

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H01785

研究課題名（和文）多層ネットワークにおける情報伝搬の解明と制御

研究課題名（英文）Understanding and controlling information propagation in multilayer networks

研究代表者

村田 剛志（Murata, Tsuyoshi）

東京工業大学・情報理工学院・教授

研究者番号：90242289

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：鉄道などの交通網における物流や人の移動、ソーシャルメディアによる口コミなどのネットワークにおいて災害の連鎖を防いだり有益な情報を広めたりすることは、現実の社会インフラにおける喫緊の課題である。研究実績としては、論文誌ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, Future Generation Computer Systems, IEEE Access, Information Science等での論文採択や、国際会議での論文採択がある。また本研究課題を契機として、グラフエンベディングやグラフニューラルネットワークの成果も出てきている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題を契機として、グラフを対象とした深層学習についての研究に着手しており、グラフエンベディングやグラフニューラルネットワークにおける研究成果に結びついてきている。特に2022年にオーム社から出版した「グラフニューラルネットワーク：PyTorchによる実装」は、この分野における和書としては日本で最初のものであり、注目を集めた。

研究成果の概要（英文）：Preventing cascading disasters and spreading beneficial information through transportation networks such as railways, roads, and social media networks, is an urgent issue in the present social infrastructures. As for the achievements of this research project, papers have been accepted in academic journals such as ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, Future Generation Computer Systems, IEEE Access, and Information Science, and at some international conferences. Additionally, this research theme has also led to results in graph embedding and graph neural networks.

研究分野：知能情報学

キーワード：多層ネットワーク 情報伝搬

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鉄道や自動車などの交通網における物流や人の移動、Facebook や Twitter などの複数のソーシャルメディアによる口コミなど、複数の関係性で構成されるネットワーク(以下、「多層ネットワーク」と呼ぶ)における情報伝搬は現実の様々な場面において見受けられる。例えば、「パンデミックを防ぐために限られたワクチンをどの人に投与するか」「口コミで情報を広めるために誰から発信させるか」など、多層ネットワークにおける問題解決のための研究は十分とは言えない。多層ネットワークの挙動が災害に結びついた例として、2003 年におけるイタリアの大規模停電が挙げられる。電力ネットワークとインターネットという特性の異なるネットワークが相互に結びついており、ある発電所の停止がきっかけとなってインターネット上のノード故障が起こり、それがさらなる発電所の停止を引き起こすという災害の連鎖によって、大規模停電が発生してしまった。個々のネットワークを別々に分析したり、全てを重ね合わせたネットワークを分析したりするのは、このような挙動を解明して制御することは困難である。

複雑ネットワークの分野において、複数のネットワークが結びついた多層ネットワークの研究はホットな話題になってきている。国際会議 NetSci において Porter や Arena による招待講演やチュートリアルが行われたり、Kivela らや Boccaletti らによるサーベイ論文が相次いで出版されたりしている。これらの物理学者や数学者による研究の多くは、全ての層に同一の頂点集合が出現するマルチプレックスなどの数学的に扱いやすいものを対象としており、パーコレーションや相転移などの物理現象の解明を主たる目的としている。

そのような物理学的・数学的な研究ももちろん重要であるが、現実世界における構造データはより複雑であり、層ごとに頂点集合が異なっていたり動的に変化したりするものもある。現実の多層ネットワークにおける情報伝搬を解明して制御するためには、アルゴリズムの高速化・高精度化やシミュレーションによる検証、インタラクティブな分析など、情報学からの貢献が極めて重要である。本研究応募者はこれまで現実の多様なネットワークの分析のための研究を進めてきている。多層ネットワークにおける情報伝搬の解明と制御のための手法を確立することは、学術的にも有益であるとともに幅広い応用が考えられる。

2. 研究の目的

鉄道や自動車などの交通網における物流や人の移動、Facebook や Twitter などの複数のソーシャルメディアによる口コミなど、複数の関係性で構成されるネットワークにおける情報伝搬は現実の様々な場面において見受けられる。そのようなネットワークにおいて災害の連鎖を防いだり有益な情報を広めたりすることは、現実の社会インフラにおける喫緊の課題である。本研究「多層ネットワークにおける情報伝搬の解明と制御」では、複数の関係性で構成される多層ネットワークに注目する。各層のネットワークの構造やそれらの相互作用を分析することによって、多層ネットワークにおける情報伝搬を解明するだけでなく制御する手法を開発することを目標とする。

