

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

2022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

主たる共同研究者:

鈴木 大慈 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授)

原田 達也 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)

## 研究成果の概要

数理深層モデリング G では、まず、群作用によって遷移する定常系列データが多数与えられた状況での表現学習に関して研究し、潜在変数が線形な遷移則に従うモデルを用いて、予測などに効果的な表現学習が可能であることを実験的に示し、群の表現論に基づく表現の分解方法を提案したり。また、分布外汎化の問題を解決する方法として、ラベル付けコストの低い環境不変学習の新しい方法を提案し、実験的に有効性を検証するとともに不変性を保証する理論的結果を示した<sup>2)</sup>。

数理表現・最適化 G では、連合学習における効率的な最適化手法として、クライアント間のバイアスを減少させ、かつ確率的勾配によるバリエーションを減少させる手法を提案し、クライアント間の類似度が高い時に既存手法より少ない計算量で二次最適解に収束することを示した<sup>3)</sup>。また、これまでの分散縮小型確率的勾配法で必要であった定期的な全勾配計算を要しない単一ループ手法を提案し、それを連合学習へ拡張することで通信量を削減できることを示した。また、二層ニューラルネットワークの最適化ダイナミクスを解析し、教師生徒設定において多項式時間で大域最適解に収束し、その解の予測精度が浅層学習を優越することを示した。

実践的学習 G では、視覚情報から非剛体物体の再構成や制御可能な輝度場の構築について研究を実施した。具体的には、点群表現を特徴空間と3次元位置空間とに分離する部分点群照合手法や、階層的な運動分解による非剛体点群のレジストレーション手法<sup>4)</sup>を開発した。また、カテゴリ未知の多関節物体のアピアランスと構造の両方を同時学習する新規手法や、自由形状の輝度場変形手法<sup>5)</sup>を提案した。これらの研究は、実環境の変形可能物体を計算機上に再構築可能であり、デジタルツインやメタバースのモデリングとして応用できるだけでなく、制御可能性に立脚した実環境変化予測の幾何学モデルとしても活用可能である。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Toyota, S., and Fukumizu, K. (2022). Invariance Learning based on Label Hierarchy. Advances in Neural Information Processing Systems. <https://openreview.net/forum?id=Y6xuQZP7t3>
- 2) Miyato, T., Koyama, M., and Fukumizu, K. (2022). Unsupervised Learning of Equivariant Structure from Sequences. Advances in Neural Information Processing Systems. <https://openreview.net/forum?id=7b7iGkuVqlZ>
- 3) Murata T. and Suzuki T. (2022) Escaping Saddle Points with Bias-Variance Reduced Local Perturbed SGD for Communication Efficient Nonconvex Distributed Learning. Advances in Neural Information Processing Systems. [https://openreview.net/forum?id=KOHC\\_CYEIuP](https://openreview.net/forum?id=KOHC_CYEIuP)
- 4) Li, Y., and Harada, T. (2022). Non-rigid Point Cloud Registration with Neural Deformation Pyramid. Advances in Neural Information Processing Systems. <https://openreview.net/forum?id=pfEIGgDstz0>
- 5) Xu, T., and Harada, T. (2022). Deforming Radiance Fields with Cages. The European Conference on Computer Vision. [https://www.ecva.net/papers/eccv\\_2022/papers\\_ECCV/papers/136930155.pdf](https://www.ecva.net/papers/eccv_2022/papers_ECCV/papers/136930155.pdf)