

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
2020年度 年次報告

令和3年10月1日

目次

素粒子実験研究室	2
素粒子現象論研究室	4
ソフトマター物理学研究室	7
物性理論研究室	10
量子多体物理学研究室	14
量子制御研究室	20
固体電子物理研究室	24
生物物理学研究室	25
生命動態物理学研究室	28
一般相対論・宇宙論研究室	31
宇宙論研究室	35
高エネルギー天体物理学研究室	39

素粒子実験研究室

加藤 幸弘 教授
大下紗佑実 (B4)、高橋真斗 (B4)
櫻井晟博 (B4)

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。特に、電子増幅時に生成されたイオンの検出器内への広がりを抑制する新たなゲート装置を 2016 年度に開発し、性能調査を 2016 年 11 月にドイツ電子シンクトロン研究所 (DESY) の電子ビームを用いて行って、得られたデータの解析を継続している。

- **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、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。

学士論文

- 「Pythonによる中学物理分野の電子教材と、電子教材を用いる授業計画の作成」櫻井晟博
- 「GEMを用いたガス検出器での電子増幅率の評価」大下紗佑
- 「Double GEMにおける陽イオンの荷電粒子検出部侵入割合の評価」高橋真斗

学内委員

- 総合理工学研究科理学専攻長
- 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

素粒子現象論研究室

大村 雄司 講師

木下 翼 (B4)、齋藤 圭希 (B4)

武田 樹 (B4)、山田 果林 (B4)

吉田 大希 (B4)、吉富 健人 (B4)

研究の概要

- **拡張された標準模型でのミュオン異常磁気モーメントに関する研究**
現在ミュオン異常磁気モーメントに、観測結果と標準模型の予言値との不一致が報告されている。この不一致が余剰ヒッグス場がある拡張された標準模型によって説明される可能性を研究し、その模型の BelleII 実験での検証方法を JHEP **09**, 144 (2020) で提案した。また具体的な暗黒物質 (DM) 模型を JHEP **08**, 042 (2020) にて構築し、DM 模型とその不一致との関係をこの論文で研究した。
- **DM に関する研究**
レプトンと DM が湯川結合するレプトンポータル DM 模型に着目し、LHC 実験、DM 物理、フレーバー物理を融合した検証を行なった。この模型検証だけでなく、JHEP **08**, 042 (2020) ではミュオン異常磁気モーメントの不一致を説明できるセットアップを探し、DM 探索での検証可能性に関して研究を行った。また、JHEP **02**, 231 (2021) では τ レプトンより軽い DM を考え、DM が熱的に生成され現在の DM 直接探索からくる制限と無矛盾であることを示した。ニュートリノを用いた DM の間接探索での予言されるシグナルも解析した。

学術論文 (査読付)

1. “Light mass window of lepton portal dark matter,”
S. Okawa and Yuji Omura, JHEP **02**, 231 (2021)
doi:10.1007/JHEP02(2021)231
2. “Probing $\mu\tau$ flavor-violating solutions for the muon $g-2$ anomaly at Belle II,”
S. Iguro, Yuji Omura and M. Takeuchi, JHEP **09**, 144 (2020)
doi:10.1007/JHEP09(2020)144

3. “Current status and muon $g - 2$ explanation of lepton portal dark matter,”
J. Kawamura, S. Okawa and Yuji Omura, JHEP **08**, 042 (2020)
doi:10.1007/JHEP08(2020)042

学士論文

- 「Dirac と G.'t Hooft の理論に基づく磁気単極子の研究」木下 翼
- 「ダークマターの証拠と WIMP ミラクル」齋藤 圭希
- 「量子力学から見る粒子のふるまいとベルの不等式を用いた検証」武田 樹
- 「ゲージ対称性に基づく素粒子標準模型の構築」山田 果林
- 「弱い相互作用と暗黒物質の候補」吉田 大希
- 「ニュートリノ振動に関する研究」吉富 健人

国際学会・研究会講演

1. S. Okawa and Yuji Omura (presenter)
“Light mass window of lepton portal dark matter”
HPNP2021 オンライン [Mar. 2021]

国内学会・研究会講演

1. S. Okawa and Yuji Omura (発表者)
“Light mass window of lepton portal dark matter ”
「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会 2020 オンライン [Dec. 2020]
2. Yuji Omura (発表者)
“フレーバーアノマリーの背後にひそむ理論”
日本物理学会 2020 年秋季大会シンポジウム オンライン [Sep. 2020]

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 (2020 年度)

- 2019年-2020年 新学術領域研究（研究領域提案型）公募研究
「荷電レプトンフレーバーの破れを用いたニュートリノ質量生成機構の解明」
研究代表者:大村 雄司 直接経費 800,000円（2020年度）
- 2019年-2020年 新学術領域研究（研究領域提案型）公募研究
「新物理探索と暗黒物質物理に基づくフレーバー構造の起源の解明」
研究代表者:大村 雄司 直接経費 1100,000円（2020年度）

学内委員

- 図書広報委員、WEB委員会小委員（前、後期）

学外委員

- 素粒子論委員
- 「基研研究会 素粒子物理学の進展 2020」世話人

ソフトマター物理学研究室

堂寺 知成 教授

高瀬 みこと (M1)、森本 康太 (M1)

小林 孝樹 (B4)、後藤 蒼矢 (B4)

中津 健志 (B4)、原 圭亮 (B4)

早谷 勇佑 (B4)、山崎 快斗 (B4)

研究概要

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ている。ソフトマター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 Zihlerl 博士と国際共同研究し、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ている。その成果は Nature、Nature Materials、Nature Communications に発表された。最近、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、さらに結晶物理学の革新を目指し、英国との国際共同研究を始めた。

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。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 の提案が最近の成果である。オーストラリアとの国際共同研究を始めた。

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。

学士論文

- 「ソフト微粒子を用いた複雑な平面充填の自己組織化シミュレーション」小林 孝樹
- 「モルフォチョウが持つ多層膜構造のスペクトル反射率」後藤 蒼矢
- 「ジャイロイド構造の音響効果」中津 健志
- 「高分子ジャイロイドをテンプレートにした金属ネットワーク磁性」原 圭亮
- 「機械学習を用いた2次元イジングモデルの相画像からの温度推定」早谷 勇佑
- 「情報熱力学から熱力学第二法則の一般化」山崎 快斗

国内学会・研究会講演

1. 高瀬みこと(presenter)、堂寺知成
「ハードコア-ソフトショルダー粒子系のチュービンゲン三角形タイリングの構造形成」
日本物理学会第76回年次大会、オンライン、[14 Mar 2021]
2. 高瀬みこと(presenter)、堂寺知成
「ハードコア-ソフトショルダー粒子系のチュービンゲン三角形タイリングの構造形成」
第25回準結晶研究会、オンライン、[4 Mar 2021]
3. 堂寺知成(presenter) (招待講演 Invited talk)
「ジャイロイド-3Dキラル構造の新しい見方」高分子講演会(東海)、オンライン、[1 Dec 2020]

