

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

本多 正純

京都大学 基礎物理学研究所
助教

初期宇宙解明に向けた量子アルゴリズム開発基盤の創成

研究成果の概要

2022年度は本研究領域に関連するプロジェクトについて、2本の原著論文および1本の国際会議プロシーディングスを発表し、2件の招待講義および7件の招待講演を行った。

論文¹⁾では1次元量子電磁気学の数値計算を行った。この理論においてトポロジカル項が大きい状況を考えると、素粒子論分野において通常使われるモンテカルロ法が適用困難になることが知られている。これは符号問題によるもので、これにより様々な場の量子論の数値計算が困難になっている。そこで我々は、密度行列繰り込み群の手法を用いてシミュレーションを行い、エネルギーや相関関数を計算することで、't Hooft アノマリーから導かれる理論的な関係式を再現した。この結果は評価され *Journal of High Energy Physics (JHEP)* に掲載された。

論文²⁾では、フラクトンと呼ばれる準粒子に関連する新たな場の量子論を構成し、それらの性質を解析した。フラクトンとは移動可能な空間方向が制限される準粒子であり、元々は量子誤り訂正の文脈で提案されたモデルにおいて発見された。フラクトンを再現する具体的な方法はまだよく分かっていないため、様々なモデルを構成することで実験による再現のための手がかりが得られることが期待できる。この論文は評価され *JHEP* に掲載された。

プロシーディングス³⁾は、3次元の $SU(2)$ ヤン・ミルズ理論の相構造の解析に関して、国際会議 *Lattice 2022* で行った発表に基づいたものである。具体的にはモンテカルロ法による数値計算の結果と理論的な議論を組み合わせ、空間反転対称性の自発的破れと非閉じ込めが共存した相の存在を示唆する結果を得た。このような現象を直接数値計算で検証するには、量子シミュレーションのような符号問題を回避する手法が必要となるため、今後3次元のゲージ理論を量子計算機に乗せる有効な手法を探求していく。

【代表的な原著論文情報】

1) M. Honda, E. Itou and Y. Tanizaki,

"DMRG study of the higher-charge Schwinger model and its 't Hooft anomaly,"

JHEP 11 (2022), 141 [doi:10.1007/JHEP11(2022)141]

2) M. Honda and T. Nakanishi,

"Scalar, fermionic and supersymmetric field theories with subsystem symmetries in $d + 1$

dimensions," *JHEP* 03 (2023), 188 [doi:10.1007/JHEP03(2023)188]

3) A. Matsumoto, K. Hatakeyama, M. Hirasawa, M. Honda, J. Nishimura and A. Yosprakob,

"Numerical studies on the finite-temperature CP restoration in 4D $SU(N)$ gauge theory at

$\theta = \pi$," *PoS LATTICE2022* (2023), 378 [doi:10.22323/1.430.0378]