

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 7 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16126

研究課題名(和文)非線形時系列解析論の拡張によるヒトとヒトの相互作用の解析と感染症流行予測への応用

研究課題名(英文)Analysis on human interaction by Nonlinear time series analysis toward the prediction of infectious disease

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) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：ネットワーク構造の時間変動を定量的に捉える手法を導入することで、従来の非線形時系列解析手法を拡張し、人と人のコミュニケーションを記録したコンタクトデータの解析に応用する。本研究では特に決定論的非線形力学系の視点から観測データの解析を行う非線形時系列解析手法を用いることで、人と人のコンタクトデータに潜む時間的・空間的性質を明らかにした。また、人と人のコンタクトによって生じる感染症の伝播に着目し、その流行規模予測への提案手法の適用可能性・有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We proposed a method for analyzing human interaction data by using a nonlinear time series analysis, where we incorporated the graph distance for complex networks into the conventional nonlinear time series analysis. Using this method, we elucidated the underlying properties of these data. We also applied our method to the prediction of infectious disease, and showed its predictability.

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 非線形時系列解析 テンポラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

RFIDなどの近距離無線通信機器の小型化・高性能化に伴い、様々な時間的・空間的に高解像度のデータが観測可能となっている。これらの通信機器の利活用事例として、人と人のコミュニケーションの観測があげられる。RFIDを埋め込んだネームタグを着用した人と人が近接すると、その時刻が記録され、この接触の記録からコミュニケーションの発生時間間隔や継続時間を知ることができる。研究開始当初、この人と人の接触データを用いた感染症伝播のモデル化・予測に関する研究が行われていた。しかし、これらのデータは時間的・空間的性質の双方を併せ持つため、接触タイミング時系列のみ、あるいは人と人のつながり(ネットワーク構造)のみに着目した従来の解析手法ではデータの有する性質を十分表現できず、現実を則したモデル化・予測のための土台が整っていない状況があった。この問題を解決する一手段として、要素間のつながりの時間変化に主眼をおいたテンポラルネットワークによるデータ解析があるが、テンポラルネットワークでは各時刻に観測されるのは頂点集合と枝集合からなるネットワークであり、実数値ベクトルをベースにデザインされた従来のデータ解析手法の水平展開が難しい場合があるという問題があった。

2. 研究の目的

人と人の接触データには、接触の際に受ける時間的・空間的な制約によって、ある種の決定論性が生じる。このような決定論性を有するデータの解析には従来の非線形時系列解析手法が有効であることが期待されるが、非線形時系列解析手法もまた、実数値ベクトルをベースに設計されており、直接にテンポラルネットワークとして表現したデータの解析に用いることは難しい。そこで、我々がこれまでに開発しているネットワークの時間変動量を捉えるための方法論を用いることで、従来の非線形時系列解析手法のテンポラルネットワークへの適用可能性およびその有効性を検証することが目的である。その際、人と人の接触データに限らず、種々の現実のネットワークの構造的・時間的性質を調査することで、本手法の適用範囲についての検討も行う。さらに、人と人の接触データを用いて、感染症伝播の解析に本手法が有効であるかについても検討する。

3. 研究の方法

提案する解析フレームワークの妥当性・有効性の検証には、実際に人と人の接触データを観測し、得られたテンポラルネットワークの時間変動を調べる必要がある。本研究では、一般に公開されているデータセット(<http://www.sociopatterns.org>)を利用し、提案手法の妥当性・有効性を検証する。まず、これら人と人の接触データの決定論的性質

を明らかにする。その際、人と人の接触データに限らず、神経回路網・言語の共起ネットワークなど様々なネットワークの時間的・構造的性質も調査することで提案手法の適用範囲に関する検討を進める。神経回路網については、数理モデルに基づく計算機シミュレーションを行い、ネットワークの構造変化を調査する。一方、言語の共起について、青空文庫 (<https://www.aozora.gr.jp>) や Project Gutenberg (<http://www.gutenberg.org>) などのデータベースで公開されている言語資料を利用する。また、本研究では、従来の予測手法をベースに新たな手法を提案し、人と人の接触データの予測可能性を調査する。

感染症伝播の解析については、SIモデルやSIRモデルなどの数理モデルを実際の人と人の接触データに適用することで、感染症伝播シミュレーションを行う。これにより感染拡大の規模・速度の定量的な評価を行う。また、これらの感染症伝播モデルに対して、非線形解析時系列手法が有効であるかどうかを検討する。

4. 研究成果

(1) すでに我々が提案しているグラフの変動量を測る手法(以下、グラフ間距離)を用いて、美術館・病院・高校で観測された3種類の人と人の接触データに対して、時間的な変動の規則性を調査した結果、提案手法を用いることで、これらのデータに生じる周期的・準周期的な変動を捉えることが可能であることを示した。

(2) グラフ間距離を用いた予測手法を提案し、実際に病院で観測された人と人の接触データに対してその有効性を検証した。

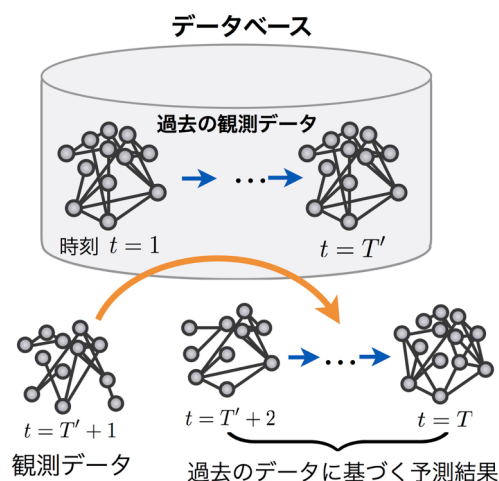


図1 ネットワーク予測の概念図。現在時刻($t=T'+1$)の観測データに類似のネットワークを過去のデータから探索し、その情報に基づいて次時刻以降のネットワークを予測。

