

物理学教室年次研究報告

2022年度

大阪公立大学 大学院理学研究科・理学部

物理学教室

目次

序.....	1
2022年度物理教室談話会	3
研究報告	
<u>基礎物理学講座</u>	
素粒子論研究室.....	6
原子核理論研究室	10
宇宙物理研究室.....	14
数理解物理（場の理論・弦理論）研究室.....	18
数理解物理（表現論）研究室	22
<u>宇宙・高エネルギー講座</u>	
高エネルギー物理学研究室	25
宇宙・素粒子実験物理学研究室.....	29
電波天文学研究室	33
宇宙線物理学研究室	37
重力波実験物理学研究室.....	39
<u>物性物理学講座</u>	
素励起物理学研究室	43
電子相関物理学研究室.....	47
非線形物理学研究室	51
量子動力学研究室	53

生体光物理研究室	56
生体・構造物性物理学研究室	60
光エレクトロニクス物理研究室	62
光物性物理学研究室	64
レーザー量子物理学研究室	67
超低温物理学研究室	70
分子磁性研究室	72
構造物性研究室	74
熱電物性研究室	77
極限物性研究室	79

序

2023年4月に大阪市立大学と大阪府立大学が統合して、大阪公立大学になりました。それに伴い、両大学の理学部物理学科も統合することとなりました。統合に際し、多くの方々のご尽力によって両大学の学科総務や教務、カリキュラムなどに関する調整が進められ、順調に門出を果たしました。そして、なぜか私とその初年度の主任に選出され、一年間物理学科の業務を担当させていただきました。例年、年次報告の序文を主任が記すことになっていますので、本序文を執筆させていただきます。

私をご存知の方々には、大学統合初年度の主任業務は私にとってミッションインポッシブルだと思われることでしょう。実際、主任在任時は様々な業務に悩殺され、想像以上に大変な一年となりました。本年次報告までもが、作成に際して様々な意見があり、次年度委員の並みならぬ努力によって、次年度終了間近にようやく完成しつつある状況です。

本序文では当該年度の主任が一年間の出来事を振り返ることになっています。しかし、不思議なことに人間の脳はうまく出来ており、一年も経つと大変だった業務は何一つ記憶に残っておらず、振り返りなど出来るはずもありません。ここでは、代わりに物理学、本物理学科の発展に関して私の視点から語ってみたいと思います。

本年次報告を手にする皆様には釈迦に説法ですが、近代物理学はルネッサンスを起源とする見方が多いです。それまでの自然観から一転して、近代物理学では精密な実験とともに、力学や電磁気学から始まり、実に様々な発展がありました。私の専門に近い、偏った見方かもしれませんが、物理学はやはりニュートンが天文学と力学を統合したように、様々な現象や概念をより基本的に、より統一的に理解することが一つの重要な方向性だと思います。相対論や量子論の概念的な基礎の上に、現在では、ほとんどすべての物理現象が素粒子標準模型と一般相対性理論により説明されています。これだけ大がかりになると、理論的な整合性による制限が強く、簡単に新しい理論を構築できるものではありません。その中で、私の専門である弦理論は、重力や電磁力、弱い力、強い力を含む自然界の相互作用を統一する理論として、整合性をクリアしているほとんど唯一の候補として期待されています。そうは言っても、実験的な検証が極めて困難であるため、必ずしも常に弦理論が好意的に見られるとは限らず、弦理論は物理学なのか数学なのかの議論が絶えません。実際、弦理論の検証は現時点の実験可能なエネルギースケールをはるかに上回っており、さらに多くの数学が関連するので、その指摘はあながち的外れとも言えません。私から見れば、未完成ではあるものの、自然界を記述する理論の重要な候補であり、それ自体非自明で興味深い構造を持ち、理論の解明が自然界の理解に繋がるのが重要です。それ以上に、弦理論がいつになれば検証可能になるか、弦理論研究の歴史的な意義は何かなどの疑問には到底答えら

れません。実際、科学の最先端は常に多面性や予測不可能性を持ち、ニュートンの研究に対して力学やら解析学やら分類をしたのは後世の科学者ですし、単なる力学の書き換えと考えられた解析力学も後に量子力学の研究で威力を発揮します。

このように物理学では、第一原理による説明を希求すると同時に、複数の発展の方向性があり、多様性を尊重しながら発展しています。ルネッサンスの影響と言えなくもありません。大阪公立大学の本物理学科では、極限的に微視的な素粒子から巨大な宇宙まで、さらには多体系複雑系の振舞いに興味を持つ物性など、実に幅広い分野で最先端の研究が行われており、学生の様々な興味に対応しています。研究形態も、理論研究や数値計算、実験研究などと様々です。特に、自発的対称性の破れの研究でノーベル物理学賞を受賞した南部陽一郎氏は渡米前に大阪公立大学の前身となる大阪市立大学に専任教授として在籍されており、その伝統を引き継ぐべく私たちは日々努力しております。また、南部氏のご活躍に因んで南部陽一郎物理学研究所が2018年に設立され、物理学科は南部研究所と協力しながら一緒に研究活動を進めています。他研究分野、他研究室に関して私がこれ以上語るよりは、本年次報告をパラパラとめくっていただく方が得るものが大きいでしょう。めくっていただいて、私たちの頑張りを感じ取っていただけたら幸いです。

最後に本年次報告の作成にご尽力された杉崎先生、中野先生、吉野先生に感謝いたします。

2024年2月

2022年度物理学科主任 森山翔文

2022年度 物理学教室 談話会

談話会委員：吉野，岩崎，竹内

第 1 回 新入生歓迎会談話会

日 時：2022年6月1日19:00～19:40

実施方法：対面

講 師：岩崎 昌子 氏（宇宙・素粒子実験物理学研究室准教授）（20分）

講演題目：「巨大加速器でつくるミニ宇宙」

講 師：田中 智 氏（量子動力学研究室教授）（20分）

講演題目：「物理の心、物理の夢」

第 2 回 新任教員による談話会/第19回NITEP談話会

日 時：2022年7月7日10:45～12:25

実施方法：遠隔双方向

講 師：堀内 渉 氏（原子核理論研究室准教授）（50分）

講演題目：「少数体量子力学手法による原子核構造・反応の研究」

講 師：板垣 直之 氏（原子核理論研究室教授）（50分）

講演題目：「原子核構造における異なった描像の混在と非中心力の役割」

第 3 回 ゲストプロフェッサーによるセミナー/第20回NITEP談話会

日 時：2022年7月8日13:00～15:50

実施方法：対面

講 師：井上 立輝 氏（大阪府立大学M2）（30分）

講演題目：「Search for solvable potentials by extensions of supersymmetric quantum mechanics」

