

【構成メンバー】

- 河原吉伸(チームリーダー(PI))
- ·藤井慶輔(研究員),武石直也(特別研究員), Israr UI Haq(特別研究員)
- ・梅谷俊治(客員研究員), 西村能輝(テクニカルスタッフI)
- その他、4名の研究パートタイマー(修士、及び博士課程学生)

2018年度中の主要な成果

- 「データ駆動による非線形動力学的構造の解析への作用素論的方法」
- (a)時変システムのためのための動的モード分解の確率モデル[1]
- (b) 集団運動の動力学的特徴抽出法の開発 [2]([4])

集団運動の動力学的特徴抽出法の開発(成果(b))

- ・集団運動においては, <u>相対的な情報が運動を支配</u>する場合も多い => 距離行列の系 列など、<u>構造を持った時系列データへの動的モード分解による解析方法</u>を提案([2])
- ・さらに,理論的枠組みとしてベクトル値カーネルに基づく解析の方法論を確立([4])



(c)動力学的特性を比較する計量の提案[3](数理科学チームとの共同)

データ駆動による非線形動力学的構造の解析への作用素論的方法 (背景)

非線形動力学的構造の解析は、ニューラルネットなどの学習機構の理解や新たな学習 モデルの開発、様々な自然現象のデータ駆動による探求などで重要となる課題



- ・以前に提案した動的モード分解で計算されるカーネル([6])を用いることで,<u>集団運動から</u> 得られたデータの判別・予測器を構成することが可能
- 魚群運動のシミュレーション・データや実スポーツ・データを用いた検証により、データから 集団運動を特徴付ける特性の抽出に有用であることを示した

動力学的特性を比較する計量の提案(成果(c))

- ・再生核ヒルベルト空間におけるPerron-Frobenius 作用素を介して、非線形力学系間の動力学的特 性を比較する計量(距離)を提案
- 既存の多くの力学系間の計量を一般化する数理 的枠組みとして位置づけられる



• $\phi(oldsymbol{x}_{t+1}$

典型的な動的モード(空間パターン)

 $K_{\mathbf{F}}$

 $\phi(\boldsymbol{x}_t)$

(当チームにおけるこれまでの経緯)

1. 作用素論的方法に基づき, 多次元時系列データの動力学的特性抽出の為の新たな アルゴリズムの開発([7]など)や、これを判別・予測へ用いる枠組みを開発してきた 2. 開発した方法をスポーツ・データ解析などの科学分野における応用へ展開してきた

|時変システムのための動的モード分解の確率モデル(成果(a))

・以前開発した動的モードの確率モデル [5] を時変システムを扱うモデルに拡張 => 過渡的な現象など、これまでに扱うことが困難であった状況へも適用可能に ・当モデルの変分ベイズに基づく推論アルゴリズムを導出

<u>導出モデル</u>(factorially-switching DMD):

時間的な連続性は λ_i 上の

導出した計量:

2つの力学系 $D_1(F_1, K_{F_1}, \mathscr{I}_1)$ と $D_2(F_2, K_{F_2}, \mathscr{I}_2)$ の 動力学的特性を比較





モード (*z_i*) の遷移



, モードの on / offを 数値例 (過渡的な流れ現象):

- <u>主要な</u> [1] N. Takeishi, T. Yairi & Y. Kawahara, ``"Factorially-switching dynamic mode decomposition for Koopman analysis of time-variant systems," in Proc. of CDC'18, pp.6402-6408, 2018. <u> 発表文献</u> [2] K. Fujii, T. Kawasaki, Y. Inaba & Y. Kawahara, ``Prediction and classification in equation-free collective motion dynamics," PLOS Computational Biology, 14 (11): e1006545, 2018. 2重下線 => [3] I. Ishikawa, K. Fujii, M. Ikeda, Y. Hashimoto & Y. Kawahara, ``Metric on nonlinear dynamical systems with Perron-Frobenius operators," Advances in Neural Information Processing Systems 31, チームメンバー pp.2858-2868, 2018. 下線 => AIP内の
- 他の共同研究者 [4] K. Fujii & Y. Kawahara, ``Dynamic mode decomposition in vector-valued reproducing kernel Hilbert spaces for extracting dynamical structure among observables," arXiv: 1808.10551, 2018.

参考文献 [5] N. Takeishi, Y. Kawahara, Y. Tabei & T. Yairi, ``Bayesian Dynamic Mode Decomposition," in Proc. of IJCAI'17, pp.2814-2821, 2017. [6] K. Fujii, Y. Inaba & Y. Kawahara, ``Koopman spectral kernels for comparing complex dynamics with application to multiagent in sports," in Proc. of ECML-PKDD'17, pp.127-139, 2017. [7] Y. Kawahara, ``Dynamic mode decomposition with reproducing kernels for Koopman spectral analysis," in Advances in Neural Information Processing Systems 29, pp.911-919, 2016.