競争的外部資金

- 2019年度科研費 基盤研究(C) 研究代表者：堂寺知成
ソフトマター準結晶と準周期タイリング理論の革新的展開 [課題番号19K03777, 配分総額3,300,000円(2019-2021年度)、31年度配分額1,900,000円(2020年度)]

その他

学内委員

- コース主任（前、後期）
- 世界ランキングプロジェクトメンバー（前、後期）
- 21世紀グローバル推進検討委員（前、後期）

物性理論研究室

笠松 健一 准教授

久茂田 倅 (M2)、町田 佳央 (M2)

小久保 治哉 (M1)、橋本 匠 (B4)

森本 哲平 (B4)、生島 大暉 (B4)

村川 諒 (B4)、増井 優太 (B4)

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现象や、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。

- **光格子中のボース気体中のダークソリトンのダイナミクスにおける古典量子クロスオーバー**

光格子上の1次元ボース気体におけるダークソリトンのダイナミクスを、切断ウィグナー近似という手法を用いて調べた。先行研究では、量子揺らぎがない古典的な場合、ダークソリトンの動的安定性は、その位相キックが格子サイトにあるか、隣接する2つのサイトのリンク上にあるかに依存することが明らかになっていた。また、強い量子揺らぎがある場合、位相キックの位置にかかわらず、ダークソリトンが動的に不安定になることも明らかになっていた。本研究では、未解明となっている古典領域と量子領域の間を調べるために、弱い量子揺らぎの領域でのダークソリトンの動的安定性を調べた。その結果、動的安定性の位置依存性は、量子揺らぎの強さが増すにつれて徐々に小さくなり、最終的には消滅することが明らかになった。このクロスオーバー現象は、ダークソリトンの不安定性が量子揺らぎによるものか、あるいは古典的な動的不安定性によるものなのかを実験的に判断するのに利用できると思われる。

- **2成分ボース凝縮体における量子乱流の減衰**

本研究では、Gross-Pitaevskii 方程式の数値シミュレーションにより、調和振動子ポテンシャルまたは急勾配壁ポテンシャル内の2成分ボース・アインシュタイン凝縮体において、ガウス型の攪拌ポテンシャルによって生成された2次元量子乱流を研究した。凝縮体の成分内相互作用やトラップの周波数が非対称であるとき、乱流は減衰ダイナミクスを起し、同一循環をもつ半整数量子渦が格子構造を形成する準定常的な状態に緩和することがわかった。この状態が形成される時間スケールは、成分内結合のパラメータの非対称性やトラップ周波数が高い場合に短くなる。また、この状態に対応する非圧縮性運動エネルギーのスペクトルには、(i) スピン回復長で決まる波数の範囲(渦コアの

大きさ)では k^{-3} 乗則が見られる。(ii)密度回復長で決まる波数の範囲では平坦な領域が見られる。ということが明らかになった。後者は、トーマス・フェルミ半径の外側に追いやられた小さなスケールの位相揺らぎと関連しており、成分間相互作用の強さが成分内相互作用の強さに近づくと顕著になる。また、成分間相互作用が、楕円形の急勾配壁ポテンシャル内での同一符号の渦のクラスター形成に与える影響を調べ、成分間相互作用がクラスター形成を阻害することを明らかにした。

学術論文 (査読付)

1. “Decay of two-dimensional quantum turbulence in binary Bose-Einstein condensates”
Thudiyangal Mithun, Kenichi Kasamatsu, Bishwajyoti Dey, and Panayotis G. Kevrekidis
Physical Review A, **103**, Issue 2: 023301 (17 Pages) (2021) (2月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.023301>
2. “Application of the inhomogeneous Kibble-Zurek mechanism to quench dynamics in the transition from a Mott insulator to a superfluid in a finite system”
Yoshihiro Machida and Kenichi Kasamatsu
Physical Review A, **103**, Issue 1: 013310 (10 Pages) (2021) (1月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.013310>
3. “Semiclassical dynamics of a dark soliton in a one-dimensional bosonic superfluid in an optical lattice”
Yusuke Ozaki, Kazuma Nagao, Ippei Danshita, and Kenichi Kasamatsu
Physical Review Research, **2**, Issue 3: 033272 (12 Pages) (2020) (8月号)
DOI : <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.033272>

修士論文

- 「U(1)、SU(2)コンパクト群上の切断 Wigner 近似」久茂田 倅
- 「光格子中の Bose 粒子における閉じ込めポテンシャルの効果による量子相転移の影響および動力学」町田 佳央

学士論文

- 「斜方投射の軌道の空気抵抗依存性」橋本 匠

- 「ラビ結合した2成分ボースアインシュタイン凝縮体における相対位相のドメインウォールの衝突」森本 哲平
- 「一次元 Bose-Einstein 凝縮体における振動ポテンシャルを用いたソリトン乱流の研究」生島 大暉
- 「量子揺らぎによって実現する量子液滴の衝突の理論解析」村川 諒
- 「遠距離相互作用を持つ離散的なボース・アインシュタイン凝縮体における discrete breather について」増井 優太

国内学会・研究会講演

1. 久茂田 倅、笠松 健一、松居 哲生
「コンパクト群 $U(1)$, $SU(2)$ 上の切断ウィグナー近似 II」
日本物理学会 第76回年次大会 オンライン [14 Mar. 2021]
2. 小久保 治哉、笠松 健一、竹内 宏光
「超流動界面で生じるケルビン・ヘルムホルツ不安定性の量子・古典クロスオーバー」
日本物理学会 第76回年次大会 オンライン [13 Mar. 2021]
3. 町田 佳央、段下 一平、山本 大輔、笠松 健一
「Mott 絶縁体転移近傍の光格子中の2成分 Bose 粒子系における超流動液滴状態」
日本物理学会 第76回年次大会 オンライン [12 Mar. 2021]
4. 笠松 健一、久茂田 倅、松居 哲生
「コンパクト群 $U(1)$, $SU(2)$ 上の切断ウィグナー近似」
日本物理学会 2020年秋季大会 オンライン [11 Sep. 2020]
5. 小久保 治哉、笠松 健一、竹内 宏光
「対向流をもつ相分離した2成分ボース凝縮体における界面の非線形ダイナミクス II」
日本物理学会 2020年秋季大会 オンライン [9 Sep. 2020]
6. 小久保 治哉
「対向流をもつ相分離した2成分ボース凝縮体における界面の非線形ダイナミクス」
2020年 量子物性若手交流研究会 オンライン [1 Sep. 2020]
7. 町田 佳央
「2成分 Bose 気体による Bose-Hubbard droplet のダイナミクス」
2020年 量子物性若手交流研究会 オンライン [31 Aug. 2020]

競争的外部資金

- 2018-2021 年度 科学研究費 (基盤 C) 「光格子中の長距離相互作用を有する冷却原子系における非平衡量子ダイナミクスの解明」
研究代表者:笠松 健一 直接経費 600,000 円 (2020 年度)

その他

- 町田 佳央 (M2) 近畿大学大学院 総合理工学研究科長賞受賞 [18 March 2020]

