. 学会等名 Presented as a talk at the 2021 Conference on Complex Systems (CCS 2021), October 25-29, 2021, Lyon, France / online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Understanding diversity, innovation and social evolution: Theoretical and experimental approaches
3. 学会等名 Keynote talk at DB3D 2021: Don Bosco-Binghamton Big Data Online Conference, October 19, 2021, conference held online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Srinivas Pandey and Hiroki Sayama
2. 発表標題 Center or off-center: Eccentric behavior shift of GAB social media users
3. 学会等名 Presented as a talk at the Don Bosco-Binghamton Big Data Online Conference (DB3D-2021), October 19-21, 2021, held online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Where and how innovative ideas arise: Insights from collaboration experiments and social media analysis
3. 学会等名 Invited talk at the Science of Innovation and Success Workshop, August 2-3, 2021, Waseda University, Tokyo, Japan + online (招待講演)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Hiroki Sayama
2 . 発表標題 Dynamical networks and systems as a model of social fragmentation
3 . 学会等名 PSG-Binghamton International Research Webinar Series, held online, May 12, 2021 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Srinivas Pandey and Hiroki Sayama
2 . 発表標題 Analyzing eccentric behavior of GAB social media users
3 . 学会等名 Presented as a poster (interactive presentation) at NERCCS 2021: Fourth Northeast Regional Conference on Complex Systems, March 31-April 2, 2021, conference held online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Hiroki Sayama
2 . 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3 . 学会等名 NERCCS 2020: Third Northeast Regional Conference on Complex Systems (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hiroki Sayama
2 . 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3 . 学会等名 Center for Collective Dynamics of Complex Systems (CoCo) Seminar Series (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Diversity and social evolution: Theoretical and experimental approaches
3. 学会等名 Socioeconomic Networks and Network Science Workshop (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3. 学会等名 Tenth International Conference on Complex Systems (ICCS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Self-organization of society: Fragmentation, disagreement, and how to overcome those
3. 学会等名 First IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3. 学会等名 2020 Conference on Complex Systems (CCS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Dynamical networks and systems as a model of social fragmentation
3. 学会等名 Clarkson Center for Complex Systems Science Seminar Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Srinivas Pandey and Hiroki Sayama
2. 発表標題 Analyzing eccentric behavior of GAB social media users
3. 学会等名 NERCCS 2021: Fourth Northeast Regional Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Dynamical networks and systems as a model of social fragmentation
3. 学会等名 PSG-Binghamton International Research Webinar Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Understanding diversity, innovation and social evolution: Theoretical and experimental approaches
3. 学会等名 DB3D 2021: Don Bosco-Binghamton Big Data Online Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3. 学会等名 NERCCS 2020: Third Northeast Regional Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3. 学会等名 Center for Collective Dynamics of Complex Systems (CoCo) Seminar at Binghamton University
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Enhanced ability of information gathering may intensify disagreement among groups
3. 学会等名 ICCS 2020: Tenth International Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Sayama
2. 発表標題 Extreme ideas emerging from social conformity and homophily: An adaptive social network model
3. 学会等名 ALIFE 2020: Artificial Life Conference (国際学会)
4. 発表年 2020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			
米国	ニューヨーク州立大学ビンガム トン校			
英国	ブリストル大学			