

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00431

研究課題名(和文) スペクトル分析と射影追跡法を融合した大規模ユーザネットワークの視覚的分析技術

研究課題名(英文) Visual analysis technique of large-scale user network combining spectral analysis and projection tracking method

研究代表者

高野 知佐 (Takano, Chisa)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：60509058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：情報ネットワークの安定運用を図るためには、背後にあるユーザの情報交換ネットワークの構造を知ることが重要であるが、ユーザネットワークはその大規模性と複雑性故に詳細な構造を分析することが困難である。本研究ではまず、直接観測できない社会ネットワークの構造を間接的に推定する方法を示す。また、ネットワーク上のアクティビティの伝播を記述するためのモデルを考察し、従来のネットワーク分析手法との違いを明らかにする。さらにネット炎上の発生メカニズムを工学的に理解することを可能とするモデルについて検討する。またランダム行列の普遍的な性質を用いて大規模な社会ネットワークの情報伝播特性を分析する。

研究成果の概要(英文)：In order to achieve stable operation of the information network, it is important to know the structure of the network where users exchange information. However, it is difficult to analyze the detailed structure of the user's network due to its large scale and complexity. In this research, we first show how to indirectly estimate the structure of a social network that can not be observed directly. We also consider a model to describe the propagation of activity on the network and clarify the difference from the conventional network analysis method. Furthermore, we consider a model that makes it possible to engineeringly understand the occurrence mechanism on the flaming of SNS. We also analyze the information propagation characteristics of large social networks using the universal nature of random matrices.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：社会ネットワーク分析 振動モデル ネット炎上

### 1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景情報ネットワークシステム(以下、情報ネットワーク)は現代社会の情報インフラとして重要性を増し、今や人間の生命や財産に関わる重要な社会活動を支えるまで発展しており、情報ネットワークの大規模障害がもたらす社会的損失は計り知れない。このような背景のもと、情報ネットワークを対象とした設計・制御技術の検討だけでは不十分であり、情報ネットワークと相互作用しているユーザネットワークの構造も含めた検討が不可欠である。グラフの構造分析に於いて、マクロ指標だけでは分からない非自明なつながり方の特性を調べる場合、グラフを平面上に可視化する方法は有効である。しかし、ユーザネットワークのような数百万～数千万ノードを対象として可視化を適用すると、ノードやリンクの数が多すぎて可視化による特徴抽出は困難である。ネットワーク構造の特性の本質はそのリンクの構造にあるが、大規模ネットワークの可視化では逆説的にそのリンクの存在が視覚的な分析を妨げてしまうのである。従って、情報ネットワークとユーザネットワークを併せた大規模複雑ネットワークの構造を分析するには、ノードやリンク数の規模に依存しない方法でネットワーク構造を可視化し、マルチスケールで非自明な構造を抽出できるような分析法が必要である。

### 2. 研究の目的

情報ネットワークの安定運用を図るためには、背後にあるユーザの情報交換ネットワーク(以下、ユーザネットワーク)の構造を知ることが重要である。しかし、ユーザネットワークはその大規模性と複雑性故に詳細な構造を分析することが困難であり、スケールフリー性、中心性、クラスタ係数等のマクロな指標に基づいた分析に留まっている。ネットワークの可視化による構造分析は、人間のパターン認識能力を利用した優れた方法であるが、数百万～数千万ノードの大規模のネットワークには適用できず、大前提としてネットワーク構造が既知であるという条件が必要となる。研究当初はネットワーク構造上の大規模性や複雑性に起因する困難を克服するため、グラフスペクトル、射影追跡、ランダム行列の考え方を組み合わせた視覚的分析法を確立することを目的としていた。しかし研究を進めていく上で、視覚的分析法よりも「直接観測できない社会ネットワークの構造を間接的に推定する」という学術的「問い」を解明することが先決であるという考えに至り、この課題を[課題1]として定める。

近年、インターネット上では Facebook や Twitter のような SNS による、人と人との繋がりを促進する双方向コミュニケーションが活発に行われているが、大規模で複雑な社会ネットワークの構造は SNS 上での情報伝播やそのダイナミクスに多いに影響するはず

