

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：32687

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03451

研究課題名（和文）有向ネットワークにおける流れ構造の階層性と循環性

研究課題名（英文）Hierarchical and Circular Flow Structures in Directed Networks

研究代表者

家富 洋（IYETOMI, Hiroshi）

立正大学・データサイエンス学部・教授

研究者番号：20168090

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）：ノードとそれらをつなぐ向き付きのリンクから構成されるネットワーク上には、様々な流れ構造が存在する。本研究では、そのような有向ネットワーク上の流れ構造の階層性と循環性に注目した。解析に必要な手法（ヘルムホルツ・ホッジ分解，コミュニティ抽出，蝶ネクタイ構造分解，バネ電気モデルによる可視化などを組み込んだ統合的解析ツールFALCON）を開発し，得られた解析手法をいくつかの応用上も重要な現実の有向ネットワーク系（企業間取引関係，貿易関係，産業連関，株所有関係）へ適用した。加えて，本研究で開発した手法をソーシャルネットワークサービス上で形成されるエコーチェンバーの解析に役立てた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で採用した「世の中に存在する多量の情報をつながり（ネットワーク）の視点から捉える」研究アプローチは，国内外を問わずネットワーク科学として急速に発展している。本研究では有向ネットワークにおける流れ構造の階層性ばかりではなく，その循環性にも焦点をあてている点が，本研究をこれまでの先行研究から差別化した。循環的流れは，貿易関係においては多国間の互惠関係，生産ネットワークでは循環経済，株所有ネットワークでは企業間の循環持ち合い関係，SNSネットワークではエコーチェンバーを表し，本研究で得られた成果は単に学術的な意味があるばかりではなく，社会問題の解決に向けても大いに役立つ。

研究成果の概要（英文）：Different flow structures coexist on networks consisting of nodes and directed links connecting them. In this study, we focused on the hierarchy and circularity of flow structures on such directed networks. We developed an integrated analysis tool, FALCON, to incorporate the methods necessary for the network analysis, such as Helmholtz-Hodge decomposition, community extraction, bow-tie decomposition, and visualization based on a spring electrical model. We then applied the obtained analysis methods to several real-world directed network systems that are important for applications (inter-firm relations, trade relations, industrial input-output relations, and stock ownership). In addition, we have applied the methods developed here to the analysis of echo chambers formed in social network services.

研究分野：経済物理，ネットワーク科学，多変量解析

キーワード：有向ネットワーク 流れ構造 階層性 循環性 Helmholtz-Hodge分解 蝶ネクタイ構造 強連結成分 サイクル基底

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

(1) 世の中に存在する多量の情報をつながり（ネットワーク）の視点から捉えることは、実在のネットワークがしばしばスモールワールド性（友人関係で例えれば、見知らぬ2人にとって、意外と少数の人を経由するだけでつながっているという性質）やスケールフリー性（同じく友人関係で例えれば、一部の人は非常にたくさんの友人を持っている一方で、残りの大多数にとっては友人の数は少ないという性質であり、しばしば友人の数の分布がべき乗則に従う）を共有することが前世紀末に見出されて以来、国内外を問わずネットワーク科学として急速に発展している。そのような新しい学問の研究対象は、インターネットでの相互リンク関係をはじめとして、遺伝子間相互作用、企業間取引関係、貿易関係、ソーシャル・ネットワークキング・サービスなどの社会関係など枚挙のいとまがない。このように、ネットワーク科学の学術的普遍性と重要性は、ますます増している。

(2) ネットワークの基本構成要素は、ノード（バーテックス）とそれらを結ぶリンク（エッジ）である。これまで多くの研究は、リンクに重みはあるものの向きの情報がない、いわゆる無向ネットワークについて行われてきた。ところが、リンクに向きの情報が付け加わると、「有向ネットワーク上での流れの構造」という質的に新しい問題が登場する。流れの構造には、大きく分けて、**階層的な流れ**（上流から下流への一方向的な流れと**循環的な流れ**（各ノードで入出量がバランスしている湧き出しのないループ的な流れ）がある。しかし、実際の流れは、互いを補完（実は、ヘルムホルツ・ホッジ分解で決まる階層的な流れ成分のベクトルと循環的な流れ成分のベクトルは直交）する2つの流れ構造の二者択一ではなく、両者の混合状態にある。

