

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500194

研究課題名(和文) 複雑ネットワーク上でのカルチャーダイナミクスの数理モデリング

研究課題名(英文) Modeling culture dynamics on complex networks

研究代表者

木村 昌弘 (KIMURA, MASAHIRO)

龍谷大学・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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：社会ネットワーク上でのオピニオン形成の数理モデルとして、価値重み付き混合投票者モデルおよび時間減衰ダイナミクスをもつ投票者モデルを考案し、それらの挙動を解明するとともに、観測データからモデルパラメータを推定する手法を構築し、実データを用いた実験で有効性を実証した。また、社会ネットワーク上での情報拡散やオピニオン拡散におけるバースト期間の検出法、ソーシャルメディアデータにおけるリンク予測法など、各種応用を提案し、実験により有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：We have proposed the value-weighted mixture voter model and the voter model with temporal-decay dynamics as mathematical models for analyzing opinion formation in social networks, and have mathematically clarified their asymptotic behaviors. Also, we have constructed efficient methods of inferring the values of model parameters from observed sequences of opinion diffusion, and have experimentally demonstrated the effectiveness of the methods by using real data. Moreover, we have proposed a variety of applications such as detecting the period in which burst of information and opinion diffusion occurs from an observed diffusion sequence, and predicting missing links in social media data, and have experimentally demonstrated their effectiveness.

研究分野：知能情報学、情報数理学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：社会ネットワーク分析 情報拡散モデル オピニオン形成モデル 学習アルゴリズム 変化点検出 データマイニング 複雑ネットワーク科学

1. 研究開始当初の背景

(1) World Wide Web が発展し、ブログや Facebook、Flickr、Twitter などのオンラインソーシャルメディアの出現にともない、大規模な社会ネットワークの発生が加速されている。社会ネットワークは、イノベーション、ホットトピック、オピニオン、さらに悪意のある噂など、様々な情報の伝搬媒体となり、マーケティングや社会でのオピニオン形成において重要な役割を果たし得る。したがって、複雑社会ネットワーク上での情報拡散やオピニオン変遷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) 社会ネットワーク上の情報拡散ダイナミクスに関しては、ノードが非アクティブ（情報が伝わっていない状態）からアクティブ（情報が伝わった状態）に変化する過程を確率的にモデル化し、数理的およびアルゴリズム的に扱う研究が行われている。特に我々はこれまで、期待影響度（情報が伝わるノード数の期待値）を最大にするには指定された数のどのノード群に最初に情報を伝えればよいかという組み合わせ最適化問題（影響最大化問題）を効率良く解く手法の構築や、指定された数のリンク群を封鎖することにより好ましくない情報の広がりを最小化するという組み合わせ最適化問題（汚染最小化問題）を効率良く解く手法の構築、さらに、情報拡散の観測データから情報拡散の基本確率モデルのパラメータを推定する手法および情報拡散モデルの選択法の構築を行ってきた。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、我々のこれまでの情報拡散研究を拡張および発展させて、社会ネットワーク上における様々な分野の競合オピニオンの拡散・変遷のダイナミクス（カルチャーダイナミクス）に対し、機械学習アプローチに基づいて、それを十分な精度で説明および予測する数理モデルを構築し、その挙動を数理的およびアルゴリズム的に解明することを目的とする。

(2) 構築したカルチャーダイナミクスモデルに基づいて、オピニオン形成を助長および抑制する効率的手法や異常検出法を構築し評価する。また、社会ネットワークが内包するコミュニティ構造の発見やその特性の発見などの知識発見法や、オンラインソーシャルメディアにおける商品などのレコメンデーション法など、各種応用を提案し評価する。

3. 研究の方法

(1) 社会ネットワークにおける競合オピニオンの拡散・変遷に関して、オンラインソー

シャルメディアから実データを収集し、その統計分析を行うとともに、本研究での評価用データとして用いる。

(2) 競合オピニオンの拡散・変遷に関する数理モデル化を、我々が AAAI-10 論文において与えた価値重みつき投票者モデルを出発点として、カルチャーダイナミクスモデルが備えるべき要素および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進めていく。そして、収集した実データを十分に説明するカルチャーダイナミクスモデルを構築し、モデルの数理的性質の解明および、モデルパラメータの推定法を確立する。構築したモデルは、各オピニオンの将来シェアの予測性能により評価する。