である。[課題2]として、ネットワーク上のアクティビティの伝播を記述するためのモデルをスペクトラルグラフ理論の観点から検討し、この提案モデルが従来のネットワーク分析手法とどのような関係性をもつのか、どのような効果を有しているのかを調査する。さらにその発展形として、ネット炎上におけるダイナミクスをモデル化し、ネット炎上の発生メカニズムを工学的に理解する。

スペクトラルグラフ理論においてネットワーク構造を表す行列を表現するためには、社会ネットワーク構造そのものを知っている必要があるが、実際の大規模・複雑な社会ネットワークにおいてその詳細な構造を明らかにすることは難しい。[課題3]においては、ネットワーク構造を表す行列をランダム行列として与え、ランダム行列の普遍的な性質を用いて大規模な社会ネットワークの情報伝播特性を分析する。

### 3. 研究の方法

#### [課題1]

(1) 行列の固有値及び固有ベクトルがネットワーク構造に関する全ての情報を含むという事実に着目し、固有値及び固有ベクトルから間接的にネットワーク構造を得る方法について検討する。具体的にはネットワーク構造を既知とせずにネットワーク上の強制振動ダイナミクスにおける共鳴現象を利用して Laplacian 行列の固有値および固有ベクトルの絶対値を推定する手法(ネットワーク共鳴法)を提案し、高い精度で推定が可能であることを示す。

(2) 固有ベクトルの符号を効率的に決定する手法の提案、及びこれの計算量評価を行う。提案手法のアイデアは、複数の符号決定計算を並列に行い、計算が早く終わるもののみを利用する方法を導入することにある。この手法により、で実行できることを示す。また、圧縮センシングを利用することで更なる計算量の削減が可能であることを示す。

#### [課題2]

(1) ノード間の非対称相互作用によって生ずるネットワークダイナミクスの分析法を検討し、リンクの非対称性をノードの特性に還元できるようなネットワークに対して、対称行列を用いた分析を可能とするモデルを提案する。さらに、ネットワーク上のアクティビティの伝播を記述するための振動モデルを検討し、多様なネットワーク状況を反映可能な一般化されたノード中心性指標を提案する。重み付き有向リンクをもつネットワークに対してリンクの重みを適切に設定することにより様々なノード中心性を表現できることを示す。

(2) 社会ネットワーク分析でよく知られているノード中心性は、ノードのどのような性質に注目するかによって異なる様々な種類がある。例えば PageRank, 固有ベクトル中心性などが挙げられる。本課題では、固有ベクトル中心

性に着目し、この指標が直観的に受け容れられる自然な結果とはならない場合があることを示す。また、この事実をスペクトルグラフ理論の枠組みで考察し、無向グラフの固有ベクトル中心性は「別のある有向グラフ」に対する PageRank を計算していることを示す。(3)(1)で示したネットワーク上の振動モデルにおいて、振動モードの振動数が複素数になることによるネット炎上に加え、振動モードの振動数が実数であっても縮退した振動モード間の結合によりネット炎上が発生し得ること示す。また、縮退した振動モードから生じるネット炎上について、各振動モードの初期位相の与え方に関するネット炎上の発生過程を考察する。

[課題3] ある条件下で、リンクに重みのないグラフの正規化 Laplacian 行列のスペクトル密度分布が Wigner の半円則に従うことが報告されている。本課題では、まずリンクの重みを乱数で与えたグラフの正規化 Laplacian 行列のスペクトル密度分布を評価し、スペクトル密度分布が Wigner の半円則を満たすための条件を実験的に調査する。更に、正規化 Laplacian 行列のスペクトル密度分布が Wigner の半円則に従うことを利用し、社会ネットワークにおける口コミのような情報伝播の特性の分析を行う。

#### 4. 研究成果

##### [課題1]

(1)Laplacian 行列の固有値推定手法であるネットワーク共鳴法について、その実現可能性に関する課題の検討を行った。また、ネットワーク共鳴法による固有値推定実験により、ネットワークの局所的な情報から Laplacian 行列の固有値推定が可能であることを確認した(図1)。