講 師：Zhanna Kuznetsova (Professor at UFABC, Sao Paulo)（60分）

講演題目：「Beyond the tenfold way: 13 associative $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$ -graded superdivision algebras」

講 師：Francesco Toppan (Professor at CBPF, Rio de Janeiro)（60分）

講演題目：「First quantization of braided Majorana fermions」

第 4 回 新任教員による談話会/第21回NITEP談話会

日 時：2022年7月15日13:15～14:05（50分）

実施方法：遠隔双方向

講 師：波場 直之 氏（素粒子論研究室教授）

講演題目：「標準模型を超える新しい物理の探求」

第 5 回 物理学教室談話会/第22回NITEP談話会

日 時：2022年8月30日15:00～16:30（90分）

実施方法：対面

講 師：小矢野 幹夫 氏（北陸先端科学技術大学院大学教授）

講演題目：「遷移金属ダイカルゲナイドの電子輸送現象と微小領域における熱電物性」

第 6 回 物理学教室談話会/第23回NITEP談話会

日 時： 2022年9月27日 16:30～17:30 (60分)

実施方法： 対面

講 師： 南條 創 氏 (大阪大学准教授)

講演題目： 「K中間子で探る素粒子新物理」

第 7 回 物理学教室談話会/第24回NITEP談話会

日 時： 2022年10月18日 16:30～17:30 (60分)

実施方法： 対面

講 師： 白水 徹也 氏 (名古屋大学教授)

講演題目： 「時空の正エネルギー定理の威力と魅力」

第 8 回 新任教員による談話会/第25回NITEP談話会

日 時： 2022年10月31日 16:45～18:25

実施方法： ハイブリッド開催

講 師： 藤井 俊博 氏 (宇宙線物理学研究室准教授) (50分)

講演題目： 「『宇宙線学』の発展へ向けて」

講 師： 吉野 裕高 氏 (宇宙物理研究室准教授) (50分)

講演題目： 「重力場の物理について」

第 9 回 2022年ノーベル物理学賞 (量子もつれ) 解説談話会

日 時： 2022年11月08日 16:45～18:15

実施方法： ハイブリッド開催

講 師： 井上 慎 氏 (レーザ量子物理学研究室教授)

講演題目： 「量子もつれとベルの不等式」

講 師： 大島 悟郎 氏 (光物性研究室准教授)

講演題目： 「量子もつれを確かめる実験」

第 10 回 物理学教室談話会/第26回NITEP談話会

日 時： 2022年11月15日 16:30～

実施方法： 対面

講 師： 井村 健一郎 氏 (東京大学生産技術研究所特任研究員)

講演題目： 「非エルミート量子系の物理」

第 11 回 物理学教室談話会/第27回NITEP談話会

日 時： 2022年12月06日 16:30～18:00 (90分)

実施方法： 対面

講 師： 福原 武 氏 (理化学研究所量子多体ダイナミクス研究チームリーダー)

講演題目： 「量子気体顕微鏡を用いた物性研究」

第 12 回 物理学教室談話会/第28回NITEP談話会

日 時： 2022年12月07日 15:00～16:30 (90分)

実施方法： 対面

講 師： 川村 嘉春 氏（信州大学教授）
講演題目： 「標準模型における世代の謎を巡って」

第 13 回 物理学教室談話会/第29回NITEP談話会

日 時： 2022年12月23日14:00～15:30（90分）

実施方法： 対面

講 師： 磯 暁 氏（高エネルギー加速器研究機構教授）

講演題目： 「相対論的量子観測問題と粒子生成に伴うデコヒーレンス」

第 14 回 物理学教室談話会/第30回NITEP談話会

日 時： 2023年2月7日16:45～18:15（90分）

実施方法： 対面

講 師： 岩井 伸一郎 氏（東北大学教授）

講演題目： 「単一サイクル 6 fs光強電場が拓く強相関アト秒電子ダイナミクス」

第 15 回 最終講義

日 時： 2023年3月7日14:00～15:00（60分）

実施方法： 対面

講 師： 石川 修六 氏（超低温物理学研究室教授）

講演題目： 「低温物理研究と私—いくつかの事件と市大での思い出—」

素粒子論研究室 (波場グループ)

波場直之 教授
清水康弘 (研究員)

田邊義博(D4,受託)
池本順平(D3,受託)
長野佳輔(D3,受託)

和崎晃平(M1)

研究概要

1. 超対称性SO(10)大統一模型(GUT)での陽子崩壊の解析(学術論文1)

超対称化されたSO(10)GUTはカラーを持ったヒッグシーノが媒介する次元5の演算子による陽子崩壊が実験から非常に厳しく制限されていることが広く知られている。この制限を緩和するため、10, 126, $\overline{126}$, 120次元表現のスカラー場を導入し、16次元表現の物質場とくりこみ可能な湯川結合を持つ超対称SO(10) GUTにおいて、次元5の演算子の陽子崩壊を抑制する条件について詳細に調べた。10, 126, $\overline{126}$, 120次元スカラーとクォークとレプトンの湯川結合がクォークとレプトンの質量と混合角の実験値を再現するパラメータで陽子崩壊を引き起こす次元5の演算子を抑制する条件を明らかにした。そのような湯川結合のパラメータで、 $\tan\beta=50$ の場合、超対称粒子の質量が1.5 TeV以上であれば陽子崩壊の実験の制限を満たすことを示した。さらに、これらの質量スペクトラムのとき、ハイパーカミオカンデ2年分のデータで陽子崩壊 $p \rightarrow K^+\bar{\nu}$ モードを観測できる可能性があることを示した。

