

非定常層流および乱流への機械学習の応用

慶應義塾大学 理工学部 機械工学科

深瀧 康二

<http://kflab.jp>

近代的な乱流研究は既に 100 年以上の歴史を有する。20 世紀末から現在にかけて、実験室レベルでの乱流現象の数値予測は著しい発展を遂げたが、乱流現象の本質の理解や低次元モデリング、あるいはエネルギー機器や気象に現れる大規模スケールの乱流の予測と制御は、その強い非線形性とマルチスケール性のために、依然として困難な研究課題である。一方、20 世紀後半に一度ブームが到来したニューラルネットワークは、近年ビッグデータへの注目にともない、深層学習（ディープ・ラーニング）に代表される機械学習として再び注目され、様々な分野においてこの機械学習の活用が期待されている[1]。

我々のグループでは、機械学習技術を「乱流ビッグデータ」に適用することによって、乱流の自己生成維持機構の本質である非線形モードを抽出し、その時間発展方程式を導出することにより、新たな非線形特徴抽出手法を構築しようという研究を始めている[2]。本講演では、その手始めとして行った、Convolutional Neural Network (CNN)と Long Short Term Memory (LSTM)を用いたチャネル乱流における断面流速分布の時系列変化の学習・再生成[3]、独自の構造を持つ CNN を用いた空間的にフィルタを施された二次元乱流データからの元データの復元[4]や、CNN と LSTM を用いた渦放出を伴う円柱周り流れの予測[5]、および CNN と Sparse Identification of Nonlinear Dynamics (SINDy) [6]を組み合わせた低次元非線形時間発展方程式の導出[7]の例について紹介する。

- [1] 深瀧 康二, 山本 誠, 岩本 薫, 長谷川 洋介, 塚原 隆裕, 福島 直哉, 守 裕也, 青木 義満, 「機械学習を用いた乱流の特徴抽出手法の構築に向けて」, *ながれ* **37**, 524-527 (2018).
- [2] 科研費データベース「機械学習による乱流ビッグデータの特徴抽出手法の構築」
<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18H03758/>
- [3] K. Fukami, K. Kawai, and K. Fukagata, "A synthetic turbulent inflow generator using machine learning," *Phys. Rev. Fluids*, under review ([arXiv:1806.08903 \[physics.flu-dyn\]](https://arxiv.org/abs/1806.08903)).
- [4] K. Fukami, K. Fukagata, and K. Taira, "Super-resolution reconstruction of turbulent flows with machine learning," *J. Fluid Mech.*, under review ([arXiv:1811.11328 \[physics.flu-dyn\]](https://arxiv.org/abs/1811.11328)).
- [5] 長谷川 一登, 深見 開, 村田 高彬, 深瀧 康二, 「機械学習を用いた円柱周り流れのレイノルズ数依存性の予測」, 第 32 回数値流体力学シンポジウム, 東京, 2018 年 12 月 11 日-13 日, B04-1.
<http://www2.nagare.or.jp/cfd/cfd32/cfd32papers/paper/B04-1.pdf>
- [6] S. L. Brunton, J. L. Proctor, and J. N. Kutz, "Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems," *PNAS* **113**, 3932–3937 (2016).
- [7] 村田 高彬, 深見 開, 深瀧 康二, 「機械学習を用いた円柱周り流れにおける低次元モードの抽出と時間発展予測」, 第 32 回数値流体力学シンポジウム, 東京, 2018 年 12 月 11 日-13 日, B04-2.
<http://www2.nagare.or.jp/cfd/cfd32/cfd32papers/paper/B04-2.pdf>