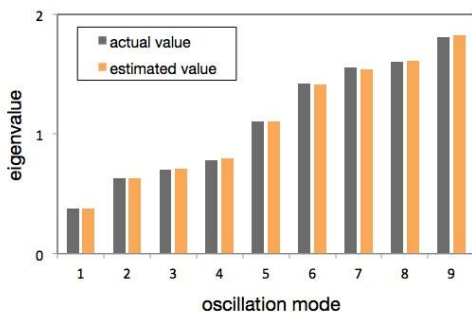


図1 固有値の真値と推定値

(2)本課題では、固有ベクトルの成分の絶対値が判明しているという状況において、その符号を決定する効率的な手法の提案とその計算量についての評価を行った。最悪の場合  $n$  個の固有ベクトルに対して指数時間かかってしまうが高速計算を実現する2つの方法を提案した。その結果、 $n$  が十分に大きな場合においては、固有ベクトルの符号決定アルゴリズムの計算量は、ほぼ  $O(n^2)$  まで削減できることがわかった(図2)。

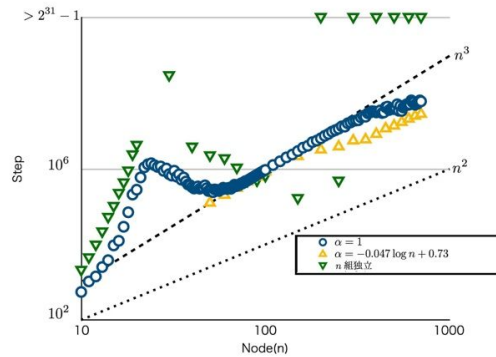


図2 符号決定アルゴリズムの計算量

##### [課題2]

(1)本課題では、ネットワーク上のアクティビティの伝播を記述するための振動モデルを検討し、多様なネットワーク状況を反映可能な一般化されたノード中心性指標を提案した。本提案する振動モデルにより、全く異なる定義のノード中心性を同じ枠組みで解釈でき、SNS の情報伝播やダイナミクス解明へつなげることができた。評価の結果、異なる中心性(次数中心性および媒介中心性)が振動モデルにおける振動エネルギーに一致していることがわかった(図3, 図4)。

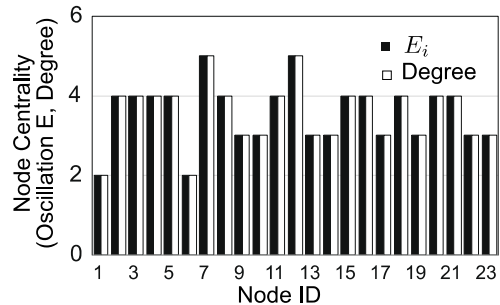


図3 次数中心性と振動エネルギー

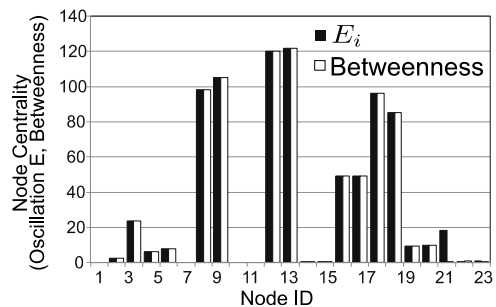


図4 媒介中心性と振動エネルギー

(2)本課題では、社会ネットワーク構造の分析に用いられる固有ベクトル中心性について、直観的なノード中心性と合わない例を示し、その原因をスペクトルグラフ理論の枠組みで考察した。更に、固有ベクトル中心性と PageRank の関係についても明らかにした。評価では、無向グラフの固有ベクトル中心性が具体的にどのような有向グラフに対応するのかを示し、無向グラフの固有ベクトル中心性と対応する有向グラフの PageRank の関

係の具体例を示した(図 5)。

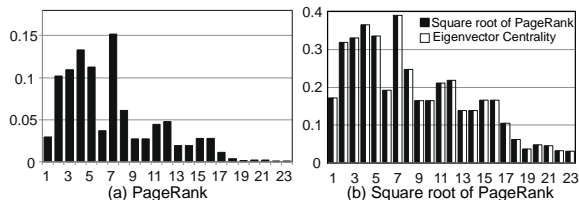


図 5 (a) PageRank (b) 有向グラフにおける PageRank の平方根と無向グラフにおける固有ベクトル中心性の比較

(3) 一般の有向グラフ上の振動モデルは, Laplacian 行列の固有値が複素数になる場合に振動エネルギーが発散し,これがネット炎上の発生を表すモデルであると考えられる. また, Laplacian 行列が対角化可能であれば,固有値が実数である限り振動エネルギーの発散は起こらない.本課題では Laplacian 行列が対角化可能でない場合,即ち複数の振動モードが縮退した場合にどのようなダイナミクスが現れるのかについて考察した. ネット炎上モデルの妥当性を確認するため,いくつかの振動モードに関する微分方程式について,適当な初期条件の下で数値計算を行い,解が発散することを示した.