(3) 構築したカルチャーダイナミクスモデルを土台として、オピニオン形成を助長および抑制する効率的手法、異常検出法、社会ネットワークが内包するコミュニティ構造の抽出法、将来のオピニオン選択予測に基づいた効果的なレコメンデーション法など、各種応用を提案し、収集した実データを用いてそれらを実証する。

4. 研究成果

(1) 異なる価値をもつ複数のオピニオンが、反多数派オピニオニストの存在の下で社会ネットワーク上をどのように広がるかの分析に関し、従来の2つのオピニオンの反投票者モデルを複数オピニオンに拡張して、価値重みつき投票者モデル (VwV モデル) と結合した価値重みつき混合投票者モデル (VwMV モデル) を提案し、その有効性を実証した。

機械学習の枠組みにおいてモデルを定式化し、観測データから各ノードの反多数派度と各オピニオンの価値を学習する手法を提案し、実社会ネットワークのトポロジーを用いた数値実験によりその有効性を実証した。比較的短期間のオピニオン拡散データから、近い将来のオピニオンシェアが正しく予測できることを、実験で示した。図1に、ウィキペディアネットワークにおけるオピニオンシェア予測に関して、提案モデルに基づく手法と、既存法である VwV モデルに基づく手法、価値重み一様 (uniform value) 混合投票者モデルに基づく手法、および線形予測モデルに基づく手法 ($\alpha=1$, $\alpha=3$, $\alpha=5$) との性能比較の結果を示す。観測期間 10 時間ステップまでであり、横軸はオピニオン数を、縦軸は予測誤差を、それぞれ表している。

局所オピニオンシェアが平均オピニオンシェアにより近似可能である場合に、「1) 反多数派オピニオニストが存在しないならば、最大の価値重みをもつオピニオンが、最終的にはオピニオンシェアにおいて一人勝ちする。2) 反多数派オピニオニストがある程度

存在するならば、必ずしもそのようなことは起こらない。3) どちらの場合においても価値重みが一樣であるならば、任意のオピニオンがオピニオンシェアにおける最終的勝者となりうる。」ということをも、理論的に証明した。

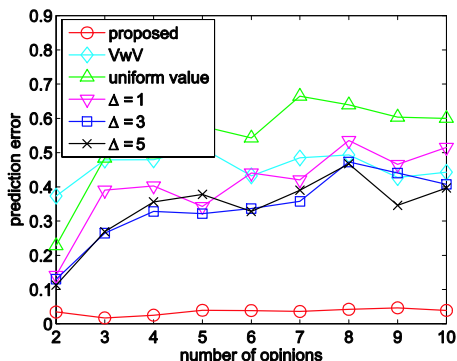


図1 オピニオンシェア予測の性能評価

(2) 人々のオピニオンが、彼ら自身や彼らの友人たちの過去のオピニオン履歴にどのように影響されるのかについての分析に関し、オピニオンダイナミクスの数理モデルとして、通常の投票者モデルに時間的減衰関数を組み込んだTDVモデルを提案し、その有効性を実証した。

観測されたオピニオン拡散データからTDVモデルのパラメータを学習する効率的な手法を提案した。さらに、TDVモデルにおける減衰関数モデルの候補が与えられたとき、観測データに最も適合する減衰関数モデルを選択する効率的な手法を提案した。特に、典型的な減衰関数モデルとして、指数的減衰関数、べき乗的減衰関数、減衰なしの3つを採用し、数値実験により提案法の有効性を実証した。図2に、べき乗的TDVモデルに関する提案法のモデル選択精度の結果を示す。図3に、提案法によるべき乗的TDVモデルのモデルパラメータ推定誤差の結果を示す。ともに、横軸は観測データのサンプル数を表し、 λ はべき乗的減衰関数の指数を表している。

