

2024 年度年次報告書

数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開

2020 年度採択研究代表者

野津 裕史

金沢大学 理工研究域
教授

力学系理論に基づく物理リザーバー計算能力の強化

主たる共同研究者：

千葉 逸人（東北大学 材料科学高等研究所 教授）

中嶋 浩平（東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授）

研究成果の概要

物理リザーバー計算は、物理系の非線形ダイナミクスを計算資源として活用するリザーバー計算である。同期現象を記述する数理モデルとして有名な蔵本モデルを用いたリザーバー計算に関する昨年度の千葉グループの理論結果(任意の周期関数を復元できるという普遍近似性定理)をもとに、強化項により入力を効率的に学習する、強化型蔵本モデルを用いたリザーバー計算を提案した。音楽の学習を含むいくつかの応用例を示した。また、中嶋グループにおいて、空気圧人工筋のヒステリシスを含むダイナミクスが物理リザーバーとして活用でき、かつ物理パラメータを分岐パラメータとして様々な分岐が埋め込めることを示した。この結果は、所望のアトラクタを学習させるのに、極度に限定された学習データの提示でも十分であることを示唆しており、将来的に効率の良い学習法の提案につながる可能性がある。さらに、同じく中嶋グループにおいて、より広いクラスの物理系を計算資源として活用するためリザーバー計算の枠組み自体の拡張・一般化を試みた。拡張のポイントとしては、これまで、リザーバーの応答は、入力 of 過去系列の関数として表現されることが、計算の再現性の面でよいとされてきたが、その点を満たしていないリザーバーでも計算に使えるような展開を模索した。具体的には、時不変変換という変換をリードアウトに導入することで、リザーバーの応答を入力 of 過去系列のみの関数として取り出す操作を提案した。これにより、これまで有効な計算資源として活用できなかったカオス力学系なども計算資源として活用できることを示した。その他、流れ問題の数値シミュレーション手法に関する基礎的だが大切な結果を得た。

【代表的な原著論文情報】

- 1) de Jong, T.G., Notsu, H., & Nakajima, K. Harnessing omnipresent oscillator networks as computational resource. arXiv:2502.04818, 2025.
- 2) Akashi, N., Kuniyoshi, Y., Jo, T., Nishida, M., Sakurai, R., Wakao, Y., & Nakajima, K. Embedding bifurcations into pneumatic artificial muscle. *Advanced Science* 11(25), 2304402, 2024.
- 3) Kubota, T., Imai, Y., Tsunegi, S., & Nakajima, K. Reservoir Computing Generalized. arXiv:2412.12104, 2024, 2024.
- 4) Putri, K.S., Mizuochi, T., Kolbe, N., & Notsu, H. Error estimates for first- and second-order Lagrange-Galerkin moving mesh schemes for the one-dimensional convection-diffusion equation. *Journal of Scientific Computing* 101:37, 2024.