

近畿大学工学部 理学科物理学コース
総合理工学研究科 理学専攻物理学分野
2022年度 年次報告

令和5年8月31日

目次

素粒子実験研究室	2
素粒子現象論研究室	5
場の量子論・素粒子論研究室	8
ソフトマター物理学研究室	11
物性理論研究室	13
量子多体物理学研究室	16
量子制御研究室	21
固体電子物理研究室	25
生物物理学研究室	27
生命動態物理学研究室	30
一般相対論・宇宙論研究室	33
宇宙論研究室	37
高エネルギー天体物理学研究室	41

素粒子実験研究室

加藤 幸弘 教授
学部生 3 名

研究

研究の概要

- **MPGD を用いた ILD-TPC 検出器の開発**

次世代電子陽電子衝突型加速器計画 (ILC) は国際協力実験計画であり、日本への誘致を目指している。本研究室では、荷電粒子の検出する飛跡検出器の研究開発を、ヨーロッパとアジアの研究者と共同で進めている。ILC で用いられる飛跡検出器は、非常に高精度 (100 μm 程度) で飛跡を同定しなければならないために、研究室が参加している ILD-TPC グループは、ガス増幅部に GEM (Gas Electron Multiplier) を用いたタイムプロジェクションチェンバー (TPC) の採用を目指して様々な研究を行っている。

- **GEM を用いた荷電粒子検出器開発のための基礎研究**

GEM を用いた荷電粒子検出器開発として、2016 年度より絶縁体に低焼結セラミックス (LTCC) を用いた GEM の開発を始めた。LTCC-GEM は放電耐性に優れているとともに 1 万倍を超える増幅率まで到達する。また、プラスチックよりも硬度があるのでたわみが少なく、物理的に孔を開けるために安価で自由に孔構造を変更することができる。この利点を生かして、ガス増幅によって大量に生成された陽イオンが検出部に侵入する (Ion Backflow) 割合を抑制する方法を検討している。孔配置が異なる 2 枚の LTCC-GEM を重ねてガス増幅部の電場構造に変化を与えることで、生成された陽イオンの GEM 極板での吸収割合を十分に増加させることがどうかを simulation を用いて評価している。

- **宇宙背景ニュートリノ崩壊探索実験のための超電導光検出器の開発**

これまでに行われたニュートリノ振動観測実験によって、ニュートリノは質量をもっていることが確認された。3 種類のニュートリノには質量差があるので、重いニュートリノは軽いニュートリノへと輻射崩壊する。宇宙には宇宙初期に生成され、宇宙空間に一様に存在すると予言されている ”宇宙背景ニュートリノ” がある。ニュートリノの寿命は非常に長いですが、宇宙背景ニュートリノが崩壊すれば、崩壊によって微弱なエネルギーをもつ光子 (35 meV 程度) が生成される。このような微弱なエネルギーをもつ光子を検出することによって、ニュートリノ崩壊を観測できる。微弱なエネルギーの光子を検出するために

は、エネルギーギャップの小さい超伝導光検出器が必要であり、そのために超伝導光検出器の開発を行っている。

学術論文（査読付）

1. Y.Aoki, Y. Kato, *et al.*(LCTPC Collaboration, 71 authors)
“Double-hit separation and dE/dx resolution of a time projection chamber with GEM readout”
JINST **17**, P11027, Nov.18 (2022)
2. M. Kobayashi, Y. Kato, *et al.*(29 authors)
“A novel technique for the measurement of avalanche fluctuation of a GEM stack using a gating foil”
*Nuclear Instruments & Methods in Physics Research***A1039** (2022) 166872, Jul.2
3. T. Aaltonen, Y. kato, *et al.*(CDF Collaboration, 398 authors)
“High-precision measurement of the W boson mass with the CDF II detector”
Science **376**, 170-176 (2022), Apr.8

学士論文

- 「Python を用いた中学物理分野の電気回路の電子教材と学習指導案の作成」
- 「GEM モデルを用いた安定した電子増幅率における絶縁体の厚さと電圧の関係」
- 「GEM モデルにおける電場に依存しない最適な電子増幅率の絶縁体の厚さと孔径」

その他

- 教員採用試験春期集中講座「理科実験・理科実験指導案作成」を担当

学内委員

- 物理学コース ネットワーク委員
- 物理学コース 人権教育・ハラスメント防止委員（2022年9月まで）

素粒子現象論研究室

大村 雄司 准教授
修士 4 名 学部生 6 名

研究の概要

- **Pati-Salam 模型に関する研究**

昨年度、LHCb 実験で報告されている素粒子標準模型の予言値と実験結果の不一致に動機付けされた Pati-Salam 模型に関する研究を行った。その研究をもとに、論文 JHEP **07**, 022 (2022) では、1 ループ補正を取り入れたフレーバー物理の解析を行い、LHC 実験やフレーバー物理 ($K_L \rightarrow \mu e$ など) での検証可能性を議論し、レプトクォークと呼ばれるゲージボゾンの質量が $\mathcal{O}(10)\text{TeV}$ の時に、余剰フェルミオンの質量に上限値があることを発見した。

- **暗黒物質模型に関する研究**

暗黒物質 (DM) が素粒子であり、特にレプトンと相互作用する模型 (lepton portal dark matter model) の現象論を研究した。論文 JHEP **03**, 010 (2023) では、DM 直接探索実験からくる強い制限を回避する DM 質量が 10GeV 以下の領域に焦点をあてている。この論文では、そのパラメータ領域での DM 物理からくる制限と LHC 実験での検証方法を解析的に明らかにした。また、論文 Phys. Rev. D **106**, no.1, 015005 (2022) では、この模型での W ボゾンの質量への量子補正とミュオン異常磁気モーメントを計算した。

- **95-100 GeV dai-tau excess に関する研究**

CMS 実験が最近、2つの τ を終状態にもつイベントで標準模型からの不一致を報告している。この結果を受け、論文 Eur. Phys. J. C **82**, no.11, 1053 (2022) では、この不一致を説明するための現象論的模型を構築し、終状態に2つの τ だけでなく2つのトップ粒子があるシグナルも解析し、ATLAS 実験の結果による検証を行った。その結果、不一致を説明することができるスカラー粒子は CP-odd であると結論づけた。

学術論文 (査読付)

1. “Importance of vector leptoquark-scalar box diagrams in Pati-Salam unification with vector-like families,”
S. Iguro, J. Kawamura, S. Okawa and Y. Omura,
JHEP **07**, 022 (2022)
doi:10.1007/JHEP07(2022)022

2. “W boson mass and muon $g-2$ in a lepton portal dark matter model,”
J. Kawamura, S. Okawa and Y. Omura,
Phys. Rev. D **106**, no.1, 015005 (2022)
doi:10.1103/PhysRevD.106.015005
3. “Scrutinizing the 95–100 GeV di-tau excess in the top associated process,”
S. Iguro, T. Kitahara and Y. Omura,
Eur. Phys. J. C **82**, no.11, 1053 (2022)
doi:10.1140/epjc/s10052-022-11028-y
4. “Light lepton portal dark matter meets the LHC,”
S. Iguro, S. Okawa and Y. Omura,
JHEP **03**, 010 (2023)
doi:10.1007/JHEP03(2023)010

修士論文

- 「45 表現の Higgs 場がある $SU(5)$ 大統一理論の解析」

学士論文

- 「ヒッグス機構による質量の導出」
- 「ニュートリノ振動」
- 「ニュートリノ質量生成機構」
- 「暗黒物質と素粒子」
- 「点電荷による電磁波の放射と電磁場の関係」
- 「ピラミッドスキャン計画に用いられる宇宙線ミュオンのエネルギー損失」

国際学会・研究会講演

1. Yuji Omura (presenter), Syuhei Iguro, Junichiro Kawamura, Shohei Okawa
「TeV-scale vector leptoquark from Pati-Salam unification with vectorlike families」
Summer Institute 2022 [19 Sep. 2022]

国内学会・研究会講演

1. Yuji Omura (presenter), Syuhei Iguro, Teppei Kitahara, Hantian Zhang
「Chasing the two-Higgs doublet model in the di-Higgs production」
新ヒッグス勉強会 (大阪大学) [14 Feb. 2023]

競争的外部資金

- 2019年-2023年 科学研究費 (基盤 C)
「暗黒物質模型の分類分けに基づく真空構造の解明」
研究代表者: 大村 雄司 直接経費 700,000 円 (2022年度)

学内委員

- 学生委員 (前、後期)
- 2年生担任 (前、後期)

学外委員

- 「基研研究会 素粒子物理学の進展 2022」世話人 (連絡責任者)

場の量子論・素粒子論研究室

三角 樹弘 准教授

学部生 6 名

研究指導委託 博士 1 名 修士 2 名

研究の概要

- **Exact-WKB 法を用いた超対称量子力学系の解析**

Exact-WKB 法はシュレディンガー型微分方程式をストークス現象と呼ばれる現象に基づいて解く手法であり、我々の研究グループを中心に物理現象への応用が進んでいる。本研究では、超対称性を持つ量子力学系とその対称性を破るパラメータを導入した量子力学系にこの手法を適用し、エネルギー固有値や分配関数を導出するための厳密な量子化条件の導出、フェルミオン自由度がある系における摂動的寄与と非摂動寄与の関係 (リサージェンス関係) の解明に成功した。 (PRD, **107**, 045019)

