

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26880020

研究課題名(和文) 時間発展するネットワークの解析技法の開発と時空間高解像度データ解析への応用

研究課題名(英文) Analysis method for time-evolving networks and its application to high resolution data analysis

研究代表者

島田 裕 (Shimada, Yutaka)

東京理科大学・工学部情報工学科・助教

研究者番号：50734414

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：インターネットや神経回路網，E-mailの送受信や人と人の接触行動など，現実の多様なモノとモノのつながりは，複雑ネットワークと捉えて解析することができる．これらの現実のネットワークで生じる種々の振る舞いを明らかにするためには，観測データに潜む時間的・空間的に普遍的な性質を捉える手法の開発が重要である．

本研究では，要素間の接続関係が時間とともに変化するネットワークに着目し，ネットワーク構造の変化量を捉えるためのネットワーク間距離を提案し，現実のネットワーク解析へと応用した．提案距離によって，従来の距離では捉えることのできないネットワーク構造の変化を検出可能であることを示した．

研究成果の概要(英文)：The internet, neuronal networks, sending/receiving relationship of e-mails, and human contacts are described and analyzed as complex networks. They usually evolve with time, changing their connections between vertices, and it is highly important to analyze their underlying spatio-temporal properties in observed data.

We have focused on networks whose structures vary with time, and proposed a distance that can appropriately evaluate the amount of change from the perspective of spatio-temporal structures of networks. We applied our method to mathematical models and real network data, and showed that the proposed distance can detect the properties of networks that cannot be detected by the conventional distances.

研究分野：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：複雑ネットワーク グラフ間距離 グラフラブラシアン テンポラル・ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年の情報・通信技術の目覚ましい発展によって、多数の人の移動パターンの時間的・空間的变化や、道路交通網における交通量の時空間変化、血中のタンパク質発現量の時間変化など、様々な分野で多種多様な時空間高解像度データの利用が可能となっている。これら現実のデータの多くは、頂点集合と枝集合からなる複雑ネットワークと捉えて解析することができる。複雑ネットワークによるデータ解析では、データの有する空間的な性質を捉えることが可能である一方、要素間のつながりの時間変化などの時間的性質を考慮して解析するための方法論は未だ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究では、従来の複雑ネットワーク解析法に対して、データの有する時間的・空間的性質の双方を考慮した、新たな時空間高解像度データの解析技法の基盤を構築することを目的とする。具体的には、様々なデータを複雑ネットワークとして表現し、ネットワーク構造の時間変化を捉える手法を提案することで、種々の時空間高解像度データの解析に応用する。

3. 研究の方法

ネットワーク構造の時間発展という観点から、観測データの空間的性質と時間的な性質を捉えるための手法を提案する。ネットワークの時間発展としては、時間の経過とともに生じるネットワーク中の頂点の増加・減少、および頂点間の結合関係の変化が考えられる。ネットワークの時間発展は大まかに以下の3つに分類できる。

- (a) 頂点数が単調増加するネットワーク、
- (b) 頂点数が増加・減少するネットワーク、
- (c) 結合関係のみが変化するネットワーク

例えば、科学技術論文の引用ネットワークは(a)に、インターネットやWWWは(b)に、ヒトの移動パターンやコミュニケーションを記録したヒトの流れデータは(c)に分類されると考えられる。これらのネットワークの時間発展を捉えることを目的とし、本研究では、二つのネットワーク間の距離を定義する。これにより、各時刻にネットワークの構造がどれだけ変化したのかを定量的に評価する。既にグラフ編集距離やハミング距離など、ネットワーク間の距離を与える方法が存在する。例えばグラフ編集距離では頂点/枝の移動・追加・削除の操作を繰り返し、一方のネットワークを他方のネットワークに変化させる際の最小コストを距離とする。しかし、頂点数・枝数のみに着目したこれらの手法では、ネットワーク中に存在するクラスター構造やネットワーク上の動的振る舞いに影響を及ぼすグラフ

スペクトルなどの重要な性質の時間的変化を効果的に捉えることができないという問題点がある。本研究では、ネットワーク中の結合が密な頂点集団(クラスター)に着目し、二つのネットワーク間のクラスター構造の差異を間接的にグラフのラプラス行列の固有ベクトル間の差で表現した新たな距離を定義した(図1)。クラスターはネットワーク構造を特徴付ける上で非常に重要な概念であり、ネットワーク間の違いを表す効果的な距離となりうる。提案距離の有効性を数理モデルおよび現実のネットワークを用いて検証した。

4. 研究成果

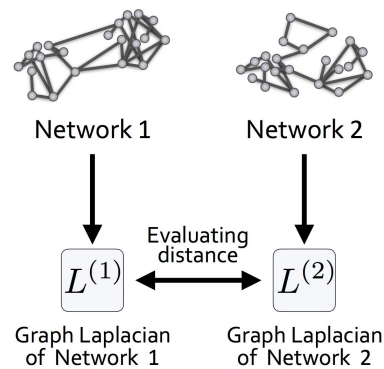


図1: ネットワーク間距離(提案法)の概念図。

(1) Watts と Strogatz によって提案された WS モデルや Barabási と Albert によって提案された BA モデルなどの数理モデルを用いて、提案手法の有効性を検証した。その結果、あるネットワークがモデルのどのパラメータ領域のネットワークに対応するのかをネットワーク間距離で検出可能であることを示した。このような、数理モデルのどのパラメータ領域で対象となるネットワークが生成されたのかを検出することは、従来のハミング距離やグラフ間の編集距離では困難である。

