

2023 年度  
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	大久保 潤
研究機関名	埼玉大学
所属部署名	大学院理工学研究科
役職名	教授
研究課題名	方程式と双対性でつなぐ革新的データ処理技術の創出
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

### 研究成果の概要

まず、昨年度の研究成果をまとめた英語学術論文 2 本が本年度、出版された。

研究計画の二年目となる本年度は、双対性を利用した計算方式を EDMD (Extended Dynamic Mode Decomposition) に組込む方法、メモリサイズが爆発的に増加する問題への対応、およびニューラルネットワークの解析への応用などについて研究を進めた。

本研究では、金融工学やロボットの制御等で利用される確率微分方程式の統計量計算について、確率的シミュレーションではなく双対過程による計算技術を用いる。さらに、データと方程式とをつなぐ枠組みを構築する。その枠組みの鍵となるのが Koopman 行列と呼ばれる、非線形系の時間発展の情報を含んだ行列である。データからこの Koopman 行列を求める方法が EDMD であり、そこに方程式の情報を組み込み、必要なデータ量を減らすことも本研究の目的の一つである。組込む方法を検討した結果、素朴には難しいことが明らかとなったため、方程式の情報を組み込むための、オンライン更新向けの新しい手法を考案した。

また、EDMD の素朴な利用では、高次元系で必要メモリサイズが指数関数的に増加してしまう。そこで、統計物理学・物性理論で研究が進んでいるテンソル・ネットワーク形式の一種、「テンソル・トレイン形式」を利用した。これにより、双対性を利用した計算はこれまで 4 変数程度が限界だったところを、50 変数でも動作することを確認した。さらに、この形式を学習済みニューラルネットワークの中間層の解析に利用し、線形化と圧縮可能性を示した。なお、その際にメモリサイズを減らす工夫も考案した。

そのほか、階層型クラスタリングを用いた Koopman 行列の圧縮方法、高次元系へ向けたカーネル法に関する研究も実施した。

以上の成果について学会発表をしたほか、英語論文 2 本にまとめ、現在投稿中である。