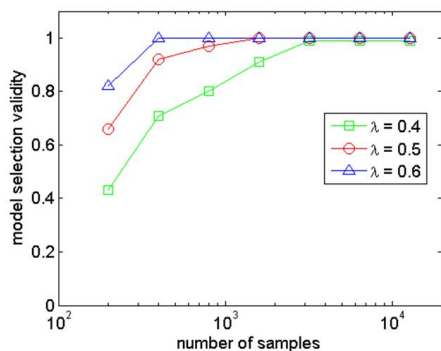


図2 べき乗的TDVモデルに関するモデル選択精度

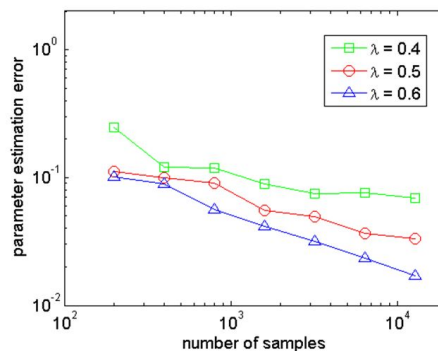


図3 べき乗的TDVモデルに関するモデルパラメータの推定誤差

TDVモデルを土台とする提案法により、化粧品クチコミサイトである@コスメからのオピニオン拡散の実データを分析し、ほとんどの化粧品ブランドがべき乗的減衰関数をもつTDVモデルに従うことを示した。図4に、べき乗的TDVモデルに基づいた化粧品ブランドの分析結果を示す。横軸は観測データのサンプル数、縦軸は対数尤度比統計量、各点は化粧品ブランドを、それぞれ表している。

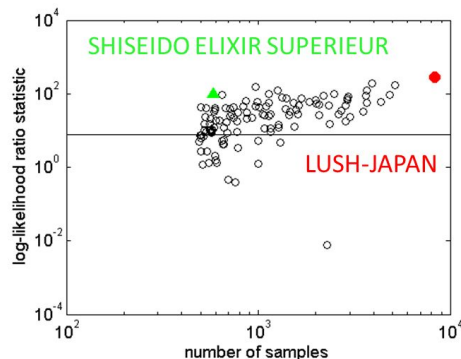


図4 べき乗的TDVモデルに基づく@コスメデータの分析

(3) 外的状況の変化により引き起こされる社会ネットワーク上での情報拡散の挙動変化を、限られた観測データから検出する問題を研究した。外的状況の変化を確率的情報拡散モデルにおけるパラメータ値の変化としてモデル化し、その変化がいつ生じ、どのくらい持続し、そしてどの程度に大きさであったかを検出する効率的な手法を提案した。特に、非同期時間遅れ付き独立カスケードモデル(AsICモデル)と価値重み付き投票者モデル(VwVモデル)に対して提案法を適用し、実社会ネットワークを用いた実験でその有効性を実証した。図5に、エンロンEメールネットワークでのVwVモデルに基づくオピニオン拡散におけるバースト期間(あるオピニオンの価値が大きくなった期間)の検出に関して、提案法とナイーブ法($J=5$, $J=10$, $J=20$)との性能比較の結果を示す。横軸はオピニオン数を表し、縦軸はホットスパン検出誤差を表している。

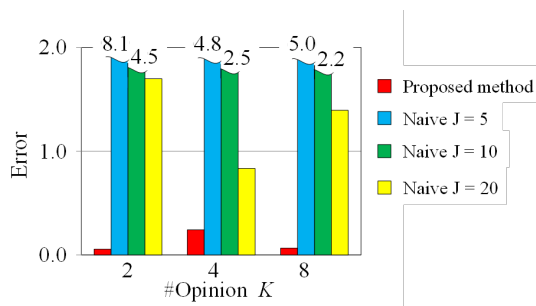


図5 バースト期間の検出誤差

(4) 社会ネットワークにおけるオピニオン形成モデルとして、ノード属性の関数によりノードの強度をモデル化して投票者モデルに組み込んだ、複数オピニオンをもつ属性重みつき投票者モデルを提案し、数値実験でその有効性を示した。

