

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330352

研究課題名(和文) 文脈的要因を考慮した複雑社会ネットワーク進化の数理モデリング

研究課題名(英文) Modeling complex evolution of social networks in a variety of specific contexts

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：信頼リンクとアクティビティを提供するソーシャルメディアサイトに対して信頼ネットワークの進化過程を分析する数理モデルとして、A-MAEモデル、アクティビティ評価情報を組み込む新たなNMFモデル、時間減衰TCMモデルを提案した。観測データからモデルパラメータを効率よく推定する手法を構築し、実データを用いた実験で予測性能の観点から提案モデルの有効性を実証した。さらに、ユーザ行動の特徴的な性質を示すこと、影響力のあるユーザを抽出することなど各種応用を与えた。

研究成果の概要(英文)：For analyzing evolution of trust networks in social media sites (e.g., item review sites) that offers trust-links and activities, we have proposed A-MAE model, a novel NMF model incorporating people's evaluation of users' activities and TCM model with time-decay. Also, for each of the proposed models, we have constructed an efficient method of inferring the values of model parameters from observed data. Using real social media data, we have experimentally demonstrated the effectiveness of the proposed models in terms of prediction performance, and moreover we have presented a variety of applications such as revealing several characteristic properties of user behavior for trust-link creation and efficiently finding influential users.

研究分野：知能情報学、情報数学

キーワード：社会ネットワーク分析 ネットワーク進化モデル 機械学習 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) コミュニケーションの新たなメディアとして発展し続けている Web 空間は、ソーシャルメディアの登場により様々な大規模社会ネットワークを内包し、今や現実社会に不可欠なものとして、人々の生活や意思決定に大きな影響を与えている。ソーシャルメディアユーザ間の信頼関係に基づく社会的紐帯によって構成される社会ネットワークは、情報伝搬やオピニオン形成を媒介し、信頼できる高品質なコンテンツ収集に役立つとともに、レコメンデーションシステムやバイラルマーケティングにおいても重要な役割を果たす。近年、いくつかのソーシャルメディアサイトにおいて、信頼関係に基づく社会ネットワーク情報が収集可能となっており、信頼関係の理解や予測に関する研究が注目されている。

(2) 社会ネットワークは一般に人々の行動によって時と共に変化していくため、その進化過程のモデル化は、将来の社会ネットワーク構造の予測や Web 社会さらには現実社会の生態のより深い理解などに役立つので、極めて重要である。複雑ネットワークの進化過程の確率モデルに関しては、統計物理学の分野などで様々な確率モデルが提案されているが、それらの研究の多くは、ネットワーク進化を、それを取り巻く文脈（外部要因）とは独立に、それに内在するもののみモデル化していた。しかしながら、社会ネットワークが形成されていくとき、文脈がその構造に大きな影響を与えうる。実際、Crandall らは Wikipedia 編集者達のインタラクションとページ編集アクティビティを調べ、社会的紐帯とアクティビティの間に相互作用が存在することを明らかにした。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、Web 空間における社会ネットワーク進化とユーザアクティビティとの相互作用に関して、機械学習アプローチに基づいてその予測可能な数理モデルを構築し、その挙動を解析することを目的とする。特に、時間減衰ダイナミクスとユーザの潜在的特性を組み込んだより詳細な相互作用の確率モデルを構築することにより、現実の現象を十分な精度で説明・予測することを目指す。

(2) 構築した数理モデルに基づいて、社会ネットワークにおける未観測の信頼リンクの推定法および異常検出法を構築し評価する。また、様々なソーシャルメディアデータに対し、構築した数理モデルを利用して、社会ネットワークのコミュニティ構造やユーザ達の潜在的特性の構造の発見などの知識発見、商品や友人などのレコメンデーション、効果的なバイラルマーケティングなど、各種応用を提案し評価する。

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、「ユーザからユーザへ結ばれる社会的紐帯（信頼リンク）の時系列データ」と「ユーザが行うアクティビティの時系列データ」を収集して、本研究での評価用データを作成するとともに、統計分析を行いそれらの統計的性質を明らかにする。