2. ランダムなニュートリノ質量行列に基づくニュートリノ観測量の解析(学術論文2)

ニュートリノ質量行列がランダムであるアナーキー仮説は、ニュートリノ振動の実験を自然に説明できることが知られている。アクティブニュートリノの極微質量を説明可能な、ディラック質量模型、シーソー模型、ダブルシーソー模型において、ニュートリノ質量行列がアナーキーであるとの仮定のもと、質量2乗差比及び、ニュートリノレスダブルベータ崩壊の有効マヨラナ質量の確率分布を解析した。その結果、ランダム行列の積の数が増えるにつれて、アクティブニュートリノの質量階層性が大きくなることが明らかになった。現在のニュートリノの質量2乗差比の実験値を再現する最もよく再現する模型は、ディラック質量行列とマヨラナ質量行列がランダムな行列のシーソー模型であることも示した。また、ランダム行列理論の特異値の確率分布から、これらのニュートリノ質量分布を定性的に理解できることを示した。

教育・研究業績

学術論文

1. Noyuki Haba, Toshifumi Yamada: "Conditions for suppressing dimension-five proton decay in renormalizable SUSY SO(10) GUT", Journal of High Energy Physics, Volume 2023, 148 (2023).
2. Naoyuki Haba, Yasuhiro. Shimizu, Toshifumi Yamada: "Neutrino mass square ratio and neutrinoless double-beta decay in random neutrino mass matrices", Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2023, Issue 2, February 2023, 023B07.
3. Naoyuki Haba, Toshifumi Yamada, "Moderately suppressed dimension-five proton decay in a flipped SU(5) model", JHEP 01 (2022) 061.

4. Naoyuki Haba, Nobuchika Okada, Toshifumi Yamadal, “Are low-energy data already hinting at five dimensions?”, Phys. Rev. D 105 (2022) 1, 015018

学会・研究会講演

1. 池本順平：「ヒッグスポータルによるマヨラナフェルミオン暗黒物質のFreeze-in機構」日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月23日 オンライン
2. 長野佳輔：「45表現ヒッグス粒子を含めたSU(5)大統一理論におけるゲージ結合定数の統一と陽子崩壊の解析」日本物理学会 2023年春季大会 2023年3月23日 オンライン
3. 波場直之：「ニュートリノと陽子崩壊で探る大統一理論と世代構造（招待講演）」新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」公募研究セミナー 2022年12月13日 オンライン

研究助成金取得状況

1. 波場直之：科研費新学術領域研究（研究領域提案型）代表「ニュートリノと陽子崩壊で探る大統一理論と世代構造」234万円

その他

1. 波場直之：「何故、標準模型を超える物理を考えるのか？」大阪公立大学宇宙理論研究室コロキウム講演、2022年5月22日
2. 波場直之：「素粒子ニュートリノの謎にランダム行列理論で迫る！」大阪公立大学プレスリリース 2023年3月8日
3. 波場直之：出張講義「物理って面白い?(屈折率の話)・屈折率の公式を覚えるのは楽しいですか?」2022年 7月14日10:40-11:30 大阪教育大学附属高等学校平野校舎
4. 波場直之：出張講義「物理って面白い?(周期表の話)・周期表を覚えるのは楽しいですか?」2022年 7月14日11:40-12:30 大阪教育大学附属高等学校平野校舎

素粒子論研究室（丸グループ）

丸信人 教授

大川瞭(D3)

赤松拳斗(M2)

鈴木光世(D3)

齋賀隆貴(M2)

廣瀬拓哉(D3)

田中周樹(M2)

矢田貝祥貴(D3)

名子明朗(M1)

西村英将(M1)

研究概要

1. ゲージ・ヒッグス統一モデルのトポロジカルな性質の研究（学術論文1, 6）
ゲージ・ヒッグス統一モデルにおける θ 真空の構造とスファレロンの古典解についての研究を行った。
2. ゲージ・ヒッグス大統一理論の研究（学術論文2, 5）
5次元SU(6)ゲージ・ヒッグス大統一理論におけるフェルミオン質量階層性、世代間混合、CPの破れ、ゲージ結合定数の統一に関する研究を行なった。
3. 背景磁場コンパクト化された6次元理論の研究（学術論文3, 8）
余剰次元に背景磁場が入った6次元高次元理論における電弱対称性の破れとスカラー場の質量生成についての研究を行なった。
4. Cosmological collider physicsの研究（学術論文4）
インフレーション宇宙において、大統一理論ヒッグス場によるインフラトン3点相関関数非ガウス性への寄与をcosmological colliderの手法で計算した。
5. 超対称グラディエントフローの研究（学術論文7）
グラディエントフローを超対称QCDに拡張し、1ループの質量補正を計算し、紫外発散構造について研究した。

教育・研究業績

著書

1. 丸信人：「ペスキ素粒子物理学」（翻訳）（森北出版、2022年）

学術論文

1. Y. Adachi, C.S. Lim, N. Maru : “On the vacuum structure of gauge-Higgs unification”, PTEP. **9** 09304, - (2022).
2. N. Maru, H. Takahashi, Y. Yatagai : “Fermion mass hierarchy and mixing in simplified grand gauge-Higgs unification”, arXiv: 2205.05824 [hep-ph].
3. K. Akamatsu, T. Hirose and N. Maru : “Gauge symmetry breaking in flux compactification with a Wilson-line scalar condensate”, Phys. Rev. **D106** 3, 035035 (2022).
4. N. Maru and A. Okawa : “Cosmological collider signals of non-Gaussianity from Higgs boson in GUT”, arXiv: 2206.06651 [hep-ph].
5. N. Maru, H. Takahashi and Y. Yatagai : “Gauge coupling unification in simplified grand gauge-Higgs unification”, Phys. Rev. **D106** 5, 055033 (2022).
6. Y. Adachi, C.S. Lim and N. Maru : “Analytic construction of sphaleron-like solution invoking higher dimensional gauge theory”, arXiv: 2211.12696 [hep-th].
7. D. Kadoh, N. Maru, M. Suzuki and N. Ukita : “Perturbative calculation of supersymmetric gradient flow in N=1 supersymmetric QCD”, submitted to PTEP (2022).
8. N. Maru and H. Tanaka : “Wilson-line scalar mass in flux compactification on an orbifold T^2/Z_2 ”, arXiv: 2303.01747 [hep-th].

