

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K15985

研究課題名(和文) インターネットを通じたユーザ連携促進と集団誘導を実現するための階層型情報伝搬技術

研究課題名(英文) Hierarchical Information Propagation Technology for Effective User Cooperating and Community Leading via the Internet

研究代表者

作元 雄輔 (Sakamoto, Yusuke)

首都大学東京・システムデザイン学部・助教

研究者番号：30598785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：インターネットを通じた情報発信や情報収集は、ユーザ同士の様々な協働活動を支援し、現代社会に成長をもたらす原動力となっている。本研究では、社会を加速度的に発展させることを目的に、インターネットを通じたユーザ連携の促進と適切な集団誘導を実現するための階層型情報伝搬技術の構築を目指す。そのために、まず、ユーザレベルと集団レベルを結びつける階層型の数理モデルを構築した。また、構築したモデルを解析することで、ユーザと集団の相互関係を明らかにした。さらに、明らかにした相互関係に基づいて階層型情報伝搬技術の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：People interaction via social media in the Internet accelerates the cooperation among them, and becomes growth engine of the modern society. The objective of this research is to build the hierarchical information propagation technology for effective user cooperating and community leading via the Internet. To accomplish the objective, I first make a hierarchical model of Internet users and communities. Next, I clarify the relationship between the behavior of users and the behavior of communities. Finally, utilizing the clarified relationship, I discuss the hierarchical information propagation technology for effective user cooperating and community leading via the Internet.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：インターネット ソーシャルメディア 社会ネットワーク 口コミ 階層性 情報伝搬

1. 研究開始当初の背景

インターネット技術が急速に進歩・普及し、インターネット上で SNS やブログなどを通じた情報発信や情報収集が活発に行われている。これらの情報発信・情報収集による情報の伝搬はインターネットユーザ同士での様々な協働活動を支援し、現代社会に成長をもたらす原動力の一つとなっている。したがって、社会を加速度的に発展させていくために、インターネットにおける情報伝搬を効率化し、ユーザ連携を促進させることが求められている。ただし、誤った方向へのユーザ連携の促進は社会全体に甚大な影響を及ぼす可能性がある。例えば、インターネットの情報に基づいた買占め現象は誤った方向でのユーザ連携の促進と捉えることができる。そのため、ユーザ連携を促進させつつもユーザ集団を適切な方向に誘導するための情報伝搬技術が必要である。

そのような情報伝搬技術を構築するためには、まずは、(1)ユーザレベルでの振る舞いと集団レベルでの振る舞いを結びつけ、(2)各階層の相互関係を含めた統一的な理解を得た上で、(3)どのようにユーザや集団にフィードバックを与えるかを検討することが重要である。

2. 研究の目的

ユーザ連携の促進とユーザ集団の適切な誘導を両立できる技術を構築するために、以下の3つの課題に取り組む。

- (1) ユーザの振る舞いと集団的性質の相互関係を理解するための階層型数理モデルの構築
- (2) 構築した階層型数理モデルの解析によるユーザと集団の相互関係の解明
- (3) ユーザと集団の相互関係に基づいた情報伝搬技術の検討

3. 研究の方法

課題1での階層型数理モデルを構築するために、まず、ユーザの振る舞いとそれに基づくユーザ間の相互作用をモデル化する。インターネットを通じて行われているユーザの情報交換を踏まえると、ユーザ間の相互作用は同調と反発(例えば、SNSの書き込みに対する賞賛や非難)に大別できる。同調の際には同じ意見を取ろうとする。一方で、反発の際には異なる意見を取ろうとする。このようなユーザの振る舞いと他ユーザ間との相互作用の連鎖によって形成される集団(コミュニティ)が階層型数理モデルの上位層として整理される。