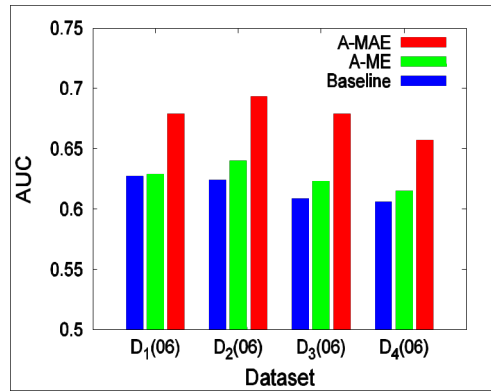
(2) Web 空間における社会ネットワーク進化とアクティビティの相互作用に対して、実データを十分な精度で説明する数理モデルを構築し、そのモデルパラメータの推定法を確立する。Crandall らによる社会的紐帯とアクティビティの相互作用の確率過程モデルを出発点とし、時間減衰ダイナミクスとユーザの潜在的特性を組み込むことにより、より詳細で適切な相互作用の確率過程モデルを構築していく。また、実データの統計分析の結果に基づいて、数理モデルのさらなる拡張および修正を進めていく。構築した数理モデルは、信頼リンクとアクティビティの予測性能および、それらのもつ統計的性質の再現性により評価する。

(3) 構築した数理モデルを土台として、モデルの挙動の数理解析および、社会ネットワークにおける異常検出法や知識発見法など各種応用を提案し、収集したソーシャルメディアの実データを用いてそれら进行评估する。

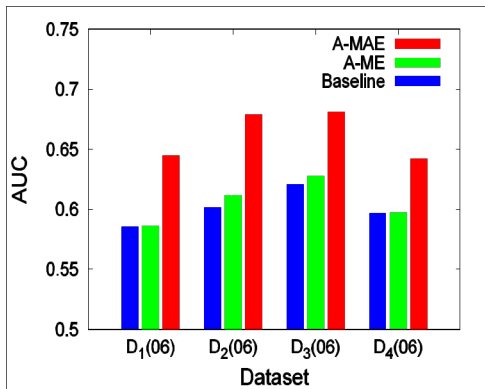
4. 研究成果

(1) ソーシャルメディアにおける信頼ネットワークの進化過程を媒介者の観点から分析するために、媒介者が存在するユーザ間の信頼リンク生成ダイナミクスを分析するモデルとして、自然な確率過程モデル A-ME を考え、その拡張である A-MAE モデルを提案した。A-ME モデルと A-MAE モデルに対して、モデルパラメータの値を信頼リンクとユーザアクティビティの観測系列データから推定する効率的な手法を構築し、それらを用いてアイテムレビューサイト Epinions の実データを分析した。媒介者価値のスコアリングに関しては、すべての媒介者を同等に扱う単純法と媒介者をその信頼リンクの数で価値づけする A-A 法という、2 つの代表的な手法を用いた。まず、媒介者が存在する 2 ユーザ間における近い将来の信頼リンク予測に関して、A-ME モデルと A-MAE モデルを評価した（図 1 参照）。A-ME モデルを媒介者価値スコアリングの仕方に対応したベースライン法と比較することにより、媒介者タイプ情報を組み込むことは、信頼リンク生成ダイナミクスのモデル化において効果があることを実証した。また、どちらの媒介者価値スコアリング法を用いても、A-ME モデルに比べて A-MAE モデルは信頼リンク予測精度において大幅な性能向上を実現できることを示し、媒介者アクティビティ共起情報とそれに基づ

く媒介者タイプ情報を組み込むことは、信頼リンク生成ダイナミクスのモデル化において非常に有効であることを実証した。また、異なる媒介者アクティビティや異なる媒介者タイプは、共に信頼リンク生成に与える影響も異なるということを実証した。さらに、A-ME モデルと A-MAE モデルを用いて、媒介者アクティビティ共起と媒介者タイプの観点から Epinions での信頼リンク生成に関するいくつかの特徴的な性質を明らかにした。



(a) 単純法



(b) A-A 法

図 1 . A-MAE モデルの評価結果

(2) アイテムレビューサイトにおいて、ユーザ間の信頼リンクを予測する問題を論じた。このような問題の解決法として、近年、信頼リンク情報とユーザアクティビティ情報を用いた非負値行列分解(NMF)法である hTrust 法の有効性が示されている。ここに、アイテムレビューサイトにおけるユーザアクティビティは、アイテムに対するレビューや評点の投稿を意味している。アイテムレビューサイトの多くは、有益なレビューに感謝メッセージを投稿できる機能を備えており、ユーザアクティビティに対する人々の評価情報も観測可能である。したがって、信頼リンク予測における NMF 法を改良することを目指して、信頼リンク情報とユーザアクティビティ情報とともに、ユーザアクティビティに対する人々の評価情報をも組み込んだ新たな NMF 法を提案した。そして、アイテムレビューサイ

