

令和 3 年 5 月 11 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00433

研究課題名(和文) 協調・競合構造を考慮したアテンションダイナミクスの数理モデリング

研究課題名(英文) Modeling attention dynamics with cooperative and competitive structures

研究代表者

木村 昌弘 (KIMURA, Masahiro)

龍谷大学・先端理工学部・教授

研究者番号：10396153

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)：ソーシャルメディアにおけるイベント時系列データに対する新たな機械学習の枠組みを提案し、オンラインアイテム群における協調構造を共有イベント系列から抽出するモデル、連続時空間という設定で観光都市における魅力的な場所の訪問イベント系列から主要観光エリア群の時空間的な影響構造を見つけるモデルおよび、都市におけるPOI(point-of-interest)群への訪問イベント系列から地理的協調・競合ネットワーク構造を検出するモデルを、それぞれ構築した。また、それら数理モデルの各種応用を与えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

点過程に基づいた新たな確率的アテンションダイナミクスモデルとその学習法を構築することにより、ソーシャルメディアにおける様々なアイテム群に対して、アテンション到着過程の数理モデル化を実現した。その数理モデルを用いることにより、料理レシピ共有サイトにおける料理レシピ群の協調構造の検出、また、写真共有サイトデータや位置情報ベースサービスに基づいて、主要観光エリア群の時空間的な影響構造や観光スポット群の地理的な協調・競合構造の検出を可能にした。

研究成果の概要(英文)：By proposing a new machine learning framework for temporal event sequence data in social media, we have constructed such mathematical models that extract cooperative structure in a set of online items from a sequence of their share events, find spatio-temporal influence structure among major sightseeing areas in a city from a visit event sequence for its attractive places in the setting of continuous spatio-temporal space, and detect geographical cooperative and competitive network structures in a set of POIs (point-of-interests) from a visit event sequence for them, respectively. Also, we have presented several applications of the obtained mathematical models into social media analysis.

研究分野：知能情報学

キーワード：ソーシャルメディアマイニング ソーシャルネットワーク分析 機械学習 データマイニング 複雑ネットワーク科学

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

(1) 近年、様々なソーシャルメディアが出現してきたことにより、World Wide Web が形成するオンライン世界は人々の重要なコミュニケーションの場としてますます発展し、実社会における人々の意思決定に大きな影響を与えるようになってきた。したがって、オンライン世界におけるユーザ行動のモデリングは重要な課題となってきた。ソーシャルメディアサイトにおいてユーザは、商品レビュー、意見、ニュース、映像、写真、料理レシピなどの様々なコンテンツを投稿できるとともに、他のユーザが投稿したコンテンツに対してコメントなどができ、さらに、お気に入りのユーザに対してリンクを生成することもでき、互いに交流しあうことができる。ユーザが投稿したコンテンツは、他のユーザ達からのアテンションの数（賛意レスポンスやシェアの数）によりポピュラリティを獲得する。オンライン世界におけるこのようなポピュラリティがどのように時間発展するかは予測は、マーケティングなど幅広い領域において有益でありうる。ユーザ達のアテンションのダイナミクスに対して、現象の予測を可能とする数理モデルの構築や知識発見法の確立は重要な研究課題である。

(2) オンライン世界におけるアテンションダイナミクスの研究に関しては、オンラインコンテンツのポピュラリティ予測に対して、以下のような研究が行われていた。

① Shen らは、個々のコンテンツのポピュラリティを予測するために、アテンションの到着過程ダイナミクスの確率モデルとして、“rich-get-richer” 現象を表す強化メカニズムと経時効果を表す時間減衰メカニズムを組み込んだ非一様ポアソン過程モデルである RPP (Reinforced Poisson Process) モデルとその学習法を提案した。そして、実データを用いた実験により、引用数予測において提案法がベースラインとなる既存法を上回ることを示した。

