

2023 年度年次報告書

信頼される AI システムを支える基盤技術

2022 年度採択研究代表者

杉山 磨人

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系  
准教授

記号推論に接続する機械学習

主たる共同研究者:

井上 克巳 (情報・システム研究機構 国立情報学研究所 教授)

小島 諒介 (京都大学 大学院医学研究科 講師)

西野 正彬 (日本電信電話(株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 特別研究員)

## 研究成果の概要

本プロジェクトの目標である機械学習と記号推論の接続を実現するために、各グループが研究に取り組みそれぞれの領域で成果を挙げるとともに、グループ間の連携を順調に進めている。まず杉山がリーダーを務める機械学習グループでは、テンソルを確率モデルとして扱い、情報幾何学の理論を援用して解釈可能かつ安定なテンソル分解を実現する技術であるテンソル多体近似を確立した [1]。これは、本プロジェクトの核になる技術である。同時に、小島がリーダーを務めるモデリンググループにおいて、記号推論をテンソル演算で実現する確率論理プログラミング言語 T-PRISM 上でこのテンソル多体近似を実装し、記号推論への接続を進めることに成功した。多体近似のための論理解釈について考察を進めるとともに、GPU 実装などの高速化についても取り組んでいる。この枠組みを発展させるために、井上がリーダーを務める記号推論グループでは、ベクトル空間における論理推論に関する研究を継続しており、連続ドメインにおける機械学習データと記号で表現される推論用の知識を接続する手法として、命題論理式の行列表現(ReLU NN)による DNF 式の学習[2]や一階述語論理プログラムの微分可能学習方法[3]を開発した。また記号推論と機械学習を接続した実用として、自動運転等で用いられる事前訓練済み物体認識への論理制約の導入について検討し、試験開発したシステムにより ROAD-R Challenge for NeurIPS 2023 において優勝と3位入賞を果たした。さらに、本質的なアルゴリズム改善に向けた研究として、西野がリーダーを務めるアルゴリズムグループでは、部分グラフの数を正確に数え上げる効率的なアルゴリズムを考案する[4]とともに、考案したアルゴリズムをネットワークの信頼性解析へ応用した[5]。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Ghalamkari, K., Sugiyama, M., Kawahara, Y., Many-body Approximation for Non-negative Tensors, *Advances in Neural Information Processing Systems* (NeurIPS 2023), 2023.
- 2) Taisuke Sato, Katsumi Inoue: Differentiable learning of matricized DNFs and its application to Boolean networks. *Machine Learning*, 112(8):2821-2843 (2023)
- 3) Kun Gao, Katsumi Inoue, Yongzhi Cao, Hanpin Wang: A differentiable first-order rule learner for inductive logic programming. *Artificial Intelligence*, 331:104108 (2024)
- 4) Kengo Nakamura, Masaaki Nishino, Norihito Yasuda, and Shin-ichi Minato. CompDP: A Framework for Simultaneous Subgraph Counting Under Connectivity Constraints. In *21st International Symposium on Experimental Algorithms* (SEA 2023). Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), Volume 265, pp. 11:1-11:20, (2023)
- 5) Kengo Nakamura, Takeru Inoue, Masaaki Nishino, Norihito Yasuda and Shin-ichi. Minato, "A Fast and Exact Evaluation Algorithm for the Expected Number of Connected Nodes: an Enhanced Network Reliability Measure," *IEEE INFOCOM 2023 - IEEE Conference on Computer Communications*, 2023, pp. 1-10, (2023)