

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00433

研究課題名(和文) 見えない構造を見るーオープンデータと機械学習によるネットワーク構造推定ー

研究課題名(英文) Unveil The Hidden Structure --- Estimation of the Network Structure by Machine Learning and Open Data

研究代表者

佐藤 浩 (Sato, Hiroshi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・電気情報学群・准教授)

研究者番号：30295737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、構造の全貌が不明な複雑ネットワークにおいて、未知のつながりを推定することで、隠された構造を明らかにすることを目的とした。本研究では、産業連関ネットワークを題材とし、国内外における取引ネットワークを分析した。まず予備的な調査として、取引ネットワークを表現する隣接行列の固有値を用いた中心性などの分析により、ネットワークにおける重要産業セクタの時間推移を明らかにした。次に、取引ネットワークには属さない、各セクタと外部要因とのつながりを改良版リーダーランクアルゴリズムを用いて推定した。隠れた構造を含めて分析した結果、予備的な調査では得られなかった、重要セクタの存在を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to unveil a complex network that contains an unknown structure in it. We select the input-output tables of industries from a nationwide to worldwide as examples of the complex network. First, as a preliminary research, we analyze some centralities derived from eigenvalue of these networks and track the vulnerable sectors in the networks. Then, we estimate the hidden relation in the network --- relation with the external factors. We use modified Leader Rank algorithm, and find the important sectors in terms of the hidden influence from outside of the network. Comparing these results, we can find some important sectors of the network.

研究分野：人工知能

キーワード：複雑ネットワーク ネットワーク分析 産業連関表 感染モデル ネットワーク中心性

1. 研究開始当初の背景

生体内のタンパク質間相互作用やソーシャルネットワークにおける人間関係といった、現実世界に存在するネットワークは、従来の数理モデルとはまったく異なる複雑多様さを持つだけでなく、それらの構造には共通した特徴があるということが、近年の研究により明らかとなった。

このように、社会や生体内における特異なネットワークの発見に始まった複雑ネットワーク研究は、ネットワークが持つ性質の分析や、それらを再現できるモデルの構築を経て、現在では、望ましい性質を持つ複雑ネットワークの設計へと進んできている。

ただし、これまでの研究においては、対象とするネットワークの構造は既知であるという暗黙の仮定があった。しかし、ある程度の規模を超えた実在するネットワークにおいては、この仮定は妥当ではない。例えば、インターネットや国際金融ネットワークにおいては、その接続は自律分散的に行われるため、ネットワークの全貌を理解することは不可能であるといわれてきた。

2. 研究の目的

金融、情報、流通といった社会におけるネットワークの診断、評価のためには、その構造を知ることが必要であるが、前述のように多くのネットワークではその複雑さのため、全貌を掴むことが困難である。

近年、オープンデータと呼ばれる各種のデータが国や公共機関などにより公開される流れが生まれている。また一方で、機械学習が最近著しい発展を遂げている。この2つを組み合わせることで、現在ならば隠されたネットワークの構造を明らかにできるのではないかとの着想を基に、本研究では部分構造からネットワーク全体の構造を推定する手法の構築をその目的とした。

3. 研究の方法

(1) リーダーランク・アルゴリズム

本研究では、リーダーランクという指数を用いたネットワーク解析を行う。リーダーランクとは、仮定のグラウンドノードとの相互作用を考えることで、ネットワーク上の需要度を測るものである。

本研究では、ここで導入した仮定のノードおよびリンクが、隠されたネットワーク構造を表しているという見方をとることで、見えない構造を明らかにしようとする立場をとる。

リーダーランクを表すために各ノードに与えられるスコアを、次の式で計算する。

$$s_i(t+1) = \sum_{j=1}^{N+1} p_{ji} s_j(t) = \sum_{j=1}^{N+1} \frac{w_{ji}}{\sum_{k=1}^{N+1} w_{jk}} s_j(t) \quad (1)$$

ここで、 $w_{ji}$  はノード  $j$  からノード  $i$  へのリンクを表す。

このスコアが定常状態になったとき、リーダーランクは以下の式で表される。

$$S_i = s_i(t_\infty) + \frac{w_{gi}}{\sum_{l=1}^{N+1} w_{gl}} s_g(t_\infty) \quad (2)$$