1)特徴量	多層ネットワークの構造を表す特徴量(指標)を考案する。既存の特徴量の拡張だけでなく、多層ネットワークならではの新たな特徴量も考案し、現実の多層ネットワークにおける有効性を検証する。
2)アルゴリズム	多層ネットワーク分析に必要なアルゴリズムの高速化・高精度化を行う。単純ネットワークでのアルゴリズムを拡張するとともに、行列計算に基づくアルゴリズムについて効率化のための工夫を行う。
3)モデル	実験用のネットワークを人工的に作れるよう、多層ネットワークの生成過程をモデル化する。生成された人工多層ネットワークにおいて上述の特徴量を計算することで、モデルの妥当性を検証する。
4)情報伝搬解明・制御のための環境整備	多層ネットワークにおける情報伝搬の解明・制御のためのシミュレーションの環境整備を行う。
5)情報伝搬の影響最大化・最小化手法	多層ネットワーク上における情報伝搬の影響を最大化・最小化するための手法を開発して実装し、シミュレーションによって検証する。
6)インタラクティブな多層ネットワーク分析手法	背景知識を持つユーザからのフィードバックを生かして、多層ネットワークをインタラクティブに分析する手法を開発して実装する。

### 3．研究の方法

本研究は、多層ネットワークにおける情報伝搬を解明し制御することを目標とする。例えば、「(前ページで述べたような)大規模停電をどう防ぐか」「パンデミックを防ぐために限られたワクチンをどの人に投与するか」「口コミで情報を広めるために誰から発信させるか」「交通網のある路線のトラブル時に他のどの路線が最も影響を受けるか」などの現実的な問題解決のための手法を確立することを目指す。具体的には、1)特徴量 2)アルゴリズム 3)モデル 4)情報伝搬解明・制御のための環境整備 5)情報伝搬の影響最大化・最小化手法 6)インタラクティブな多層ネットワーク分析手法 の各項目について研究を進めた。

### 4．研究成果

研究実績としては、論文誌 ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, Future Generation Computer Systems, IEEE Access, Information Science 等での論文採択や、国際会議 CIKM 2019 や ACML 2020 等での論文採択などがあげられる。また、本研究課題を契機として、グラフを対象とした深層学習についての研究に着手しており、グラフエンベディングやグラフニューラルネットワークにおける研究成果に結びついてきている。特に2022年にオーム社から出版した「グラフニューラルネットワーク: PyTorch による実装」は、この分野における和書としては日本で最初のものであり、注目を集めた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hajime Miyazawa, Tsuyoshi Murata	4. 巻 944
2. 論文標題 Graph Convolutional Network with Time-based Mini-batch for Information Diffusion Prediction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The 9th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2020)	6. 最初と最後の頁 8376-8383
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_5	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 Tsuyoshi Murata, Hiroki Arihara	4. 巻 1
2. 論文標題 Embedding of Signed Networks Focusing on Both Structure and Relation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 the 11th International Conference on Complex Networks (CompleNet 2020)	6. 最初と最後の頁 60-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-40943-2_6	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 立花誠人, 村田剛志	4. 巻 34
2. 論文標題 構造特徴とグラフ畳み込みを用いたネットワークの半教師あり学習	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 B-IC2_1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.B-IC2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sunil Kumar Maurya, Liu Xin, Tsuyoshi Murata	4. 巻 1
2. 論文標題 Fast approximations of betweenness centrality with Graph Neural Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2019)	6. 最初と最後の頁 2149-2152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3357384.3358080	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsuyoshi Murata, Hokuto Koga	4. 巻 Vol.5, No.8
2. 論文標題 Extended Methods for Influence Maximization in Dynamic Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computational Social Networks	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40649-018-0056-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Eguchi Koji, Murata Tsuyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Constrained Community Detection in Multiplex Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Social Informatics (Proceedings of SocInfo 2017)	6. 最初と最後の頁 75 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-67217-5_6	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 Murata Tsuyoshi, Koga Hokuto	4. 巻 1
2. 論文標題 Methods for Influence Maximization in Dynamic Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Complex Networks & Their Applications VI (Proceedings of Complex Networks 2017)	6. 最初と最後の頁 955 ~ 966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-72150-7_77	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3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Jun Jin Choong, Xin Liu, Tsuyoshi Murata
2. 発表標題 Learning Community Structure with Variational Autoencoder
3. 学会等名 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Arie Wahyu Wijayanto, Tsuyoshi Murata
2. 発表標題 Flow-Aware Vertex Protection Strategy on Large Social Networks
3. 学会等名 The 2017 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hoang Nguyen, Tsuyoshi Murata
2. 発表標題 Motif-Aware Graph Embedding
3. 学会等名 The Third International Workshop on Representation Learning for Graphs (ReLiG 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 村田剛志	4. 発行年 2019年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 192
3. 書名 Pythonで学ぶネットワーク分析 ColaboratoryとNetworkXを使った実践入門	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------