### 2. 研究の目的

(1) 上述の本研究の背景から「任意の有向ネットワーク上の流れ構造に対して、いかに流れの階層性と循環性を数理的に任意性無く分離するか？」が、本研究における1つの中心課題として浮かび上がる。さらに、この問いに引き続き、「有向ネットワークの流れ構造の階層性と循環性に関する基礎的知見が、経済系などにおける現実の複雑現象を理解する上でどのように役立つのか？」が、ネットワーク科学の応用面での核心的な問いとして導かれる。このような核心的問いに答えるべく、次の目的を設定した。

(2) 任意の有向ネットワーク上の流れ構造に対して、階層的な流れと循環的な流れに分離する数理的手法を開発する。合わせて、循環的な流れにおける主要ループを同定する方法を開発する。

(3) 開発した解析手法をいくつかの重要な現実の複雑系（産業連関の要因である企業間取引ネットワーク、国際関係を代表する貿易ネットワーク、企業同士の支配・被支配関係を生み出す株所有ネットワークなど）へ応用し、各専門分野の研究に対して新しい知見や視点を提供する。

### 3. 研究の方法

(1) 有向ネットワーク上での流れ構造を俯瞰するためには、**蝶ネクタイ構造分解**を用いてノードを分類する。まず巨大強連結成分(GSCC)を見つけ、GSCCに対する入力部分 IN、GSCCからの出力部分 OUT を同定する。GSCC、IN および OUT が蝶ネクタイ構造の主要部を形成する。さらに、IN と OUT を直接つなぐ TUBE、IN からの出力部分、OUT への入力部分およびその他にノードを分類する。

(2) 有向ネットワーク上での流れ構造を階層的成分と循環的成分へ分割するためには、**ヘルムホルツ・ホッジ分解**を用いる。図1にヘルムホルツ・ホッジ分解の簡単な例を示す。左辺を3国間の貿易関係とみなすと、左辺は、A国はC国へ5単位貨幣（ある共通の貨幣で計測）の価値ある物品を輸出、B国はA国へ3単位貨幣の物品、C国はB国へ2単位貨幣の物品を輸出している貿易関係を表す。右辺は左辺の関係に対してヘルムホルツ・ホッジ分解を施した結果である。右辺第1項はポテンシャル流成分であり、各国にはポテンシャル $\phi$ が付与され、2国間の貿易流は2国間のポテンシャル値の差で与えられる。また、右辺第2項は、各国の貿易収支がバランスしているループ流成分である。ヘルムホルツ・ホッジ分解はユニークであり、ポテンシャル流成分が左辺で与えられた流れ構造の階層性、ループ流成分がその循環性を表す。

(3) 主要な循環流を同定するためには、巨大強連結成分の **Infomap** 法に基づくコミュニティ抽出を行う。コミュニティ内ではノード同士は双方向に強く結びついているため、抽出されたコミュニティを調べることにより、重要な循環流が検出可能と期待される。

(4) 本研究の大事な特徴は、方法論の開発とともに、得られた解析手法を現実ネットワークに適用することである。企業間取引関係、貿易収支関係、産業連関関係および株所有関係に関する次

のデータを用いて有向ネットワークを構築する。

1. 我が国の約 100 万社間の約 500 万取引を含む東京商工リサーチ社のデータ (2016 年収集)
2. MF により公開されている DOTS (Direction of Trade Statistics) データベース
3. OECD によって提供されている各国の産業連関表データ
4. 東洋経済新報社によって収集された国内上場企業に対する大株主情報データベース (最大で上位 30 位まで) および Thomson Reuters 社の Global Equity Ownership Data (主要国の上場企業を網羅)

