

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

2020年度 年次報告書
-----------------

福水 健次

情報・システム研究機構 統計数理研究所  
教授

数理知能表現による深層構造学習モデルの革新

## § 1. 研究成果の概要

本 CREST チームでは、数理的な知能表現を探求することにより、深層構造を持つ学習モデルの理論的本質を明らかにして新しいモデルを開発し、実践的知能システムを高度化していくための研究を推進している。チームは3つのグループ(数理深層モデリング G、数理表現・最適化 G、実践的学習 G)から構成されており、本年度の各 G の研究実施内容を以下で説明する。

数理深層モデリング G では、以下の2点に関する研究を行った。(1) 因果的に意味のある推論を行う新しい枠組みを開発し、従来法と比較して有望な結果を得た。(2) 時系列データの背後にある力学系の構造をハミルトン系が持つ不変性として自動抽出するために、学習モデルの新たな構造に関して研究を行った。

数理表現・最適化 G では、深層学習における最適化理論と汎化誤差解析の融合的研究を重点的に行った。特に、Neural Tangent Kernel の理論を用いた確率的最適化による学習のミニマックス最適性の導出、ノイズあり勾配法を用いた学習の大域的最適性および次元の呪いの回避の証明、二重降下現象が現れる状況における最適な最適化法の解析といった研究を行った。

実践的学習 G では、与えられたシーケンスの未来を予測する動画像を少ない計算コストと主メモリで生成する手法の研究を行った。また、ニューラルネットワークの基本構成要素を、ポアンカレボールモデルという単一の双曲幾何学モデルで一般化を試み、言葉のように木構造を持つデータに対して効率よく計算可能な新規ニューラルネットワークの構築を検討した。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 数理深層モデリンググループ

- ① 研究代表者：福水 健次（情報・システム研究機構統計数理研究所 教授）
- ② 研究項目
  - ・ 代数的作用や因果律などの数理構造を反映した深層モデリングの研究
  - ・ 微分方程式、確率微分方程式と深層構造モデルの融合的モデルの研究
  - ・ 深層生成モデルとカーネルベイズ法による確率推論法の研究

### (2) 数理表現・最適化グループ

- ① 主たる共同研究者：鈴木 大慈（東京大学大学院情報理工学研究科 准教授）
- ② 研究項目
  - ・ 深層学習の関数表現理論
  - ・ 深層学習の冗長性と正則化理論
  - ・ 深層学習の最適化理論と実践

### (3) 実践的学習グループ

- ① 主たる共同研究者：原田 達也（東京大学大学院情報理工学研究科 教授）

## ② 研究項目

- 動画等膨大なマルチメディアデータの認識と生成
- 画像・動画・音声と自然言語との融合による透明性のある認識
- 効率的な時空間データ解析に基づく医療情報処理への応用

## 【代表的な原著論文情報】

- [1] Yoh-ichi Mototake: Interpretable conservation law estimation by deriving the symmetries of dynamics from trained deep neural networks. Phys. Rev. E2, 103, 033303, 18 March 2021. 10.1103/PhysRevE.103.033303
- [2] Taiji Suzuki: Generalization bound of globally optimal non-convex neural network training: Transportation map estimation by infinite dimensional Langevin dynamics. NeurIPS2020, pp. 19224–19237, 2020. (spotlight)