書籍・出版物 (電子書籍・電子出版物含む)

- 「冷却原子気体と素粒子物理 ～格子ゲージ理論の量子シミュレーション～」
笠松 健一
数理科学 第 58 巻第 6 号 pp. 46-52 (2020)
冷却原子で探る量子物理の最前線 量子シミュレーションから光格子時計まで
JAN : 4910054690606

学内委員

- 就職対策委員会委員 (前期)
- 予算委員会委員 (後期)
- 学生活活性化委員会委員 (前、後期)

学外委員

- 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)
後藤 慎平 (PD)
尾崎 裕介 (M2)
浅井 詩緒乃 (B4)、大谷 友佳 (B4)
鍵谷 拓海 (B4)、神田 哲汰 (B4)
堂田 佳秀 (B4)、脇 啓人 (B4)

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。行列積状態とは一次元量子多体系の波動関数を効率的に記述する方法であるが、有限温度の量子状態への応用にはいくつかの障害があった。昨年度の研究で、minimally entangled typical thermal states という行列積状態を用いて有限温度の量子状態を記述するアルゴリズムを大幅に改良し、有限温度の量子状態を効率よく記述する方法を開発した。今年度の研究で、それを Bose-Hubbard 模型に適用し、この手法がどれほど従来手法よりも効率を改善しているかを定量的に示した。

切断 Wigner 近似 (TWA) 法は量子ダイナミクスにおける量子ゆらぎの効果を近似的に含める準古典的な手法で、具体的には、そのために初期のウィグナー関数を確率分布として古典ダイナミクスの初期状態をサンプリングする。今年度の研究で、離散的 SU(2)TWA 法というスピン 1/2 の量子スピン模型に適した TWA 法の性能を検証した。2 スピン間の相互作用の距離を増大するにつれて、定量的に計算可能な時間がべき的に伸びることを見出した。

- 光格子中の Bose 気体の量子非平衡ダイナミクス

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。今年度の研究では、光格子中の Bose 気体における量子クエンチ後の量子非平衡ダイナミクスを調べた。Mott 絶縁体状態を初期状態とし、超流動状態への量子相転移が起こる転移点近傍に光格子の深さをクエンチした後の一粒子相関の伝搬の様子を調べた。空間 1 次元系では行列積状態を用いた厳密計算が実験結果とよく一致し、このことから量子シミュレーションの精度の高さが実証された。一方、空間 2 次元系

では TWA 法を試したが、実験結果と定量的な一致は得られず、今後の数値計算手法開発の課題として残された。

メディア掲載

- 新聞:日刊工業新聞「エネルギー保存則確認 京大・近大 量子計算精度高まる」p.27
2020年10月13日
- マイナビニュース「量子多体系の非局所相関とエネルギー再分配にて実験結果と理論計算が一致」
<https://news.mynavi.jp/article/20201007-1382055/>
2020年10月8日
- 新聞: 科学新聞 「負の絶対温度を持つ気体 物性物理学の難題解明に貢献」
p.4
2020年4月10日

学術論文（査読付）

1. “Performance evaluation of the discrete Truncated Wigner approximation for quench dynamics of quantum spin systems with long-range interactions”
M. Kunimi, K. Nagao, S. Goto, and I. Danshita
Physical Review Research, **3**, 013060 (2021).
DOI:10.1103/PhysRevResearch.3.013060
2. “Minimally entangled typical thermal states algorithm with Trotter gates”
S. Goto, I. Danshita
Physical Review Research, **2**, 043236 (2020).
DOI:10.1103/PhysRevResearch.2.043236
3. “Energy redistribution and spatio-temporal evolution of correlations after a sudden quench of the Bose-Hubbard model”
Y. Takasu, T. Yagami, H. Asaka, Y. Fukushima, K. Nagao, S. Goto, I. Danshita,
Y. Takahashi
Science Advances, **6**, eaba9255 (2020).
DOI:10.1126/sciadv.aba9255
4. “Measurement-induced transitions of the entanglement scaling law in ultracold gases with controllable dissipation”
S. Goto, I. Danshita

Physical Review A, **102**, 033316 (2020).
DOI:10.1103/PhysRevA.102.033316

5. “Semiclassical dynamics of a dark soliton in a one-dimensional bosonic superfluid in an optical lattice”
Y. Ozaki, K. Nagao, I. Danshita, K. Kasamatsu
Physical Review Research, **2**, 033272 (2020).
DOI:10.1103/PhysRevResearch.2.033272

修士論文

- 「カゴメ光格子中のフラストレートした Bose 原子気体の準古典解析」尾崎 裕介

学士論文

- 「光格子中の Bose 気体の超流動状態に対する局所的な散逸の誘起する転移」浅井 詩緒乃
- 「Gutzwiller 近似法による光格子中 Bose 気体の超流動流の安定性解析」大谷 友佳
- 「多体局在の数値解析」鍵谷 拓海
- 「トラップされたイオン集団を用いた Jaynes-Cummings-Hubbard 模型の量子シミュレーション」神田 哲汰
- 「Rydberg 原子集団を記述する高次元量子 Ising 模型の精密数値解析」堂田 佳秀
- 「リドベルグ状態の衣を着た原子気体における相互作用距離の制御と量子相転移」脇 啓人

国際学会・研究会講演

1. Yusuke Ozaki (presenter), Daisuke Yamamoto, Ippei Danshita
“Semiclassical analysis of frustrated Bose gases in optical kagome lattices”
American Physical Society March Meeting 2021 オンライン [15 Mar. 2021]

国内学会・研究会講演

1. 後藤 慎平 (presenter), 金子 隆威, 段下 一平
「ランダム行列積状態を用いた有限温度量子多体系の数値解析手法：エンタングルメントによるサンプリング効率の改善」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月14日]
2. 段下 一平 (presenter, invited)
「光格子中のアルカリ土型原子気体における近藤効果の実時間ダイナミクス」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月13日]
3. 浅井 詩緒乃 (presenter), 後藤 慎平, 段下 一平
「光格子中の Bose 気体の超流動状態に対する局所的な散逸の効果」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月12日]
4. 金子 隆威 (presenter), 段下 一平
「二次元冷却原子系の相関伝搬ダイナミクス：テンソルネットワーク法による解析」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月12日]
5. 段下 一平 (presenter), 後藤 慎平, 横井 真理
「光格子中の二軌道 Bose 気体における遍歴粒子の超流動流の臨界運動量」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月12日]
6. 尾崎 裕介 (presenter), 山本 大輔, 段下 一平
「カゴメ光格子中のフラストレート Bose 原子気体の準古典解析 II」
日本物理学会年次大会, オンライン [2021年3月12日]
7. 後藤 慎平 (presenter)
「光格子中冷却気体系における観測誘起転移」
第2回 冷却原子研究会「アトムの会」, オンライン [2020年9月29日]
8. 尾崎 裕介 (presenter, poster)
「カゴメ光格子中のフラストレートした Bose 原子気体の切断 Wigner 近似法による解析」
第2回 冷却原子研究会「アトムの会」, オンライン [2020年9月29日]
9. 後藤 慎平 (presenter, poster), 段下 一平
「最小エンタングルメント典型熱状態アルゴリズムにおける自己相関問題の Trotter ゲートを用いた解消法」
日本物理学会秋季大会, オンライン [2020年9月8-11日]