② Zhao らは、Twitter におけるリツイートによるツイートの拡散に焦点をあて、ツイートのポピュラリティを予測する問題を研究した。リツイートの到着過程ダイナミクスを、フォロワー数情報のみを用いて Galton-Watson ツリー上の Hawkes 過程としてモデル化し、ツイートのポピュラリティを予測する手法 SEISMIC を提案した。そして、この問題では提案法が RPP モデルよりも精度が良いことを示した。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、機械学習アプローチにより、オンライン世界のアイテム群へのアテンション到着過程とそれらの間の相互作用のダイナミクスについての数理モデルを構築し、それらのポピュラリティを十分な精度で説明および予測するとともに、それらの間の協調や競合の構造という潜在的なソーシャルネットワーク構造を抽出することを目指す。

(2) 構築した数理モデルに基づいて、ポピュラリティバーストのようなアノマリーを説明および予測する手法の確立、また、協調・競合構造に基づくコミュニティ抽出などの知識発見やレコメンデーションなどの各種応用を創出することを目指す。

## 3. 研究の方法

(1) ソーシャルメディアサイトのユーザページ群からデータを収集して、「ユーザが投稿したコンテンツの時系列データ」と「投稿されたコンテンツに対する賛意メッセージの時系列データ」を構築し、本研究課題で取り組む確率過程モデルの評価用データを作成する。また、rich-get-richer 現象を表す強化メカニズムや経時効果を表す時間減衰メカニズムなど、オンライン世界におけるアイテムへのアテンションの到着過程やアイテム間の相互作用に関する種々の統計的性質を、収集データを用いて分析する。

(2) オンライン世界におけるアイテム群のアテンション到着過程に関して、協調・競合構造に基づく数理モデルを構築し、そのモデル学習法を確立する。そのために、RPP モデルを出発点とし、モデルが備えるべき要素の検討と実データの分析結果に基づいてそれを拡張することにより、オンライン世界のアイテム群へのアテンション到着過程とそれらの間の相互作用ダイナミクスについての数理モデルの構築を進めていく。構築したモデルは、実データを用いて既存法との比較に基づき、各アイテムのポピュラリティ予測性能により評価する。さらに、構築したモデルにより抽出されたアイテム群の相互作用における協調・競合構造に基づいて、レコメンデーションやコミュニティ抽出などの各種応用を提案し評価する。

## 4. 研究成果

(1) ソーシャルメディアにおける共有イベント系列に基づいてオンラインアイテム群の協調構造を抽出する新たな確率過程モデルとして、CHP モデルを提案した。CHP モデルは、協調構造に基づく相互作用を考慮した Hawkes 過程にディクレ過程を組み込むことにより構成され、アイテムに対する共有イベントの時系列を生成する。観測系列データから CHP モデルを推定する効