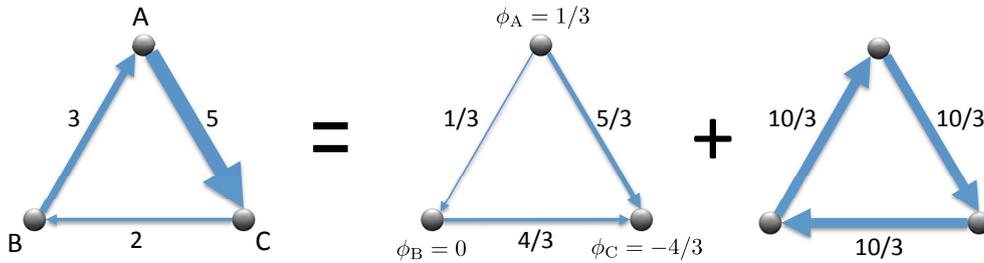


図 1 ヘルムホルツ・ホッジ分解 (従来法) の例

#### 4. 研究成果

(1) 図 1 で示したような従来のヘルムホルツ・ホッジ分解ではノード間の結合強度の自由度 (電気回路での抵抗に対応) が組み込まれていない。その自由度を変分原理に基づく定式化を用いてヘルムホルツ・ホッジ分解を一般化した。特に、貿易ネットワークなど各リンクを流れる流量が幅広いレンジで変化している場合には、この一般化は重要である。

(2) ヘルムホルツ・ホッジ分解をはじめとして、コミュニティ抽出、蝶ネクタイ構造分解、バネ電気モデルによる可視化などを組み込んだ統合的解析ツール FALCON を開発した。計算コードは、100 万ノードの大規模ネットワークの解析に耐えるように、効率化・高速化した (データのスパース性の利用など)。その成果は GitHub 上で公開されている [1]。図 2 は簡単な有向ネットワークに FALCON を適用した例である。ここで、緑のノードは GSCC, 赤のノードは IN, 青のノードは OUT にそれぞれ所属する。垂直方向のノード座標は、ヘルムホルツ・ホッジ分解から得られるポテンシャル値に基づき決められている。その結果、ノード間の階層性が明瞭に可視化される。他方、水平方向のノード座標はバネ電気モデルを使って決定され、つながりが強いノードほど近くに配置される。

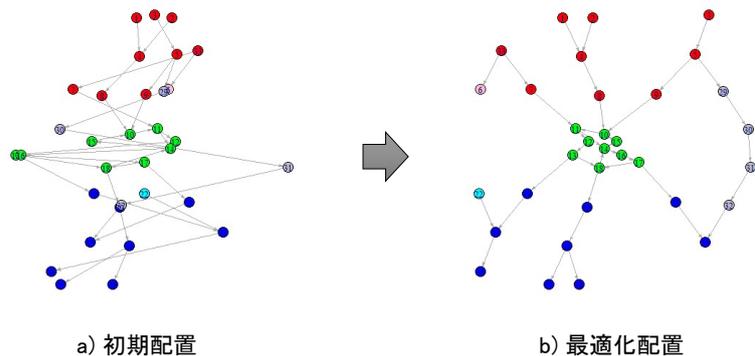


図 3 FALCON の使用例

(3) 我が国の約 100 万社間の約 500 万取引を含む東京商工リサーチ社のデータ (2016 年収集) から企業間取引ネットワークを構築し、その流れ構造を解析した。企業取引ネットワークにおける取引流の循環成分に着目すると、より明瞭に産業コミュニティを抽出できることを明らかにした。

(4) IMF の DOTS (Direction of Trade Statistics) データベースに基づき貿易収支ネットワークを構築し、国際貿易関係をネットワークの視点から調べた。得られた知見として、2 国間の貿易は大きく不均衡であっても、貿易収支を多角的な視点で捉えれば (第 3 国を通じての間接的な貿易関係を考慮)、両国は貿易によって互恵関係を持ち得ることを指摘した。

