

所属・資格 物理学科・准教授

申請者氏名 山本 大輔

研究課題		極限環境や人工物質を利用した量子物性の開拓と制御
報告の概要	研究目的 および 研究概要	古典力学で説明できる現象の多くは解明され、現代は真に量子力学的な現象の開拓と制御を目指す潮流の只中にある。固体材料でも従来の超伝導や磁性現象を超えて、より“エキゾチックな”量子現象を探索する試みが盛んに行われている。また、レーザー光による原子の捕捉・冷却技術を駆使して生まれる光格子中の原子気体系も固体実験・理論解析に次ぐ第3の物性研究の舞台として世界中で熱狂的な発展を見せている。光格子系は量子統計の基礎理解や量子コンピュータ素子としての利用可能性がある一方で、磁氣的・電氣的デバイスへのテクノロジー応用を考えた場合には実固体材料の開発が必要となる。そこで本研究計画では固体材料研究および光格子人工系研究を領域横断的かつ統合的に行い、理論研究・固体材料実験・光学的量子シミュレーションの3者が連携した新たな物性研究パラダイムの創出、確立を目標とする。
	研究 の 結果	笠 - 高柳公式に象徴される時空の幾何学と量子情報の関係や、ホログラフィック双対性の仮説による量子物性系と重力理論の等価性は、素粒子論、物性論、量子情報理論など、異なる分野の物理系の統合的理解を促すのみならず、通常は再現実験が不可能な「宇宙」を卓上で実験できるという魅力的な可能性を示唆する。特にブラックホールを含む重要な問題の量子シミュレーションのためには、曲がった時空での場の理論を、離散的な量子ビット系（量子スピン系）にどのようにマップするかの方策を作成することが重要である。本年度はJordan-Wigner変換や連続極限近似から場の種類（ディラック場、マヨラナ場など）と時空の一般の計量を離散モデルの相互作用パラメータに“翻訳”する辞書を作成した。
	研究 の 考察 ・ 反省	今後は量子計算機を用いて時空の量子シミュレーションを行うための具体的なプロトコルを提案するとともに、一般相対論などの既知の問題を利用した実機のベンチマークを行っていく。作成した辞書を用いることで、例えば宇宙膨張における粒子生成のシミュレーションは、単純な横磁場イジング模型に適切な時間発展スケジュールを課すことで実現できるはずである。時間変化設定における線形関数の制限や計算基底での読み出しなどの、現行の実機の機能に合わせたスケジュールを模索するだけでなく、量子シミュレーションのために必要な拡張の提案も行い、デバイス側の技術発展も刺激していく。
研究発表 学会名 発表テーマ 年月日/場所	※この欄は、本報告書提出時点で判明している事項についてご記入ください。 研究発表 (口頭) 山本大輔 人工量子系における量子状態同定および量子もつれの定量化法の開発 さきがけ「量子情報処理」領域公開シンポジウム 日本科学未来館、東京、2025年2月6日	
研究成果物 テーマ 誌名 巻・号 発行年月日 発行所・者	(口頭) 山本大輔 人工量子多体系におけるエンタングルメント検出と量子シミュレーション さきがけ量子3領域合同セミナー 日本科学未来館、東京、2025年2月5日 (招待講演, 口頭) 山本大輔 強磁場・高圧環境下における量子効果が生み出す新奇フラストレート磁性の理論的開拓と実験データ解析(強磁場フォーラムフロンティア奨励賞受賞講演) 第19回強磁場フォーラム総会 東京大学物性研究所、千葉、2024年12月19日	

(口頭) 山本大輔

量子スピン系を用いた曲がった時空の量子シミュレーション

第 20 回量子スピン研究会

あきた芸術村 温泉ゆぼぼ、秋田、2024 年 12 月 13 日

(口頭) 山本大輔

物質・情報・時空を統合する量子シミュレーション基盤の創出

JST さきがけ研究領域「物質と情報の量子協奏」第 5 回領域会議

AP 大阪淀屋橋、大阪、2024 年 10 月 29 日

(口頭) 山本大輔

Measuring entanglement entropy in quantum many-body systems via spiral quantum state tomography

学術変革(A)「極限宇宙」第 4 回領域会議

大阪大学、大阪、2024 年 9 月 27 日

(口頭) 山本大輔

強相関物性の量子シミュレーションとスパイラル基底量子トモグラフィ

日本物理学会 2024 年 (第 79 回) 年次大会

領域 3 共催シンポジウム講演、17pS101-7、北海道大学、2024 年 9 月 17 日

(口頭) Daisuke Yamamoto

Synthetic Magnets with Ultracold Atoms: Exploration of Diverse Phases under Time-Periodic Driving
International Conference on Magnetism 2024

Bologna congress center, Bologna, Italy, July 2, 2024

(口頭) 山本大輔

人工量子系における量子状態同定および量子もつれの定量化法の開発

JST さきがけ研究領域「革新的な量子情報処理技術基盤の創出」第 10 回領域会議

指宿こころの湯、鹿児島、2024 年 5 月 16 日

(口頭) Daisuke Yamamoto

Exploration of Diverse Phases in Bose-Hubbard Systems under Dual Time-Periodic Driving
Quantum Simulation of Novel Phenomena with Ultracold Atoms and Molecules

YITP, Kyoto university, Kyoto, Japan, April 23, 2024

研究成果物

Katsuki Nihongi, Takanori Kida, Daisuke Yamamoto, Yasuo Narumi, Julien Zaccaro, Yusuke Kousaka, Katsuya Inoue, Yoshiya Uwatoko, Koichi Kindo, and Masayuki Hagiwara

Field-Induced Quantum Phase Transitions in the Pressure-Tuned Triangular-Lattice Antiferromagnet CsCuCl₃

Journal of the Physical Society of Japan 93, 084704 (2024). (JPS Hot Topics)

Yuki Miyazaki, Giacomo Marmorini, Nobuo Furukawa, and Daisuke Yamamoto

Rényi entropy of the permutationally invariant part of the ground state across a quantum phase transition

Physical Review A 110, 052422 (2024).

Daisuke Yamamoto and Katsuhiko Morita

Engineering of a Low-Entropy Quantum Simulator for Strongly Correlated Electrons Using Cold Atoms with SU(N)-Symmetric Interactions

Physical Review Letters 132, 213401 (2024).

Ko Gondaira, Nobuo Furukawa, and Daisuke Yamamoto

Dynamics of Interacting Bosons on the Sawtooth Lattice with a Flat Band

Journal of the Physical Society of Japan 93, 074004 (2024).

Motoaki Bamba, Koji Hashimoto, Keiju Murata, Daichi Takeda, and Daisuke Yamamoto

Spacetime-localized response in quantum critical spin systems: Insights from holography

Physical Review D 109, 126003 (2024).