

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2019年度採択研究者

2020年度 年次報告書

上田 宏

大阪大学 先導的学際研究機構
特任准教授(常勤)

テンソルネットワークによる量子状態圧縮技術の高度化

§ 1. 研究成果の概要

本研究ではテンソルネットワーク(TN)法と呼ばれる数値的手法を量子計算機と古典計算機の混合環境下で活用することで、多様な量子状態をよりコンパクトに表現する手続きを構築することを目的としている。2020年度は、TN法をより一般的な物理系に適用するための知見として、TN法による正方格子上の古典ランダムイジング模型に現れるエンタングルメントエントロピー解析とその臨界性の同定[J. Phys. Soc. Jpn. 89, 114005 (2020)], MPI並列化されたTN法を活用した多自由度古典スピン模型に現れる非自明な臨界現象の解析[Phys. Rev. E 101, 062111 (2020); 102, 032130 (2020)], TN法を活用した一次元フラストレート量子スピン模型の解析と対称性に守られたトポロジカル相の同定[Phys. Rev. B 101, 224439 (2020)]を行った。さらに2019年度に開発した、任意の古典イジング模型に対するQuantum inspiredな低エネルギー状態探索手法[arXiv:2010.00180.]の適用範囲を最大600スピンのまで拡張して、従来から当該模型の基底状態探索のよいヒューリスティックとして知られているパラレルテンパリングモンテカルロ法と比較して同等の基底状態の探索が可能であることを示した。

また、これらと並行して、相互情報量とFidelity参照による量子回路符号化器の開発や、物性に適用に適した高い対称性を持つ量子回路に特化した1000量子ビット級の数値的厳密シミュレーションを可能とする計算ライブラリQS³(キュー・エス・キューブ)の開発を行った。後者に関しては、量子的に振る舞う1000量子ビット級希薄粒子系のユニタリ発展シミュレーションを、QS³を用いて高効率に実施できることを示した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Entanglement Entropy on the Boundary of the Square-Lattice $\pm J$ Ising Model”, Y. Sasagawa, H. Ueda, J. Genzor, A. Gendiar and T. Nishino, Journal of the Physical Society of Japan **89**(11), 114005 (2020) [4 pages].
- 2) “Corner transfer matrix renormalization group analysis of the two-dimensional dodecahedron model”, H. Ueda, K. Okunishi, S. Yunoki, and T. Nishino, Physical Review E **102**(3), 032130 (2020) [8 pages].
- 3) “Roles of easy-plane and easy-axis XXZ anisotropy and bond alternation in a frustrated ferromagnetic spin-1/2 chain”, H. Ueda and S. Onoda, Physical Review B **101**(22), 224439 (2020) [13 pages].
- 4) “Finite- m scaling analysis of Berezinskii-Kosterlitz-Thouless phase transitions and entanglement spectrum for the six-state clock model”, H. Ueda, K. Okunishi, K. Harada, R. Krčmár, A. Gendiar, S. Yunoki, and T. Nishino, Physical Review E **101**(6), 062111 (2020) [7 pages].
- 5) “Quantum-inspired search method for low-energy states of classical Ising Hamiltonians”, H. Ueda and S. Yunoki, arXiv:2010.00180 (2020) [13 pages].