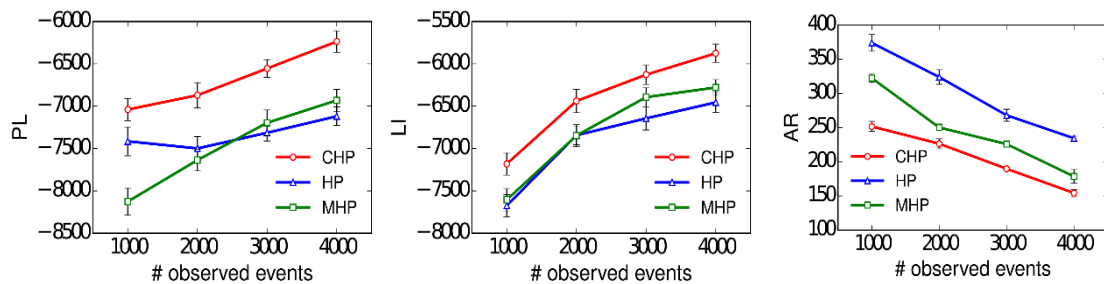


図1. Cookpad データにおける予測性能の評価結果

率的なベイズ学習法を開発し、CHP モデルの下で将来の共有イベントを予測する有効な枠組みを与えた。人工データおよび Cookpad データを用いた実験において、CHP モデル、アイテム間の相互作用を考慮しない Hawkes 過程 (HP) モデルおよび、すべての相互作用を考慮する多変量 Hawkes 過程 (MHP) モデルを、PL (Prediction log-likelihood)、LI (Log-likelihood of items)、AR (Average rank) の 3 つの指標の観点から予測性能で比較した (図 1 参照)。そして、CHP モデルは HP モデルと MHP モデルよりも予測性能が高いこと、特に、観測された共有イベント数が少ない場合には MHP モデルとの性能差がより顕著になることを実証し、協調構造を考慮する CHP モデルの有効性を示した。また、Cookpad データを用いた実験では、CHP モデルに基づいて、ポピュラリティダイナミクスの観点から、Cookpad における料理レシピ間の協調構造を同定し、料理レシピの協調グループに関するいくつかの特徴的な性質を明らかにした。

(2) 連続時間軸と連続空間領域という設定で、人々が観光都市において魅力的な場所 POI (point-of-interest) を訪れるイベントの発生過程をモデル化すること、すなわち、地理的アテンションダイナミクスのモデル化問題に取り組んだ。主要観光エリアごとの影響度の時間減衰率および時間帯ごとの影響度を検出して、主要観光エリア群の時空間的な影響構造を抽出する新たな確率モデルを提案し、近い将来の予測の POI 訪問イベントを精度良く予測することを目指した。提案モデルは、Hawkes 過程と時間的に変化する Gauss 混合モデルを新たな方法で融合して、Gauss 成分に依存する影響度の時間減衰と時間帯に依存する影響構造を組み込むことにより構成される。提案モデルにおけるパラメータ推定法を開発し、地理的アテンションダイナミクスの分析法を与えた。写真共有サイト Flickr から得られた京都の実データを用いた実験において、提案モデル、Hawkes 過程と時間的に変化する Gauss 混合モデルを単純に融合した従来の HG モデルおよび、最も単純な点過程モデルである Poisson 過程と時間的に変化する Gauss 混合モデルを単純に融合したベースラインモデルを、PA 指標の観点から予測精度で比較した (図 2 参照)。そして、提案モデルは他の 2 つのモデルよりも予測性能が高いことを実証し、Gauss 成分に依存した影響度の時間減衰と時間帯によって変化する影響度をモデルに組み込むことの意義を示した。また、提案モデルに基づいて、地理的アテンションダイナミクスの観点から、京都の主要観光エリア群の時空間的な影響構造を明らかにした。

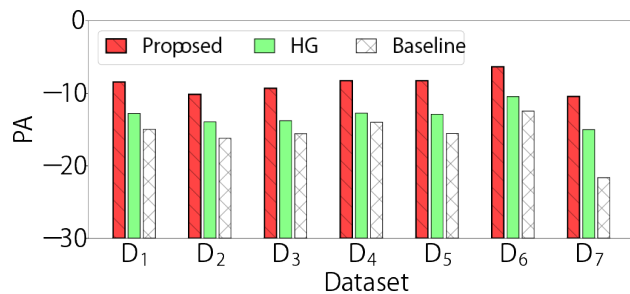


図2. Flickr データにおける予測性能の評価結果

(3) 都市において魅力的な場所である POI 群に対して、それらへの訪問イベント発生過程に影響を与えるような潜在的な地理的影響ネットワークを発見する問題に取り組み、POI 群の間の地理的競合構造を検出するために、RH (receiver homogeneous) モデルという、競合構造により POI 群の間の影響関係を考慮する Hawkes 過程に基づいて ddCRP (distance dependent Chinese restaurant process) を事前分布にもつ新たな確率モデルを提案した。そして、観測データから RH モデルのパラメータを推定する手法を開発した。また RH モ