- **2次元ラージ N シグマ模型におけるリノマロンとリサージェンス構造**

リサージェンス理論とは場の量子論の摂動級数をボレル変換・ボレル和により再定義することで非摂動効果の解析を行う体系を指す。我々は、量子色力学と同様に漸近自由性を持つ 2次元シグマ模型 (O(N) 模型, CPN-1 模型) に着目し、ラージ N 極限と呼ばれる極限においてリサージェンス構造を調べた。その結果、漸近自由な場の量子論に特有のリノマロン不定虚部 (摂動的ボレル変換が持つ特異点に付随) を複数の非摂動セクターの不定虚部が相殺していること、そしてその相殺が二項係数の形で与えられることを発見した。また、高エネルギー領域で定義されている摂動級数とそのボレル和を低エネルギー領域まで解析接続する過程でリノマロン不定虚部が現れる仕組み、コンパクト化の過程でリサージェンス構造がストークス現象を通して変貌していく様子を解明した。この成果は、場の量子論におけるリノマロン不定虚部を含む完全なりサージェンス構造を示した初めての結果であり、幅広い分野で応用が進むものと考えられる。 (JHEP, **2022**(06), 151)

学術論文 (査読付)

1. “Exact WKB analysis for SUSY and quantum deformed potentials: Quantum mechanics with Grassmann fields and Wess-Zumino terms”
Syo Kamata, [Tatsuhiko Misumi](#), Naohisa Sueishi, Mithat Unsal

Physical Review D, **107**(04), 045019 (2023) (2月号)
DOI:10.1103/PhysRevD.107.045019

2. “Resurgence and semiclassical expansion in two-dimensional large-N sigma models”
Hiromichi Nishimura, Toshiaki Fujimori, Tatsuhiko Misumi, Muneto Nitta, and Norisuke Sakai
Journal of High Energy Physics, **2022**(06), 151 (2022) (6月号)
DOI:10.1007/jhep06(2022)151

国際学会・研究会講演

1. Tatsuhiko Misumi (presenter)
「New insights into lattice fermions and topology」
“Novel Lattice Fermions and their Suitability for High-Performance Computing and Perturbation Theory” MITP, Mainz University, Germany [6 Mar. 2023]
2. Tatsuhiko Misumi (presenter)
「Resurgence in QFT -renormalon, phase transition and more-」
“Applicable resurgent asymptotics: Summary meeting(AR2W03)” Isaac Newton Institute of Mathematical Sciences, the university of Cambridge [16 Dec. 2022]

国内学会・研究会講演

1. 湯本純 (presenter), 三角樹弘
「位相幾何学的視点に基づいた格子フェルミオンの最大個数に関する予想」
日本物理学会 2023 年春季大会, 講演番号 25pS2-2, オンライン [25 Mar. 2023]
2. 三角 樹弘 (presenter)
「格子フェルミオン再考 -グラフ理論と位相不変量の立場から-」
基研国内モレキュール型研究会 「格子上の場の理論と連続空間上の場の理論」
京都大学基礎物理学研究所 [19 Jul. 2022]

競争的外部資金

- 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 2019 年度-2022 年度 「量子異常・リサーチジェ
ンス・格子理論を組み合わせた非摂動解析」 19K03817
研究代表者: 三角 樹弘 直接経費 800,000 円 (2022 年度)

- 科学研究費補助金 学術変革領域研究 (A) 2022 年度-2027 年度「学習物理学の創生：機械学習への位相幾何学的アプローチ」 22H05118
研究代表者: 福嶋 健二 直接経費 1,250,000 円 (2022 年度)

学内委員

- 理工学部図書広報委員会委員、SNS 小委員会委員長 (前, 後期)
- 物理学コースオープンキャンパス係 (前, 後期)

学外委員

- 文部科学省 学術変革領域研究 (A) 専門委員会審査委員
- 日本学術振興会 特別研究員等審査会専門委員, 卓越研究員候補者選考員会書面審査委員及び国際事業委員会書面審査委員・書面評価委員
- 京都大学基礎物理学研究所 国内モリキュール型研究会 世話人「格子上の場の理論と連続空間上の場の理論」

ソフトマター物理学研究室

堂寺 知成 教授
修士1名 学部生5名

研究の概要

- **ソフト準結晶 — 学問分野の創成** 「準結晶」の発見は20世紀後半の物質科学上の大発見で2011年にノーベル賞が与えられた。本研究室では「高分子準結晶」を理論的に予測、さらに実験的に発見した。2011年ノーベル化学賞発表の際にも高分子準結晶は言及され、学問の発展に貢献した。準結晶の普遍性と物性の理論的研究をさらに推進し、21世紀の準結晶物理学の新たな潮流を創造することが本研究室の重要な目標である。スロベニアのステファン研究所と国際共同研究し、ソフトマター準結晶を通して凝縮系物理学の基礎的概念の新たな構築を目指した。その成果はNature、Nature Materials、Nature Communicationsに発表、中蔵丈一郎氏（2020年大学院卒）は従来の準結晶概念を覆す「青銅比タイリング構造」とその仲間を発見し、2回の日本物理学会学生優秀発表賞、近畿大学院大学院学長賞を受賞した。また、「青銅比タイリング」に関連して英国ラフバラ大学、リーズ大学との国際共同研究を行なった。現在、さらなる準結晶学の革新を目指し、東京工業大学と共同研究を行っている。
- **ラビリンス — 世にも奇妙なソフトマターの自己組織化現象** ソフトマター物理学は、20世紀末に成立した新しい物理学の1分野である。ソフトマターとよばれる物質群には、高分子、コロイド、液晶、界面活性剤、生体物質などがあるが、本研究室ではソフトマターの自己組織化現象に注目している。これまでアルキメデス相、高分子準結晶、モザイク準結晶、メゾスコピックダイヤモンド相、双曲タイル構造など常識を打ち破る構造を次々に発見し、その統計物理学的計算研究を推進している。近年は特にSchoen博士の発見したGyroid曲面を例としたソフトマター3重周期極小曲面、周期的ラビリンス（迷路）構造に興味を持っている。3重周期極小曲面上のHexagulation Numberの提案が近年の成果である。現在、シドニー大学と国際共同研究を行っている。
- **分野を越えた横断的研究** ソフトマター物理学だけでなく、固体物理学、光学、ナノテクノロジー、結晶学、数学、化学などとの境界領域を横断的に研究することも本研究室の特徴である。近年、3Dプリンターや音響の研究者と交流している。

メディア掲載

- 11月6日 高分子準結晶発見の論文が Wikipedia (En) 「Quasicrystal」 Ref.37 に掲載された。
- 10月13日 発表論文が PhysRevE on Twitter におすすめ論文 (Editors' Suggestion) として掲載された。
<https://twitter.com/PhysRevE/status/1580909038707306502?s=20&t=Sc8sAWmn1W8P0mBkKqv1Ew>

学術論文 (査読付)

1. “Rectangle-triangle soft-matter quasicrystals with hexagonal symmetry”
A. J. Archer, T. Dotera, and A. M. Rucklidge
Phys. Rev. E. **106**, 044602 (2022).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.106.044602>
Editors' Suggestion

学士論文

- 「チュービンゲン三角形タイリングの電子状態」
- 「3D プリンターを用いたジャイラングルの製作と遮音効果」

学内委員

- 総合理工学研究科理学専攻副専攻長 (前、後期)

物性理論研究室

笠松 健一 教授
博士1名 学部生4名

研究

研究の概要

本研究室では、ナノケルビン (10^{-9} K) の超低温まで冷却された中性原子気体における量子多体現象や、ボース・アインシュタイン凝縮した体系で起こる超流動現象に関する理論的研究を行っている。本年度の成果は以下のとおりである。

- 2成分ボース凝縮体中の量子渦におけるケルビン波

Bogoliubov-de Gennes 方程式の解析に基づき、2成分ボース-アインシュタイン凝縮体中の単一渦および半整数量子渦に沿って伝搬するケルビン波の分散関係を研究した。低波数領域と高波数領域の分散関係を結ぶ補間式を用いて、各成分の渦芯サイズの変化を通して、成分間相互作用に対する分散関係の非自明な依存性を明らかにした。また、両成分が重なり合った単一量子渦を持つ場合に、ケルビン波分散がギャップレスの分枝とギャップをもつ分枝に分かれることを見いだした。

学術論文 (査読付)

1. “Kelvin wave in miscible two-component Bose-Einstein condensates”
Kenichi Kasamatsu, Maki Okada, and Hiromitsu Takeuchi
Physical Review A **107**, 013309 [9 Pages] (2023) (1月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.107.013309>
2. “Vorticity distribution in quantum Kelvin-Helmholtz instability of binary Bose-Einstein condensates”
Haruya Kokubo, Kenichi Kasamatsu, and Hiromitsu Takeuchi
Journal of Low Temperature Physics, **208**, 410-417 (2022) (9月号)
DOI:<https://doi.org/10.1007/s10909-021-02660-1>

学士論文

- 「二重数の概念と数値解析への応用」

- 「ボックスストラップ内のボースアインシュタイン凝縮体における様々な渦格子構造」
- 「機械学習による二次元正方格子 XY 模型の解析」
- 「一様超流体における多重量子渦の分裂のダイナミクス」

国際学会・研究会講演

1. Haruya Kokubo (presenter) and Kenichi Kasamatsu
 “Dynamics of the wake in the Gross-Pitaevskii model with a small nonlinear coefficient”
 29th International Conference on Low Temperature Physics, Sapporo, Japan
 [20 Aug. 2022].
2. Michikazu Kobayashi (presenter), Hiromitsu Takeuchi, and Kenichi Kasamatsu
 “Mechanism of splitting instability of a doubly quantized vortex”
 29th International Conference on Low Temperature Physics, Sapporo, Japan
 [20 Aug. 2022].
3. Yoshihiro Machida, Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, Kenichi Kasamatsu (presenter)
 “Quantum droplet of a Bose-Bose mixture in an optical lattice near the Mott insulator transition”
 29th International Conference on Low Temperature Physics, Sapporo, Japan
 [19 Aug. 2022].