国際会議講演

1. K. Akamatsu : “Gauge Symmetry Breaking in Flux Compactification with a Wilson-line Scalar Condensate”, The 26th International Summer Institute on Phenomenology of Elementary Particle Physics and Cosmology, 2022年9月18-22日, 富士吉田

学会・研究会講演

1. 鈴木光世 : 「N=1 SQCDにおける超対称グラディエントフローの1ループ補正」
日本物理学会 第77回年次大会 オンライン
2. 赤松拳斗 : 「フラックスコンパクト化された理論におけるゲージ対称性の破れ」
日本物理学会 2022年秋の分科会 岡山理科大学
3. 名子明朗 : 原子核三者若手夏の学校2022 オンライン ポスター発表
4. 赤松拳斗 : 基研研究会「素粒子物理学の進展2022」「場の理論と弦理論2022」
ポスター発表, 関西地域セミナー, 奈良女子大学 口頭発表,
南部アインシュタインセミナー, 口頭発表
5. 大川瞭 : The 34th regular meeting of New Higgs Working Group, 大阪大学 口頭発表
6. 鈴木光世 : 南部アインシュタインセミナー, 口頭発表

学位論文

修士論文

1. 赤松拳斗 : 「フラックスコンパクト化された理論におけるゲージ対称性の破れ」
2. 齋賀隆貴 : 「自発的に破れた超対称性理論におけるカイラル対称性の破れ」
3. 田中周樹 : 「オービフォールドフラックスコンパクト化された理論におけるスカラー場の質量補正について」

博士論文

1. 廣瀬拓哉 : “Toward an Approach to the Hierarchy Problem via Flux Compactification”
2. 鈴木光世 : “Perturbation Theory and Divergence Structure of Supersymmetric Gradient Flow in N=1 Supersymmetric QCD”
3. 矢田貝祥貴 : “Towards a Construction of the Realistic Model in Grand Gauge-Higgs Unification”

研究助成金取得状況

1. 廣瀬拓哉 : 日本学術振興会・特別研究員奨励費(DC2) 90万円
2. 鈴木光世 : 一般財団法人 高橋誠悦育英会 給付型奨学金 10万円
3. 鈴木光世、矢田貝祥貴 : 世代研究者挑戦的研究プログラム「リゾーム型研究人材育成プログラム」研究奨励費 200万円

その他

1. 丸信人 : 教育PRO 第52巻 第15号 寄稿 「異次元を通して自然界の根本原理を探究する」
2. 丸信人 : 大阪府高齢者大学 講義 「素粒子の世界」 大阪府助産婦会館
2022年5月23日、6月13、20日
3. 丸信人 : 出張講義 「異次元ワールドへのお誘い」 2022年9月29日
大阪府いちりつ高等学校
4. 丸信人 : NITEP市民セミナー 「ふしぎな量子の世界」 2022年11月12日 大阪公立大学

原子核理論研究室

板垣 直之 教授 山本 昌幸 (M2)
堀内 渉 准教授

研究概要

1. 原子核構造の可視化に関する研究 (板垣、堀内)

実際の原子核がシェル模型的なのか、クラスター模型的なのかが、陽子弾性散乱の断面積を比較することで可視化可能であることを示した。これまで発展させてきた **Antisymmetrized Quasi-Cluster Model (AQCM)** を使えば、原子核の構造としてシェル模型的なもの、あるいはクラスター模型的なものいずれを仮定した場合でも、同一の枠組みで原子核密度を計算することができる。その密度を陽子弾性散乱計算のインプットとして利用すれば、シェル模型とクラスター模型の、特に原子核表面付近の密度の違いが、計算された断面積に現れることを示した。現在、軽い核のみならず、中重核領域でも α クラスター構造は存在しているのではないかと、という研究が広く進められている。そこで我々は、クラスター構造が存在した場合、その痕跡は陽子弾性散乱に現れるのではないだろうか、と期待した。最初に取り上げた ^{40}Ti と ^{48}Ti に対して、陽子弾性散乱の実験値はまだ存在していないが、反応計算のインプットに用いた密度がシェル模型かクラスター模型かであるかによって、陽子弾性散乱の断面積に有意な違いをもたらすことを指摘した。引き続き ^{12}C 、 ^{16}O 、 ^{20}Ne と言った軽いおなじみの原子核において同様のシェル模型とクラスター模型を比較する計算を行ない、それらを実験値と照らし合わせることで、改めてこれらの原子核で α クラスターの成分が重要な役割を果たしている示唆を得た。

2. 原子核構造におけるクラスター構造とシェル構造の競合の研究 (板垣)

原子核系ではクラスター構造とシェル構造の競合が起り、そこにおいては、原子核中で作用する核力の2つの非中心力成分、スピン・軌道力とテンソル力が非常に重要な役割を果たしている。スピン・軌道力は、シェル模型の対称性を作り出し、クラスターを溶かす役割を果たし、その傾向は質量数の増加と共に高まる。そこで、最近実験的にクラスター構造の存在が示唆されている中重核領域では、どのようなメカニズムによってクラスターが溶け残っているのか、という問題が発生する。ここでは、テンソル力の効果に注目した研究を ^{44}Ti に対して推進した。テンソル力は、 ^4He の結合を強める性質を持つため、 ^{44}Ti の $^{40}\text{Ca}+^4\text{He}$ クラスター構造を促進する。さらに、もし ^{40}Ca が ^4He の近くに存在していれば、パウリ原理によってこの効果がブロックされるため、結果的に、テンソル力は、クラスター同士の相対距離を増大させる効果も持つ。スピン・軌道力がシェル模型を推進する一方、テンソル力は、クラスター構造を強める方に作用することが明らかとなった。

3. 重い中性子過剰原子核における核半径増大機構についての研究 (堀内)

不安定同位体ビームを用いた中性子あるいは陽子過剰原子核の実験・観測は国内外で日々進歩しており、理論と実験の連携により、不安定核における特異な現象や構造の探索がされている。本年度は特に、重イオン衝突による原子核半径の研究を進めた。原子核の大きさの決定因子を知ることは原子核の構造及び核物性の理解を深める上で重要な研究課題である。