ここで  $s_g(t_\infty)$  は定常状態のグラウンドノードのスコアである。

(2) リーダーランク・アルゴリズムの拡張

リーダーランクは、ノードにおける出次数が中心であった。これは、ノード間の人気投票をモデル化したためである。本研究では、入次数に着目したリーダーランクも考慮の対象とした、2種類のリーダーランクを考えることで、他のノードに影響を与えやすいノードだけでなく、他のノードから影響を受けやすいノードをも考えることができる。以下、前者を外向きリーダーランク、後者を内向きリーダーランクと呼ぶ。

外向きリーダーランクにおけるスコアの更新式は、

$$s_j(t+1) = \sum_{i=1}^{N+1} p_{ji} s_i(t) = \sum_{i=1}^{N+1} \frac{w_{ji}}{\sum_{k=1}^{N+1} P_{jk}} s_i(t) \quad (3)$$

となり、内向きのリーダーランクにおけるスコアの更新式は、

$$s_j(t+1) = \sum_{i=1}^{N+1} p_{ij} s_i(t) = \sum_{i=1}^{N+1} \frac{w_{ij}}{\sum_{k=1}^{N+1} P_{kj}} s_i(t) \quad (4)$$

と表される。

4. 研究成果

本研究では、政府統計による日本国内の産業連関表を解析の対象とし、2005年のデータを用いて産業ネットワークを評価した。

図1は、産業連関表における入出力を描画したものである。セクタ間を繋いでいる直線の太さがセクタ間で取引される金額の大きさを示している。医薬品セクタから医療・保険セクタ間、および石炭・原油セクタから石油製品セクタ間での取引金額が大きなことが分かる。

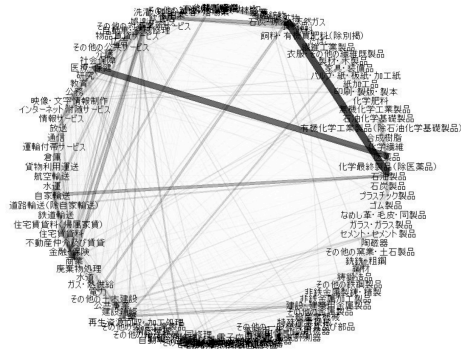


図1 2005年の日本の産業連関表のグラフ化

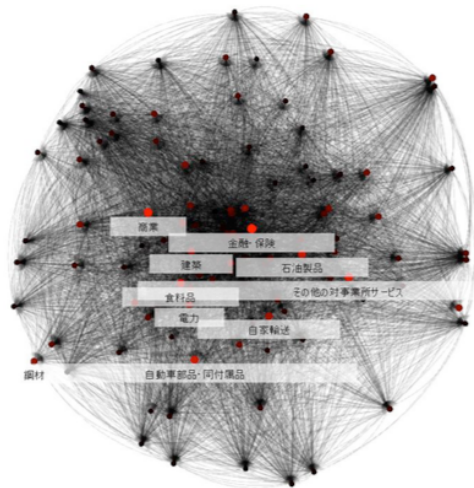


図2 産業ネットワークにおけるページランクによるセクタの評価

図2は、取引の繋がりから、ページランク (Page Rank) を計算し表示したものである。赤い点の大きさがランクの強さを示している。自動車部品・同付属品、金融・保険、石油製品、建築、商業、電力といった産業セクタが高いページランクを持っている。

これらのグラフにおいて、複雑ネットワークが共通して持つ特徴、少数であるが非常に力の強いノードの存在、を見ることができる。

本研究では、上記の指標をベースラインとして、3章で述べた外向き・内向きのリーダーランクによる評価を行った。

(1) 外向きリーダーランクによる各セクタのランクの大きさ

図3に外向きリーダーランクに計算結果を示す。外向きリーダーランクにおいては、突

出したランクを持つセクタはない。ランクの高い順に5のセクタを抽出すると以下のようになる。

1. 商業
2. 医療・保険
3. 医薬品
4. 電子計算機・同付属品
5. 精密機械

これらのセクタは、ネットワーク上で隣接する、他の産業セクタに与える影響が大きなセクタであるといえる。

(2) 内向きリーダーランクによる各セクタのランクの大きさ

図4に内向きリーダーランクの計算結果を示す。内向きリーダーランクにおいては、少数の非常に高いランクを持つセクタが見られる。ランクの高い順に5つのセクタを抽出すると以下のようになる。