(5) 東洋経済新報社の上場企業に対する大株主データ(1988年から2008年まで)に基づき、日本企業の株式所有関係を有向ネットワークとして捉える研究を進めた。ネットワーク中には巨大な強連結成分(GSCC)が存在することを明らかにし、発見されたGSCCは多くの企業に関わる大きなスケールの株式持ち合い関係を反映する。図3に2008年における上場企業間の株持ち合いネットワークの蝶ネクタイ構造を示す(括弧内の数字はノード数であり、GSCCの構成ノードはすべて企業である)。GSCCのコミュニティ解析を行い、その構造変化を追跡したところ、GSCCのコミュニティ分割は明瞭であり、モジュラリティーの時間変化は、多社間の株式持ち合い関係のクラスタ化が進行したことを示す。

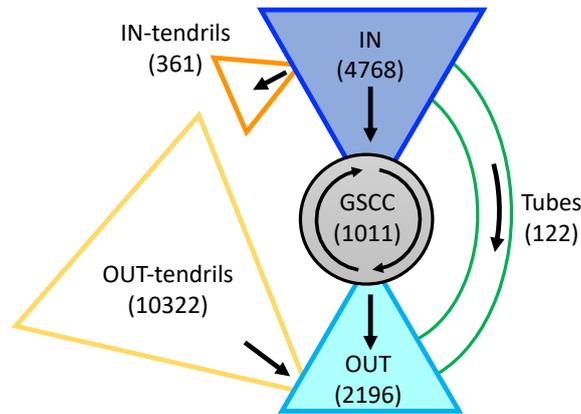


図3 上場企業間の株持ち合いネットワークの蝶ネクタイ構造(2008年)

(6) トムソン・ロイター社のデータベースから2007年から2017年にわたって年次で構築された世界規模の株所有ネットワークに対して、ネットワークフロー解析から、各国の株所有関係における階層的な位置づけ、各国における株主種別分布、国レベルでの相互株所有関係、米国における3大資産運用会社の寡占の進行状況などを明らかにした。本研究に関連して、ランダム有向グラフにおけるボウタイ構造形成が、次数分布、ターミナルノード(入力エッジあるいは出力エッジのどちらか一方のエッジしかもたないノード)の割合、ならびに各ノードの入次数と出次数との相関にどのように依存するかを数理的に解析した。

(7) 我が国の産業連関表の内生部門データ(1970年から2015年まで概ね5年おきに更新)から産業連関ネットワークを構築した。1970年ではサプライチェーンから期待される階層性が強い産業連関構造であるが、近年では循環性が階層性と同程度になるまでに成長した。一般に複雑ネットワークの進化では、自己組織化(経済活動における分業など)によって階層性が進むと期待されるが、進化の方向が逆なのは興味深い。

(8) OECDによって提供されている各国の産業連関表から構築される有向ネットワークに対して、Helmholtz-Hodge分解を適用することにより、ネットワークの階層流構造と循環流構造とを抽出し、産業連関構造の国際比較を行った。各国の階層流構造には共通性が高いことを、特異値分解を使っての情報縮約によって確認した。対照的に、主要な循環流には各国の個性が如実に映し出される(日本では自動車産業ループや健康・医療ループ、米国では教育関連ループ、ドイツでは再生エネルギー産業ループなど)。