ト Epinions の実データを用いた実験で提案法を評価した。まず、受け取った感謝メッセージ数と受け取った信頼リンク数の間に相関があることを示し、アクティビティ評価情報を組み込むことが有効である可能性を示した。次に、信頼リンク予測において、提案法が hTrust 法やそれに類似した NMF 法である JLCMF 法および JLCMF2 法に比べて高性能であることを示し(図 2 参照)、アクティビティ評価情報を組み込むことの重要性および、2 種類の潜在因子(潜在 P 因子および潜在 T 因子)を適切に融合する提案手法の有効性を実証した。さらに、提案手法をユーザ行動分析に応用し、Epinions におけるユーザ行動のいくつかの特徴的な性質を明らかにした。

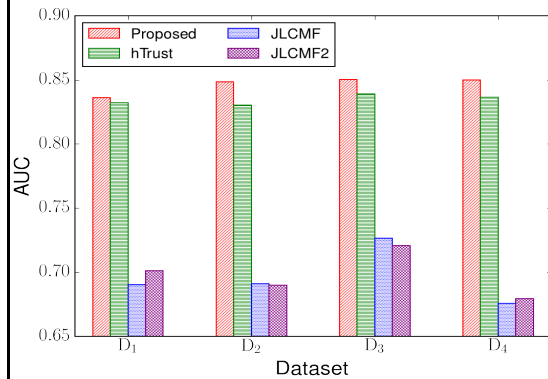
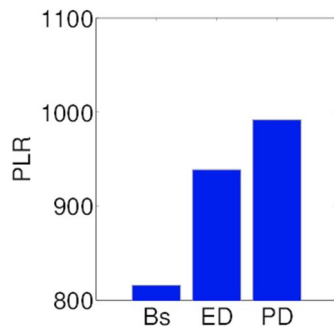


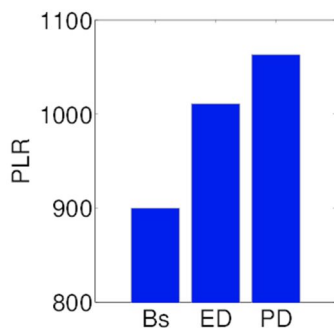
図 2 . 提案 NMF モデルの評価結果

(3) ソーシャルメディアサイトでのユーザ間のコミュニケーションによる信頼ネットワーク進化に対し、その有効なモデルの構築を目指して、社会的信頼リンク生成における媒介オブジェクトの時間減衰とカテゴリの効果を分析できる新たなモデル(時間減衰 TCM モデル)を提案した。まず、媒介オブジェクトの媒介価値の決定に対してナイーブ法と A-A 法を導入し、社会的信頼リンクの生成の基本モデルとして従来のリンク予測法とみなされ得る基本 TCM モデルを導入した。そして時間減衰 TCM モデルとして、指数減衰とべき乗減衰の時間減衰関数を導入することにより基本 TCM モデルを拡張し、それぞれ指数減衰 TCM モデルとべき乗減衰 TCM モデルを構築した。さらに、社会的信頼リンク群とそれらに対応する媒介オブジェクト群の観測データから提案モデルを学習する効率的な手法を与え、それに基づいてアイテムレビューサイトの Epinions と @cosme における社会的信頼リンク生成を分析した。まず、提案モデルは基本 TCM モデルよりも予測精度が非常に高いことを示し(図 3 (@cosme データによる評価結果)参照)、時間減衰を組み込むことの有効性を実証した。また、媒介価値の決定においては A-A 法がナイーブ法よりもより有効であり、べき乗減衰 TCM モデルは指数減衰 TCM モデルよりも予測精度が高いことを示した(図 3 参照)。さらに、ユーザの社会的信頼リンク生成行動に関する特徴的な性質

質を明らかにした。図4は、A-A法の下でべき乗減衰TCMモデルを用い、@cosmeにおけるユーザ行動を分析した結果である。媒介ユーザは媒介アイテムよりも影響力が強く、媒介アイテムの時間減衰率は媒介ユーザのそれよりも高い傾向があることがわかる。よって、本分析法により、多くのユーザ達と異なり特徴的な行動をするユーザを同定することも可能である(図4参照)。



(a) 単純法



(b) A-A法

図3. 時間減衰TCMモデルの評価結果 (Bs: ベースライン法, ED: 指数減衰TCMモデル, PD: べき乗減衰TCMモデル)