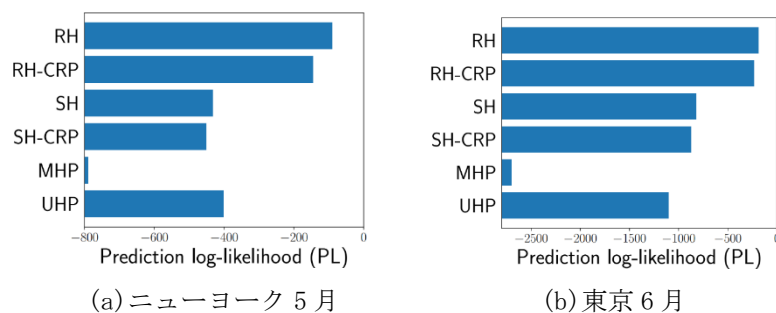
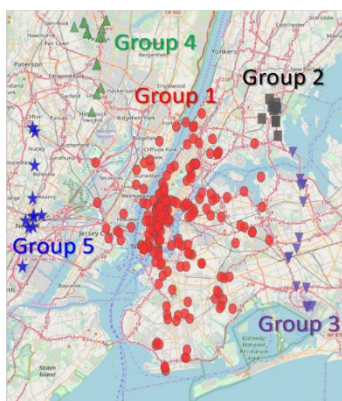
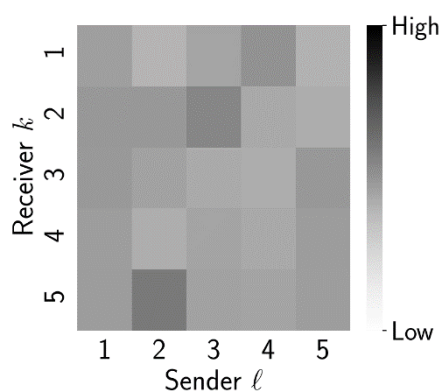


図3. Foursquare 2012 年データにおける予測性能の評価結果

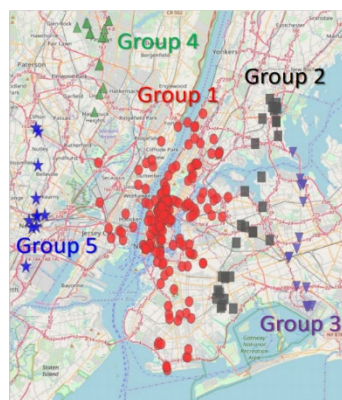
デルに対して、各POIの将来ポピュラリティ予測値に関する近似公式を数理的に導き、人工データを用いた実験によりその有効性を示した。さらに、我々が以前に与えたCHPモデルに対して、ddCRP事前分布をもつモデルにそれを適切に拡張することにより、POI群の間の地理的協調構造を検出するSH(sender homogeneous)モデルを構築し、観測データからSHモデルのパラメータを推定する手法を開発した。まず、人工データを用いて、開発したモデルパラメータ推定法の有効性を確認した。次に、Foursquareのニューヨークと東京のデータを用いた実験において、RHモデル、SHモデル、地理的關係性を反映しないような競合構造をもつRH-CRPモデル、地理的關係性を反映しないような協調構造をもつRH-CRPモデル、すべてのPOI間の影響関係を独立に扱う多変量のHawkes過程(MHP)モデルおよび、POI群の間の影響関係を考慮しない単変量のHawkes過程(UHP)モデルを、PL指標の観点から予測精度で比較した(図3参照)。そして、POI群の間には相互エキサイテーション性が存在することおよび、地理的競合構造が地理的關係性を反映しないような競合構造や協調構造よりもPOI訪問ダイナミクスに大きな影響を持つ場合があることを実証し、RHモデルの重要性を示した。さらに、RHモデルとSHモデルを適用することにより、地理的競合構造と地理的協調構造の観点から、都市の潜在的な地理的影響ネットワーク構造を明らかにした(図4参照)。