国内学会・研究会講演

1. 小久保治哉、笠松健一、竹内宏光
 「板状障害物による超流動伴流のダイナミクス」
 日本物理学会 2023 年春季大会 オンライン [24 Mar. 2023]

学外活動

- 笠松健一
 「大学院博士課程とその後のキャリアについて—冷却原子気体の物理を理論研究している研究者の例—」
 南部・アインシュタインフェローシップ 2022 年度 全体セミナー 大阪公立大学 2023 年 3 月 20 日

その他

- 大阪ほんわかテレビ(11月11日(金)放送分)にて放送内容に関するコメント

学内委員

- 理工学部予算委員会委員（前、後期）
- 総合理工学研究科大学院委員（後期）

学外委員

- 大阪公立大学フェロシップ創設事業量子分野 アドバイザリー委員
- Scientific Reports (Nature publishing group) Editorial board member
- Condensed matter (MDPI) Editorial board member

量子多体物理学研究室

段下 一平 (准教授)
金子 隆威 (PD)、鏡原 大地 (PD)
Mikkelsen, Mathias (PD)
修士 2 名 学部生 5 名

研究の概要

● 量子多体系の数値計算手法の開発

量子多体系を厳密対角化法で解析すると、数値計算のコストが系のサイズに対して指数関数的に増大する。そのため、多くの場合現実的な実験と対応する結果を得るためには、より効率的な計算手法が必要である。二分割エンタングルメントエントロピー (EE) は量子的な純粋状態の二つの部分がどれくらいエンタングルしているかを定量化する尺度である。EE の具体的な形式としてフォンノイマン型のそれが理論的に様々な良い性質を持っているためよく用いられるが、観測が難しいというデメリットもある。一方、Rényi EE はフォンノイマン EE の下限値を与える量で、二次の Rényi EE は冷却 Bose 気体系の実験で観測されている。本研究では、光格子中の自由 Bose 気体において、二次の Rényi EE を比較的効率よく計算する方法を新たに開発した。具体的には、冷却気体実験でこの量を測定する手順をまねすることで、大きいサイズの系の数値計算に適した解析的表式を二次の Rényi EE に対して与えることができた。今回の手法のデモンストレーションとして、二次の Rényi EE の長時間ダイナミクスを計算し、熱平衡化の検証をした。

昨年度の研究で、random-phase matrix product states with trotter gates (RPMPS+T) という行列積状態を用いて有限温度の量子状態を効率よく記述する数値計算手法を開発した。今年度の研究で、RPMPS+T をさらに発展させることで、量子コンピュータを用いて有限温度の量子状態をシミュレーションする新たな手法を提案した。

● 光格子中の冷却気体の物性

光格子中の冷却気体系からなるアナログ量子シミュレータは非常に制御性と清浄性が高いため、新奇な量子多体現象の発見に有用である。光格子中の 2 成分 Fermi 気体において、成分間にラビ結合があり、ホッピングが成分に依存する場合を考える。そのような状況は状態依存する光格子中の Yb 原子気体系で実現され、注目を集めている。密度行列繰り込み群法と有効模型に対する解析的考察を用いて、ラビ結合とスピン依存ホッピングを持つ Fermi-Hubbard 模型を解析し、空間一次元におけるこの系の基底状態相図を描いた。特に一方の成

分のホッピングがゼロで超流動性が一般的には抑制されている場合に焦点を当て、ラビ結合の強さを変化させたときに超流動性が共鳴的に増進されるパラメータ領域を発見した。

学術論文（査読付）

1. “Rényi entanglement entropy after a quantum quench starting from insulating states in a free boson system”
D. Kagamihara, R. Kaneko, Shion Yamashika, Kota Sugiyama, Ryosuke Yoshii, Shunji Tsuchiya, and I. Danshita
Physical Review A, 107, 033305-1-14
DOI:10.1103/PhysRevA.107.033305
2. “Evaluating thermal expectation values by almost ideal sampling with Trotter gates”
Shimpei Goto, R. Kaneko, and I. Danshita
Physical Review B, 107, 024307-1-7
DOI:10.1103/PhysRevB.107.024307
3. “Resonant superfluidity in the Rabi-coupled spin-dependent Fermi-Hubbard model”
M. Mikkelsen, R. Kaneko, D. Kagamihara, and I. Danshita
Physical Review A, 106, 043316-1-10
DOI:10.1103/PhysRevA.106.043316

学士論文

- 「ガウス型ポテンシャル障壁に対する Bogoliubov 励起の異常トンネル効果の数値解析に向けて」
- 「拡張 Bose-Hubbard 模型における古典カオスの数値解析」
- 「2成分 Bose-Hubbard 模型における相対論的量子液滴」
- 「厳密対角化を用いた Efimov 効果の数値的研究に向けて」
- 「ラビ結合とスピン依存ホッピングを持つ Fermi-Hubbard 模型における超流動状態の臨界速度の理論解析に向けて」

国際学会・研究会講演

1. R. Kaneko (presenter) and Ippei Danshita
“Simulating correlation-spreading dynamics in the two-dimensional Bose-Hubbard model by the tensor-network method”
APS March Meeting 2023 [10 March 2023]
2. Shimpei Goto (presenter), R. Kaneko , and Ippei Danshita
“Efficient Sampling Scheme with Trotter Gates for Evaluating Thermal Expectation Values on Quantum Computers”
APS March Meeting 2023 [9 March 2023]
3. R. Kaneko (poster) and Ippei Danshita
“Tensor-network simulations of correlation-spreading dynamics in two-dimensional quantum many-body systems”
The 1st young researchers’ workshop of the Extreme Universe Collaboration [16 February 2023]
4. D. Kagamihara (poster), R. Kaneko, Shion Yamashika, Kota Sugiyama, Ryosuke Yoshii, Shunji Tsuchiya, and Ippei Danshita
“Time evolution of Rényi entanglement entropy of free bosons in an optical lattice”
The 1st young researchers’ workshop of the Extreme Universe Collaboration [15 February 2023]
5. D. Kagamihara (poster), R. Kaneko, Shion Yamashika, Kota Sugiyama, Ryosuke Yoshii, Shunji Tsuchiya, and Ippei Danshita
“Rényi entanglement entropy after a quantum quench starting from insulating states in a free boson system”
Novel Quantum States in Condensed Matter 2022 [24 November 2022]
6. R. Kaneko (presenter) and Ippei Danshita
“Simulating correlation-spreading dynamics in two-dimensional quantum many-body systems by the tensor-network method”
Novel Quantum States in Condensed Matter 2022 [23 November 2022]
7. Yuki Nakamura (poster) , R. Kaneko , and Ippei Danshita
“Creating the Ising model with sign-inverted next-nearest-neighbor interaction by using Rydberg atoms”
International Conference on Low Temperature Physics 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) [19 August 2022]

8. R. Kaneko (poster) and Ippei Danshita
 “Tensor-network study of correlation-spreading dynamics in two-dimensional quantum many-body systems”
 International Conference on Low Temperature Physics 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) [19 August 2022]
9. M. Mikkelsen (presenter), R. Kaneko, D. Kagamihara, and Ippei Danshita
 “Resonant superfluidity in Rabi-coupled spin-dependent Fermi-Hubbard model”
 Atomtronics@Benasque 2022 [9 May 2022]
10. M. Mikkelsen (presenter), R. Kaneko, D. Kagamihara, and Ippei Danshita
 “Resonant superfluidity in Rabi-coupled spin-dependent Fermi-Hubbard model”
 Ultracold Atoms Japan 2022 [14 April 2022]