(9) ログやSNSなどのソーシャルメディア上で形成されるエコーチャンバーの構造および形成過程をネットワークの蝶ネクタイ構造や情報流の階層性・循環性の面から明らかにした。解析結果の一例を図4に示す。これは、2010年米国中間選挙時に収集されたTwitterのretweetデータ[2]から構築された情報伝搬ネットワークを3次元空間中で可視化したものである。z軸方向には、ヘルムホルツ・ホッジ分解から与えられるポテンシャル値を用いてノードが配置されている。z軸正方向が上流、負方向が下流である。一方、x-y面内では、バネ電気モデルを用いて、ノードの位置を決めている。つまり、ノード同士が密接に関係すればするほど、互いに近くに配置される。また、左図では政治的ポジションの違いが、右図では蝶ネクタイ構造が異なった色で表示されている。政治的分断が2つの蝶ネクタイ構造(トポロジー的には1つ)によって形作られていることが一目瞭然である。

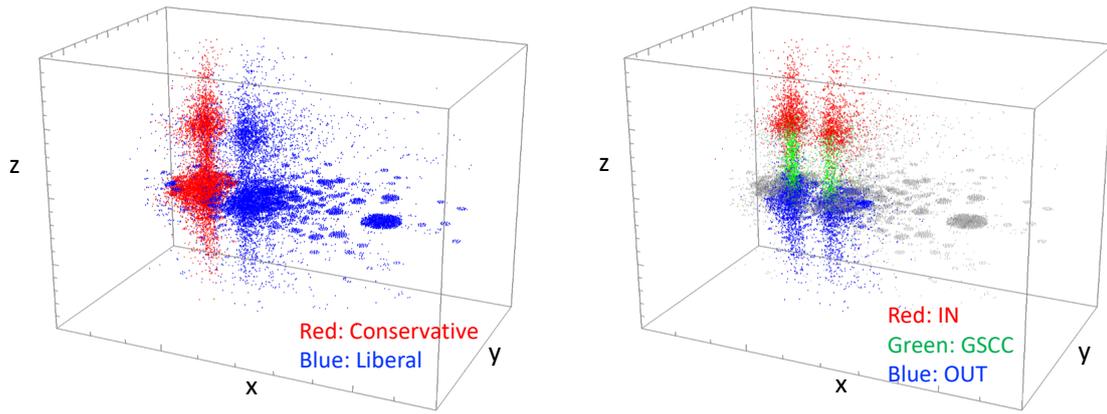


図 4 2010 年米国中間選挙時の retweet ネットワーク

このように、本研究で開発した手法ソーシャルネットワークサービス上で形成されるエコーチェンバーの解析に役立ち、新しい科研費研究として現在進められている。

<参考文献>

[1] <https://github.com/ykichikawa/FALCON>

[2] M. D. Conover, et al., Political Polarization on Twitter, in 5th int'l AAAI conf. on weblogs and social media, 2012.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Hitomi Sato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Tsutomu Watanabe	4. 巻 ---
2. 論文標題 Multilayer Network Approach to Dynamics of Japanese Interfirm Transaction Relations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Ikeda, Y., Iyetomi, H., Mizuno, T. (eds) Big Data Analysis on Global Community Formation and Isolation. Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 63--92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4944-1_3	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 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Yuichi Ikeda	4. 巻 ---
2. 論文標題 Who Possesses Whom in Terms of the Global Ownership Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Ikeda, Y., Iyetomi, H., Mizuno, T. (eds) Big Data Analysis on Global Community Formation and Isolation. Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 143--190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4944-1_6	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 Haruka Kato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Wataru Souma	4. 巻 ---
2. 論文標題 Stock Ownership Structure in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Ikeda, Y., Iyetomi, H., Mizuno, T. (eds) Big Data Analysis on Global Community Formation and Isolation. Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 191--216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4944-1_7	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 Hiroshi Iyetomi	4. 巻 ---
2. 論文標題 Beyond "Evidence-Based" Policymaking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Ikeda, Y., Iyetomi, H., Mizuno, T. (eds) Big Data Analysis on Global Community Formation and Isolation. Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 501--511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4944-1_15	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 Irena Vodenska, Hideaki Aoyama, Alexander P Becker, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Iyetomi, Eliza Lungu	4. 巻 52
2. 論文標題 From stress testing to systemic stress testing: The importance of macroprudential regulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Financial Stability	6. 最初と最後の頁 100803 (pp. 25)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jfs.2020.100803	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 Ryohei Hisano, Hiroshi Iyetomi, and Takayuki Mizuno	4. 巻 12467
2. 論文標題 Identifying the Hierarchical Influence Structure Behind Smart Sanctions Using Network Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 95--107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-60975-7_8	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 Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma, Irena Vodenska, and Hiroshi Yoshikawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Relationship between Macroeconomic Indicators and Economic Cycles in U.S.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8420 (pp. 11)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-65002-3	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 Hiroshi Iyetomi	4. 巻 22