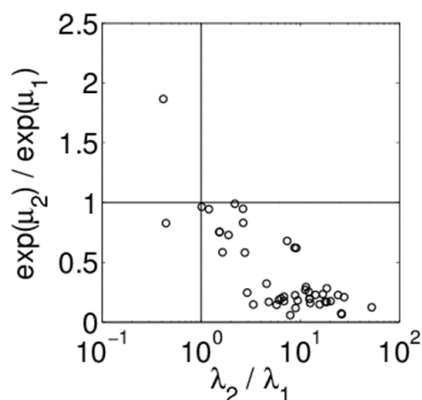


図4. 提案法によるユーザ行動の分析結果 (μ_1 : 媒介ユーザの時間減衰率, μ_2 : 媒介アイテムの時間減衰率, $\exp(\mu_1)$: 媒介ユーザの影響度, $\exp(\mu_2)$: 媒介アイテムの影響度)

(4) 大規模な社会ネットワークにおいてSIRモデルでの情報拡散に関する各ノードの影響度を効率よく推定するために、モンテカルロ・シミュレーションを通じて推定するよりも3桁以上速い手法として知られているポンドパーコレーション(BP)法に対し、冗長辺プルーニング(REP)と周辺成分プルーニング(MCP)を組み込む新たな手法を提案した。本アプローチは、既存の多くの手法と異なり、情報拡散の確率モデルであるSIRモデルに近似や仮定を課さないものである。約4万ノードおよび約100万ノードをもつ大規模な実社会ネットワークデータ(@cosmeネットワークおよびTwitterネットワークのデータ)を用いた実験により、提案法は既存のBP法をさらに1桁高速化できることを示した(図5(Twitterネットワークデータによる評価結果)参照)。また、提案法を用いて大規模な社会ネットワークを分析することにより、ネットワーク構造が異なればepidemic thresholdは異なること、ノード影響度は既存のネットワーク中心性の概念で抽出できないような有力ノード群を同定できることを実証した。さらに、人工データを用いた実験により、提案法の性能に影響するいくつかの重要な要因を同定した。

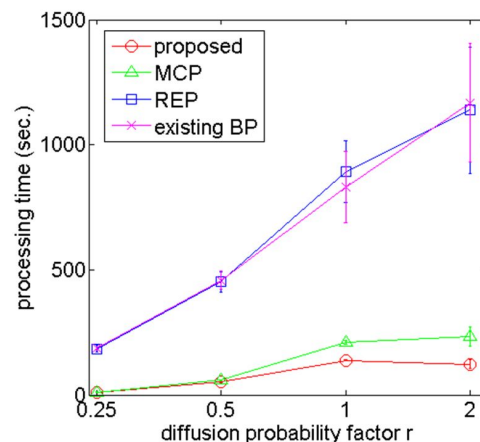


図5. 提案する影響度推定法の評価結果

(5) 社会ネットワークでの情報拡散において影響力が強いノードの新たなタイプとして、それを取り除けば情報の普及率が大きく低下するようなノードを超媒介者と定義し、超媒介者ノードを効率よく同定する手法を提案した。超媒介者ノードにはモデル主導型とデータ主導型の2つの定義が可能である。前者は、情報拡散モデルを仮定し、平均影響度の差を最大にするような除去ノードを見つける問題として定式化される。後者は、情報拡散に関する大量の観測データを必要とし、長い拡散系列には頻りに現れるが短い拡散系列にはほとんど現れないようなノードを見つける問題として定式化される。実社会ネットワークを用いた実験により、超媒介者

ノードは、これら2つの定義でどのように異なるか、また、既存のネットワーク中心性とどのように関係しているかを明らかにした。特に、モデル主導型の超媒介者度は、情報拡散の影響度や被影響度およびデータ主導型の超媒介者度と比べてノード分離性が極めて高いこと、また、モデル主導型の超媒介者ノードは、データ主導型の超媒介者ノードと異なり、情報拡散の影響度が被影響度のどちらかが高いこと、さらに、データ主導型の超媒介者ノードは媒介中心性とも相関があるが、その強さはモデルの拡散確率に依存することを示した。

(6) アイテムレビューサイトにおいて、アイテムに対するレビューの評点情報から各ユーザの影響度を投票者モデルに基づいて効率よく推定する手法を提案した。アイテムレビューサイトの@cosmeと「あにこれ」を用いた実験で提案する影響度の有効性を評価した。特に、PageRank法とHITS法と比較し、提案する影響度が高いユーザの評点と、そのユーザの後にレビューしたユーザの評点が同じになる傾向があることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

H. Takahashi and M. Kimura, Analyzing time-decay effects of mediating objects in creating trust links, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (New Frontiers in Mining Complex Patterns)*, 査読有, Vol.10312, 2017, 印刷中.