1. 商業
2. 医療・保険
3. 特殊産業機械
4. 電子計算機・同付属品
5. 水運

これらのセクタは、ネットワーク上で隣接する他の産業セクタから影響を受けやすいセクタであるといえる。

これらの結果から、日本の産業においては、他のセクタへの影響の強さに違いはあるものの、それはそう大きな差はない。一方で、他からの影響され具合においては、産業セクタ間で大きな差があることが分かった。また、ランク上位の産業セクタに関しては、外向き・内向きのどちらにも共通して現れるセクタが見られた。このうち商業セクタは、ページランクで見ても重要度が高いため、より重要なセクタと言える。

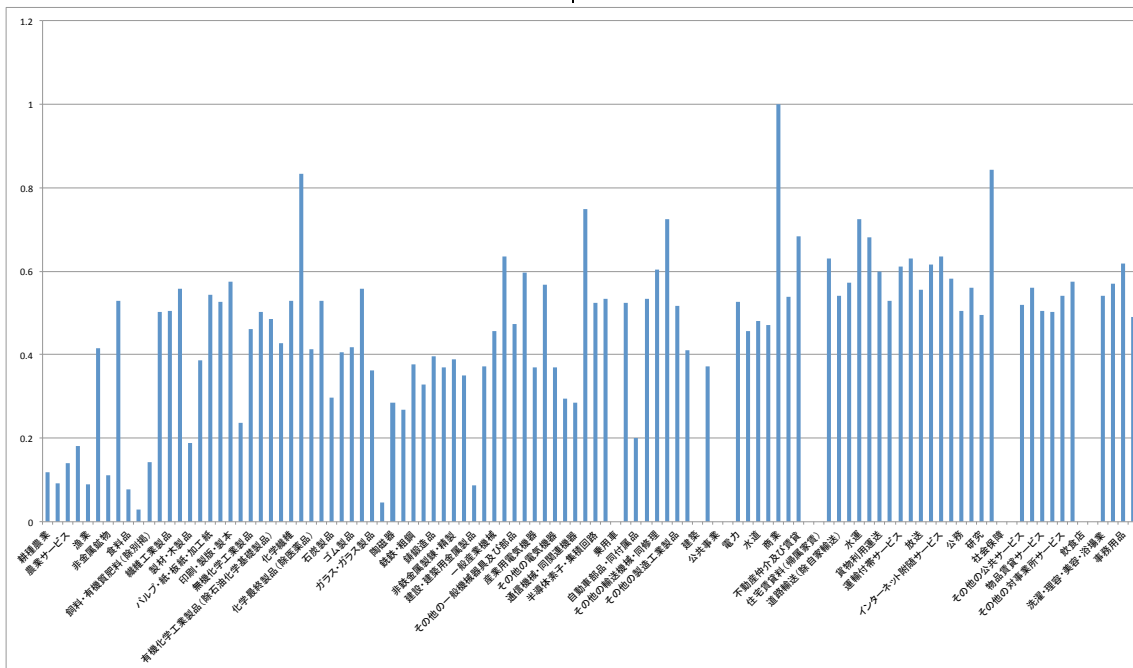


図3 外向きリーダーランクによる国内産業セクタの評価

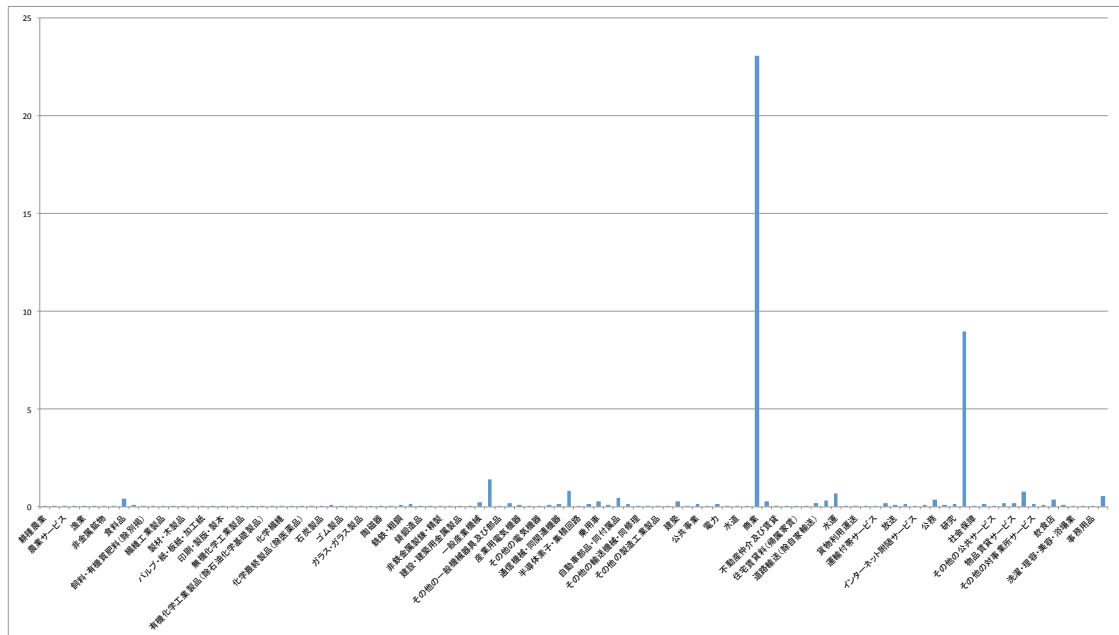


図4 内向きリーダーランクによる国内産業セクタの評価

本手法で用いられたリーダーランクで導入されるグラウンドノードは仮想のノードである。これに対し、経済ネットワークにおいては、全てのノードと直接繋がる国という存在がある。国は税金や補助金という制度により、すべての産業セクタに直結するノードという役割を果たしている。ここで明らかにしたものは、産業セクタと国とのネットワーク構造であり、グラウンドノード自体の評価値、およびグラウンドノードと他のノードの関係を調べることで、国の政策のための評価指標を作成することが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

(1) Hiorshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Akitoshi Hagihara, Kento Maeda, An Analysis of Play Style of Advanced Mahjong Players Toward the Implementation of Strong AI Player, International Journal of Parallel, Emergent & Distributed Systems, Vol. 32, pp.195-205 (2017) (査読あり)

(2) Tomohiro Shirakawa Haruhisa Sugiyama, Hiroshi Sato, Kazuki Sakurai, Eri Sato, Gait analysis and machine learning classification on healthy subjects in normal walking, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, Vol. 32, pp. 185-194 (2017) (査読あり)

(3) Masao Kubo, Hiroshi Sato, Akihiro Yamaguchi, Yuji Aruka, Document Analysis of Survey on Employment Trends in Japan, Economic Foundations for Social