2. 論文標題 Collective Phenomena in Economic Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Evolutionary Economics and Social Complexity Science	6. 最初と最後の頁 177--201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-4806-2_9	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 Yuichi Kichikawa, Hiorshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	4. 巻 4
2. 論文標題 Community structure based on circular flow in a large-scale transaction network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 92 (pp. 23)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41109-019-0202-8	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 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Yoshikawa	4. 巻 15
2. 論文標題 Interindustry linkages of prices---Analysis of Japan's deflation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0228026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0228026	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 Hitomi Sato, Haruka Kato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Ryohei Hisano, and Tsutomu Watanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of Temporal Change of Japanese Interfirm Transaction Relations as a Multilayer Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Book of Abstracts for the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal, 2019)	6. 最初と最後の頁 247-249
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 Haruka Kato, Hitomi Sato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Wataru Souma, and Tsutomu Watanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of Value of Firms Based on Their Stock Ownership Relations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Book of Abstracts for the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal, 2019)	6. 最初と最後の頁 450-452
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 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	4. 巻 -
2. 論文標題 Who Possesses Whom from a Point of View of the Global Ownership Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Book of Abstracts for the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal, 2019)	6. 最初と最後の頁 459-461
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 Yuichi Kichikawa, Hiorshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	4. 巻 -
2. 論文標題 Hierarchical and Circular Flow Structure of Interfirm Transaction Networks in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SSRN	6. 最初と最後の頁 pp. 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2139/ssrn.3173955	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 -

1. 著者名 Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, and Hideaki Aoyama	4. 巻 13
2. 論文標題 Hierarchical Communities in the Walnut Structure of Japanese Production Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PloS one	6. 最初と最後の頁 e0202739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0202739	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 Yuichi Kichikawa, Hiorshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	4. 巻 -
2. 論文標題 Community Structure Based on Circular Flow in a Large-Scale Transaction Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Abstracts of the 7th Int'l Workshop on Complex Networks and their Applications (Cambridge, U.K., 2018)	6. 最初と最後の頁 62-64
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 -

1. 著者名 Yuichi Kichikawa, Takashi Iino, Hiorshi Iyetomi, and Hiroyasu Inoue	4. 巻 2
2. 論文標題 Visualization of a directed network with focus on its hierarchy and circularity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Computational Social Science	6. 最初と最後の頁 15-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42001-019-00031-1	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 Yuji Fujita, Yuichi Kichikawa, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma, and Hiroshi Iyetomi	4. 巻 4
2. 論文標題 Local bow-tie structure of the web	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 pp. 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41109-019-0127-2	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 -