[課題 3] 本課題では,異なるネットワークモデルに対してリンクの重みに依らない普遍的な性質があるかどうかを調査した. その結果,ER ネットワーク及び BA ネットワークに対する次数の最小値と平均値をそれぞれ  $k_{\min}$  及び  $k_{\text{ave}}$  と書いた場合に  $k_{\min}^2 < k_{\text{ave}}$  を満たす時,正規化 Laplacian 行列  $N$  のスペクトル密度分布が Wigner の半円則に従うことがわかった. 次に,明らかにした普遍的な性質に基づいて,  $N$  のスペクトル密度分布が Wigner の半円則に従うと仮定し,社会ネットワーク上の情報伝搬特性(各ノードへの初回到達時間の期待値)を調査した. その結果,(a) 初回到達時間の期待値は Wigner の半円則における半径(最大固有値-1)または  $(1 - \text{第 2 最小固有値})$  及びクラスタ数で決まること,(b) クラスタ数が等しいネットワークにおいては初回到達時間の期待値の下限と上限の差は最大で 2 倍であること,を明らかにした.

### 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)Chisa Takano and Masaki Aida, ``Underlying mechanism of different node centralities based on oscillation dynamics on networks,`` IEICE Transactions on Communications, vol. E101-B,2018. (in press)

(2)寺岡 良章,小畑 博靖,高野 知佐,石田 賢治, ``無線 LAN のアクセスポイントにおけるスループット保証を目指した TCP 受信ウィンドウ制御方式,`` 電子情報通信学会論文誌 (B), vol. J101-B, no. 2, pp.70-79, Feb. 2018.

(3)Masaki Aida, Chisa Takano and Masayuki Murata, ``Oscillation model for describing network dynamics caused by asymmetric node interaction,`` IEICE Transactions on Communications, vol. E101-B, no. 1, pp. 123-136, January 2018.

(4)Ryoma Ando, Ryo Hamamoto, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida, ``A Priority Control Method for Media Access Control Method SP-MAC to Improve Throughput of Bidirectional Flows,`` IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E100-D, no.5, pp.984-993, May 2017.

(5)Ryosuke Morita, Chisa Takano and Masaki Aida, ``Autonomous clustering scheme for removing the effects of heterogeneous node degrees in ad hoc networks,`` International Journal of Image Processing & Communication, vol. 21, no. 2, pp. 43-54, December 2016.

(6)Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata and Kenji Ishida, ``Improvement of Throughput Prediction Scheme Considering Terminal Distribution in Multi-rate WLAN Considering both CSMA/CA and Frame Collision,`` IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E99-D, no.12, pp.2923-2933, December 2016.

(7)Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Masaki Aida, and Kenji Ishida, ``Proposal for Designing Method of Radio Transmission Range to Improve both Power Saving and Communication Reachability based on Target Problem,`` IEICE Transactions on Communications, vol. E99-B, no. 11, pp. 2271-2279, November 2016.

(8)濱本 亮,小畑 博靖,高野 知佐,石田 賢治, ``H-SP-MAC: 隠れ端末問題の解決を目指したメディアアクセス制御 SP-MAC の改良,`` 電子情報通信学会論文誌 (B) (小特集号 ネットワークの設計・制御・分析・管理技術), vol.J99-B, no.10, pp.893-907, October 2016.

(9)濱本 亮,小畑 博靖,高野 知佐,石田 賢治, ``結合振動子の同期現象に基づいたメディアアクセス制御 SP-MAC の適用領域に関する考察,`` 電子情報通信学会論文誌 (B), vol.J99-B, no.2, pp.31-44, February 2016.

(10)Yusuke Sakumoto, Chisa Takano, Masaki Aida and Masayuki Murata, ``Proof test of chaos-based hierarchical network control using packet-level network simulation,``

IEICE Transactions on Communications, vol. E99-B, no. 2, pp. 402-411, February 2016.

