2023 年度年次報告書

Society 5.0 を支える革新的コンピューティング技術

2019 年度採択研究代表者

戸川 望

早稲田大学 理工学術院

教授

地理空間情報を自在に操るイジング計算機の新展開

主たる共同研究者:

高山 敏典 (ゼンリンデータコム 技術本部 エキスパートエンジニア)

研究成果の概要

本研究では、Society5.0の実現に不可欠な「地理空間情報処理」の高度化に焦点をあて、これを非ノイマン型計算機の一つとしてイジング計算機によって解決することを目的としたものである。

2023年度においては戸川グループ・高山グループは以下の通り研究を実施し、特に、海外トップジャーナルに複数回採択され、プレス発表など積極的な成果発信も合わせて行った。戸川グループ・高山グループは、毎月の定例会議などを通じて産学の連携を深め、基礎研究から実アプリケーションのプロトタイプを生み出すことに成功している。

[戸川グループ]

①地理空間情報ソフトウェア層

①では、前年度までに取り上げた多種制約付き地理空間情報処理問題のうち、複数日にまたがる旅行計画問題等いくつかの問題を対象に、スピン数を削減する論理イジング模型・物理イジング模型エンベッドや解釈処理等を導入し、イジング計算機による効率的な解法を行い実機評価した。海外トップジャーナルに採択され、またトップ国際会議に発表する等、目覚ましい成果をあげた。

②地理空間情報量子計算理論

②では、これまで構築した地理空間情報のための量子計算理論構築に基づき、離散時間量子アニーリングや、エネルギー地形変換を取り込んだ数値シミュレータの機能拡張を行った。

③地理空間情報理想イジング計算機設計

③では、マージ手法を組み込んだ実イジング計算機の評価・改良(東京工業大学本村チームとの連携)およびイジング計算機シミュレータの機能拡張を行った。さらに制約付き組合せ最適化問題を効率良く解くアルゴリズムを考案した。これらの成果でも海外トップジャーナルに採択され、目覚ましい成果をあげた。

[高山グループ]

④地理空間情報アプリケーション層

④では、2022年度の成果である「最適配置アプリケーション」の基盤機能をもとに、用途を具体化し実アプリケーション構築を目指し研究を進めた。潜在的なユーザである社内外の関係者との討議、検討を通して、実際に利用される要件での性能評価や事業規模の面からの評価を行った。さらに、それらの成果をもとに基盤機能の評価、拡張についても検討を進めた。イジング計算機を利用した最適配置アプリケーションに対し、2021年度の試作を発展させ、多様な要件で利用可能な最適配置基盤を構築し、複数要件、複数地域に対応するように進展させた。実使用に資するAPI・ライブラリ開発を行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tatsuhiko Shirai and Nozomu Togawa, "Post-processing variationally scheduled quantum algorithm for constrained combinatorial optimization problems," IEEE Transactions on Quantum Engineering, Early Access, (DOI: 10.1109/TQE.2024.3376721).
- 2) Siya Bao, Masashi Tawada, Shu Tanaka, and Nozomu Togawa, "An Ising-machine-based solver of

- vehicle routing problem with balanced pick-up," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Early Access, (DOI: 10.1109/TCE.2023.3335392).
- 3) Satoru Jimbo, Tatsuhiko Shirai, Nozomu Togawa, Masato Motomura, and Kazushi Kawamura, "A GPU-based Ising Machine with a Multi-spin-flip Capability for Constrained Combinatorial Optimization", IEEE Access, Early Access, (DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3380479).
 - 4) Tatsuya Noguchi, Keisuke Fukada, Siya Bao, and Nozomu Togawa, "Trip planning based on subQUBO annealing" IEEE Access, vol. 11, pp. 100383-100395, 2023 (DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3314498).
 - 5) Siya Bao and Nozomu Togawa, "Multi-day intermodal travel planning for urban cities using Ising machines," 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Bilbao, Spain, 2023, pp. 54-60, (DOI: 10.1109/ITSC57777.2023.10422515).