10. 後藤 慎平 (presenter), 段下 一平
「散逸 Bose-Hubbard 模型における観測誘起臨界状態の同定方法」
日本物理学会秋季大会, オンライン [2020年9月8日]
11. 尾崎 裕介 (presenter), 山本 大輔, 段下 一平
「カゴメ光格子中のフラストレート Bose 原子気体の準古典解析」
日本物理学会秋季大会, オンライン [2020年9月8日]
12. 段下 一平 (presenter)
「Bose-Hubbard 模型の量子クエンチ後の非平衡ダイナミクスに関する量子シミュレーションと数値計算の比較」
物性研究所短期研究会「量子多体計算と第一原理計算の新展開」, オンライン [2020年7月10日]
13. 後藤 慎平 (presenter)
「Minimally entangled typical thermal states 法における自己相関問題の解消」
物性研究所短期研究会「量子多体計算と第一原理計算の新展開」, オンライン [2020年7月9日]

競争的外部資金

- 2018-2020 年度 科学研究費 (基盤 C) 「ホログラフィー原理と光格子中の冷却気体の協奏による量子重力実現の提案」
研究代表者:段下 一平 直接経費 800,000 円 (2020 年度)
- 2020-2022 年度 科学研究費 (若手) 「強くエンタングルした状態の数値シミュレーション: 行列積表現によるサンプリング」
研究代表者:後藤 慎平 直接経費 1,700,000 円 (2020 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ン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 (2020 年度)
- 2016-2022 年度 JST CREST 研究 「冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発」
研究代表者:高橋 義朗 (京都大学大学院), 主たる共同研究者:段下 一平 直接経費 5,200,000 円 (2020 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
3,600,000 円 (2020 年度)

書籍・出版物 (電子書籍・電子出版物含む)

- 「冷却原子で探る非平衡物理」
長尾 一馬, 段下 一平
数理科学 第 58 巻, 6 号, pp.36-42 (2020) (6 月号)
- 「量子シミュレーションと古典シミュレーション ～意外と頑張れる古典計算機～」
後藤 慎平, 段下 一平
数理科学 第 58 巻, 6 号, pp.28-35 (2020) (6 月号)
- 「光格子中の冷却原子気体の量子物性」
段下 一平
数理科学 第 58 巻, 6 号, pp.14-20 (2020) (6 月号)

その他

- 尾崎 裕介 日本物理学会学生優秀発表賞受賞 [2020 年 10 月]
- 尾崎 裕介 近畿大学大学院部長賞受賞 [2021 年 3 月 18 日]

学内委員

- 学生委員 (前期)
- 入試委員 (後期)
- 2 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
- 総合研究大学院大学 物理科学研究科 機能分子科学専攻 (分子科学研究所)
博士論文審査委員

量子制御研究室

近藤 康 教授

大兼 英郎 (PD)、久木田 真吾 (PD)

鵜澤 卓哉 (B4)、岡田 悠太 (B4)

西条 孝亮 (B4)、金 世仁 (B4)

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。最近、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。

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 2020 年度は博士研究員 (PD) 大兼英郎博士と久木田真吾博士を採用した。

- **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。

メディア掲載

- 河合塾の「みらいぶっく」(<https://miraibook.jp/field/subject-detail/4905>)で、紹介されています。

学術論文（査読付）

1. “Multiparameter quantum metrology with postselection measurements”, Le Bin Ho, Yasushi Kondo, Journal of Mathematical Physics, **62**, 012102, (2021), <https://doi.org/10.1063/5.0024555>.
2. “Controllable non-Markovianity in phase relaxation”, Shingo Kukita, Yasushi Kondo, Mikio Nakahara, New Journal of Physics **22**(10) 103048, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/abbfcf>.
3. “Multiparameter quantum estimation under dephasing noise”, Le Bin Ho, Hideaki Hakoshima, Yuichiro Matsuzaki, Masayuki Matsuzaki, Yasushi Kondo, Physical Review A **102**(2), 022602, (2020), <https://doi.org/10.1103/physreva.102.022602>.
4. “Nuclear Magnetic Resonance Model of an Entangled Sensor under Noise”, Le Bin Ho, Yuichiro Matsuzaki, Masayuki Matsuzaki, Yasushi Kondo, JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN **89**(5), 054001 (2020), <https://doi.org/10.7566/JPSJ.89.054001>.

学士論文

- 「NMR装置の自動制御」 鶴澤 卓哉
- 「モーション・キャプチャー」 西條 孝亮
- 「3次元磁場測定器の製作」 岡田 悠太
- 「LEGO Mindstorms による XY ステージの自動制御」 金 世仁

国内学会・研究会講演

1. 久木田 真吾、近藤 康、中原幹夫
“非マルコフ性を連続的に制御可能な位相緩和モデル”
日本物理学会 オンライン [11 Sep. 2020]
2. 大兼英朗、箱嶋秀昭、竹内勇貴、関優也、松崎雄一郎
「位相緩和の影響下における量子秘匿センサ」
日本物理学会 オンライン [11 Sep. 2020]
3. 久木田真吾、松崎雄一郎、近藤 康
“位相緩和の影響下でハイゼンベルグ限界を達成する磁場方向推定”
日本物理学会 オンライン [14 May 2021]

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2022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」
2019年度直接経費「837万円」

学外活動

- 泉北高校 SSH 「恒星間宇宙旅行」講演
オンライン 2020年12月22日

書籍・出版物 (電子書籍・電子出版物含む)

- 「基礎物理学 [熱・波・電磁気・原子編]」
学術図書出版 2020/4/20
ISBN 9784780608175
- 「物理学概論 [力学編]」
学術図書出版 2020/10/30
ISBN 9784780608625

学内委員

- 教務委員（前、後期）
- 基礎物理学世話人（前、後期）

固体電子物理研究室

増井 孝彦 准教授
巽 健悟 (B4)

研究の概要

- CV 測定における測定系の改良

近年、当研究室では電気化学法による超伝導試料の作製に取り組んでいるが、電解液の特性を決定するためのサイクリックボルタンメトリー (CV) 測定の測定系が汎用電源とデジタルマルチメーターの PC 制御による簡易的なものだったので、アナログ回路によって改良を行った。

学士論文

- 「ポテンショスタットの代替回路の作製および CV 測定を用いた Fe-Te 溶液の電析反応に対する考察」 巽 健悟

国内学会・研究会講演

1. 岩澤英明, 上野哲朗, 増井孝彦, 田島節子
「顕微 ARPES データのクラスタリング」
日本物理学会 第 76 回年次大会 (オンライン開催) [13 Mar. 2021]
2. 岩澤英明, P. Dudin, 乾京介, 増井孝彦, T. K. Kim, C. Cacho, M. Hoesch
「Nano-ARPES による Y 系銅酸化物高温超伝導体の終端面評価」
日本物理学会 2020 年秋季大会 (オンライン開催) [10 Sep. 2020]