課題2においては、課題1で構築した階層型数理モデルを解析し、ユーザ間の相互作用がもたらす集団構造を明らかにすることで、階層型数理モデルにおけるユーザと集団の

相互関係を理解する。

課題3においては、明らかにしたユーザと集団の相互関係に基づき、それらの階層において効果的なユーザ連携と集団誘導を実現するための技術を検討する。

4. 研究成果

まず、課題1の成果であるユーザの振る舞いと集団の振る舞いを記述する階層型数理モデルについて説明する。

ユーザは、次で定義される社会ネットワーク $G=(V,E)$ のノードとして定義される。ここで、 V はユーザ(ノード)の集合であり、 E は二者関係(リンク)の集合である。 $(i,j) \in E$ ならば、ユーザ i および j に関係があることを意味する。その際のリンクの重み w_{ij} は、二者 (i,j) 間の関係性の度合いを表す(ただし、 $w_{ij} = w_{ji}$)。また、個人 i と関係性を持つユーザ j ($w_{ij} \neq 0$) の集合を ∂i で与える。もし、ユーザ i と j がインターネットを通じて同調の相互作用を行う関係にある場合は $w_{ij} > 0$ とし、逆に、反発する関係にある場合は $w_{ij} < 0$ としてモデル化できる。

ユーザ i は内部状態として自身の意見を持ち、その状態を実数変数 x_i によって表す。ユーザ i は、インターネットを通じた情報交換により周囲の意見 x_j ($j \in \partial i$) に基づいて自身の意見 x_i を決める。その際に、同調関係 ($w_{ij} > 0$) にある個人 j と同じ意見を取りつつ、反発関係 ($w_{ij} < 0$) にある個人 j とは距離の離れた意見が取れるようにする ($j \in \partial i$)。このようなユーザ間の相互作用を数理的に扱うために、図1に示すような意見差 $|x_i - x_j|$ を変数とするポテンシャル関数 ϕ_{ij} を定義し、各ユーザは周囲の状態を踏まえて、次の Φ_i を最小化するように自身の意見を決定するとしてモデル化した。

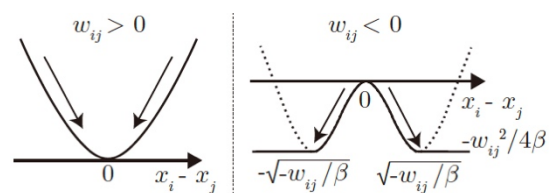


図1: ユーザ i および j に対するポテンシャル関数 ϕ_{ij}

上記のユーザモデルに基づいて各ユーザが相互作用を繰り返した結果、同じ内部状態(意見)を持つ集合(コミュニティ)をユーザ集団としてモデル化した。このユーザモデルは、文献[Ref1]で扱っているものよりも一般的なモデルである。特に、文献[Ref2]では各ユーザは2種類の状態しか取れないが本研究では各ユーザは2種類以上の状態を取るように拡張している。

[Ref1] C. Altafini, "Consensus problems on networks with antagonistic interactions consensus problems on networks with antagonistic interactions," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 58, pp. 935-946, Apr. 2013

図 2(a) にユーザの相互作用モデルに基づく数値シミュレーション結果を示す. この数値シミュレーションでは, 図 2(b)に示す社会ネットワーク (ユーザ数=23) を用いた. 図 2(a)を見ると, ユーザの相互作用の結果, ユーザが 4 つの集団に分かれることが分かる.

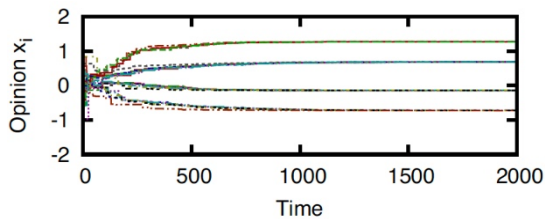


図 2(a): ユーザの相互作用モデルに基づく各ユーザの意見 x_i の時間変化

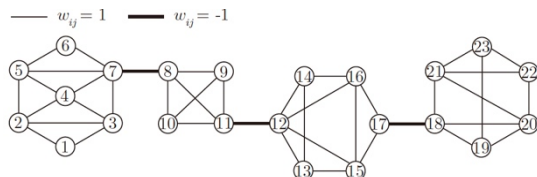


図 2(b): 社会ネットワークの例 (ユーザ数 = 23)

課題 2 においては, 課題 1 で構築したユーザレベルおよび集団レベルの振る舞いを記述できる階層型数理モデルに対し, グラフ理論的および力学な解析を行い, それらの階層間の相互関係を解明する. ここでは, 各ユーザの関係性の組合せと安定した集団構造の形成の可否の関係について着目する. 安定した集団構造を形成するためには, 全ユーザが満足できなければならない. そのため, 各ユーザの関係性が与えられた時に, 安定した集団構造が形成できる条件として次を導出した.