中性子数126を超える ($N>126$) 鉛同位体において、中性子数増加に伴う荷電半径の急激な増加現象が知られているが、その発現機構の理解は十分でない。本研究では重い原子核の

性質を調べるのに有用なSkyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov法を用い、上記現象における核子対相関の役割をみた。N>126鉛同位体において、鉛208を「芯核」とすると、対相関は「価中性子」の軌道を小さくする働きをし、価中性子の内部密度の増加が起こる。そのため内部密度の飽和が起こり、芯核半径が増加し、荷電半径の増加につながる。このような対相関による芯核増大現象は核表面の密度分布に特徴的に現れ、観測可能であることを示した。

高エネルギー陽子-原子核衝突の全反応断面積は原子核半径の2乗に比例すると期待されている。一方、炭素の陽子過剰核は炭素12よりも大きい半径を持つが、陽子散乱による全反応断面積は安定核である炭素12と同程度であることが知られている。その理由を明らかにするため陽子過剰炭素同位体の全反応断面積の系統解析を行った。その結果、陽子-原子核衝突は完全吸収反応でなく、入射陽子が原子核を透過する効果を考慮することで説明できることが分かった。

教育・研究業績

学術論文

1. R. Takatsu, Y. Suzuki, W. Horiuchi, and M. Kimura: “Microscopic study of the deformed halo of ^{31}Ne ”, *Phys. Rev. C* **107**, 024314 (2023).
2. H. Moriya, W. Horiuchi, J. Casal, and L. Fortunato: “Three- α configurations of the second $J^\pi=2^+$ state in ^{12}C ”, *Eur. Phys. J A* **59**, 37 (2023).
3. W. Horiuchi and N. Itagaki: “Imprints of α clustering in the density profiles of ^{12}C and ^{16}O ”, *Phys. Rev. C* **107**, L021304 (2023).
4. N. Itagaki and E. Hiyama: “Cluster-shell competition and effect of adding hyperons”, *Phys. Rev. C* **107**, 024309 (2023).
5. W. Horiuchi and N. Itagaki: “Density profiles near the nuclear surface of $^{44,52}\text{Ti}$: An indication of α clustering”, *Phys. Rev. C* **106**, 044330 (2022).
6. Hiroyuki Tajima, Hajime Moriya, Wataru Horiuchi, Kei Iida, and Eiji Nakano: “Resonance-to-bound transition of ^5He in neutron matter and its analogy with heteronuclear Feshbach molecule”, *Phys. Rev. C* **106**, 045807 (2022).
7. S. Kaur, R. Kanungo, W. Horiuchi, G. Hagen, J. D. Holt, B. S. Hu, T. Miyagi, T. Suzuki, F. Ameil, J. Atkinson, Y. Ayyad, S. Bagchi, D. Cortina-Gil, I. Dillmann, A. Estradé, A. Evdokimov, F. Farinon, H. Geissel, G. Guastalla, R. Janik, R. Knöbel, J. Kurcewicz, Yu. A. Litvinov, M. Marta, M. Mostazo, I. Mukha, C. Nociforo, H. J. Ong, T. Otsuka, S. Pietri, A. Prochazka, C. Scheidenberger, B. Sitar, P. Strmen, M. Takechi, J. Tanaka, I. Tanihata, S. Terashima, J. Vargas, H. Weick, and J. S. Winfield: “Proton Distribution Radii of $^{16-24}\text{O}$: Signatures of New Shell Closures and Neutron Skin”, *Phys. Rev. Lett.* **129**, 142502 (2022).
8. Chikako Ishizuka, Hiroki Takemoto, Yohei Chiba, Akira Ono, and Naoyuki Itagaki: “Role of Tensor Interaction as Salvation of Cluster Structure in ^{44}Ti ” *Phys. Rev. C* **105**, 064314 (2022).
9. T. Otsuka, T. Abe, T. Yoshida, Y. Tsunoda, N. Shimizu, N. Itagaki, Y. Utsuno, J. Vary, P. Maris, and H. Ueno: “ α -Clustering in atomic nuclei from first principles with statistical learning and the Hoyle state character”, *Nature Communications* **13**:2234 (2022).
10. K. Makiguchi and W. Horiuchi: “Incomplete absorption reactions at high energy”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2022**, 073D01 (2022).
11. Y. Suzuki, W. Horiuchi, and M. Kimura: “Erosion of N=28 shell closure: Shape coexistence and monopole transition”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2022**, 063D02 (2022).
12. M. Caamano, T. Roger, A. M. Moro, G. F. Grinyer, J. Pancin, S. Bagchi, S. Sambhi, J. Gibelin, B. Fernandez-Dominguez, N. Itagaki, J. Benlliure, D. Cortina-Gil, F. Farget, B. Jacquot, D. Perez-

- Loureiro, B. Pietras, R. Raabe, D. Ramos, C. Rodriguez-Tajes, H. Savajols, and M. Vandebrouck: “Experimental investigation of ground-state properties of 7H with transfer reactions”, Phys. Lett. B **829** 13706 (2022).
13. W. Horiuchi and T. Inakura: “Pairing core swelling effect in Pb isotopes at $N > 126$ ”, Phys. Rev. C **105**, 044303 (2022).