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

学内委員

- 学生委員 (前、後期)

生物物理学研究室

矢野 陽子 准教授

立入 功也 (B4)、菅野 初葉 (B4)、桐村 竜太郎 (B4)
永清 稜也 (B4)、今西 慧 (B4)、林 昂希 (B4)

研究概要

- **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。

メディア掲載

- 近畿大学、東京学芸大学、高エネルギー加速器研究機構、高輝度光科学研究センター 合同プレスリリース : 世界初! 「マランゴニ対流」による分子のリズミカルな運動を観測 生命活動をつかさどるリズムの起源に迫る
2020年8月11日

学術論文 (査読付)

1. "Periodic Elastic Motion in a Self-Assembled Monolayer under Spontaneous Oscillations of Surface Tension: Molecules in a Scrum Push Back a Marangoni

Flow” Yohko F. Yano, Hiroki Tada, Etsuo Arakawa, Wolfgang Voegeli, Toshiaki Ina, Tomoya Uruga, Tadashi Matsushita, The Journal of Physical Chemistry Letters **11** (15), 6330-6336 (2020) (8月号)
DOI:10.1021/acs.jpcllett.0c01205

学士論文

- 「塩水振動における塩水の吐出解析」 立入 功也
- 「水面に形成した膜とマランゴニ対流による表面張力の自発振動の関係」 菅野 初葉
- 「石鹼ボートを用いた実験教材の開発」 桐村 竜太郎
- 「アンチバブルの膜厚と寿命の関係」 永清 稜也
- 「マランゴニ対流による表面張力の自発振動に見られる減衰振動の研究」 今西 慧
- 「塩水振動子の周期測定とシミュレーション」 林 昂希

国内学会・研究会講演

1. 矢野陽子、谷田肇
「X線反射・全反射 XAFS 法によるソフト界面膜の構造研究」
SPring-8 シンポジウム 2020、オンライン [19 Sep. 2020]

教育業績

1. 矢野陽子
「Zoom のブレイクアウトルームを活用したハイブリッド共同実験」
大学の物理教育、2021 年 27 巻 1 号 p. 40-43 (3月号)

学外啓蒙活動

- 「オンライン授業、高エネルギー加速器研究機構の公式 Facebook に掲載」令和 2 年 11 月 20 日

運営

学内委員

- 予算委員（2020年9月まで）
- 施設設備委員（2020年10月以降）
- 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
- SPring-8 利用研究課題審査委員会分科会レフェリー

生命動態物理学研究室

西山 雅祥 准教授

上之家由美子 (研究員)

板谷 竜輝 (B4)、寺岡 優輝 (B4)

藤原 和樹 (B4)、本郷 瑞美子 (B4)

松井 明日香 (B4)

研究の概要

● 大腸菌の膜脂質とべん毛形成の関係について

多くの細菌は複数のリゾホスファチジン酸アシル基転移酵素 LPAAT ホモログを有しており、これらが特異的なアシル鎖をリン脂質に導入することで多様性が生み出されている。今回、我々は、*E. coli* の機能未知タンパク質 YihG が LPAAT 活性を有しており、*E. coli* 細胞内で生理的に機能していることを見出した。脂質分析の結果から、YihG がモノ不飽和脂肪酸の一種である *cis*-バクセン酸を特異的に膜リン脂質に導入することが示された。yihG 欠損株とその野生株 BW25113 の表現型を比較したところ、細胞の生育、形態ともに変化がなかった。それに対して、菌体の運動能を比較すると、野生株 BW25113 は運動性を示さず、yihG 欠損株の運動能は著しく高かった。yihG 欠損株ではべん毛タンパク質である FliC の発現量の増加と電顕撮影によるべん毛繊維構造が確認された。以上の結果から、YihG が膜リン脂質アシル鎖組成を調節することで、*E. coli* の運動能を制御していることが示唆された (Toyotake et al., *Biomolecules* 2020)。

学術論文 (査読付)

1. “A Novel Lysophosphatidic Acid Acyltransferase of *Escherichia coli* Produces Membrane Phospholipids with a *cis*-vaccenoyl Group and Is Related to Flagellar Formation”
Y. Toyotake, M. Nishiyama, F. Yokoyama, T. Ogawa, J. Kawamoto, T. Kurihara
Biomolecules, **10**, Issue 5: 745, 14pages (2020)
DOI:10.3390/biom10050745
2. “Session 1SHA-control of biological functions with hydrostatic pressure stimulation”
H. Hata, M. Nishiyama

学士論文

- 「高圧力下での精子鞭毛運動イメージング」板谷 竜輝
- 「バクテリア遊泳運動の環境応答イメージング」寺岡 優輝
- 「麻酔薬の圧拮抗作用の実時間イメージング」藤原 和樹
- 「バクテリア遊泳運動の圧力応答イメージング」本郷 瑞美子
- 「高圧下での深海微生物の運動観察」松井 明日香

国際学会・研究会講演

1. Yohei Yamaguchi (presenter), Masayoshi Nishiyama, Gentaro Iribe, Keiji Naruse, Masatoshi Morimatsu “Intracellular Calcium Concentration-independent Cardiomyocyte Contraction Triggered by High Hydrostatic Pressure” “65th Biophysical Society Annual Meeting, USA” オンライン [23 Feb. 2021]
2. Masatoshi Morimatsu (presenter), Ayano Fujita, Masayoshi Nishiyama, Keiji Naruse “High Hydrostatic Pressure Induces Nucleus Translocation of FOXO3” “65th Biophysical Society Annual Meeting, USA” オンライン [21 Feb. 2021]
3. Toshiki Yagi, Masayoshi Nishiyama (presenter), “High hydrostatic pressure induces vigorous flagellar beating in *Chlamydomonas* non-motile mutants lacking the central apparatus” “Cell Bio Virtual 2020” オンライン [16 Dec. 2020]

国内学会・研究会講演

1. 西山 雅祥 (presenter, invited)
“ゆらぎではたらく分子機械：1分子計測による実証から Brownian Ratchet へ”
Across nonlinear and nonequilibrium physics in memory of Dr. Takahiro Harada / 原田崇広氏が切り拓いたもの, オンライン [29 Mar. 2021]
2. 畑宏明, 西原泰孝, 西山雅祥 (presenter), 曾和義幸, 川岸郁朗, 北尾彰
“大腸菌べん毛モーターの圧力制御によるスイッチング機構の解明”
第 81 回応用物理学会学術講演会, Japan オンライン [18 Mar. 2021]

3. Masayoshi Nishiyama (presenter, invited)
“Optical trapping at different pressures”
第 58 回日本生物物理学会年会, Japan オンライン [18 Sept. 2020]
4. 八木俊樹, 西山雅祥 (presenter)
“高圧力による非運動性クラミドモナス軸糸の活性化イメージング”
第 81 回応用物理学会学術講演会, Japan オンライン [10 Sept. 2020]
5. 西山 雅祥 (presenter, invited)
「高圧力下で活性化される生命をみる」
理工学総合研究所コロキウム, オンライン [9 Sept. 2020]

