

# 平成 30 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目： 個人研究 研究期間：平成 30 年 10 月～平成 31 年 9 月  
研究課題名：非線形時空間ダイナミクスを用いた機械学習：“乱流”は音声を認識するか？  
ラボ長：犬伏 正信  
所属：機能創成専攻・非線形力学領域  
氏名：犬伏 正信

## 研究成果

**当初の研究目的：**本研究ではリザーバコンピューティング（RC）と呼ばれる機械学習法に着目する。RC の研究のブレイクスルーの 1 つは、時間遅延ダイナミクスを上手く活用した実装法が提案されたことによる（Appeltant *et al.*, **Nature Communications**, 2, 468 (2011)）。この実装法は現在では最もよく研究されている一方で、（光検出器の速度に律速され）高速性や情報処理性能に限界があることが予想される。本研究課題では、従来法の延長にない新しい実装法として連続時空間ダイナミクスを用いた RC の実装法を研究する。

**得られた結果：**まず当初の提案に従い、RC の流体による実装を行った。図 1 左にあるように非圧縮粘性流体中に円柱を配置し、円柱を回転させることで時系列を入力した。計算処理性能を確認するために、時系列の推定を行った。時系列は標準的な力学系としてローレンツ方程式を用い、変数  $x(t)$  のみを観測している状況で同時刻の隠れ変数  $z(t)$  を推定させるタスクを実装した。具体的にはナビエーストークス方程式を非圧縮条件のもとで数値的に解き、変数  $x(t)$  に従って円柱を回転させた。推定結果を図 1 の右図に示す。青色の時系列が隠れ変数  $z(t)$  である。これに対して、赤色の時系列は流体運動を図 1 左の青色領域で観測し、RC の方法によって重み付けした結果である。高精度に推定が可能であることを示している。

続いて計測位置と情報処理性能の関係を調べた。図 2 の右図のように観測領域（青色の領域）を下流方向へずらし、その都度学習を実行した。その結果が図 2 の左図であり、横軸に計測位置（～円柱からの距離）、縦軸が推定誤差を表す。入力信号の強さに応じて 8 つのケースの結果を表示している。円柱に近いところで観測を行う場合には入力信号は強いほど性能が良いが、円柱から離れたところで観測を行う場合は入力が弱いほど性能が良いことが明らかになった。入力の強さと観測領域の非自明な関係の背後にある物理的機構については今後考察予定であるが、移流不

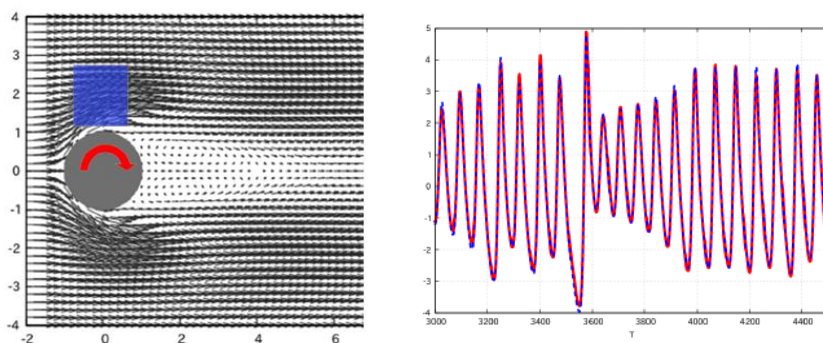


図 1 リザーバコンピューティングの実装法（左），カオス時系列の隠れ変数の推定（右）

安定性が解明の鍵となると考えている。

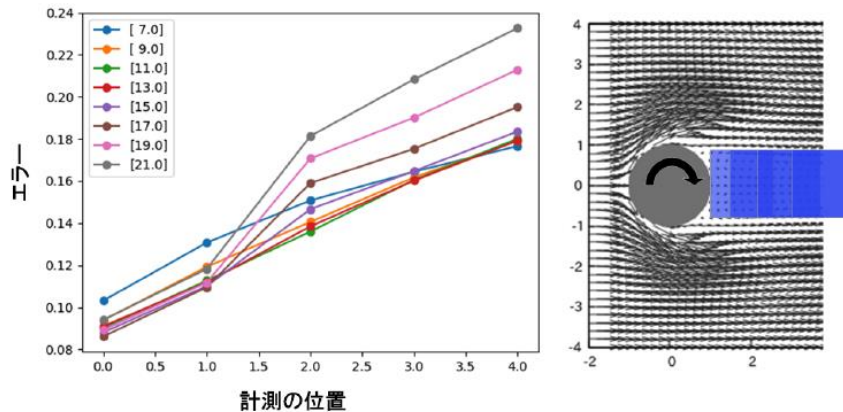
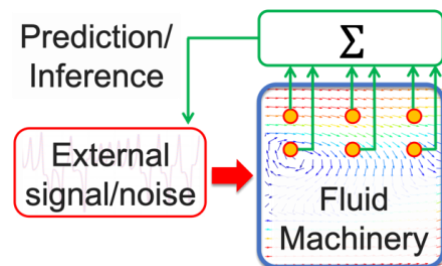


図 2 計測位置と情報処理性能の非自明な関係

**今後の方向性：**流体運動による隠れ変数の推定や時系列予想（本報告書では省略）が可能であることを実証し、非自明な観測領域依存性を明らかにした。今後は上記非自明な関係の解明、一様流の効果の定量的評価、Lyapunov 解析による安定性の定量化を行う。近年、RC の深層化(Deep RC)の研究が進められており、そこでは一方向結合のトポロジーが有用であることが示されている (Penkovsky *et al.*, eprint arXiv:1902.05608 (2019))。一様流の効果とこの Deep RC の一方向結合の間には類似性があり、その点からも一様流の効果について明らかにしたい。

同時に、RC の機械学習法自体の研究を進める。具体的には他のリカレントニューラルネットワークを用いた機械学習法として Backpropagation Through Time や Long-short term memory と呼ばれる手法が盛んに用いられているが、これらと RC を力学系理論の観点で比較する。

最後に本研究の機械工学への応用について述べる。例えばタービン等の流体機械には常に周囲外部環境からの信号（ノイズ）に影響を受けている。本研究の方式を発展させることで、計算機を導入することなく、これらの外部信号（ノイズ）の予測や入力信号以外の隠れ変数の推定が可能であると考えられる。



**キーワード：**機械学習、流体力学、非線形力学系理論

**共同研究者等**

- (1)共同研究者（氏名・所属）：後藤晋教授（非線形力学領域）
- (2)研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））：小橋敬太（非線形力学領域・M1）

**研究経費（H30年度）の内訳**

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
272,808 円	134,452 円	92,740 円	円	円	500,000 円

**発表論文等（平成 31 年 3 月 31 日現在）〔その他〕**

- ・ 2018/11/19 CiNet BFI グループのセミナー，脳情報通信融合研究センター
- ・ 2018/12/18 第 3 回豊中地区研究交流会，南部陽一郎ホール

**外部資金獲得状況・申請状況：**中島記念国際交流財団（日本人若手研究者研究助成金）H31 年度