Complexity Science Theory, Vol. 1, pp. 161-177 (2017) (査読あり)

(4) Tomohito Okada, Akira Namatame, Hiroshi Sato, Saori Iwanaga, A Method to Reduce the Amount of Inventoried Stock in Thai Supply Chain, Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, Vol. 8, pp. 347-360 (2106) (査読あり)

(5) Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Daisuke Nakagawa, The Effect of Word-of-Mouth in U-Mart Artificial Futures Market, Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, Vol. 8, pp. 389-400 (2016) (査読あり)

(6) Saori Iwanaga, Akira Namatame, Collective behaviour in cascade model depends on turn of the choice, Int. J. Automation and Logistics, Vol. 2, pp. 93-107 (2016) (査読あり)

(7) Saori Iwanaga, Akira Namatame, Contagion of Evacuation Decision Making on Real Map, Mobile Networks and Applications, Vol. 21, pp. 206-214 (2016) (査読あり)

(8) Sora Tanioka, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Fast collective photographic subject detection without pixels by an assumption about a shot and its elevation angle, J. Robotics, Networking and Artificial Life, Vol. 2, pp. 234-237 (2016) (査読あり)

(9) Tomohiro Shirakawa, Hiroshi Sato, Miharu Nishida, A power law in the exploratory behavior of the Physarum plasmodium, Artif. Life Robotics, Vol. 21, pp.195-200 (2016) (査読あり)