[条件] 社会ネットワーク G において $w_{ij} < 0$ となるリンク数が 1 である閉路 c が存在しない.

詳細な導出過程については, 主な発表論文 [学会発表の 3] を御参照いただきたい.

図 3 に示す三者の社会ネットワークを用いて, 導出した安定した集団構造を形成する条件について詳しく説明する. この図に示すケース 1~4 の例では, $w_{ij} < 0$ となるリンクをそれぞれ 0, 1, 2 および 3 個有する閉路が存在する. 上記の条件と図 3 に示す例とを照らし合わせてみると, ケース 2 以外では安定した集団構造を形成できることになる. 図 2(b) は条件を満たす社会ネットワークであり, 図 2(a) を見ると安定した集団構造を形成できていることが分かる.

また, 課題 2 で明らかにした条件は Heider や Harary によって古くから議論されている事実とは異なり, その点においても本研究は重要な意味を持つ. Heider や Harary らは反発関係にある場合に, 正反対の意見を取らなければならないという本研究よりも強い制約を置いており, その結果, 図 3 に示す

ケース 2 だけでなくケース 4 においても安定した集団構造は形成できないと結論づけている. しかし, 反発関係にある場合は, 本研究で扱っているユーザモデルの制約(ある程度離れた意見を取る)のほうが自然であり, 得られた結果はより現実に適合していると言える. したがって, 本研究で明らかにした条件は, 本研究の目的だけではなく一般的な人の相互作用が関わる問題に対しても広く有用であると考えられる.

[Ref2] F. Heider, "Attitudes and cognitive organization," The Journal of psychology, vol. 21, no. 1, pp. 107-112, 1946.

[Ref3] D. Cartwright and F. Harary, "Structural balance: a generalization of heider's theory," Psychological review, vol. 63, p. 277, Sept. 1956.

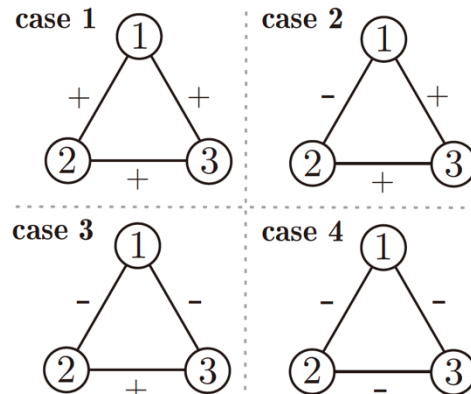


図 3: 三者の社会ネットワークの例

課題 3 では, 課題 2 で明らかにしたユーザと集団の相互関係に基づいて, ユーザ間連携の促進と集団の適切な誘導を実現する情報伝搬技術について検討する.

効率的な情報伝搬を行い, ユーザ連携を促進させるためには, ユーザ全体を同調関係で構成される集団(コミュニティ)に分割し, 集団レベルとユーザレベルで階層的に情報を伝搬させることが望ましい. 課題 2 で明らかにした条件を満たせば, そのようなコミュニティを集団としてユーザ全体を分割できる. ただし, 各ユーザペアの関係性を調べた結果, 条件を満たさない場合には, 仮想的なユーザ(ソーシャルボットなど)を追加することにより, 社会ネットワークが条件を満たすように構造を変容させればよい. 近年, プログラムによって情報発信を行うソーシャルボットの働きが注目されており [Ref4], 本研究はソーシャルボットをユーザ連携の促進に活用しようとする応用例の一つとして位置付けられる.

[Ref4] E. Ferrara, et al. "The rise of social bots," Communications of the ACM vol. 59, no. 7, pp.96-104, 2016.

ユーザ全体をコミュニティという集団に分割できればユーザ連携を促進させるだけではなく, 集団の適切な誘導も容易に行える. 課題 2 で明らかにした結果を踏まえると, コ

コミュニティ内の各ユーザは同じ内部状態(意見)を有する. そのため, コミュニティの状態を容易に把握でき, 適切な誘導を実現できる.