(2) 現実の様々なネットワーク(神経回路網・タンパク質ネットワーク・WWW・電力網・Email 送受信関係・インターネット・SNS 上の友人関係・言語ネットワークなど)に対してどのネットワークが構造的に近いのかを提案手法により定量的に評価した。その結果、ネットワークは (a) 神経回路網やタンパク質ネットワークなどの生体系から観測されたネットワーク、(b) 電力網・インターネットなどの人工システムから観測されたネットワーク、(c) 人と人の友人関係や群れにおけるイルカの関係性ネットワークなどのソーシャルネットワークと単語の共起ネットワークに大別されることがわかった(図2)。

これらの結果は、従来研究の結果とも一致しており、提案手法の有効性を間接的に示している。

(3) RFIDによって記録された人と人のコミュニケーションや移動パターンデータの解析に提案手法を応用した。学校や美術館で観測された各時点の人の流れのデータをネットワークとして表現し、提案手法によってネットワーク構造の時間変動を調査した。その結果、コンタクトネットワークの構造の変化に、観測環境ごとに固有の規則的な変動が生じることを示した。

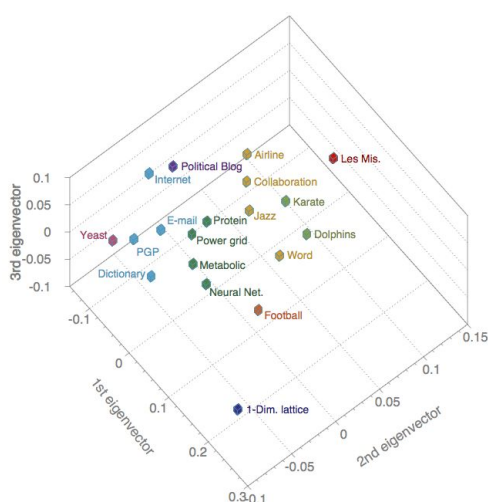


図2：ネットワーク間距離を可視化した例。
ネットワーク間の距離が満たされるように3次元ユークリッド空間に配置している。

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 3件)

- (1) Yutaka Shimada, Yoshito Hirata, Tohru Ikeguchi, Kazuyuki Aihara, “Graph distance for complex networks,” Scientific Reports, Vol. 6, 34944, 2016.
- (2) Yutaka Shimada, Emiko Takagi, Tohru Ikeguchi, “Symmetry of Lyapunov exponents in bifurcation structures of one-dimensional maps,” Chaos, Vol.26, 123119, 2016.
- (3) Kaede Naiki, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “Chaotic Responses and Chaos Synchronization in Izhikevich Neuron Model,” IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (Japanese Edition), Vol. J100-A, pp. 195–204, 2017 (in Japanese)

〔学会発表〕(計 12件)

- (1) Koshi Abe, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, and Tohru Ikeguchi, “Which vertices affect the spread of disease in temporal networks,” Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 618–621, 2016.
- (2) Mayumi Tatara, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “Analysis on Differences of Japanese and English languages by the Complex Network Theory,” Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 137–140, 2016.
- (3) Keisuke Miyata, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “Irregularity of Inter-Event Interval of Diastrophism,” Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 141–144, 2016.
- (4) Koshi Abe, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “How contact timings affect spread of disease in human interaction networks,” 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-29, 2016.
- (5) 多々良 真弓美, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「頂点間の最短距離と局所的なクラスタ係数の分布について」, 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-25, 2016.
- (6) 多々良 真弓美, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「言語ネットワークに対する複雑ネットワーク解析」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 515, NLP2015-146, pp. 23–28, 2016.
- (7) Yutaka Shimada, Tohru Ikeguchi, “Numerical Analysis on behavior of coupled maps on regular ring lattice with high degrees,” Proceedings of the IFAC Conference on Analysis and Control of Chaotic Systems, pp. 239–244, 2015.
- (8) Koshi Abe, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “Analysis on the Spread of Disease on Temporal Networks,” Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 337–340, 2015.
- (9) Tsubasa Kawai, Kantaro Fujiwara, Yutaka Shimada, Kenya Jin’no, Tohru Ikeguchi,

“Phase synchronization in chaotic oscillators induced by common noise,” Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 241–244, 2014.

(10) 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「次数の高い1次元格子上での結合写像の振舞いについて」, 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 114, No. 414, NLP2014-122, pp. 53-57, 2015.

(11) Tsubasa Kawai, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Kenya Jin'no, Tohru Ikeguchi, “Cross-correlational analysis on noise-induced synchronization of chaotic oscillators,” 2014 年 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, A-2-2, 2014.

(12) 阿部晃士, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹 「コンタクトネットワーク上での伝染病感染ダイナミクスの解析」, 2015 年 電子情報通信学会 総合大会, A-2-22, 2015.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 裕 (Yutaka SHIMADA)
東京理科大学・工学部情報工学科・助教
研究者番号：50734414

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()