(11)Hiroyasu Obata, Ryo Hamamoto, Chisa Takano, and Kenji Ishida, "SP-MAC: A Media Access Control Method Based on the Synchronization Phenomena of Coupled Oscillators over WLAN," IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E98-D, no.12, pp.2060-2070, Dec. 2015.

(12)Ryo Hamamoto, Tutomu Murase, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, and Kenji Ishida, "A proposal of access point selection method based on cooperative movement of both access points and users," IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E98-D, no.12, pp.2048-2059, Dec. 2015.

(13)Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida, and Masaki Aida, "Guaranteeing method for the stability of cluster structure formed by autonomous decentralized clustering mechanism," Journal of Communications, vol.10, no.8, pp.562-571, Aug. 2015.

[学会発表](計 76件)

国際会議 20件および国内研究会/国内大会 56件。紙面の関係上、抜粋して記載する。

(1) Masaki Aida, Chisa Takano and Masayuki Murata, "Dynamical model of flaming phenomena in on-line social networks," IEEE/ACM International Conference on Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2017), pp. 1164-1171, Sydney, Australia, July 31-August 3, 2017.

(2)Satoshi Furutani, Chisa Takano and Masaki Aida, "Method for estimating eigenvectors of the scaled Laplacian matrix using the resonance of oscillation dynamics on networks," IEEE/ACM International Conference on Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2017), pp. 615-618, Sydney, Australia, July 31-August 3, 2017.

(3)Chisa Takano and Masaki Aida, "Fundamental framework for describing various node centralities using an oscillation model on social media networks," IEEE ICC 2017, Paris, France, May 21-25, 2017.

(4)Chisa Takano and Masaki Aida, "Proposal of new index for describing node centralities based on oscillation dynamics on networks," IEEE GLOBECOM 2016, Washington DC, USA, December 4-8, 2016.

(5)Satoshi Furutani, Chisa Takano and Masaki Aida, "Proposal of the network resonance method for estimating eigenvalues of the scaled Laplacian matrix," The 8th International

Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2016) Workshop (WIND 2016), Ostrava, Czech Republic, September 7-9, 2016.

(6)Masaki Aida, Chisa Takano and Masayuki Murata, "Oscillation model for network dynamics caused by asymmetric node interaction based on the symmetric scaled Laplacian matrix," The 12th International Conference on Foundations of Computer Science (FCS 2016), pp. 38-44, Las Vegas, NV, USA, July 25-28, 2016.

(7)Ryosuke Sawada, Yusuke Sakamoto, Chisa Takano and Masaki Aida, "Experimental study on relationship between indices of network structure and spectral distribution of graphs," IEICE Information and Communication Technology Forum 2016 (ICTF 2016), Patras, Greece, July 6-8, 2016.

(8)平倉 直樹, 高野 知佐, 会田 雅樹, "社会ネットワーク構造推定のための Laplacian 行列に関する固有ベクトルの効率的な直交化法," 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会, 信学技報 CQ2017-111 vol. 117, no.486, pp. 45-50, 2018年3月8日(沖縄産業支援センター).

(9)久保 尊広, 高野 知佐, 会田 雅樹, "縮退した振動モードから生じるネット炎上モデルの初期位相に関する考察," 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報 NS2017-157, vol. 117, no. 385, pp. 75-80, 2018年1月19日(沖縄県・石垣市商工会館). (奨励講演)(ネットワークシステム研究会若手研究奨励賞受賞)

(10)高野 知佐, "ネットワーク上の振動モデルによるノード中心性の拡張 ~ ノード中心性の統一的な理解に向けて ~," 電子情報通信学会 情報通信マネジメント研究会, vol. 117, no. 388, pp. 49-50, 2018年1月18日(崇城大学). (招待講演)

(11)亀山 元, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, "ランダム行列の普遍性を利用した社会ネットワーク上の情報伝搬特性の分析," 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会, 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会, 信学技報 IA2017-62, vol. 117, no. 354, pp. 55-60, 2017年12月15日(広島市立大学).

(インターネットアーキテクチャ研究会学生研究奨励賞受賞)

(12)久保 尊広, 高野 知佐, 会田 雅樹, "縮退した振動モードから生じる新しいネット炎上モデル," 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報 NS2017-80, vol. 117, no. 204, pp. 55-60, 2017年9月7-8日(東北大学).