国内学会・研究会講演

1. 金子 隆威 (presenter), 國見 昌哉, 段下 一平
 「強い三体ロス項を持つ Bose-Hubbard 模型における量子多体傷跡状態」
 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン [2023 年 3 月 25 日]
2. 長尾 一馬 (presenter), 段下 一平, 柚木 清司
 「開放ボースハバード系における連続量. ゼノン効果の準古典的記述」
 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン [2023 年 3 月 25 日]
3. 鏡原 大地 (presenter), 金子 隆威, 山鹿 汐音, 杉山 康太, 吉井 涼輔, 土屋 俊二, 段下 一平
 「自由 Bose 粒子系における Rényi エンタングルメントエントロピーの時間発展」
 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン [2023 年 3 月 23 日]
4. M. Mikkelsen (presenter), 段下 一平
 「Comparison between noise correlations and the spin-structure factor in $SU(N)$ 」
 日本物理学会 2022 年秋季大会 [2022 年 9 月 14 日]
5. 金子 隆威 (presenter), 後藤 慎平, 段下 一平
 「テンソルネットワーク法によるプラケット格子上の $SU(4)$ Heisenberg 模型の基底状態探索」
 日本物理学会 2022 年秋季大会 [2022 年 9 月 13 日]
6. 國見 昌哉 (presenter), 段下 一平
 「運動量空間の Hilbert space fragmentation に由来する永久流状態」
 日本物理学会 2022 年秋季大会 [2022 年 9 月 13 日]

競争的外部資金

- 2021-2023 年度 JST 創発的研究支援事業「テンソルネットワーク法と量子シミュレータで切り拓く新奇量子多体现象」
研究代表者: 段下 一平 直接経費 7,237,000 円 (2022 年度)
- 2021-2023 年度 科学研究費 (若手) 「2 次元テンソルネットワーク手法を用いた量子多体系の実時間ダイナミクスの研究」
研究代表者: 金子 隆威 直接経費 800,000 円 (2022 年度)
- 2022-2023 年度 科学研究費 (若手) 「Effective thermodynamics of reduced density matrices」
研究代表者: Mikkelsen Mathias 直接経費 1,600,000 円 (2022 年度)
- 2021-2022 年度 科学研究費 (基盤 B) 「強相関冷却原子気体を用いた開放量子多体系の実験的研究」
研究代表者: 高須洋介 (京都大学大学院), 研究分担者: 段下 一平 直接経費 500,000 円 (2022 年度)
- 2018-2022 年度 科学研究費 (基盤 S) 「光格子中超低温原子気体の軌道及びスピ自由度を駆使した新量子物性の開拓」
研究代表者: 高橋 義朗 (京都大学大学院), 研究分担者: 段下 一平 直接経費 4,400,000 円 (2022 年度)
- 2018-2027 年度 光・量子飛躍フラッグシッププログラム 基礎基盤研究「アト秒ナノメートル領域の時空間光制御に基づく冷却原子量子シミュレータの開発と量子計算への応用」
研究代表者: 大森 賢治 (分子科学研究所), 共同研究者: 段下 一平 直接経費 5,183,690 円 (2022 年度)

学内委員

- 入試委員 (前、後期)
- 4 年生担任 (前、後期)
- ロシアワーキンググループ委員 (前、後期)

学外委員

- 学術論文誌 Journal of the Physical Society of Japan の編集委員

量子制御研究室

近藤 康 教授

博士研究員 1 名 修士 1 名 学部生 5 名

研究

研究の概要

- **核磁気共鳴 (NMR) 装置の開発と応用**

NMR は比較的簡単な装置で量子力学的な対象 (原子核のスピン) を操作し測定できる実験手法である。その応用分野は広く、医療における MRI (Magnetic Resonance Imaging) から最先端の物性研究まで幅広い分野で使われている。

2018 年には、電気電子工学科の菅原先生と協力して開発したフェライト磁石を用いた静磁場による NMR 装置を改良して、化学シフトが検出できるまで磁場の均一度を向上させた。

次の項目にも関係するが、これらの卓上型 NMR 装置による量子アルゴリズムの実装にも成功している。

- **量子コンピュータ、特に NMR 量子コンピュータ**

古典コンピュータが 0 と 1 を用いた 2 進数を使って論理演算を行うのに対し、量子コンピュータは量子力学に基づき、 $|0\rangle$ と $|1\rangle$ と見なすことができる二つの状態を論理演算の基礎に置く。量子コンピュータの研究と言っても、その本質は量子力学の研究である。

今、量子コンピュータの分野は非常に面白い。まるで、アメリカの西部開拓時代のようにちょっと危ない雰囲気がある (詐欺師まがいの研究者がいたり、早撃ちの決闘のようにできるだけ早く論文を出さないと競争に負ける、などのことがある)。しかしながら、とても「元気」のある領域である。

化学分析に用いる NMR 装置を用いて、実験的にアルゴリズムの研究を行ってきた。簡単な Deutsch-Jozsa のアルゴリズムからスタートして、「量子テレポーテーション」の実験にも成功している。2008 年度から装置の開発も始めた。

2017 年 10 月から、NTT の物性基礎研究所の斎藤志郎氏がチーム・リーダーの「超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング」の CREST 研究の主たる共同研究者になった。近畿大学では、「量子センサ実現に向けた理論の開発と NMR による原理実証」を行う。この予算で 2022 年度は 1 名の博士研究員 (PD) を採用した。

最近は、溶液中の分子を近似的な孤立系とみなして、緩和の研究を行っている。2021年度には基盤研究（C）にも採択され、継続中である。

● 学生実験装置の開発

コンパクトで簡単に操作できるけれど、教育的な価値のある実験が行える装置を「開発」し、それを用いた実験の指導法を「研究」している。

これまでに、等電位線、光の干渉、コンデンサーの充放電、相互誘導、高温超伝導、共振回路などの実験を行う装置を作ってきた。「開発」した装置による実験手引き書は私のホームページにて閲覧可能である。また、「物理学実験教育の新しい試み（近畿大学理工学部通信、第31号）」も参照のこと。

学術論文（査読付）

1. “General off-resonance-error-robust symmetric composite pulses with three elementary operations”, Shingo Kukita, Haruki Kiya, Yasushi Kondo, Physical Review A 106(4) 2022年10月25日, <https://doi.org/10.1103/physreva.106.042613>.
2. “Short Composite Quantum Gate Robust against Two Common Systematic Errors”, Shingo Kukita, Haruki Kiya, Yasushi Kondo, Journal of the Physical Society of Japan 91(10) 2022年10月15日, <https://doi.org/10.7566/jpsj.91.104001>.
3. “Geometric Property of Off Resonance Error Robust Composite Pulse”, Shingo Kukita, Haruki Kiya, Yasushi Kondo, scientific reports 2022年6月10日, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1022466/v1>.

学士論文

- 「学生実験用 NMR 量子コンピュータ」
- 「太陽電池を電源とするデータロガー」
- 「レーザーによる無線給電」
- 「ディープラーニングによる画像解析」
- 「Kinect を用いたモーション・キャプチャ」
- 「放射線は怖くない！」

国内学会・研究会講演

1. 木屋晴貴 (presenter), 久木田真吾, 近藤康
「Pulse Length Error と Off-Resonance Error 両方に耐性を持つ複合量子ゲートの最短所要時間のしらみつぶしの探索」
日本物理学会秋季大会（東工大） [2022/09/12]
2. 久木田真吾 (presenter), 木屋晴貴, 近藤康
「NMR 実験を用いた人工的な緩和現象のモデル化」
日本物理学会秋季大会（東工大） [2022/09/12]
3. 久木田真吾 (presenter), 木屋晴貴, 近藤康
「パルス長エラー耐性をもつ複合量子ゲートの所要時間の下限」
日本物理学会春季大会（オンライン） [2023/03/22]
4. 西田翔 (presenter), 木屋晴貴, 久木田真吾, 近藤康
「学生実験用 NMR 量子コンピュータ」
日本物理学会秋季大会（オンライン） [2023/03/25]
5. 木屋晴貴 (presenter), 久木田真吾, 近藤康
「緩和モデルの NMR による実現」
日本物理学会秋季大会（オンライン） [2023/03/25]

競争的外部資金

- 戦略的創造研究推進事業、研究タイプ「チーム型（CREST）」
研究領域：量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
研究課題：超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング
期間：2017年10月1日より2023年3月31日まで（予定）
研究代表者：齋藤 志郎
研究題目：量子センサ実現に向けた理論の開発と NMR による原理実証
主たる共同研究者：近藤 康
2022年度直接経費：464万円
- 基盤研究（C）
分野：半導体，光物性および原子物理関連
研究題目：NMR 量子コンピュータの手法による開放系の研究
研究代表者：近藤 康
2022年度直接経費：100万円

学外活動

- キャリア教育に係る令和4年度近畿大学工学部体験学習
東大阪キャンパス 2022年8月23日
「アヲハタジャム（瓶）の秘密」
- 近大附属中学実験
東大阪キャンパス 2022年8月29日
「霧箱」他。