〔学会発表〕 計50件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 家富 洋
2. 発表標題 経済系における集団運動：複素ヒルベルト主成分解析
3. 学会等名 第13回 数理モデリング研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家富 洋
2. 発表標題 プラズマ物理学から計算物性，経済物理そしてデータサイエンスへ
3. 学会等名 新潟大学若手データサイエンティストコロキウム2022～目指せPh.D.への道～ (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 家富 洋
2. 発表標題 新しい多変量時系列解析手法の開発とその景気循環への応用
3. 学会等名 内閣府・経済社会セミナー（特別講演）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Iyetomi
2. 発表標題 Topological Data Analysis on Echo Chambers in the SNS Networks
3. 学会等名 International Conference on Big data in Economics, Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家富 洋
2. 発表標題 SNSネットワークにおけるエコーチェンバーの形成・成長
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家富 洋, 相馬 亘
2. 発表標題 SNSにおけるエコーチェンバー現象への数理的アプローチ
3. 学会等名 明治大学MIMS研究会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理とその周辺」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 家富 洋, 相馬 亘
2. 発表標題 リツイートネットワーク上の情報伝播過程とエコーチェンバー
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 星智晴, 家富洋
2. 発表標題 Helmholtz-Hodge分解に基づくランダム有向ネットワークの数理的性質
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星智晴, 家富洋
2. 発表標題 産業連関ネットワークのHelmholtz-Hodge分解
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星智晴, 家富洋
2. 発表標題 産業連関構造のネットワーク解析：国際比較
3. 学会等名 明治大学MIMS研究会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理とその周辺」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 家富洋, 吉川悠一, 池田裕一
2. 発表標題 世界規模での株式所有構造
3. 学会等名 明治大学MIMS研究会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理とその周辺」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星智晴, 家富洋
2. 発表標題 産業連関ネットワークのHelmholtz-Hodge分解: 国際比較
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 家富洋, 吉川悠一, 池田裕一
2. 発表標題 世界規模での株式所有構造のネットワーク分析
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 家富洋
2. 発表標題 経済・社会現象を読み解くネットワーク科学
3. 学会等名 KOBELPC サマースクール(初級)(理化学研究所計算科学研究センター, 神戸)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家富洋
2. 発表標題 経済・社会ネットワークのHelmholtz-Hodge分解：階層性と循環性
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所共同研究「マクロ経済動学の非線形数理」研究会（京都大学，京都）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Iyetomi
2. 発表標題 A Physicist's Approach to International Trade Relationship
3. 学会等名 Symposium on Machine Learning in Materials Genome, Anargyreiou and Korgialeneios School of Spetses (A.K.S.S.) (Spetses, Greece)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Iyetomi
2. 発表標題 Hierarchy and Circularity in Complex Socioeconomic Networks
3. 学会等名 The B.E.S.T. Workshop on Complex Systems in Finance and Economics (a satellite meeting to the NetSci-X 2020) (Kyoto University, Kyoto)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤未来，佐藤仁美，吉川悠一，家富洋，相馬亘，渡辺努
2. 発表標題 究極的株式所有構造に基づく企業価値の測定
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会（岐阜大学，岐阜）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 多層ネットワークとしての企業間取引関係の時間発展
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (岐阜大学, 岐阜)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川悠一, 家富洋, 池田裕一, 水野貴之
2. 発表標題 グローバル株所有ネットワークの構造と富の分布
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (岐阜大学, 岐阜)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星智晴, 吉川悠一, 家富洋
2. 発表標題 ランダム有向ネットワークのHelmholtz-Hodge Decomposition
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (岐阜大学, 岐阜)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘, 渡辺努
2. 発表標題 究極的株式所有構造に基づく企業価値の測定
3. 学会等名 明治大学MIMS共同研究集会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理学とその周辺」(明治大学中野キャンパス, 東京)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 多層ネットワークとしての企業間取引関係の時間発展
3. 学会等名 明治大学MIMS共同研究集会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理学とその周辺」(明治大学中野キャンパス, 東京)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星智晴, 吉川悠一, 家富洋
2. 発表標題 ランダム有向ネットワークのHelmholtz-Hodge Decomposition
3. 学会等名 明治大学MIMS共同研究集会「Data-driven Mathematical Sciences: 経済物理学とその周辺」(明治大学中野キャンパス, 東京)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue
2. 発表標題 Who Possesses Whom from a Point of View of the Global Ownership Network