(10) Tomohiro Shirakawa, Naruhisa Sugiyama, Hiroshi Sato, Kazuki Sakurai,

Eri Sato, Gait analysis and machine learning classification on healthy subjects in normal walking, Int. J. Parallel Emergent Distrib. Sys., Vol. 31, pp. 185-194 (2016) (査読あり)

(11) Masao Kubo, Hiroshi Sato, Akihiro Yamaguchi, Eugene Kitamura, Akira Namatame, Probability of mixing up the nearest neighbor robot under target enclosure by robot swarm, J. Robotics, Networks and Artificial Life, Vol. 2, pp. 157-161 (2015) (査読あり)

(12) Viet-Cho. Dang, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Akira Namatame, Building Safety Road Maps Based on Difference of Judgment of Road Users by their Smartphone, Int. J. Advanced Computer Science and Applications, Vol. 6, pp. 15-23 (2015) (査読あり)

(13) Masao Kubo, Hiroshi Sato, A method of enclosing a target by robot swarm with limited range homogeneous signal emitter, J. Robotics, Networks and Artificial Life, Vol. 2, pp. 64-68 (2015) (査読あり)

[学会発表] (計36件)

(1) Nuhai Phung, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Improvement of Bias and Rising Threshold algorithm based on Local Information Sharing, 10th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (2018) (国際学会)

(2) 岩永佐織, 集合行為におけるエージェントの相互作用と誤りの影響について, 第45回知能システムシンポジウム (2018)

(3) 佐藤祐貴, 岩永佐織, 学生寮の火災対処をシミュレーションする, 第18回MAS(Multi Agent Simulation)コンペティション (2018)

(4) Trung Kien Tran, Hiroshi Sato, NLP-based Approaches for Malware Classification from API Sequences, 21th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (2017) (国際学会)

(5) Masao Kubo, Saori Iwanaga, Hiroshi Sato, Agent simulation of Functional differentiation, 21th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (2017) (国際学会)

(6) Dao Van Tuan, Hiroshi Sato, Improving distributed representation by Pre-processing method, Fourth Asian Conference on Defence Technology (2017) (国際学会)

(7) Nuhai Phung, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Emergence metastable swarm behaviors using heterogeneous bias values, Fourth Asian Conference on Defence Technology (2017) (国際学会)

(8) Tomohiro Shirakawa, Hiroshi Sato,

Tomoya Imao, How gestures affect students: A comparative experiment using class presentation conducted by an anthropomorphic agent, 14th International Conference of Numerical Analysis and Applied mathematics (2017) (国際学会)

(9) Tomohiro Shirakawa, Hiroshi Sato, Hiroto Tsubakino, ifurcation in the chemotactic behavior of Physarum plasmodium, 14th International Conference of Numerical Analysis and Applied mathematics (2017) (国際学会)

(10) Haruhisa Sugiyama, Tomohiro Shirakawa, Development of iPad Application "Postima" for Quantitative Analysis of the Effects of Manual Therapy, 14th International Conference of Numerical Analysis and Applied mathematics (2017) (国際学会)

(11) ダオ・ヴァン・トゥアン, 佐藤 浩, Word2Vec によるユーザの嗜好を考慮した検索補助法の提案, 情報処理学会第79回全国大会 (2017)

(12) 佐藤 浩, 久保正男, ネットワーク指標を用いた進化計算の多様性制御, 平成29年度電気学会電子・情報・システム部門大会 (2017)

(13) 佐藤 浩, 多人数ゲームにおける判断基準の発見, 電気学会 システム/産業計測制御 合同研究会 (2017)

(14) 岩永佐織, 久保正男, 集合行為における相互補完エージェントの役割について, 電気学会 システム/産業計測制御 合同研究会 (2017)

(15) Dao Van Tuan, 佐藤 浩, Wikipedia における複数言語空間の相関について検討, 第4回自然言語処理シンポジウム (2017)

(16) ダオ・ヴァン・トゥアン, 佐藤 浩, ord2Vec によるユーザの嗜好を考慮した検索補助法の提案, 情報処理学会第79回全国大会 (2017)

(17) 谷口英貴, 佐藤 浩, 白川智弘, 人間の認知バイアスを用いることによるメール分類器の性能向上, 計測自動制御学会第44回知能システムシンポジウム (2017)

