

2023 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

2019 年度採択研究代表者

谷口 隆晴

神戸大学 大学院理学研究科
教授

幾何学的離散力学を核とする構造保存的システムモデリング・シミュレーション基盤

主たる共同研究者：

大森 敏明（神戸大学 大学院工学研究科 准教授）

高山 信毅（神戸大学 大学院理学研究科 教授）

吉村 浩明（早稲田大学 理工学術院 教授）

研究成果の概要

谷口グループは、モデルやシミュレーションコードが既に得られているダイナミカルシステムについて、観測データやシミュレーションデータから、隠された保存則を抽出し、既存のモデル・シミュレーションコードを、発見された保存則が成り立つように自動的に修正する方法を考案した。また、作用素学習の手法を用いたシミュレーション結果の超解像技術などを構築した。

吉村グループは、離散ディラック構造とそれに基づく離散ラグランジュ・ディラック系の理論の構築を行ない、ディストリビューションの扱いについて離散変分構造との相違点について考察した。また、無限次元のラグランジュ・ディラック系について内部接続系の観点から定式化を行なった。戸田格子型離散方程式の対称性についても考察した。さらに、微分方程式の対称性を保つ幾何学的積分法を開発し、ケプラー問題、バーガーズ方程式などに対する効率的な数値手法を提案した。

大森グループは、システム推定と制御技術を融合したデータ駆動型手法を構築し、部分観測データからの神経システムの推定と制御信号の決定を逐次モンテカルロ法の枠組みで実現可能であることを示した。また、谷口グループ、吉村グループと共同で、ハミルトン方程式が持つ性質を保ったシステムモデルをデータ駆動で推定するためのスパースモデリング手法を構築し、動的システムの精緻な推定や長期予測を実現することを示した。

高山グループは、物理、統計への計算代数、特殊関数の応用を研究した。物理におけるFeynman 振幅積分は、GKZ 超幾何関数の制限とみなすことができる。これを関数のレベルでなく方程式のレベルで定式化し2通りの効率的な制限アルゴリズムを与えた。また離散指数型分布族の Bayesian 統計の計算代数を研究した。事前分布と事後分布の正規化定数が超幾何系であることに着目してこれらをつなぐ差分方程式の構成アルゴリズムを与えた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Takashi Matsubara and Takaharu Yaguchi, "FINDE: Neural Differential Equations for Finding and Preserving Invariant Quantities," Proc. of The Eleventh International Conference on Learning Representations (ICLR2023), Kigali, May 2023.
- 2) Francois Gay-Balmaz and Hiroaki Yoshimura, Systems, variational principles and interconnections in nonequilibrium thermodynamics, Philosophical Transaction of the Royal Society A, Vol. 381, Issue 2256, 22pages, 2023.
- 3) Yaqing Liu and Linyu Peng, Some novel physical structures of a (2+1)-dimensional variable-coefficient Korteweg-de Vries system, Chaos, Solitons & Fractals 171: 113430, 2023.
- 4) Yuya Note, Masahito Watanabe, Hiroaki Yoshimura, Takaharu Yaguchi, Toshiaki Omori , Sparse Estimation for Hamiltonian Mechanics, Mathematics, Vol. 12, pp. 974: 1-14 (2024)
- 5) Vsevolod Chestnov, Saiei J. Matsubara-Heo, Henrik J. Munch, Nobuki Takayama, Restrictions of Pfaffian systems for Feynman integrals. J. High Energ. Phys. 2023, 202 (2023).