国際会議会議録

該当なし

国際会議講演

1. W. Horiuchi : “Nuclear shapes and density profiles of exotic nuclei”, Shapes and Symmetries in Nuclei: from Experiment to Theory (SSNET’22), 2022年5月30日～6月3日, IJCLab Orsay, France (online participation).
2. W. Horiuchi : “Nuclear density profiles and structure of exotic nuclei”, Physics of RI: Recent progress and future perspectives, 2022年5月30日～6月1日, 理化学研究所和光キャンパス
3. W. Horiuchi : “Describing localized nucleons near nuclear surface”, YIPQS long-term workshop, Mean-field and Cluster Dynamics (MCD2022), 2022年5月9日～6月17日, 京都大学基礎物理学研究所

学会・研究会講演

1. 板垣直之「ハイペロンの付与によるクラスター構造の変化」日本物理学会2023年春季大会、2023年3月22日～25日、オンライン開催
2. 堀内渉、板垣直之「陽子弾性散乱でみる原子核のクラスター構造」日本物理学会2023年春季大会、2023年3月22日～25日、オンライン開催
3. 山口雄紀、堀内渉、板垣直之「ネオン20のクラスター構造と陽子弾性散乱断面積」日本物理学会2023年春季大会、2023年3月22日～25日、オンライン開催
4. 森谷元、堀内渉、Bo Zhou「禁止状態を含まない基底関数による多アルファクラスター状態の記述」日本物理学会2023年春季大会、2023年3月22日～25日、オンライン開催
5. 福留美樹、福田光順、堀内渉、田中聖臣、西村太樹、武智麻耶、大坪隆、三原基嗣、松多健策、鈴木健、山口貴之、泉川卓司、佐藤眞二、福田茂一、北川敦志、高橋弘幸、木村容子、菅原奏来、高津和哉、高山元「 ^{16}N アイソマーの中性子剥離断面積・反応断面積測定」日本物理学会2023年春季大会、2023年3月22日～25日、オンライン開催
6. 堀内渉、板垣直之「原子核密度分布にみる α クラスター状態」大阪公立大研究会「原子核におけるクラスター物理の新展開」、2022年10月19日～20日、大阪公立大学杉本キャンパス
7. 堀内渉「少数体手法による原子核構造・反応の研究」第2回研究用原子炉を用いた原子核素粒子物理学(FPUR-II)、2023年3月16日～17日、福井大学敦賀キャンパス
8. 堀内渉、鈴木宜之、Mahdi Shalchi、Lauro Tomio「 $^{62,72}\text{Ca}$ のエキゾチックハロー構造発現の可能性について」日本物理学会2022年秋季大会、2022年9月6日～8日、岡山理科大学
9. 堀内渉、稲倉恒法「中性子過剰鉛同位体における芯核増大現象」日本物理学会2022年秋季大会、2022年9月6日～8日、岡山理科大学
10. 森谷元、堀内渉、Jesus Casal、Lorenzo Fortunato「直交条件模型を用いた炭素12 第二 2^+ 状態の研究」日本物理学会2022年秋季大会、2022年9月6日～8日、岡山理科大学
11. 槇口雄二、堀内渉「高エネルギー原子核衝突における不完全吸収反応」日本物理学会2022年秋季大会、2022年9月6日～8日、岡山理科大学

学位論文

修士論文

1. 山本昌幸：「 3α 換算幅振幅を用いた ^{12}C の構造解析」

研究助成金取得状況

1. 板垣直之（代表）：学術振興会・基盤研究(C)「クラスター構造とシェル構造の統一的な記述と元素合成反応への貢献」165万円
2. 堀内渉（代表）：学術振興会・基盤研究(C)「第一原理計算による3核子効果の解明とその宇宙核反応への影響」直接経費総額340万円
3. 堀内渉（分担）：学術振興会・基盤研究(B)「分子動力学による多体量子トンネル現象と天体核融合反応への新しいアプローチ」直接経費20万円

その他

1. 板垣直之：日本物理学会 代議員・理論核物理領域代表
2. 板垣直之：「質量数5と8の壁——なぜ安定な原子核は存在しないのか？」岩波「科学」2022年9月号「元素の起源をたどる」内
3. 堀内渉：2022年度大阪公立大学若手研究者奨励賞 南部陽一郎若手奨励賞「精密量子力学理論による原子核構造と反応に関する研究」（研究奨励費25万円）
4. 堀内渉：大阪大学核物理研究センター研究計画検討専門委員会委員
5. 大阪公立大学プレスリリース(2023年3月13日)「原子核構造の違いを「可視化」することに成功—元素はどこから来たのか？ 原子核物理の究極の問いに迫る！—」
https://www.omu.ac.jp/info/research_news/entry-05006.html

宇宙物理研究室

中尾 憲一 教授	佐合 紀親 (数研研究員)	遠藤 洋太 (D3)
吉野 裕高 准教授	松野 研 (数研研究員)	末藤 健介 (M2)
石原 秀樹 (南部研特任教授)	小川 達也 (数研研究員)	村上 由三 (M2)
森澤 理之 (数研研究員)	加藤 亮 (数研研究員)	田村 悠陽 (M2)
	松野 皐 (数研研究員)	松尾 賢汰 (M1)

研究概要

1. Superspinarの安定性: 村上, 中尾

Einstein方程式の定常真空解であるKerr解は, 低速回転ではブラックホールを表すが, 角運動量がKerr限界値 GM^2/c を超えると裸の特異点となる. 超弦理論に基づいた考察から, Kerr限界値を超えるKerr解を外部解とするコンパクト天体 “Superspinar” が存在しうることが指摘された (Gimon & Horava). 一方, 一般相対論に基づく高速回転するブラックホールでないコンパクト天体は「エルゴ圏不安定性」を引き起こすため, 存在が疑問視されている. しかし, Superspinarは通常为天体と異なる表面を持ちうるので, エルゴ圏不安定が発生しない可能性がある. そこで, 我々は線形摂動解析を行なってSuperspinarの周囲に存在するエルゴ圏の表面を通過するエネルギー流束と時空の線形安定性との関係を明らかにした (現在も研究進行中).

2. 天の川銀河中心のS2星の軌道: P. Bambhaniya (Charusat大), A.B. Joshi (Charusat大), D. Dey (Charusat大), P.S. Joshi (Charusat大, Ahmedabad大), A. Mazumdar (インド工科大), 原田 (立教大), 中尾

天の川銀河の中心には太陽の 4.2×10^6 倍の質量を持つコンパクト天体が存在すると考えられている. その根拠は銀河中心付近の恒星の軌道である. 近年では公転周期の最も短いS2星の軌道の精密観測によって巨大質量のコンパクト天体の正体や重力理論の検証を目指して研究が進められている. 巨大質量コンパクト天体の有力候補は一般相対論の予言するブラックホールだが, 我々はスカラー荷を持つ球対称な裸の特異点の周囲の試験粒子の軌道を調べ, ブラックホールのモデル以上に観測データをよく再現できることを示した.