(18) 佐藤 浩, トラン・ツン・ケン, 久保正男, 産業連関表と複雑ネットワーク, 平成28年度電気学会電子・情報・システム部門大会 (2016)

(19) 佐藤 浩, 久保正男, 岩永佐織, エージェントベースモデリングによる東南アジアのサプライチェーンシミュレーション, 平成28年度電気学会電子・情報・システム部門大会 (2016)

(20) 佐藤 浩, トラン ケン, 久保正男, リーダーランクによる産業ネットワーク分析, 電気学会合同研究会 (2016)

(21) Tsukasa Nakazawa, Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, FPGA Accelerated Video Processing for 3D Self-Localization

to Realize Autonomous Control of UAV, The 21th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016(国際学会) (2016)

(22) Saori Iwanaga, Akira Namatame, Endeavor to adopt GIS data on evacuation decision making model, Int. Conf. Artificial Life and Robotics (2016) (国際学会)

(23) Masao Kubo, Viet Cho Dan, Hiroshi Sato, Akira Namatame, Evaluation of a safety map generated from a collection of difference of Individuals, Int. Conf. Artificial Life and Robotics (2016) (国際学会)

(24) Hiroshi Sato, Masao Kubo, Akira Namatame, Adaptive Leader Selection based on Influential Individuals, 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (2015) (国際学会)

(25) Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Wataru Tabata, Formation Control of Multiple Drones by the Combination of Implicit Leadership and Manipulability Index, The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio- Inspired Robotics (2015) (国際学会)

(26) Tsukasa Nakazawa, Tomohiro Shirakawa, Hiroshi Sato, Development of high resolution video processing hardware for autonomous control of unmanned aerial vehicle, The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (2015) (国際学会)

(27) Tomohiro Shirakawa, Naruhisa Sugiyama, Hiroshi Sato, Eri Sato, Analysis on the interaction between healthy walkers: A preliminary study on human swarm behavior during military march, The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio- Inspired Robotics (2015) (国際学会)

(28) Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Masao Kubo, Akira Namatame, Dynamic Leader Selection Based on Approximate Manipulability, 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (2015) (国際学会)

(29) 佐藤 浩, 白川智弘, 回答者分類による授業アンケートの活用, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (2015)

(30) 佐藤 浩, トラン・キェン, 井手清貴, 生天目章, 産業連関表のネットワーク分析, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (2015)

(31) 岩永佐織, 避難行動における愛他行動の影響について, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (2015)

(32) 白川智弘, 佐藤 浩, フラクタル解析に基づく生物の輸送ネットワークの機能評

価, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (2015)

(33) Akira Ishii, Shota Sakaidani, Saori Iwanaga, Mathematical model for conflict of topics on social media and payoff matrix in game theory, Challenges in Data Science: a Complex Systems Perspective (国際学会) (2015)

(34) Akira Ishii, Shota Sakaidani, Saori Iwanaga, Analysis of conflict of topic on the social media by mathematical model, 20th Annual Workshop on Economic Heterogeneous Interacting Agents (国際学会) (2015)

(35) Tomohiro Shirakawa, Hiroshi Sato, Ryota Ohno, Analysis on the exploratory behavior of the Physarum plasmodium in an open space, 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (2015) (国際学会)

(36) 白川智弘, 単細胞生物の知性, 第5回 知能工学部会研究会「賢さの先端研究会」, 第53回システム工 学部会研究会(招待講演) (2015)

[図書] (計2件)

(1) Tomohiro Shirakawa, Advances in Physarum Machines: Sensing and Computing with Slime Mould pp. 373-394, Springer (2015) 839

(2) Tomohiro Shirakawa, Atlas of Physarum computing pp. 75-90, World Scientific (2015) 118

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 浩 (Sato Hiroshi)

防衛大学校・電気情報学群・准教授

研究者番号：30295737

### (2) 研究分担者

岩永佐織 (Iwanaga Saori)

海上保安大学校 (国際海洋政策研究センター)・国際海洋政策研究センター・教授

研究者番号：00559239

久保正男 (Kubo Masao)

防衛大学校・電気情報学群・准教授

研究者番号：30292048

白川智弘 (Shirakawa Tomohiro)

防衛大学校・電気情報学群・助教

研究者番号：60582905