M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Speeding-up node influence computation for huge social networks, *International Journal of Data Science and Analytics*, 査読有, Vol.1, 2016, pp.3-16,

DOI: 10.1007/s41060-015-0001-y.

K. Saito, M. Kimura, K. Ohara, and H. Motoda, Super mediator - A new centrality measure of node importance for information diffusion over social network, *Information Sciences*, 査読有, Vol.329, 2016, pp.985-1000,

DOI: 10.1016/j.ins.2015.03.034.

K. Matsutani, M. Kumano, M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Combining activity-evaluation information with NMF for trust-link prediction in social media, *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Big Data*, 査読有, 2015, pp.2263-2272,

DOI: 10.1109/BigData.2015.7364015.

八田圭斗, 熊野雅仁, 木村昌弘, 斉藤和巳, 大原剛三, 元田浩, ソーシャルメデ

ィアでの信頼ネットワーク進化における媒介者アクティビティ効果の分析, *情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用*, 査読有, Vol.8, 2015, pp.44-56.

K. Saito, M. Kimura, K. Ohara, and H. Motoda, Efficient learning of user conformity on review score, *Lecture Notes in Computer Science (Social Computing, Behavioral Cultural Modeling, and Prediction)*, 査読有, Vol.9021, 2015, pp.182-192,

DOI: 10.1007/978-3-319-16268-3_19.

K. Hatta, M. Kumano, M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Analyzing mediator-activity effects for trust-network evolution in social media, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (PRICAI 2014: Trends in Artificial Intelligence)*, 査読有, Vol.8862, 2014, pp.297-308,

DOI: 10.1007/978-3-319-13560-1_24.

M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Efficient analysis of node influence based on SIR model over huge complex networks, *Proceedings of the 2014 International Conference on Data Science and Advanced Analytics*, 査読有, 2014, pp.216-222,

DOI: 10.1109/DSAA.2014.7058076.

〔学会発表〕(計18件)

高橋浩規, 木村昌弘, 信頼リンク生成における媒介オブジェクトの時間減衰効果の分析, 人工知能学会第109回知識ベースシステム研究会, 2016年11月10日, 慶應義塾大学(神奈川県横浜市).

松谷貴司, 熊野雅仁, 木村昌弘, 斉藤和巳, 大原剛三, 元田浩, アクティビティ評価情報とNMFの融合によるソーシャルメディアの信頼リンク予測, 人工知能学会合同研究会2016(2015年度研究会優秀賞 記念講演), 2016年11月10日, 慶應義塾大学(神奈川県横浜市).

H. Takahashi and M. Kimura, Analyzing time-decay effects of mediating objects in creating trust links, *ECML-PKDD 2016 Workshop (Fifth International Workshop on New Frontiers in Mining Complex Patterns)*, 2016年9月19日, リーヴァ・デル・ガルダ(イタリア).

松谷貴司, 熊野雅仁, 木村昌弘, 斉藤和巳, 大原剛三, 元田浩, アクティビティ評価情報とNMFの融合によるソーシャルメディアの信頼リンク予測, 人工知能学会第106回知識ベースシステム研究会, 2015年11月12日, 慶應義塾大学(神奈川県横浜市).

K. Matsutani, M. Kumano, M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda,

Combining activity-evaluation information with NMF for trust-link prediction in social media, IEEE Big Data 2015 Workshop (Mining Big Data in Social Networks), 2015年10月29日, サンタクララ (アメリカ) .

K. Saito, M. Kimura, K. Ohara, and H. Motoda, Efficient learning of user conformity on review score, 2015 International Conference on Social Computing, Behavioral Cultural Modeling, and Prediction, 2015年4月3日, ワシントン DC (アメリカ) .

八田圭斗, 熊野雅仁, 木村昌弘, 斉藤和巳, 大原剛三, 元田浩, ソーシャルメディアでの信頼ネットワーク進化における媒介者アクティビティ効果の分析, 情報処理学会第101回数理モデル化と問題解決研究会, 2014年12月9日, 奈良女子大学 (奈良県奈良市) .

K. Hatta, M. Kumano, M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Analyzing mediator-activity effects for trust-network evolution in social media, 2014年12月4日, ゴールドコースト (オーストラリア) .

M. Kimura, K. Saito, K. Ohara, and H. Motoda, Efficient analysis of node influence based on SIR model over huge complex networks, 2014 International Conference on Data Science and Advanced Analytics, 2014年10月31日, 上海 (中国) .

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 和巳 (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・教授
研究者番号: 30294127