3. Gravastar形成に伴う量子論的粒子生成: 中尾, 岡林 (京大), 原田 (立教大)

ブラックホール形成に伴う量子論的な粒子生成による放射 (Hawking放射) は熱的なスペクトルを持つ. しかし, 最終的にブラックホールが形成されない重力崩壊でも熱的なスペクトルの粒子が生成されうる (Barcelo *et al.*). 我々は2021年度に, 真空のエネルギーを主成分とするGravastarと呼ばれる星が形成されるような重力崩壊に伴う量子論的粒子生成を調べ, その温度がSchwarzschild時空のHawking温度からde Sitter (dS)時空のGibbons-Hawking温度に変化することを明らかにした. 今回は, 重力崩壊を伴わず星が突然Gravastarに変化するトイモデルを構成し, この場合もGibbons-Hawking温度の量子論的粒子生成が起きることを示した. dS時空におけるGibbons-Hawking温度はdS時空の地平面の存在が重要だと考えられていたが, その認識を覆す結果でもある.

4. 強重力場を特徴づける新しい概念: 李 (名大), 天羽 (京大), 泉 (名大), 吉野, 白水 (名大)

ある面が与えられたときに, ひとつのパラメーターを指標として重力場の強さを特徴づける概念 (Attractive Gravity Probe Surface, AGPS) を提案した. この際に重力のどの性質に注目するかで様々な定式化が考えられ, ここでは4つのタイプの提案をおこなった. さらに, これらの面が満たす面積不等式を導出した.

5. ブラックホールまわりのアキシオン場の時間発展: 大宮 (京大), 高橋 (京大), 田中 (京大)

大), 吉野

素粒子物理学の文脈で存在が期待されているアクシオン場がブラックホールまわりであれば, その回転エネルギーを引き抜いて成長し, アクシオンの雲を形成する. この雲の最終状態は非線形の自己相互作用の効果を考慮して決定しなければならない. この研究では断熱近似を用いて長時間時間発展を可能にし, 特にモード間相互作用に注目してアクシオンの雲の最終状態を計算した.

6. 蒸発する正則化した帯電ブラックホールの時空構造: 末藤, 吉野

ブラックホールが蒸発する際に情報が失われ, 量子論のユニタリティーに反することが問題となっているが, 時空特異点を正則化するだけで解決するシナリオがHaywardやFrolovによって提案されている. このシナリオの一般性を吟味するため, 電荷を持つ物体の重力崩壊および蒸発を考えて時空構造を解析し, ブラックホールが蒸発しきる場合はやはり情報喪失問題を解決できることを示した.

7. U(1)ゲージ・ヒッグスモデルにおけるノントポロジカルソリトン: 遠藤, 小川, 石原

複素スカラー場と結合するU(1)ゲージ・ヒッグスモデルとEinstein重力の連立系で球対称定常なソリトン星の数値的な解析を行った. 解には3つの典型的なタイプが存在し, 対称性の破れのスケールが100GeV程度でも天体物理的スケールのソリトン星が形成される. また, 内部がds時空, 外部がSchwarzschild時空となるようなソリトンのGravastar解は, サイズがコンパクトで周りに光の円軌道が存在しうることを明らかにした.

8. ヌル方向に対称性をもった Nambu-Goto ストリング接触構造: 古崎 (石川高専), 古池 (慶応大), 森澤, 石原

時空の幾何学的対称性をストリングの世界面が共有するとき, 対称性を生成する Killing ベクトル場が空間的, または時間的の場合は以前に解析を行ったが, 今回はヌルの場合を系統的に研究した. ヌル Killing ベクトルをツイストによって分類し, あらゆる方向にツイストしている場合は, 接触空間を特徴づける接触1形式, Reeb ベクトルなどの幾何学量で世界面が規定され, 解は唯一であることが分かった. ツイストしていない方向がある場合は, その次元の数に対応した任意関数をもつ解が存在することを具体的に示した.

9. 大質量比連星からの重力波の解析計算: 磯山 (Southampton 大), 藤田 (追手門学院大), Chua (Caltech), 中野 (龍谷大), Pound (Southampton 大), 佐合

大質量比連星 (EMRI) は, 宇宙重力波望遠鏡LISAの主要なターゲットの一つである. 連星軌道の永年進化と重力場摂動の低速度, 低離心率近似公式を用いて, EMRI重力波波形をモデル化する手法を開発した. その手法を数値計算コードへ実装し, 近似を用いない数値計算との比較により, 現在利用可能な解析的近似モデルの精度, 適用可能な軌道パラメータ領域を明らかにした. また, 軌道の動径方向振動と極角方向振動の間に起こる共鳴がEMRIの軌道発展に及ぼす影響を波形レベルで確認することを可能にした.

10. 特異コンパクト天体からの重力波探索法の開発: 田中 (京大), 佐合

大質量比連星 (EMRI) から放出される重力波の波形を予測する際, 一般には中心の大質量天体をブラックホールと仮定するが, それがブラックホールに似た特異コンパクト天体である場合には, 重力波波形に特有の特徴が現れる. 以前の研究では, 中心天体表面における境界条件が変更された場合, 放出される重力波に観測可能な変調が表れる可能性を示した. 本研究では, その重力波変調を観測データから読み取るための簡便で効率的な解析法を提案した. この方法を擬似データに対して適用し, 極端な状況でなければ広範なパラメータ領域の解析に適用可能であることを示した.