今後の展望としては, 課題2で明らかにした解析結果を踏まえて, 様々なソーシャルメディアサービスやより良い社会制度の設計に応用することを検討している. また, 課題3で検討した階層型の情報伝搬技術を実装し, 実社会における有効性を評価する予定である.

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 5 件)

1. Yusuke Sakumoto, Masaki Aida, and Hideyuki Shimonishi, "Adaptive Function to Ensure Robustness of MCMC-Based Autonomous Decentralized Control Mechanism against Changing Environment," *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 6, pp. 887-896, Nov. 2016 (DOI:10.2197/ipsjjip.24.887) [査読有]
2. Yusuke Sakumoto and Hiroyuki Ohsaki, "Fluid-Based Analysis for Understanding TCP Performance on Scale-Free Structure," *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 4, pp. 660-668, July 2016 (DOI:10.2197/ipsjjip.24.660) [査読有]
3. 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. 99-B, No. 2, pp. 402-411, Feb. 2016. (DOI:10.1587/transcom.2015EBP3256) [査読有]
4. Yusuke Sakumoto, Masaki Aida, and Hideyuki Shimonishi, "Autonomous Decentralized Control for Indirectly Controlling System Performance Variable of Large-Scale and Wide-Area Networks," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E98-B, No. 11, pp. 2248-2258, Nov. 2015. (DOI:10.1587/transcom.E98.B.2248) [査読有]
5. Masaya Yokota, Yusuke Sakumoto, and Masaki Aida, "Design and Evaluation of a Method for Enhancing Robustness of MCMC-Based Autonomous Decentralized Mechanism for VM Assignment Problem," *International Journal of Recent Engineering Science*, vol. 2, no. 5, pp. 29-37, Oct. 2015. (URL:<http://www.ijresonline.com/archive/s/volume-2-issue-5/IJRES-V2I5P105.pdf>) [査読有]

[学会発表] (計 19 件)

1. 作元 雄輔, 会田 雅樹, "ランダム行列理論を利用した社会ネットワークにおけるフィードバック効果の解析," 電子情報通信学会 総合大会 講演論文集 (BS-6-8), pp.S123-S124, Mar. 2018.
2. Yusuke Sakumoto and Hiroyuki Ohsaki, "First Meeting Time Formula of Two Random Walkers toward Understanding Epidemic Information Dissemination," in *Proceedings of the 41th IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2017)*, pp.262-263, July 2017.
3. Yusuke Sakumoto and Masaki Aida, "A Decision-Making Model with Relaxed Dissensus Condition toward Consensus Building via Social Media," in *Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Communications (ICC 2017)*, pp.1-6, May 2017.
4. 作元 雄輔, 会田 雅樹, "ロコミを踏まえた合意形成における意見の不一致条件を緩和したモデルの考察," 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, 技術研究報告 (CQ2016-76), pp. 17-22, Nov. 2016.
5. Yusuke Sakumoto and Ittetsu Taniguchi, "Proposal for Fast Directional Energy Interchange Used in MCMC-Based Autonomous Decentralized Mechanism toward Resilient Microgrid," in *Proceedings of the 2016 Design, Automation and Test in Europe (DATE 2016)*, pp. 237-240, Mar. 2016.
6. 作元 雄輔, 会田 雅樹, "個人間の対立・協調関係を表す拡張ラプラシアン行列を用いたロコミの大域的効果の定式化," 電子情報通信学会 第 9 回 通信行動工学研究会, Jan. 2016.
7. 作元 雄輔, 会田 雅樹, "ロコミの大域的効果に対する分析結果の妥当性検証に向けた英国支持政党の数値実験," 電子情報通信学会 ソサイエティ大会 講演論文集 (B-7-30), pp. 101, Sep. 2015.
8. Yusuke Sakumoto and Hiroyuki Ohsaki, "On the Impact of Scale-Free Structure on End-to-End TCP Performance Using Fluid-Based Analysis," in *Proceedings of the 39th IEEE Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2015)*, pp. 652-653, July 2015.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ :

<http://sin.sd.tmu.ac.jp/~yusuke/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

作元 雄輔 (SAKUMOTO Yusuke)

首都大学東京・システムデザイン学部・助教

研究者番号：30598785

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

該当なし