競争的外部資金

- 2019-2021 年度 科学研究費 (基盤 B) 「リズムカルな鞭毛運動を誘起する分子マシナリの力学制御」
研究代表者:西山 雅祥 直接経費 2,650,000 円 (2020 年度)
- 2019-2020 年度 科学研究費 (新学術領域研究) 「高圧と光圧の協奏によるナノ構造マニピュレーション」
研究代表者:西山 雅祥 直接経費 2,340,000 円 (2020 年度)

学内委員

- 施設設備委員 (前期)
- 就職担当委員 (後期)
- 1 年生担任 (前、後期)

学外委員

- 日本生物物理学会 代議員
- 日本生物物理学会 分野別専門委員 (高圧)

一般相対論・宇宙論研究室

石橋 明浩 教授

上田 航大 (D2), 山口 大輝 (D2)

竹林 蒼真 (M2), 村島 崇矩 (M2)

松本 怜 (M2)

高島 智昭 (M1), 田中海 (M1)

中村 拓人 (M1)

木下 伊織 (B4), 菅野 佑真 (B4)

井上 亮弥 (B4), 竹部 稜 (B4)

諏訪 みづき (B4), 高田 将功 (B4)

原田 貴弘 (B4)

研究の概要

- **AdS/CFT 対応を用いた曲がった時空状の光的エネルギー条件の考察**

AdS/CFT 対応におけるバルクと境界の因果律の整合性から、新しい概念として境界上での共形不変な平均化された光的エネルギー条件 (CANEC) を昨年提案した。その研究では重力アノマリーの問題を避けるために奇数次元のみの場合を考察した。今回、その研究を発展させ、重力アノマリーを含む偶数次元の曲がった時空における CANEC と類似の重みつき平均光的エネルギー条件 (ANEC) を導出した。

- **漸近 AdS 時空状の有質量ベクトルおよびテンソル場のダイナミクス**

ゲージ・重力対応の重力理論の典型例は漸近 AdS 時空という負の宇宙項のある時空で与えられる。漸近 AdS 時空で表されるブラックホールには、地平面のトポロジーが球面的とは限らない様々なものが存在し得る。そのようなブラックホールをトポロジカルブラックホールという。特に 3 次元では BTZ ブラックホールに対応するような、一般次元での局所的に厳密に AdS 時空である (零質量) トポロジカル・ブラックホールにおける有質量ベクトルおよび有質量テンソル場のマスター方程式の厳密解と境界条件の自由度を調べた。

- **正則ブラックホールの内部構造**

通常のブラックホールは、その深い内部に物理法則の破綻する時空特異点をもつ。物理的に妥当なエネルギー条件と強い重力領域である閉じた捕捉面が存在すれば必ず特異点が発生することが、ペンローズの特異点定理により証明されている。しかし、特異点定理の幾つかの仮定を満たさなければ、内部に特異点を持たず、完全に正則なブラックホール時空も可能であり、近年そうした正則ブラックホール解の可能性が盛んに議論されている。ペンローズの特異点定理を

回避する最も自然な方法は、正則ブラックホール解が光的エネルギー条件を破ることであろうと予想される。これまでに提案された幾つか正則ブラックホールについて、光的エネルギー条件が、時空内のどの領域でどの程度破れるのかを調査した。

また、漸近安全量子重力理論において、走る重力結合定数を用いることで、静的球対称真空 (Schwarzschild) ブラックホールを量子補正したブラックホールが正則ブラックホールとなることが分かっている。そこで、電磁場に対する走る結合も考慮することで、漸近安全量子重力における静的球対称荷電 (Reissner-Nordstrom) ブラックホールの量子補正と時空の大域構造に関して研究を進めた。

学術論文 (査読付)

1. “The averaged null energy conditions in even dimensional curved spacetimes from AdS/CFT duality”
Norihiro Iizuka, Akihiro Ishibashi, Kengo Maeda
JHEP 10 (2020) 106
• e-Print: 2008.07942 [hep-th]

著書

1. 数理科学 2020年12月号 No.690 「トポロジー的思考法のすすめ：位相的性質の考え方を楽しむ」 特集記事 「トポロジーと宇宙論」 (サイエンス社)

修士論文

- 「ブラックホールの内部構造 – 内部地平面と特異点 –」 竹林 蒼真
- 「特異点を持たないブラックホール – エネルギー条件から見る Regular Black Holes –」 村島 崇矩
- 「複素スカラー場を持つブラックホール解に対する No-go 定理と複素ベクトル場への拡張」 松本 怜

学士論文

- 「光的および時間的測地線に基づく Schwarzschild 時空の拡張」 木下 伊織
- 「Black Hole の内部構造」 菅野 佑真

- 「球対称ブラックホール時空における光の測地線」井上 亮弥
- 「Kerr 時空の Einstein-Rosen 橋と荷電多重ブラックホール解」竹部 稜
- 「Schwarzschild 及び Reissner-Nordstrom ブラックホールにおける粒子の軌道半径」諏訪 みづき
- 「Reissner-Nordstrom(RN) および Kerr ブラックホールの類似性と extreme RN 解」高田 将功
- 「Black Hole 時空の解析接続」原田 貴弘

国際学会・研究会講演

1. 石橋明浩

“Averaged null energy condition in curved spacetime from AdS/CFT ”

招待講演: YITP workshop: Recent Progress in Theoretical Physics

2021 年 3 月 2 日

国内学会・研究会講演

1. 石橋明浩

“時空の大域的構造と漸近構造 Global and Asymptotic Structure of Spacetime”

招待講演: 第 76 回日本物理学会年次大会シンポジウム 「ロジャー・ペンローズと相対論」

オンライン 2021 年 3 月 15 日

2. 山口大輝 石橋明浩 太田信義

“量子補正した Reissner-Nordstrom ブラックホールとその内部構造” (13aS2-5)

第 76 回日本物理学会年次大会

オンライン 2021 年 3 月 13 日

3. 上田航大 中村拓人 石橋明浩

“漸近 AdS 時空上の有質量ベクトル・テンソル場のダイナミクス” (12pW1-8)

第 76 回日本物理学会年次大会

オンライン 2021 年 3 月 12 日

競争的外部資金

- 2019 年度科研費 基盤研究 (C) 研究代表者: 石橋明浩 高次元ブラックホールの安定性 (課題番号 15K05092, 配分額 910,000 円)

- 2019年度 年度科研費 基盤研究(C) 分担者: 石橋明浩 非線形物理現象への AdS/CFT 双対性の応用 (課題番号 23740200, 配分額 300,000 円)

学外活動

- 「第13回宇宙(天文)を学べる大学」合同進学説明会 参加
大阪市立科学館 2020年9月20日

学内委員

- 理工学部 人権教育・ハラスメント防止委員会委員長
- 総合理工学研究科 大学院委員会委員
- 4年生担任

学外委員

- 日本物理学会大阪支部庶務係

宇宙論研究室

井上 開輝 教授

Anton Timur Jaelani (PD)