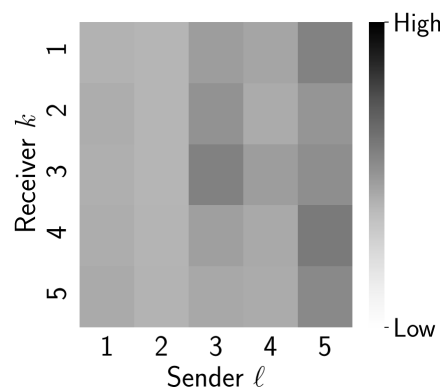
(a) 地理的競合構造



(b) 地理的競合ネットワーク



(c) 地理的協調構造



(d) 地理的協調ネットワーク

図 4. Foursquare2012 年ニューヨーク 5 月データにおける地理的影響ネットワーク構造の抽出結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Teru Fujii, Masahito Kumano, Joao Gama, and Masahiro Kimura	4. 巻 944
2. 論文標題 Detecting geographical competitive structure for POI visit dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Complex Networks and Their Applications IX. COMPLEX NETWORKS 2020. Studies in Computational Intelligence	6. 最初と最後の頁 27 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-65351-4_3	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 該当する
1. 著者名 樋口 稔、松谷 貴司、熊野 雅仁、木村 昌弘	4. 巻 J102-D
2. 論文標題 地理的アテンションダイナミクスにおける影響構造の抽出	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 685 ~ 697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2018JDP7067	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 -
1. 著者名 Mario Cordeiro1, Rui Portocarrero Sarmento, Pavel Brazdil, Masahiro Kimura, and Joao Gama	4. 巻 881
2. 論文標題 Identifying, ranking and tracking community leaders in evolving social networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Complex Networks and Their Applications VIII. COMPLEX NETWORKS 2019. Studies in Computational Intelligence	6. 最初と最後の頁 198 ~ 210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-36687-2_17	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 該当する
1. 著者名 松谷貴司、熊野雅仁、木村昌弘、斉藤和己、大原剛三、元田浩	4. 巻 33(A-HA1)
2. 論文標題 オンラインアイテム群における共有イベント系列に基づいた協調構造の抽出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.A-HA1	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 -

1. 著者名 菊地悠樹, 熊野雅仁, 木村昌弘	4. 巻 11(2)
2. 論文標題 料理レシピ共有サイトにおける食材のアクティブ共起パターンの抽出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」	6. 最初と最後の頁 30~40
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 -

1. 著者名 Minoru Higuchi, Kanji Matsutani, Masahito Kumano, and Masahiro Kimura	4. 巻 11052
2. 論文標題 Discovering Spatio-Temporal Latent Influence in Geographical Attention Dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. ECML PKDD 2018. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 517~534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-10928-8_31	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 -

1. 著者名 松谷貴司, 木村昌弘	4. 巻 10
2. 論文標題 ソーシャルメディアのアイテム群に対するアテンションダイナミクスの学習	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」	6. 最初と最後の頁 14-24
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 -

1. 著者名 Yuuki Kikuchi, Masahito Kumano, and Masahiro Kimura	4. 巻 17
2. 論文標題 Analyzing dynamical activities of co-occurrence patterns for cooking ingredients	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW 2017)	6. 最初と最後の頁 17-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICDMW.2017.10	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 -