(第17回ネットワークシステム研究賞受賞)

(13)亀山 元, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, "ランダム行列を用いた社会ネットワ

ーク上の情報伝搬特性の分析,' 電子情報通信学会 第 12 回 通信行動工学研究会, 2017 年 9 月 6 日 (首都大学東京 秋葉原サテライトキャンパス).

(14)高野 知佐, 会田 雅樹, ``Scaled Laplacian 行列に基づいた固有ベクトル中心性の考察,' 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会, 信学技報 CCS2017-12, vol. 117, no. 173, pp. 13-18, 2017 年 8 月 10-11 日 (北海道美幌市ピパの湯 ゆ~りん館).

(15)高野 知佐, 濱本 亮, 小畑 博靖, 石田 賢治, ``確率分布を用いた IEEE802.11 無線 LAN のスループット推定手法の高速化に関する研究,' 信学技報, SR2017-32, pp. 53-60, July, 2017 (北海道大学).

(招待講演)

(16)高野 知佐, 会田 雅樹, ``ネットワーク上の振動ダイナミクスに基づくネット炎上の対策技術,' 電子情報通信学会 2017 年総合大会, BS-3-3, March 2017 (名城大学).

(17)亀山 元, 高野 知佐, 会田 雅樹, ``ランダム行列を用いた社会ネットワーク分析法の検討,' 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2016-142, vol. 116, no. 485, pp. 269-274, 2017 年 3 月 3 日 (沖縄残波岬口イタルホテル).

(18)古谷 諭史, 高野 知佐, 会田 雅樹, ``ネットワーク上の振動ダイナミクスの共鳴を利用した scaled Laplacian 行列の固有ベクトル推定手法の検討,' 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2016-164, vol. 116, no. 485, pp. 401-406, 2017 年 3 月 3 日 (沖縄残波岬口イタルホテル).

(19)澤田 涼介, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, ``ノード間の隣接関係が正規化ラプラシアン行列の固有値に与える影響の分析,' 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2016-165, vol. 116, no. 485, pp. 407-412, 2017 年 3 月 3 日 (沖縄残波岬口イタルホテル).

(20)高野 知佐, 会田 雅樹, ``ネットワーク上の振動モデルによるノード中心性の統一的理解,' 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2016-74, vol. 116, no. 361, pp. 45-50, 2016 年 12 月 15 日 (広島市立大学).

(21)会田 雅樹, 高野 知佐, 村田 正幸, ``ソーシャルメディアネットワークの炎上に関する動力的モデル,' 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会, 信学技報 CQ2016-77, vol. 116, no. 323, pp. 23-28, 2016 年 11 月 24 日 (下関商工会議所).

(22)会田 雅樹, 高野 知佐, ``ノード間の非対称相互作用によって生じるネットワークダイナミクスとその階層構造,' 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 依頼シンポジウムセッション (情報ネットワーク科学に関する最新学術動向), BI-3-3,

September 2016, 北海道大学.

(通信ソサイエティ 依頼シンポジウムセッション)

(23)会田 雅樹, 高野 知佐, ``ネット炎上の動力的モデル,' 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-7-22, September 2016, 北海道大学.

(24)古谷 諭史, 高野 知佐, 会田 雅樹, ``ネットワーク上の共鳴を利用した Laplacian 行列の固有値推定法,' 2016 年電子情報通信学会総合大会, NBS-1-7, 九州大学.

〔図書〕(計 1 件)

(1)村田 正幸, 成瀬 誠 編著, 「情報ネットワーク科学入門」, 情報ネットワーク科学シリーズ 第 1 巻 (コロナ社), 2015. (共著)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 無線通信装置及び無線通信方法  
発明者: 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 特願 2015-227343  
出願年月日: 2015 年 11 月 20 日  
国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: 無線通信装置及び無線通信方法  
発明者: 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 特開 2017-98687  
取得年月日: 2017 年 6 月 1 日  
国内外の別: 国内

〔その他〕

<https://www.netsci.info.hiroshima-cu.ac.jp/member/staff/takano>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高野 知佐 (CHISA TAKANO)  
広島市立大学 情報科学研究科 准教授  
研究者番号: 6 0 5 0 9 0 5 8

### (2) 研究分担者

会田 雅樹 (Masaki Aida)  
首都大学東京 システムデザイン研究科 教授  
研究者番号: 6 0 4 0 4 9 3 5