学内委員

- 物理学コース主任（前、後期）
- 理学科学科長（後期）

固体電子物理研究室

増井 孝彦 准教授
学部生 5名

研究の概要

- セレン化銅ビスマスの電解析出

近年、当研究室では電気化学法による膜の作製に取り組んでいるが、本研究ではセレン化銅ビスマスの合成を行った。セレン化銅ビスマスは光電変換材料として、また超伝導物質としても注目されている。電解液を作る際には参考にした先行研究とは少し異なる原料を用い、膜の合成後にはXRDやEDXによる評価を行った。

学士論文

- 「セレン化銅ビスマスの電解析出と特性評価」
- 「 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の Pr 問題」
- 「Bi2212 での Ni-Zn 同時置換効果と限界値」
- 「電気化学法を用いた FeTe の合成とその解析」
- 「高温超伝導体 Bi2223 における Bi サイトの Pb 置換と設定条件の評価」

競争的外部資金

- 2020-2022 年度二国間交流事業「角度分解光電子分光による銅酸化物高温超伝導体における電子・格子相互作用の解明」
研究分担者：増井 孝彦

その他

- 教員採用試験春期対策講座 【専門】理科実験(物理) 2023年2月27日～3月110日

学内委員

- 教務委員（前、後期）、教員養成カリキュラム委員（前、後期）
- 33号館物理実験室世話人（前、後期）

生物物理学研究室

矢野 陽子 教授
修士1名 学部生6名

研究の概要

- **マランゴニ対流生成消滅にともなう自己組織化膜形成ダイナミクスの研究**
マランゴニ対流は、表面張力が場所によって異なる場合に自発的に生じる対流のことである。一般に界面で自己組織化膜が形成されるとき、しばしばマランゴニ対流を伴う。本研究では、マランゴニ対流によって、界面に生成消滅する自己組織化膜の形成過程を、表面張力および時分割 X 線反射率測定によって観測する。界面の電子密度分布の時間変化から、両親媒性分子の自己組織化機構を分子レベルで理解することを目指す。
- **タンパク質の界面吸着ダイナミクスの観測**
タンパク質は非常に複雑で多種多様の構造を持つ。これは、個々のタンパク質分子が生体内中に存在する何千という異なる分子をわずかな三次元的相互作用で認識することで、その機能を発現するというしくみによる。本研究では、タンパク質が熱力学的な最安定構造（ネイティブ状態）から、外部環境の変化に応じて変性（アンフォールド状態）する際の構造変化を追跡することで、最安定構造を決めるファクターについて検討している。放射光施設の高輝度 X 線を用い、構造変化の様子を実時間計測する手法の開拓も行っている。

学術論文（査読なし）

1. “放射光を使ったソフト界面の動的構造解析”
矢野陽子
オレオサイエンス, **23**, 121-126 (2023) (3月号)
DOI: 10.5650/oleoscience.23.121

学士論文

- 「P 分子動力学法による流動場での脂質二重膜の構造シミュレーション」
- 「脂質多成分系の単分子膜を用いたマランゴニ対流による表面張力の自発振動」
- 「流速測定によるマランゴニ対流と温度変化の関係性の解析と DPPC を用いた水面上の粒子の動きの解析」

- 「液液界面でみられるマランゴニ対流による表面張力の自発振動」
- 「マランゴニ対流による表面張力の自発振動を利用したトリガー回路」

国内学会・研究会講演

1. 矢野陽子 「放射光を使ったソフト界面の動的構造解析」(招待講演) ,
第 40 回 関西界面科学セミナー “「界面」をみる” ～「界面」の構造・評価・
機能～オンライン, [30 Jul. 2022]
2. 矢野陽子 生命のしくみを解き明かせ～ 液体界面で起こる特異な現象観測～
(招待講演) ,
第 68 回界面科学部会秋季セミナー～ 放射光を用いた界面研究の最前線～ 生
命現象と界面科学～, 油脂工業会館 [31 Nov. 2022]
3. 高橋祐都 中尾怜 矢野陽子, マランゴニ対流による表面張力の自発振動,
日本物理学会 2022 年秋季大会, 東京工業大学 [14 Sep. 2022]
4. 矢野陽子 , マランゴニ対流による表面張力の自発振動と脂質膜の弾性運動,
第 10 回ソフトマター研究会, 九州大学 [23 Nov. 2022]
5. 高橋祐都, 矢野陽子, マランゴニ対流下におけるリン脂質単分子膜のミクロ構
造の観測,
日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン [22 Mar. 2022]
6. 久保田峻, 矢野陽子, 脂質三成分系単分子膜をもちいたマランゴニ対流による
表面張力の自発振動,
日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン [22 Mar. 2022]

競争的外部資金

- 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 「マランゴニ対流を利用した脂質ラフト形
成機構の研究」
研究代表者: 矢野陽子 直接経費 370,000 円 (2022 年度)

学外活動

- 『SPring-8 秋の学校』グループ講習「ソフト界面の構造解析」 講師
高輝度光科学研究センター, 2022 年 9 月 4 日 - 7 日

運営

学内委員

- 理工学部 安全管理衛生委員長
- 体育会フィギュアスケート部部长

学外委員など

- SPring-8 ユーザー協同体「ソフト界面科学研究会」代表
- 大阪府原子炉問題審議会委員

生命動態物理学研究室

西山 雅祥 准教授
学部生 6 名

研究

研究の概要

- 高圧力が誘起する心筋細胞の収縮現象

個体は体内に血液を循環させるため心臓を拍動させている。心臓は収縮と弛緩を繰り返し、その形態をダイナミックに変化させるのだが、その際、血圧も大きく変わることになる。こうした血液の圧力変化が心臓の形態や心機能にフィードバックすることは、古くから知られていたことである。しかしながら、圧力が負荷された状況で心筋細胞などの動態を調べる技術がなく、圧力の影響を詳細に調べることができなかった。本研究では、これまで開発してきた高圧力顕微鏡を用いて、非生理的な圧力（～10 MPa）が心筋細胞に与える影響を調べた。マウスから急性単離した心筋細胞に 5～20 MPa の圧力を負荷したところ、筋原繊維に沿ってゆっくりと収縮する様子が観察された。この収縮は、サルコメア長の短縮を伴い、また、非選択的ミオシン ATPase 阻害剤の投与で阻害されたことから、アクトミオシンによる収縮反応が高圧力により誘起されたといえる。興味深いことに、この収縮時に細胞内 Ca^{2+} 濃度の増加はみられなかった。したがって、10 MPa 程度の圧力は、心筋細胞内にあるアクチンとミオシンの分子間相互作用を直接変化し、細胞の収縮を引き起こすはたらきがあると推察される (Yamaguchi *et al.*, *Biophys J.* (2022))。

学術論文（査読付）

1. “High hydrostatic pressure induces slow contraction in mouse cardiomyocytes.”
Yohei, Yamaguchi, Masayoshi, Nishiyama, Hiroaki, Kai, Toshiyuki, Kaneko, Keiko, Kaihara, Gentaro, Iribe, Akira, Takai, Keiji, Naruse, and Masatoshi, Morimatsu.
Biophysical Journal, **121**, 3286 (2022) (9月号)
DOI: 10.1016/j.bpj.2022.07.016

学士論文

- 「熱水噴出抗を模倣した局所加熱システムの開発」

- 「大腸菌の温度走性イメージング」
- 「大腸菌遊泳運動の圧力応答解析」
- 「大腸菌べん毛モーターの圧力応答イメージング」
- 「哺乳類精子鞭毛の運動解析」
- 「ウニ精子鞭毛の運動解析」

国内学会・研究会講演

1. 木下誠一郎 (presenter), 西山雅祥
「圧力変化を用いた大腸菌の走性コントロール」
2022年度 べん毛交流会, 大阪大学 [9 Mar. 2023]
2. Kelli K Mullane, Masayoshi Nishiyama (presenter), Tatsuo Kurihara, Douglas Bartlett (poster)
「Low temperature and high hydrostatic pressure have compounding effects on marine microbial motility」
Biophysical Society 67th Annual Meeting, USA [22 Feb. 2023]
3. Seiichiro Kinoshita, Masayoshi Nishiyama (presenter) (poster)
「Rapid responses of bacterial motility to pressure changes」
Biophysical Society 67th Annual Meeting, USA [22 Feb. 2023]
4. 木下誠一郎, 西山雅祥 (presenter)
「大腸菌走化性応答の圧力変調イメージング」
2023年 生体運動研究会合同班会議プログラム, 東京大学 [7 Jan. 2023]
5. 木下誠一郎 (presenter), 西山雅祥
「圧力変化に伴う大腸菌の過渡応答イメージング」
第63回高圧力討論会, 立命館いばらきフューチャープラザ [15 Dec. 2022]
6. 西山雅祥 (presenter) (招待講演)
「静水圧で躍動する分子マシナリ」
第63回高圧力討論会, 立命館いばらきフューチャープラザ [14 Dec. 2022]
7. Masayoshi Nishiyama (presenter) (poster)
「Bacterial motility measured by depressurization microscopy」
第60回生物物理学会年会, 函館アリーナ・函館市民会館 [30 Sep. 2022]