吉村 超 (B4)、井上 拓海 (B4)

遠藤 水輝 (B4)、村上 悠月 (B4)

研究の概要

- **Subaru HSC サーベイによる重力レンズ天体の探査**

Subaru HSC サーベイとは Hyper Supreme Cam (HSC) という広視野観測装置を取り付けた Subaru 望遠鏡による可視光・近赤外線領域における広視野サーベイである。我々は、Subaru HSC サーベイで得られた銀河マップを用いて、重力レンズ天体を探す試みを行っている。レンズ天体を用いて、レンズ銀河に付随するダークマターの制限を行ったり、光源となる銀河の像を再構築することによって、遠方銀河の詳細に迫ることができる。今回、我々は Subaru HSC サーベイの S18A 公開データを用いて、銀河群や銀河団スケールの重力レンズ候補天体 536 例を発見した (Anton et al. 2020 MNRAS 495 Issue 1 pp.1291-1310)。また、Subaru HSC サーベイのデータ解析でみつかった重力レンズ候補天体のスペクトルを観測し、クエーサー-銀河重力レンズ天体 3 例を発見した (Anton et al. 2021 MNRAS 502 Issue 1 pp.1487-1493)。

- **重力レンズによる宇宙小スケール構造の解明**

矮小銀河程度の小スケール (10 kpc) において、宇宙の質量密度揺らぎによる弱重力レンズ効果を観測的に検出することは極めて困難である。しかし、光源が多重像として見える強い重力レンズ天体を使えば、視線方向の質量密度揺らぎに起因する弱重力レンズ効果を強めることができるため、多重像の位置のずれや多重像のフラックス比を用いて観測的に検出することが可能になる。これまでの研究では、少数のハローによる重力的摂動のみが考慮されていたが、実空間でモデリングが定式化されているため、特定の空間周波数に対するレンジングパワースペクトル (2点相関関数のフーリエ変換) を求めることは困難であった。我々は、ハロー、フィラメント、ボイドといった非線形構造に起因する重力ポテンシャル揺らぎを観測的に求めるため、重力ポテンシャル揺らぎを離散的なフーリエモード関数の重ね合わせで表し、観測画像から特定の空間周波数に対するレンジングパワースペクトルを求められる、全く新しいアルゴリズムを開発した (2020 年 9 月、2021 年 3 月 日本天文学会)。

メディア掲載

- 新聞: 科学新聞 「ブラックホールジェットと星間ガスの衝突を観測」 p.1
2021年4月24日
- TV ニュース: NHK 関西のニュース 「星誕生の鍵 ブラックホール撮影」
2020年4月12日
- ニュースWEBサイト: SKFY WIRE “This black hole blew up billions of years ago. Now it looks like four black holes”
<https://www.syfy.com/syfywire/black-hole-exploded-gravitational-lensing>
2020年4月6日
- 新聞: 日刊工業新聞オンライン 「ブラックホールのガス流、星間ガスと衝突
近畿大など観測」
2020年4月3日
- ニュースWEBサイト: アstroArts 「重力レンズで110億光年彼方の銀河
中心核にズームイン」
https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/11178_mg0414
2020年4月2日

学術論文 (査読付)

1. “Survey of Gravitationally lensed Objects in HSC Imaging (SuGOHI) – VII. Discovery and Confirmation of Three Strongly Lensed Quasars”
A. T. Jaelani, C.E. Rusu, I. Kayo, A. More, A. Sonnenfeld, J.D. Silverman, M. Schramm, T. Anguita, N. Inada, D. Kondo, P.L. Schchter, K-G. Lee, M. Oguri, J.H.H. Chan, K.C. Wong, K.T. Inoue
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **502**, Issue 1: 1487-1493
(2021) (3月号)
DOI:10.1093/mnras/stab145
2. “Survey of Gravitationally-lensed Objects in HSC Imaging (SuGOHI). V. Group-to-cluster scale lens search from the HSC-SSP Survey”
Anton T. Jaelani, A. More, M. Oguri, A. Sonnenfeld, S.H. Suyu, C.E. Rusu, K.C. Wong, J.H.H. Chan, I. Kayo, C.-H. Lee, D. C.-Y. Chao, J. Coupon, K.T. Inoue, T. Futamase
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **495**, Issue 1: 1291-1310
(2020) (6月号)
DOI:10.1093/mnras/staa1062

学士論文

- 「活動銀河核からの X 線放射の起源」 吉村 超
- 「ニューラルネットワークの学習」 井上 巧海
- 「銀河による重力レンズ効果のアニメーション」 遠藤 水輝
- 「地球大気が月の観測に及ぼす影響について」 村上 悠月

国際学会・研究会講演

1. Kaiki Taro Inoue (presenter), “Line-of-sight Lensing -a New Window to Dark Matter and Distant Dwarf Galaxies”
International Workshop: “Time-domain Cosmology with Strong Gravitational Lensing” オンライン [2 Feb. 2021]

国内学会・研究会講演

1. Anton Timur Jaelani (presenter, invited)
“Exoplanets detection using Microlensing”
ITERA, Lampung Selatan, Indonesia オンライン [18 Mar. 2021]
2. Kaiki Taro Inoue (presenter), Takeo Minezaki, Satoki Matsushita, and Kouichiro Nakanishi
「重力レンズクエーサーで切り拓く小スケール宇宙論 -レンジングパワースペクトルの測定-」
日本天文学会春期年会 オンライン [18 Mar. 2021]
3. Anton Timur Jaelani (presenter)
“Mining strong lensing surveys”
日本天文学会春期年会 オンライン [17 Mar. 2021]
4. Anton Timur Jaelani (presenter, invited)
“Introduction to (Strong) Gravitational Lensing”
SSGC 2020, Bandung, Indonesia オンライン [16 Sep. 2021]
5. Kaiki Taro Inoue (presenter), Takeo Minezaki, Satoki Matsushita, and Kouichiro Nakanishi
「重力レンズクエーサーによる小スケール密度ゆらぎの測定」
日本天文学会秋期年会 オンライン [9 Sep. 2020]

競争的外部資金

- 2017-2020 年度 科学研究費 (基盤 B) 「高解像度電波観測で切り拓く小スケール宇宙論の新展開」
研究代表者:井上 開輝 直接経費 2,200,000 円 (2020 年度)
- 2018 年度 国立天文台チリ観測所 ALMA 共同科学研究事業 「ALMA による暗黒矮小銀河とダークマターの解明」 区分 A 2018-07A
研究代表者:井上 開輝 直接経費 1,000,000 円 (2020 年度)

学外活動

- 「第 13 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 2020 年 9 月 20 日

書籍・出版物 (電子書籍・電子出版物含む)

- 「太古の宇宙におけるブラックホールジェットと星間ガスの衝突を初観測」
国立天文台ニュース (特集アルマ望遠鏡 2020) No.323 pp.13-14 (2020) (6 月号)
ISSN 0915-8863