(5) 社会ネットワークにおいて影響力のあるノードの新たなタイプとして、そのノードを取り除くとネットワークの平均影響度が大きく減少するようなノードを超媒介者ノードと定義し、ノードの超媒介者度の効率的な計算法を構築した。そして、実験により、超媒介者性はエンロンEメールネットワークの中で重要な役割を果たすノードを同定できること、さらに、超媒介者性と従来のネットワーク中心性との統計的性質の違いを明らかにした。また、社会ネットワークにおける影響最大化問題の新たなタイプとして、K個のノード群を選択し情報源である新ノードからそれらターゲットノード群へのリンクを追加する影響最大化問題をターゲット選択問題と定義し、その有効な解法を構築するとともに、従来の影響最大化問題の解との違いを明らかにした。

(6) ソーシャルメディアに蓄積されている地理および時間情報をもつ大量の写真データに基づいて主要な観光スポットのバーストシーズンを可視化する手法を提案し、Flickr データを用いた実験によりその有効性を実証した。また、Twitter 上での情報拡散におけるバースト期間の検出法、ソーシャルメディアデータにおけるリンク予測法など、各種応用を提案し、実験により有効性を示した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

熊野雅仁、亀井貴行、小野景子、木村昌弘、社会的紐帯とアクティビティに関するソーシャルメディアのユーザモデリング、電子情報通信学会論文誌 D、査読有、Vol.J97-D、No.2、2014、pp.247-259
[K.Saito](#), [K.Ohara](#), [M.Kimura](#), and [H.Motoda](#), Change point detection for burst analysis from an observed

information diffusion sequence of tweets, Journal of Intelligent Information Systems, 査読有, Online First, 2013, pp.1-27,
 DOI: 10.1007/s10844-013-0283-2

[K.Saito](#), [M.Kimura](#), [K.Ohara](#), and [H.Motoda](#), Identifying super mediators of information diffusion in social networks, Lecture Notes in Computer Science (Proc. of DS 2013), 査読有, Vol.8140, 2013, pp.170-184,
 DOI: 10.1007/978-3-642-40897-7_12

[S.Iwabuchi](#), [M.Kumano](#), [M.Koseki](#), [K.Ono](#), and [M.Kimura](#), Visualizing attractive periods of popular photo spots using Flickr data, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2013 Posters, 査読有, 2013, Article No.112,
 DOI: 10.1145/2503385.2503508

[K.Saito](#), [M.Kimura](#), [K.Ohara](#), and [H.Motoda](#), Which target to contact first to maximize influence over social network, Lecture Notes in Computer Science (Proc. of SBP 2013), 査読有, Vol.7812, 2013, pp.359-367,
 DOI: 10.1007/978-3-642-37210-0_39

[K.Saito](#), [M.Kimura](#), [K.Ohara](#), and [H.Motoda](#), Detecting changes in information diffusion patterns over social networks, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 査読有, Vol.4, No.3, 2013, pp.55:1-55:23,
 DOI: 10.1145/2483669.2483688

[K.Saito](#), [M.Kimura](#), [K.Ohara](#), and [H.Motoda](#), Learning asynchronous-time information diffusion models and its application to behavioral data analysis over social networks, Journal of Computer Engineering and Informatics, 査読有, Vol.1, No.2, 2013, pp.30-57,
 DOI: 10.5963/JCEI0102002

[M.Kimura](#), [K.Saito](#), [K.Ohara](#), and [H.Motoda](#), Learning to predict opinion share and detect anti-majority opinionists in social networks, Journal of Intelligent Information Systems, 査読有, Vol.41, No.1, 2013, pp.5-37,
 DOI: 10.1007/s10844-012-0222-7

[K.Saito](#), [K.Ohara](#), [M.Kimura](#), and [H.Motoda](#), Burst detection in a sequence of tweets based on information diffusion model, Lecture Notes in Computer Science (Proc. of DS 2012), 査読有, Vol.7569, 2012, pp.239-253,
 DOI: 10.1007/978-3-642-33492-4_20