競争的外部資金

- 科学研究費補助金 基盤研究 (B)
「高圧力で誘起する鞭毛振動活性化イメージング」
研究代表者: 西山 雅祥 直接経費 4,500,000 円 (2022 年度)
- 科学研究費補助金 学術変革領域研究 (A) ジオラマ行動力学
「熱水噴出孔のジオラマ再現と極限環境微生物の生存戦略ストラテジー」
研究代表者: 西山 雅祥 直接経費 2,200,000 円 (2022 年度)
- 科学研究費 挑戦的研究 (萌芽)
「麻酔薬圧拮抗作用の実時間イメージング」
研究代表者: 西山 雅祥 直接経費 2,350,000 円 (2022 年度)
- 科学研究費補助金 基盤研究 (A)
「新規メカニカル負荷装置の開発を通じた次世代メカノメディスンへの挑戦」
研究分担者 (研究代表者: 成瀬恵治) (2022 年度)

学内委員

- 就職担当委員 (前、後期)
- 3 年生担任 (前、後期)

学外委員

- 日本生物物理学会 分野別専門委員
- 日本高圧力学会 評議員

一般相対論・宇宙論研究室

石橋 明浩 教授

研究員 1 名, 博士 2 名, 修士 5 名, 学部生 5 名

研究の概要

- **ブラックホール時空の有質量摂動論**
引き続き、反ドジッター (AdS) 時空上の波動のダイナミクスについて詳細な解析を行った。
- **漸近安全な量子重力理論におけるブラックホールの構成**
漸近安全性における厳密繰り込み群的手法に基づく量子補正したブラックホール時空の構成を、回転ブラックホールの場合に試みた。これまで回転ブラックホールの量子補正を安易に行うと、ブラックホール熱力学と矛盾することが知られていた。本研究では、熱力学法則と矛盾しない量子補正 (スケール同一視) の方法を提案し、漸近安全な量子ブラックホールに対する普遍的なエントロピー公式を導いた。
- **ブラックホール・アトラクター**
臨界ブラックホールのホライズン近傍での場の値が漸近遠方の情報とほぼ無関係に定まるアトラクター機構について、2つのマクスウェル場およびディラトン場と結合する静的臨界ブラックホールの場合に考察した。
- **極限宇宙の問題**
量子宇宙の方程式を導出することを目的とし、主な力学変数は古典場として扱うが、その源項は量子場として扱う半古典問題をホログラフィー原理を用いて考察した。特に、AdS/CFT 対応を用いて「半古典アインシュタイン方程式」を AdS 境界上で定式化する方法を考察した。

学術論文 (査読付)

1. “Flows of extremal attractor black holes” Norihiro Iizuka, [Akihiro Ishibashi](#), and Kengo Maeda JHEP 09 (2022) 093 • e-Print: 2206.04845 [hep-th]
2. “Running Newton coupling, scale identification, and black hole thermodynamics” Chiang-Mei Chen, Yi Chen, [Akihiro Ishibashi](#), Nobuyoshi Ohta, and Daiki Yamaguchi Phys.Rev.D 105 (2022) 10, 106026 • e-Print: 2204.09892 [hep-th]

3. “Transient chaos analysis of string scattering” Koji Hashimoto, [Yoshinori Matsuo](#), and Takuya Yoda, JHEP 11 (2022) 147 • e-Print: 2208.08380 [hep-th] Published: 25 November 2022
4. “String is a double slit” Koji Hashimoto, [Yoshinori Matsuo](#), and Takuya Yoda Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2023, Issue 4, April 2023, 043B04, Published: 31 March 2023

学術論文（査読なし）

1. 理工学総合研究所紀要 研究報告「2021 年度天文・天体物理若手夏の学校招待講演『BMS 対称性とメモリー効果』の報告」

博士論文

- 「漸近安全性における量子ブラックホールと熱力学」

修士論文

- 「インフレーション宇宙におけるブラックホール地平面の準静的進化」

学士論文

- 「アインシュタイン方程式から重力波の従う方程式の導出」
- 「電磁波と重力波のゲージ自由度と横波であることによる比較」
- 「ブラックホールからの重力波：準固有振動」
- 「重力波とブラックホール」
- 「重力波源の運動と重力波の波形：メモリー効果」

国際学会・研究会講演

1. Fundamental aspects of gravity Imperial College London 12 August 2022
招待講演 ”Weighted ANEC and Holography”

国内学会・研究会講演

1. KEK 理論セミナー 招待講演
「Quantum improved black holes in asymptotic safety and thermodynamics」
2022年7月7日
2. 名古屋大学多元数理科学科セミナー 2023年1月27日 招待講演
“The black hole rigidity theorem in effective field theory” Date/time/place:
27th Jan. 2023, 13:00-16:00, 509(Math. bldg.)
3. 名古屋大学 KMI 分野横断セミナー (研究会) 「時空の漸近構造、赤外発散、重力波」 2022年12月18日 招待講演
「重力波のメモリー効果と時空の漸近対称性」
4. ブラックホール研究会 日本大学 2022年11月19日 招待講演
「Quantum Black Holes in Asymptotic Safety and Thermodynamics」
5. 第一回ブラックホール/量子重力勉強会 於 大阪大学 南部ホール 2022年10月16日 招待講演
「Asymptotically de Sitter Spaces and Entropy Bound: A review」
6. 「極限宇宙」 第6回循環ミーティング (オンライン) 2022年6月27日
「Averaged null energy conditions and holography」
7. 「極限宇宙」 第2回領域会議 神戸コンベンションセンター 2022年12月27日 Quantum Black Holes」
8. 第52回天文・天体物理若手夏の学校 2022年8月23日-26日 (オンライン) (M1 大学院生4名による発表)
<http://astro-wakate.sakura.ne.jp/ss2022/materials>
 - 「静的および動的時空における Ryu-Takayanagi 公式と量子情報」
 - 「時間依存する時空におけるホログラフィックなエンタングルメント・エントロピー」
 - 「FRW 宇宙モデルにおける BMS 対称性」
 - 「膨張宇宙における重力メモリー効果」

競争的外部資金

- 学術変革領域研究 (A) 「量子情報を用いた量子ブラックホールの数理解明」
研究代表者 石橋明浩 直接経費 12,000,000 円 (2022 年度)
- 基盤研究 (C) 「ブラックホール時空の有質量摂動論」 研究代表者 石橋明浩
直接経費 800,000 円 (2022 年度)
- 学術変革領域研究 (A) 「極限宇宙の物理法則を創る - 量子情報で拓く時空と物質の新しいパラダイム」 (研究代表者 高柳匡) 研究分担者 石橋明浩 100,000 円 (2022 年度)
- 基盤研究 (C) 「AdS/CFT 双対性を用いた曲がった時空での強結合場の解析」
(研究代表者 前田健吾) 研究分担者 石橋明浩 300,000 円 (2022 年度)

学外活動

- 集中講義 早稲田大学 2022 年 9 月 22 日 「メモリー効果と時空の漸近対称性」
- 芝浦工業大学 物理学実験講演会 2022 年 11 月 28 日 招待講演「ブラックホールと宇宙の特異点：宇宙観の変遷とホーキング博士の冒険」

学内委員

- 自己点検・評価委員
- 基本構想推進委員会

宇宙論研究室

井上 開輝 教授
修士2名 学部生6名

研究

研究の概要

- ALMA による 10kpc スケールにおける重力レンズパワースペクトルの測定
重力ポテンシャル、アストロメトリックシフト、収束摂動に対する重力レンズパワースペクトルの測定は、小さなスケールにおける暗黒物質構造を調べるための強力な手段である。我々は、赤方偏移 $z = 2.639$ にある 4 重像重力レンズクェーサー MG J0414+0534 を用いて、この天体方向における角度スケール約 1 秒角におけるスペクトルの下限と上限を付けることに初めて成功した。スペクトルを得るために、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) を用いて、高い角度分解能 (0.02 秒角から 0.05 秒角) で MG J0414+0534 の観測を行った。さらに、我々は、視線方向の射影密度揺らぎによる重力ポテンシャル摂動のフーリエ係数を最適化するため、これまでになかった新しい部分的ノンパラメトリック法を開発した。この方法では、滑らかなポテンシャルを持つモデルによって得られたディレンズ像 (重力レンズ効果を取り除いた像) 間の違いを最小化する、光源面 χ^2 法が用いられている。ALMA 観測データに、VLBI によるミリ波電波ジェット成分の位置、地上望遠鏡による中間赤外線フラックス比のデータを加え、約 1.1 秒角のスケールにおける収束、天体シフト、ポテンシャルパワーを測定することに初めて成功した。我々の観測結果は、冷たい暗黒物質モデルで予測される視線方向のハローや主レンズに属するサブハローの存在量に関する理論予言と一致する。得られたノンパラメトリックなレンズモデルは、チリの多い矮小銀河である可能性の高い天体 Y の他に小さな質量の塊が 4 重像の周辺に存在することを示唆している (arXiv:2109.01168、2023 年 7 月 ApJ 受理)。また我々の観測チームが提案した”Line of Sight lensing: Genesis of small scale cosmology”(観測時間 36 時間 PI: Kaiki Inoue) が ALMA Cycle9 観測において B グレード採択された。2023 年 7 月から 8 月にかけて新たに 4 重像重力レンズクェーサー 4 天体が観測される予定である。さらに別の観測提案”50pc imaging of a quasar host galaxy with young jets”(観測時間 22.9 時間 PI: Kohei Kurahara) も ALMA Cycle9 観測において C グレード採択された。2023 年夏に観測される可能性がある。両者の観測時間は合算で 59 時間程度に達する。