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)
- 3 年生担任 (前、後期)
- 理工学部同窓会幹事 (前、後期)

学外委員

- オンライン国際研究集会 “Time-domain Cosmology with Strong Gravitational Lensing” (2021 年 1 月-2 月開催) 組織委員およびパネリスト

高エネルギー天体物理学研究室

信川 久実子 講師
河邊 圭寿、毒島 雄一郎
青木 悠馬、神農 夕奈
森川 朋美、釜谷 智哉
八橋 佑樹、小沼 将天 (B3)

研究の概要

● X線天文衛星「すざく」による超新星残骸の観測

超新星残骸 (星が一生の最期に起こす大爆発の後に残る天体) は、元素合成や宇宙線加速の現場であると同時に、宇宙における非平衡プラズマの実験室とも言える。我々はX線天文衛星「すざく」を用いて、天の川銀河内の超新星残骸 HB9、G189.6+3.3 の観測を行った [学術論文 (査読付) 5, 6]。スペクトル解析の結果、HB9 は温度が 0.6–0.7 keV の電離非平衡プラズマ (再結合よりも電離が優勢なプラズマ) から X線が放射されていることがわかった。一方、G189.6+3.3 に付随するプラズマは、電離よりも再結合が優勢な状態 (再結合優勢プラズマ) になっていることを明らかにした。再結合優勢プラズマは、超新星残骸の標準的な進化シナリオでは説明できない。起源を明らかにするには、他波長も含めさらなる観測が必要である。

● X線を用いた低エネルギー宇宙線の測定

MeV 帯域の低エネルギー宇宙線は、太陽磁気圏による遮蔽により地球では直接観測できない。ガンマ線も放射しないため、高エネルギー宇宙線のような間接観測も難しい。低エネルギー宇宙線の存在は分子雲の電離率測定によって示されてきたが、観測データ不足により、低エネルギー帯域は宇宙線研究の「穴」になってきた。このような状況下で我々は、低エネルギー宇宙線と分子雲の衝突で発生する中性鉄輝線の観測という、低エネルギー宇宙線観測の新たな手法を見出し、その有効性を実証してきた [国内学会・研究会講演 1]。中性鉄輝線、分子雲の電離率、ガンマ線という3つの観測量は異なるエネルギーの宇宙線に起源を持つことから、それぞれの分布を観測すれば宇宙線の分子雲への浸透過程が明らかにできることを理論的に示した [学術論文 (査読付) 1]。

● 突発天体周囲における X線ダスト散乱の発見

「すざく」のデータを調査している中で、半径6分という大きな円環状の X線放射を発見した [学術論文 (査読付) 7]。詳細な解析の結果、その正体が円環の中心にある突発天体 MAXI J1421-613 から出た X線フレアのダスト散乱光で

あること、さらにX線フレアが短時間だったため、「すざく」の観測では中心天体は見えておらず、散乱光が遅れて観測者に届くことで円環状に見えているということを見出した。このようなダスト散乱による大きな円環状放射の観測は非常に稀で、「すざく」による発見は初めてである。

- **次期 X 線天文衛星「XRISM」搭載 X 線 CCD の開発**

2022年度打ち上げ予定の「XRISM」衛星搭載X線CCDの開発を行っている。衛星搭載品の候補素子の中からスクリーニングを行い、衛星搭載品 (FM) を選定した [学術論文 (査読付) 2]。FMの地上データを用いて、性能評価や較正手法の確立を行った [学術論文 (査読付) 3, 4]。

学術論文 (査読付)

1. “Intrusion of MeV-TeV Cosmic Rays into Molecular Clouds Studied by Ionization, the Neutral Iron Line, and Gamma Rays”
Y. Fujita, K. K. Nobukawa, H. Sano
Astrophysical Journal, **908**, 136 (2021)
DOI: 10.3847/1538-4357/abce62
2. “Screening and selection of XRISM/Xtend flight model CCD”
T. Yoneyama et al. et al. (including K. K. Nobukawa)
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, **985**, 164676 (2020)
DOI: 10.1016/j.nima.2020.164676
3. “Experimental studies on the charge transfer inefficiency of CCD developed for the soft X-ray imaging telescope Xtend aboard the XRISM satellite”
Y. Kanemaru et al. (including K. K. Nobukawa)
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, **984**, 164646 (2020)
DOI: 10.1016/j.nima.2020.164646
4. “Optical blocking performance of CCDs developed for the X-ray Astronomy Satellite XRISM”
H. Uchida et al. (including K. K. Nobukawa)
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, **978**, 164374 (2020)
DOI: 10.1016/j.nima.2020.164374
5. “Discovery of recombining plasma associated with the candidate supernova remnant G189.6+3.3 with Suzaku”
S. Yamauchi, M. Oya, K. K. Nobukawa, T. G. Pannuti

Publications of the Astronomical Society of Japan, **72**, 81 (2020)

DOI: 10.1093/pasj/psaa070

6. “X-ray emission from the mixed-morphology supernova remnant HB 9?”
M. Saito, S. Yamauchi, K. K. Nobukawa, A. Bamba, T. G. Pannuti
Publications of the Astronomical Society of Japan, **72**, 65 (2020)
DOI: 10.1093/pasj/psaa042
7. “Discovery of annular X-ray emission centered on MAXI J1421–613: Dust-scattering X-rays?”
K. K. Nobukawa, M. Nobukawa, S. Yamauchi
Publications of the Astronomical Society of Japan, **72**, 31 (2020)
DOI: 10.1093/pasj/psaa007

学術論文（査読なし）

1. “Measurement of Low-energy Cosmic Rays”
K. K. Nobukawa
New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond, **528**, 415 (2020)

国際学会・研究会講演

1. Kumiko K. Nobukawa (presenter), “Discovery of annular X-ray emission centered on MAXI J1421-613: Dust-scattering X-rays?”
43rd COSPAR Scientific Assembly, Sydney, Australia (オンデマンド発表)
[January 28 - February 4, 2021]

国内学会・研究会講演

1. 信川久実子 (招待講演) 「中性鉄輝線で探る低エネルギー宇宙線」
低エネルギー宇宙線 Workshop2021 (オンライン開催) [2021年3月24日-25日]

競争的外部資金

- 公益財団法人山田科学振興財団 2020年度研究援助「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」
研究代表者: 信川久実子 直接経費 2,500,000円 (2020年度)

- 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 1,300,000 円 (2020 年度)
- 科学研究費助成事業 国際共同研究強化 (B) 「遠方 AGN 探査による宇宙再電離光子源解明のための革新的 X 線撮像分光器の開発研究」
研究分担者: 信川久実子 直接経費 500,000 円 (2020 年度)

学外活動

- 2020 年度大阪府立北野高等学校 WWL 課題研究「系外惑星を描く」指導

学内委員

- 物理学コース Slack 係 (前、後期)
- 安全管理衛生委員 (後期)

学外委員

- オンライン研究会 “低エネルギー宇宙線 Workshop2021” (2021 年 3 月 24 日-25 日開催) 世話人