[M.Kimura](#), [K.Saito](#), [K.Ohara](#), and

H.Motoda, Opinion formation by voter model with temporal decay dynamics, Lecture Notes in Computer Science (Proc. of ECML PKDD 2012), 査読有, Vol.7524, 2012, pp.565-580, DOI: 10.1007/978-3-642-33486-3_36
T.Kamei, K.Ono, K.Kumano, and M.Kimura, Predicting missing links in social networks with hierarchical Dirichlet processes, Proceedings of 2012 International Joint Conference on Neural Networks, 査読有, 2012, pp.1816-1823, DOI: 10.1109/IJCNN.2012.6252619
Y.Yamagishi, K.Saito, M.Kimura, K.Ohara, and H.Motoda, Learning attribute-weighted voter model over social networks, JMLR Workshop and Conference Proceedings (Proc. of ACML 2011), 査読有, Vol.20, 2011, pp.263-278, <http://jmlr.org/proceedings/papers/v20/yamagishi11/yamagishi11.pdf>
K.Ohara, K.Saito, M.Kimura, and H.Motoda, Efficient detection of hot span in information diffusion from observation, Proceedings of IJCAI-11 Workshop on Link Analysis in Heterogeneous Information Networks, 査読有, 2011, pp.1-6, <http://www.kddresearch.org/Workshops/IJCAI-2011-HINA/Papers/ohara11efficient.pdf>
M.Kimura, K.Saito, K.Ohara, and H.Motoda, Detecting anti-majority opinionists using value-weighted mixture voter model, Lecture Notes in Computer Science (Proc. of DS 2011), 査読有, Vol.6926, 2011, pp.151-164, DOI: 10.1007/978-3-642-24477-3_14

〔学会発表〕(計 17 件)

八田圭斗、小野景子、熊野雅仁、木村昌弘、信頼リンク生成における媒介者の役割の分析、情報処理学会 第 76 回全国大会、2014 年 3 月 12 日、東京電機大学 東京千住キャンパス
申成殖、熊野雅仁、小野景子、木村昌弘、レシピ共有サイトの潜在トピック構造分析、情報処理学会 第 76 回全国大会、2014 年 3 月 12 日、東京電機大学 東京千住キャンパス
岩淵聡、熊野雅仁、小野景子、木村昌弘、ポピュラー撮影スポットの旬シーズン可視化 - 時空間ビジュアルデータマイニングに向けて -、画像電子学会ビジュアルコンピューティングワークショップ 2013(VCWS 2013)、2013 年 12 月 1 日、玄海ロイヤルホテル
八田圭斗、小野景子、熊野雅仁、木村昌

弘、Epinions におけるユーザ行動の分析、情報処理学会 第 10 回ネットワーク生態学シンポジウム、2013 年 9 月 2 日、かんばんの宿 有馬
斉藤和己、木村昌弘、大原剛三、元田浩、ソーシャルネットワーク上での影響を最大化するターゲットノード、人工知能学会第 27 回全国大会、2013 年 6 月 6 日、富山国際会議場
亀井貴行、小野景子、熊野雅仁、木村昌弘、階層型ディリクレ過程に基づいたソーシャルネットワークにおける未観測リンクの予測、人工知能学会 第 97 回知識ベースシステム研究会、2012 年 11 月 15 日、慶応義塾大学 日吉キャンパス来住舎
M.Kimura, Opinion Formation by Voter Models in Social Networks, Workshop on Networks: Processes and Causality, September 3, 2012, Hotel Audax, Menorca, Spain
木村昌弘、斉藤和己、大原剛三、元田浩、時間減衰ダイナミクスをもつ投票者モデルによる意見形成、人工知能学会 第 26 回国大会、2012 年 6 月 15 日、山口県教育会館
大原剛三、斉藤和己、木村昌弘、元田浩、情報拡散系列からの効率的なホットスパン検出、人工知能学会 第 25 回全国大会、2011 年 6 月 1 日、アイーナいわて 県民情報交流センター
木村昌弘、斉藤和己、大原剛三、元田浩、価値重みつき混合投票者モデルを用いた反多数派オピニオニストの抽出、人工知能学会 第 25 回全国大会、2011 年 6 月 1 日、アイーナいわて 県民情報交流センター

6 . 研究組織

(1)研究代表者

木村 昌弘 (KIMURA, Masahiro)
龍谷大学・理工学部・教授
研究者番号：10396153

(2)研究分担者

斉藤 和己 (SAITO, Kazumi)
静岡県立大学・経営情報学部・教授
研究者番号：80379544

大原 剛三 (OHARA, Kouzou)
青山学院大学・理工学部・准教授
研究者番号：30294127