このデータでは、RFID が埋め込まれたネームタグを身につけた医療スタッフと患者の隣接関係が 5 日間にわたって 20 秒ごとに記録されている。このデータを一定時間ごとに区切り、各時刻でのネットワークを作成した。その後、データの前半 67 時間分を用いて、後半のデータの予測を行なった。統計的検定により、提案手法と比較手法に有意な差が見られるかを調査した。結果から、短時間(1~6 時間程度)の予測では、提案手法と比較手法に大きな差は見られないが、約 7 時間以降の予測に対して、提案手法を用いた場合に予測精度が高く、提案手法と比較手法に有意な差が現れることを示した。

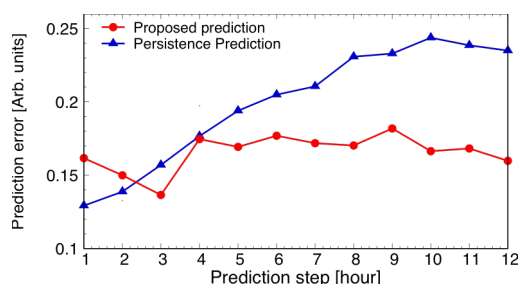


図2 予測結果の一例. 横軸が予測ステップ(時間), 縦軸が予測誤差を表す. 予測ステップが増加した場合, 比較手法(青)に対して提案手法の予測誤差(赤)の拡大が小さいことがわかる.

(3) コンタクトデータに限らず, 他の時間とともに構造が変化する現象に対しても提案するデータ解析の枠組みが適用可能かどうか検討するため, 種々のネットワークの時間変動を調査した. その結果, 実際の脳に見られる Infra-Slow Oscillation と呼ばれる低周波振動の生成メカニズムに関して, STDP 学習則における学習窓の変化が重要であることを数値実験により明らかにした.

言語における単語の共起関係ネットワークでは, 時間的な変動を捉えることは現状では難しいという知見を得た一方で, 言語をネットワークとして表現することで, 様々な言語の文法規則がネットワーク構造に現れ, その性質を定量的に評価できる可能性があることを示した.

(4) SI モデルや SIR モデルなどの数理モデルを実際の人と人のコンタクトデータに適用することで, 感染症伝播シミュレーションを行なった. 感染症拡大を防ぐ手法として, 感染を広める可能性のある人物をネットワークから隔離するというものが考えられる. 本研究では, 様々な手法でネットワークに含まれる各人の重要度を測り, 重要度の高い人物をネットワークから隔離することで, 最終的な感染規模がどの程度抑制されるのかを数値実験により明らかにした.

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 4 件)

1) 内木 楓, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「Izhikevich ニューロンモデルにおけるカオス応答とカオス同期」 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J100-A, 2017.

2) Toshihiro Kobayashi, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, “Reproducing infra-slow oscillations with dopaminergic modulation,” *Scientific Reports*, Vol. 7, 2411, 2017.

3) Yutaka Shimada, Yoshito Hirata, Tohru Ikeguchi, Kazuyuki Aihara, “Graph distance for complex networks,” *Scientific Reports*, Vol. 6, 34944, 2016.

4) Yutaka Shimada, Emiko Takagi, Tohru Ikeguchi, “Symmetry of Lyapunov exponents in bifurcation structures of one-dimensional maps,” *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, Vol. 26, 123119, 2016.

[学会発表] (計 15 件)

1) 山本 紘平, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹 「高速株式取引データに対する非線形解析」 電子情報通信学会 2018 年 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2018.

2) 島田 裕, 池口 徹, 「グラフ間距離を用いたテンポラルネットワーク予測に関する検討」 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, 2017.

3) 石黒 譲, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「スケールフリー性とクラスタ性が共存するネットワーク上での情報拡散の解析」 2017 年 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, 2017.

4) 多々良 真弓美, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「複雑ネットワーク解析による異言語間の比較調査」 2017 年 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, 2017.

5) 内木 楓, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「Izhikevich ニューロンモデルにおけるノイズ電流印加による信頼性の上昇」 2017 年 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, 2017.

6) Mayu Aoki, Hideyuki Kato, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, "Effect of connectivity weights of inhibitory neurons in neuronal avalanches," *International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, 2017.

7) Toshihiro Kobayashi, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, "Analysis of synaptic dynamics during infra-slow oscillation," *Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, 2016.

8) Koshi Abe, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, "Which vertices affect the spread of disease in temporal networks," *Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, 2016.

9) 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*, 2016.

10) Kaede Naiki, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, "Synchronization in a coupled Izhikevich neuron model," *Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, 2016.

11) 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*, 2016.

12) Toshihiro Kobayashi, Yutaka Shimada, Kantaro Fujiwara, Tohru Ikeguchi, "Synaptic dynamics during infra-slow oscillation," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会講演論文集, 2016.

13) 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 ソサイエティ大会講演論文集, 2016.

14) 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 ソサイエティ大会講演論文集, 2016.

15) 内木 楓, 島田 裕, 藤原 寛太郎, 池口 徹, 「Gap junction 結合 Izhikevich ニューロンモデルにおけるカオス」 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会講演論文集, 2016.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 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 0 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 (Shimada, Yutaka)
埼玉大学・大学院理工学研究科・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

()