1. 著者名 Kanji Matsutani, Masahito Kumano, Masahiro Kimura, Kazumi Saito, Kouzou Ohara, and Hiroshi Motoda	4. 巻 17
2. 論文標題 Discovering cooperative structure among online items for attention dynamics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW 2017)	6. 最初と最後の頁 1033-1041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICDMW.2017.146	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18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Aito Ueno, Masahito Kumano, and Masahiro Kimura
2. 発表標題 Analyzing predictability of previous and next activity places in cyber and physical spaces
3. 学会等名 12th International Conference on Social Informatics (SocInfo 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井輝, 熊野雅仁, 木村昌弘
2. 発表標題 POI訪問ダイナミクスにおける地理的競合構造の検出
3. 学会等名 人工知能学会第121回知識ベースシステム研究会 (SIG-KBS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田真大, 熊野雅仁, 木村昌弘
2. 発表標題 有意な食材高次ネットワークにおける単体閉包の分析
3. 学会等名 人工知能学会第121回知識ベースシステム研究会 (SIG-KBS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野和仁, 熊野雅仁, 木村昌弘
2. 発表標題 サイバー・フィジカル空間における事前および事後アクティビティの予測可能性
3. 学会等名 人工知能学会第121回知識ベースシステム研究会 (SIG-KBS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Teru Fujii, Masahito Kumano, Joao Gama, and Masahiro Kimura
2. 発表標題 Detecting geographical competitive structure for POI visit dynamics
3. 学会等名 9th International Conference on Complex Networks and their Applications (COMPLEX NETWORKS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda, Masahito Kumano, Joao Gama, and Masahiro Kimura
2. 発表標題 Simplicial closure in significant higher-order network among cooking ingredients
3. 学会等名 9th International Conference on Complex Networks and their Applications (COMPLEX NETWORKS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minoru Higuchi, Kanji Matsutani, Masahito Kumano, and Masahiro Kimura
2. 発表標題 Discovering spatio-temporal latent influence in geographical attention dynamics
3. 学会等名 2018 European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 樋口稔, 松谷貴司, 熊野雅仁, 木村昌弘
2. 発表標題 地理的アテンションダイナミクスにおける時空間の潜在的影響の抽出
3. 学会等名 人工知能学会第115回知識ベースシステム研究会 (SIG-KBS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井輝, 熊野雅仁, 小堀聡, 木村昌弘
2. 発表標題 POI訪問ダイナミクスの可視化分析
3. 学会等名 人工知能学会第20回インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会 (SIG-AM)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田真大, 熊野雅仁, 小堀聡, 木村昌弘
2. 発表標題 食材と時季に基づいた料理レシピの人気分析
3. 学会等名 人工知能学会第20回インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング研究会 (SIG-AM)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田紗椰, 熊野雅仁, 小堀聡, 木村昌弘
2. 発表標題 LBSNにおけるユーザアクティビティのトピック分析
3. 学会等名 ARG第13回Webインテリジェンスとインタラクション研究会 (WI2)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原稜, 熊野雅仁, 小堀聡, 木村昌弘
2. 発表標題 アテンションダイナミクスに基づいた料理レシピ群の協調構造の分析
3. 学会等名 ARG第13回Webインテリジェンスとインタラクション研究会 (WI2)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷生, 熊野雅仁, 小堀聡, 木村昌弘
2. 発表標題 Flickrデータに基づいた時空間イベント検出
3. 学会等名 ARG第13回Webインテリジェンスとインタラクション研究会 (WI2)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuuki Kikuchi, Masahito Kumano, and Masahiro Kimura
2. 発表標題 Analyzing dynamical activities of co-occurrence patterns for cooking ingredients
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (Data Science and Big Data Analytics) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kanji Matsutani, Masahito Kumano, Masahiro Kimura, Kazumi Saito, Kouzou Ohara, and Hiroshi Motoda
2. 発表標題 Discovering cooperative structure among online items for attention dynamics
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (Data science for human performance in social networks) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊地悠樹, 熊野雅仁, 木村昌弘
2. 発表標題 料理レシピ共有サイトにおける食材の旬の利用パターンの抽出
3. 学会等名 情報処理学会第116回数理モデル化と問題解決(MPS)研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松谷貴司, 熊野雅仁, 木村昌弘, 齊藤和己, 大原剛三, 元田浩
2. 発表標題 アテンションダイナミクスに基づいたオンラインアイテム群の協調構造の抽出
3. 学会等名 ARG第11回Webインテリジェンスとインタラクション(WI2)研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mario Cordeiro1, Rui Portocarrero Sarmiento, Pavel Brazdil, Masahiro Kimura, and Joao Gama
2. 発表標題 Identifying, ranking and tracking community leaders in evolving social networks
3. 学会等名 8th International Conference on Complex Networks and their Applications (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
研究分担者	大原 剛三  (OHARA Kouzou)  (30294127)	青山学院大学・理工学部・教授    (32601)	

6. 研究組織（つづき）

	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 分 担 者	斉藤 和巳  (SAITO Kazumi)  (80379544)	神奈川大学・理学部・教授    (32702)	

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		
ポルトガル	LIAAD, INESC TEC, University of Porto		