

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

2021 年度採択研究代表者

吉田 朋広

東京大学 大学院数理科学研究科
教授

大規模時空間従属性データ科学へ向けた先端的確率統計学の新展開

主たる共同研究者：

内田 雅之（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）

鎌谷 研吾（情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授）

鈴木 大慈（東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授）

増田 弘毅（東京大学 大学院数理科学研究科 教授）

研究成果の概要

従属系に対する確率統計学、機械学習の理論とこれらの融合、さらにその生命科学等への展開を目指している。

(A) 確率過程の統計学の基礎となる推測理論および確率論の研究

非正数ブラウン運動に基づく時系列解析の基礎となる、Wiener 汎関数に対する一般漸近展開公式とその応用を進めた¹⁾。非線形レヴィ駆動型確率過程モデルの情報量規準を考案し、その漸近挙動を導出した。また、スチューデント・レヴィノイズ過程で駆動される回帰モデルの推測法を考案し、推定量の性質を示し、対数株価データへ応用した。

(B) 確率過程論と機械学習理論の融合、および統計計算理論の研究

区分確定的マルコフ過程を用いたモンテカルロ法の対象分布の歪みに対する極限を考え、収束レートを同定した。また裾の形状に頑健な手法を提案した。ニューラルネットワークの最適化手法として平均場ランジュバン動力学の時間・空間離散化した一重ループアルゴリズムが時間に一様な離散化誤差を達成すること、および確率的勾配を用いた手法まで拡張し収束解析を与えた²⁾。また、平均場ニューラルネットワークの強化学習および min-max 問題への適用を考察し、その収束証明を与えた。

(C) 生命科学への従属性の統計学の展開

fMRI の非正規ダイナミクス の推定、そのネットワーク構造推定へ向けた研究として、安定回帰モデルの簡易推定法を開発しその理論的性質を示した。さらに関連する非対称確率過程の擬似生成関数を開発した。また、従属性ノイズをもつ正規型混合効果モデルにおける最尤推定法の漸近最適性を示した。

(D) 大規模従属系の高次元高頻度データに対する統計推測とその応用

データの時間増分と空間増分に基づいた Q-ブラウン運動で駆動された2次元空間線形放物型 SPDE モデルの係数パラメータの推定法を開発した。拡散過程モデルに対する因子分析³⁾および構造方程式モデリング(SEM)に関して研究した。

(E) 研究の統合と YUIMA による計算環境の構築

スチューデント・レヴィ過程の擬似生成 YUIMA 関数を高速化し、さらに関連する回帰モデルの推定関数を開発した。また、レヴィ駆動モデルの情報量規準を計算する関数を作成した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tudor, Ciprian A., Yoshida, N.: High order asymptotic expansion for Wiener functionals. Stochastic Processes and their Applications, 164, 443-492 (2023).
- 2) Kusano, S. and Uchida, M.: Statistical inference in factor analysis for diffusion processes from discrete observations. Journal of Statistical Planning and Inference, 229 106095, (2024).
- 3) Taiji Suzuki, Denny Wu, Atsushi Nitanda: Convergence of mean-field Langevin dynamics: Time and space discretization, stochastic gradient, and variance reduction. Thirty-seventh Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS2023).