- **Subaru HSC データによる高赤方偏移重力レンズ候補天体の探査**

我々は、強い重力レンズによる銀河進化研究をより早期の宇宙まで拡張することを目的として、高赤方偏移の銀河を重力レンズとして含む強い重力レンズ系の探索を行った。2種類の強い銀河-銀河重力レンズの分類器を「深い残差」ネットワークを使って構築し、異なるレンズの赤方偏移と明るさ分布のデータセットで訓練した。ハイパースプリームカムすばる戦略計画 (HSC-SSP) の第2回公開データに含まれる広視野天体カタログの中から、あらかじめ選択された5,356,628天体のサンプルを、HSCのgriフィルターで切り出したデータに2つの分類器を適用して分類した。テストセットで10-3の偽陽性率に相当する閾値でカットオフすると、2つの分類器は5,468個と6,119個の強いレンズ候補を識別した。これらの候補の切り出しを目視で調べた結果、合計735個のAクラスまたはBクラスの候補が得られ、その内の277個の候補は今回初めて発見されたものであった。これは、HSCのデータで発見された銀河規模の強い銀河-銀河重力レンズの候補の中で唯一最大のものであり、その半数近く(331/735)に測光赤方偏移が0.6以上の重力レンズ銀河が含まれている。この発見は、ダークエネルギー分光装置、すばる主焦点分光器プロジェクト、マウナケア分光探査機など、現在進行中あるいは今後予定されている分光探査の貴重なターゲットリストになるであろう。

- **eROSITA 最終赤道深層サーベイ (eFEDS) で得られた中間赤外線銀河と AGN の性質**

SRG/eROSITAで観測された $z < 4$ の近赤外銀河とAGNの質量、赤外光度、X線光度、水素柱密度などの物理的性質を、eFEDSサーベイによって調べた。WISE22 μm (W4)で検出されたサンプルとeFEDSのX線点源カタログをクロスマッチングすることにより、692個の銀河系外天体がeROSITAで検出されていることが分かった。X線スペクトル解析、X-CIGALEによるSEDフィッティング、すばるHSC画像による2次元画像分解解析、QSFitによる光学スペクトルフィッティングを行い、AGNと宿主銀河の性質を調べた。eROSITAで検出されなかったWISE W4天体のうち7088個について、X線スタッキング解析を行い、X線が暗い、あるいは不明瞭な天体の典型的な性質を調べた。その結果、eFEDS-W4天体の82%は $\log L_X > 42 \text{ergs}^{-1}$ のX線AGNに分類されること、 $\log(L_{IR}/L_\odot) > 12, 13$ の天体はそれぞれ67%と24%であること、 L_X と $6\mu\text{m}$ 光度の関係は過去の報告と一致することが分かった。eFEDS-W4サンプルのエディントン比と N_H の関係、および銀河合体シミュレーションによるモデル予測との比較から、我々のサンプルのeFEDS-W4天体の約5%は、AGNからの強い放射圧が天体を吹き飛ばすAGN-フィードバック期にある可能性が高い。

学術論文（査読付）

1. “HOLISMOKES. VIII. High-redshift, strong-lens search in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”
Shu, Yiping, Canameras, Raoul, Schuldt, Stefan, Suyu, Sherry H., Taubenberger, Stefan, Inoue, Kaiki Taro, and Jaelani, Anton T.
Astronomy and Astrophysics, **662**, A4 (2022) (6月号)
DOI:10.1051/0004-6361/202243203

修士論文

- 「CNNを用いたSUBARU銀河カタログ中の重力レンズ天体の探査」

学士論文

- 「閉じた宇宙における双子のパラドックス」
- 「CASAを用いた銀河の解析」
- 「畳み込みニューラルネットワークとは何か」
- 「ディープラーニングによる画像解析」
- 「楕円銀河による重力レンズ効果」
- 「銀河中心の大質量ブラックホールによる重力レンズ効果」

国内学会・研究会講演

1. Kaiki Taro Inoue (presenter), Takeo Minezaki, Satoki Matsushita, Kohichiro Nakanishi, Kohei Kurahara
「4重像重力レンズによる宇宙の小スケール密度揺らぎの探査 I -手法と計画-」
日本天文学会春期年会 オンライン [4 Mar. 2023]

学外活動

- 「第16回宇宙（天文）を学べる大学」合同進学説明会 講演
大阪市立科学館 2022年6月4日

学内委員

- 理工学部図書広報委員会委員長、WEB 委員会小委員長（前、後期）
- 物理学コース WEB サイト係（前、後期）
- 理工学部同窓会幹事（前、後期）

高エネルギー天体物理学研究室

信川 久実子 講師
修士4名 学部生5名

研究

研究の概要

- **日本の次期 X 線天文衛星 XRISM 搭載の X 線 CCD 検出器の開発**
2023 年度打ち上げ予定の日本の次期 X 線天文衛星 XRISM に搭載する X 線 CCD 検出器 (SXI) の開発を行なっている。2022 年 4 月に、筑波宇宙センターにて、SXI のフライト品を衛星に搭載したのち、衛星総合試験や軌道上の環境を模擬した熱真空試験などを行い、動作や運用手順の検証を行った。2023 年 3 月に、射場のある種子島宇宙センターに輸送された。本研究室からは信川や大学院生が衛星総合試験や熱真空試験に参加し、現場で試験実施に貢献した。また大学院生と学部生が中心となって、試験で取得した膨大なデータを迅速に解析し、動作や機能を確認した [3, 8, 11]。エネルギー較正でも貢献を果たし [17]、成果を大学院生が国際会議で口頭発表した [10]。これらが JAXA/XRISM チームから評価され、『Outstanding Contribution award for young researchers』を信川が受賞した。また本研究室の大学院生 1 名と 2021 年度の卒業生 1 名も、開発に貢献した学生として表彰された。
- **国際宇宙ステーションへの搭載を目指す超高層大気専用の観測装置の開発**
高度 100 km 付近の超高層大気は、地球温暖化により密度変化するなど、気候変動を予測する上で重要な研究対象である。一方、太陽や下層大気の影響によっても膨張収縮し密度が変化する。超高層大気の変動を引き起こすメカニズムは複雑であり、未だ全容解明されていない。問題は、人工衛星や気球でその場観測できない高度のため、大気の中で最もデータが乏しいことである。近年、X 線天文衛星が偶然地球を向くわずかな観測時間を利用し、宇宙 X 線の大気減光を用いて超高層大気密度の鉛直分布を測定できることが実証された (Katsuda et al. 2021)。だが偶然任せの観測データは離散的で、メカニズム解明に至らなかった。そこで我々は、本研究室がこれまで独自に開発してきた SOI-CMOS イメージセンサ「SOIPIX」を用いて X 線カメラを製作し、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載することで、超高層大気を長時間観測することを発案した。実現すれば、世界で初めて大気 X 線観測の専用装置となる。太陽が極大期を迎える 2025 年頃に ISS へ搭載し、太陽活動に対する超高層大気

の応答を調査する目論みである。本年度は、宮崎大、埼玉大、京都大、名古屋大、奈良教育大の研究者・学生と本研究室で構成する研究チームを立ち上げ、概念検討・概念設計を行った [6]。また予算の申請を行い、2024年度から科学研究費助成事業 基盤研究 (A) の採択が決まった。

- **X 線天文衛星すざくによる超新星残骸の観測研究**

【3C 400.2 のプラズマ状態と近傍 X 線未同定天体の調査】 超新星残骸 (以下 SNR) の標準的なシナリオでは、電離過程が優勢なプラズマ (IP) が生成されたのち、やがて電離過程と再結合過程が平衡状態 (CIE) になると考えられている。しかし近年、いくつかの SNR で再結合過程が優勢なプラズマ (RP) が発見されており、RP の生成過程は未解明である。3C 400.2 は、RP の存在が 2 つの先行研究で報告されているが (Broersen et al. 2015; Ergin et al. 2017)、両者の測定したプラズマの物理パラメータは互いに矛盾する結果となっている。我々は、この矛盾がバックグラウンドの評価方法に起因すると考え、すざく衛星のデータを用いてバックグラウンドを丁寧に評価した上でプラズマ状態を調査した。その結果、3C 400.2 のプラズマは CIE プラズマと IP の 2 成分で説明できることを見出した。加えて、3C 400.2 の近傍で未同定天体を発見した。この天体は、およそ ~ 4.4 keV に輝線の構造を付随していた (有意度 2.8σ)。 ~ 4.4 keV 付近に顕著な atomic line は存在しないため、赤方偏移した鉄輝線と考えられる。輝線の等価幅が大きい (> 300 eV) ことから、この天体は銀河団候補天体である可能性が高い [15, 19]。