3. 学会等名 The 8th International Conference on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Kato, Hitomi Sato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Wataru Souma, and Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Measurement of Value of Firms Based on Their Stock Ownership Relations
3. 学会等名 The 8th International Conference on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hitomi Sato, Haruka Kato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Ryohei Hisano, and Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 Analysis of Temporal Change of Japanese Interfirm Transaction Relations as a Multilayer Network
3. 学会等名 The 8th International Conference on Complex Networks and Their Applications (Lisbon, Portugal) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星智晴, 吉川悠一, 家富洋
2. 発表標題 産業連関ネットワークのフロー構造: 階層性と循環性
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘, 渡辺努
2. 発表標題 株所有ネットワークの強連結成分に基づく多者間株式持ち合い関係の研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川悠一, 家富洋, 池田裕一, 水野貴之
2. 発表標題 世界規模での株所有ネットワークの変遷
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋
2. 発表標題 多層ネットワークにおけるコミュニティ抽出法の開発とその応用
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Iyetomi, Yuichi Ikeda, Takayuki Mizuno, Takaaki Ohnishi, and Tsutomu Watanabe
2. 発表標題 A Possible Clue to the Mystery of the Excess Trade Balances
3. 学会等名 International Conference on Big data in Economics, Science and Technology (BEST) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue
2. 発表標題 Visualization of a directed network with focus on its hierarchy and circularity
3. 学会等名 Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue
2. 発表標題 Community Structure Based on Circular Flow in a Large-Scale Transaction Network
3. 学会等名 The 7th International Conference on Complex Networks and Their Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家富洋, 池田裕一, 大西立顕, 水野貴之, 渡辺努
2. 発表標題 貿易収支関係のネットワーク解析: 2国間から多国間的視点へ
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川悠一, 家富洋, 飯野隆史, 井上寛康
2. 発表標題 企業間取引ネットワークにおける循環流コミュニティ構造
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘
2. 発表標題 有向ネットワークとしての株所有関係: 階層性と循環性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 企業間取引ネットワークにおけるコミュニティ構造の変遷
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘
2. 発表標題 日本の上場企業の所有権構造：ネットワーク解析
3. 学会等名 キヤノングローバル戦略研究所主催「経済・社会への分野横断的研究会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 動的ネットワークとしての企業間取引関係
3. 学会等名 キヤノングローバル戦略研究所主催「経済・社会への分野横断的研究会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家富洋
2. 発表標題 複雑有向ネットワークのフロー構造
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究集会「経済物理学とその周辺：Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘
2. 発表標題 日本の上場企業の所有権構造：ネットワーク解析
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究集会「経済物理学とその周辺：Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 動的ネットワークとしての企業間取引関係
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究集会「経済物理学とその周辺: Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 家富洋, 吉川悠一, 飯野隆史
2. 発表標題 ソーシャルメディアと政治的分断: ネットワーク分析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川悠一, 家富洋, 飯野隆史, 井上寛康
2. 発表標題 企業レベルの産業連関ネットワークの再構築
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘, 渡辺努
2. 発表標題 日本の上場企業に対する究極的コントロール権の分布
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 動的ネットワークとしての企業間取引関係の不変性と変動性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家富洋, 吉川悠一, 飯野隆史
2. 発表標題 ソーシャルメディアネットワークにおけるエコーチェンバーの形成
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究会「経済物理学とその周辺: Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘, 渡辺努
2. 発表標題 日本の上場企業に対する究極的株式所有構造の解析
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究会「経済物理学とその周辺: Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努
2. 発表標題 動的ネットワークとしての企業間取引関係の不変性と変動性
3. 学会等名 文科省共同利用・共同研究拠点MIMS現象数理学拠点共同研究会「経済物理学とその周辺: Data-driven Mathematical Science」
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

FALCON <a href="https://github.com/ykichikawa/FALCON">https://github.com/ykichikawa/FALCON</a>
---

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
研究協力者	吉川 悠一  (KICHIKAWA Yuichi)		
連携研究者	相馬 亘  (SOUMA Wataru)  (50395117)	立正大学・データサイエンス学部・教授   (32687)	

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