【低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線の調査】 宇宙から地球に飛来する高エネルギー粒子 (宇宙線) の起源は、その発見以来 100 年にわたる重要課題である。宇宙線は、低いエネルギーの粒子が徐々に高いエネルギーまで加速されて生成されると考えられている。銀河系内を高速で飛び交う宇宙線のうち、 10^8 eV 以下の低エネルギー宇宙線はこれまで観測的情報がほとんどなかった。本研究室では、「低エネルギー宇宙線と星間物質の衝突で放射される、中性の鉄原子からの $K\alpha$ 線 (中性鉄輝線) の測定」という、新たな観測手法を構築し、低エネルギー宇宙線研究を開拓してきた。これまでに 10 天体以上の SNR から、低エネルギー宇宙線起源と考えられる中性鉄輝線を見つけている (e.g. Nobukawa et al. 2018)。本年度は、ガンマ線で最も明るい銀河系内 SNR の 1 つ、W51C からの中性鉄輝線検出について論文を出版した [2]。また、これまで調査が手薄だった、銀河系中心に対して西側に位置する SNR について、すざくのアーカイブデータを用いて中性鉄輝線の調査を行った。その結果、G346.6-0.2 と G304.6+0.1 からおよそ 3σ の有意度で中性鉄輝線を検出した [16, 18]。どちらの天体も分子雲と相互作用していること、周囲に明るい天体が存在しないことから、低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線であると考えられる。

- **超小型衛星「SpaceTuna1」の打ち上げと放出**

近畿大学初の超小型衛星「SpaceTuna1 (宇宙マグロ 1 号)」の開発を、理工学部電気電子工学科の前田佳伸准教授および株式会社エクセディと共同で行なっ

てきた。「SpaceTuna1」には日本カーバイド工業株式会社と共同開発した再帰性反射シートを装着する。ミッションの主目的は、軌道上の衛星に地上からレーザーを照射し、反射強度を地上の望遠鏡で測定することである。本年度初めにすべての安全審査を通過し、6月に筑波宇宙センターにて衛星をJAXAへ引き渡した。その後米国へ運ばれ、2022年11月7日（日本時間）にバージニア州ワロップス島から打ち上げられた。そして12月2日（日本時間）に国際宇宙ステーションから無事放出された。JAXAへの引き渡しとISSからの放出の際には、大学からニュースリリースが配信され、各種メディアに掲載された。特に、放出に関するニュースリリースは、大学プレスセンター ニュース・アクセスランキング（2022年10月21日～12月20日）の1位となり、サンデー毎日で取り上げられた。

メディア掲載

- 新聞: サンケイスポーツ 「近大「宇宙マグロ1号」が年内打ち上げへ 超小型人工衛星が宇宙空間へ」
2022年4月27日
- 新聞: 日本経済新聞 「近畿大学とエクセディなど、超小型人工衛星を打ち上げ」
2022年4月28日
- 新聞: 富山新聞 「富山の技術、宇宙へ 日本カーバイド 近大と開発の反射シート実験 超小型衛星で年内に」
2022年4月28日
- 新聞: 日刊工業新聞 「近畿大・エクセディ、超小型人工衛星「宇宙マグロ1号」共同開発」
2022年5月2日
- Web ニュース: sorae 「近大生が組み立てた「宇宙マグロ1号」が宇宙へ」
2022年5月5日
- TV: ytv ニュース 「近大の人工衛星「宇宙マグロ1号」ISSから宇宙空間へ放出」
2022年12月3日
- Web ニュース: drone 「三井物産エアロスペース、近畿大学の超小型衛星「宇宙マグロ1号」をISSから放出」
2022年12月12日
- 雑誌: サンデー毎日 「大学プレスセンター ニュース・アクセスランキング」
2023年2月12日号 p.67

学術論文（査読付）

1. “Confirmation of dust scattering echo around MAXI J1421-613 by Swift observation”
K. K. Nobukawa, M. Nobukawa, S. Yamauchi
Advances in Space Research, **71**, pp.1074–1079
DOI:10.1016/j.asr.2022.09.003
2. “Suzaku Observations of Fe K-shell Lines in the Supernova Remnant W51C and Hard X-ray Sources in the Proximity”
A. Shimaguchi, K. K. Nobukawa (corresponding author), S. Yamauchi, M. Nobukawa, Y. Fujita
Publications of the Astronomical Society of Japan, **74**, 656 (2022)
DOI:10.1093/pasj/psac026

学術論文（査読なし）

3. “Xtend, the soft x-ray imaging telescope for the X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM)”
K. Mori, K. K. Nobukawa, Y. Aoki et al.
Proceedings of the SPIE, **12181**, 121811T (2022)
DOI:10.1117/12.2626894
4. “A broadband x-ray imaging spectroscopy in the 2030s: the FORCE mission”
K. Mori, K. K. Nobukawa et al.
Proceedings of the SPIE, **12181**, 1218122 (2022)
DOI:10.1117/12.2628772

学士論文

5. 「すざく」衛星による銀河系の中心領域における鉄輝線のドップラー偏移の調査
6. ISS 上での大気 X 線観測へ向けた SOI ピクセル検出器の開発と軌道上バックグラウンドの推定
7. X 線天文衛星すざくによる超新星残骸 Kes 75 における鉄の特性 X 線の調査
8. X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD カメラ Xtend の環境試験におけるペDESTラルの調査と撮像モード間の X 線フラックスの比較
9. 次世代 X 線天文衛星用 SOI ピクセル検出器の実験システムにおけるノイズカットトランスの導入

国際学会・研究会講演

10. Yuma Aoki (presenter)
“Simulation study of pulse height difference between pixel patterns of X-ray CCDs onboard the XRISM satellite”
10th International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging (Pixel2022), Santa Fe, New Mexico, USA [12-16 December 2022]

国内学会・研究会講演

11. 信川久実子 (presenter), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 他 XRISM/Xtend チーム
「X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (9)」
日本天文学会 2023 年春季年会, 立教大学 [2023 年 3 月 13 日-16 日]
12. 信川久実子 (presenter), 鶴剛, 信川正順
「超小型衛星で探る銀河系中心・銀河面からの鉄輝線」
2040 年代のスペース天文学, 名古屋大学 [2022 年 11 月 14 日-15 日]
13. 信川久実子 (presenter), XRISM/GC チーム
「次期 X線天文衛星 XRISM で探る天の川銀河に広がる X線放射」
天の川銀河研究会 2022, 鹿児島大学 [2022 年 11 月 7 日-9 日]
14. 信川久実子 (presenter)
「X線観測を用いた新手法による低エネルギー宇宙線の探査と起源の解明」
公益財団法人 山田科学振興財団 2022 年度研究交歓会, 東京コンファレンスセンター・品川 [2022 年 10 月 29 日]
15. 小沼将天 (ポスター)
「Revealing evolution scenarios for mixed-morphology supernova remnants」
XRISM Core-to-Core Science Workshop, 埼玉大学 [2022 年 10 月 19 日-21 日]
16. 森川朋美 (ポスター)
「Low-energy cosmic rays in supernova remnants probed by neutral iron emission lines」
XRISM Core-to-Core Science Workshop, 埼玉大学 [2022 年 10 月 19 日-21 日]
17. 青木悠馬 (presenter), 信川久実子 他 XRISM/Xtend チーム
「X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における Goffset のシミュレーション」
日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 [2022 年 9 月 13 日-15 日]
18. 森川朋美 (presenter), 信川久実子, 小沼将天, 信川正順, 山内茂雄, 佐治重孝, 松本浩典

「超新星残骸における低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線の探査」
日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 [2022 年 9 月 13 日-15 日]

19. 小沼将天 (presenter), 信川久実子, 信川正順, 山内茂雄
「X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 3C400.2 のプラズマ調査」
日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 [2022 年 9 月 13 日-15 日]
20. 信川久実子 (presenter), 神農夕奈
「超新星残骸 3C396 における鉄 K 輝線の調査」
日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 [2022 年 9 月 13 日-15 日]

競争的外部資金

- 科学研究費助成事業 若手研究「宇宙 X 線精密観測による低エネルギー宇宙線の銀河面分布とスペクトルの初測定」
研究代表者: 信川 久実子, 直接経費 800,000 円 (2022 年度)
- 科学研究費助成事業 基盤研究 (C) 研究分担者: 信川 久実子, 直接経費 100,000 円 (2022 年度)

学外活動

- 大阪府立北野高等学校 第一学年 課題研究に関する講演会「課題研究の進め方」
2023 年 1 月 20 日
- 「第 16 回宇宙 (天文) を学べる大学」合同進学説明会
大阪市立科学館 2022 年 6 月 12 日
- 大阪府立北野高等学校 WWL 課題研究「系外惑星の研究」指導

学内委員

- 理工学部安全管理・衛生委員 (前期)
- 理工学部施設設備委員 (後期)
- 理工学部人権教育ハラスメント防止委員 (後期)
- 物理学コース 1 年担任 (前、後期)

学外委員

- 高エネルギー宇宙物理連絡会 運営委員 (2021-2022 年度)