11. 一般化された不確定性原理に基づく 4 次元 Einstein-Gauss-Bonnet ブラックホールからのスカラー粒子の Hawking 放射：松野研
 4次元帯電Einstein-Gauss-BonnetブラックホールからのHawking放射を、荷電スカラー粒子のトンネリングモデルを用い、測定可能な最小の長さを考慮した一般化不確定性原理から期待される現象論的量子重力効果を含めて解析した。Hawking温度の一般相対論からの補正を導出し、一般化不確定性原理が蒸発によるHawking温度の上昇を遅らせ、最終的にPlanck質量程度の安定な残留物が残る可能性があることを明らかにした。
12. 押しつぶされた Kaluza-Klein ブラックホール時空における近点移動：松野研
 静的な5次元帯電Kaluza-Kleinブラックホールの周りを公転する天体の近点移動を調べ、ブラックホールの電荷と余剰次元による補正を議論した。将来的な観測により、ブラックホール電荷と余剰次元の大きさに上限を与えることができると期待される。
13. SKA 時代における InPTA の役割：加藤（PTA グループとしての研究）
 PTAはナノヘルツで振動する重力波の検出を目指す試みである。次世代の電波望遠鏡であるSKAの完成により、PTAの感度は飛躍的に向上する。インドの電波望遠鏡であるGMRTを用いるInPTAは4つの主要なPTAグループの1つであり、インドと日本の研究者が参加している。GMRTはSKAと同様の構成の望遠鏡であるため、GMRTにより洗練された手法はSKA時代において重要になる。特に、星間物質によるノイズの除去の手法が詳しく調べられた。
14. InPTA の初の観測データの公開：加藤（PTA グループとしての研究）
 InPTAは2015年にGMRTを用いた研究を開始し、2021年に主要なPTAグループで構成されるIPTAの正会員になった。この年から日本の研究者がInPTAに参加している。この論文では、2018年から2021年までの3.5年間のパルサーの観測データを公開した。この解析データによって、予想されるパルスの到着時間からのずれと、星間物質によるノイズの時間変動が明らかになった。これらの結果は将来のPTA観測において重要である。
15. Einstein-Dirac-Maxwell 系の厳密解の構成：松野阜，上野（阪大）
 電流を持つEinstein-Maxwell系の厳密解を構成することは、宇宙における大域的な磁気現象の簡単なモデルを提供する意義がある。荷電流体と電磁場を持つ重力系の厳密解は筆者（松野）自身のもも含めていくつか知られている。今回は、荷電流体よりも基礎的な物質を使って解を作るため、電磁場および2つの荷電有質量スピノルを持つEinstein系を考え、厳密解の族を構成した。解となる時空は4次元の静的佐々木時空であり、電磁場は接触磁場であり、スピノルは佐々木-準Killingスピノルを使って構成された。佐々木-準KillingスピノルはKillingスピノルの佐々木多様体における一般化であり、本研究において初めて数理物理に応用された。またスピノルに対して弱いエネルギー条件が成り立つ閉宇宙モデルと、弱いエネルギー条件が破られる開宇宙モデルを得た。

教育・研究業績

著書

1. 中野寛之，佐合紀親：「シリーズ〈理論物理の探求〉1 重力波・摂動論」（朝倉書店，2022年11月発行）

学術論文

1. Ryuichi Fujita, Alvin J. K. Chua, Hiroyuki Nakano, Adam Pound, Norichika Sago: “Adiabatic waveforms from extreme-mass-ratio inspirals: an analytical approach,” Phys. Rev. Lett. **128**, 231101 (2022).

2. Norichika Sago, Takahiro Tanaka: “Efficient search method of anomalous reflection by the central object in an EMRI system by future space gravitational wave detectors,” Phys. Rev. D **106**, 024032 (2022).
3. Yota Endo, Hideki Ishihara, Tatsuya Ogawa: “Relativistic Nontopological Soliton Stars in a $U(1)$ Gauge Higgs Model,” Phys. Rev. D **105**, 104041 (2022).
4. Ken-ichi Nakao, Kazumasa Okabayashi, Tomohiro Harada: “Quantum particle creation in gravastar formation; Radiation with Gibbons-Hawking temperature,” Phys. Rev. D **106**, 105006 (2022).
5. Ken-ichi Nakao, Kazumasa Okabayashi, Tomohiro Harada: “Quantum particle creation in gravastar formation; Radiation with Gibbons-Hawking temperature,” Phys. Rev. D **106**, 105006 (2022).
6. Kangjae Lee, Tetsuya Shiromizu, Keisuke Izumi, Hirotaka Yoshino, Yoshimune Tomikawa, “Four types of attractive gravity probe surfaces,” Phys. Rev. D **106**, 064028 (2022).
7. Masaya Amo, Keisuke Izumi, Yoshimune Tomikawa, Hirotaka Yoshino, Tetsuya Shiromizu: “Asymptotic behavior of null geodesics near future null infinity III: Photons towards inward directions,” Phys. Rev. D **106**, 084007 (2022).
8. Parth Bambhaniya, Ashok B. Joshi, Dipanjan Dey, Pankaj S. Joshi, Arindam Mazumdar, Tomohiro Harada, Ken-ichi Nakao: “Relativistic orbits of S^2 star in the presence of scalar field,” Eur. Phys. J. C **84**:124 (2024).
9. Keisuke Izumi, Yoshimune Tomikawa, Tetsuya Shiromizu, Hirotaka Yoshino: “Attractive gravity probe surfaces in higher dimensions,” PTEP 2023 (2023) 4, 043E01.
10. Hidetoshi Omiya, Takuya Takahashi, Takahiro Tanaka, Hirotaka Yoshino: “Impact of multiple modes on the evolution of self-interacting axion condensate around rotating black holes,” JCAP06 (2023) 016.
11. Ken-ichi Nakao, Kazumasa Okabayashi, Tomohiro Harada: “Radiative gravastar with thermal spectrum; Sudden vacuum condensation without gravitational collapse,” Phys. Rev. D **107**, 084036 (2023).
12. Tatsuya Ogawa, Hideki Ishihara, “Gravastars as nontopological solitons in a $U(1)$ gauge Higgs model,” Phys. Rev. D **107**, L121501 (2023).
13. Hiroshi Kozaki, Tatsuhiko Koike, Yoshiyuki Morisawa, Hideki Ishihara: “Nambu-Goto string with null symmetry and contact structure,” Phys. Rev. D **108**, 084069 (2023).
14. Kensuke Sueto, Hirotaka Yoshino: “Evaporation of a nonsingular Reissner-Nordström black hole and information loss problem,” PTEP 2023 (2023) 10, 103E01.
15. Satsuki Matsuno, Fumihiro Ueno, “The exact solution to an Einstein-Dirac-Maxwell system with Sasakian quasi-Killing spinors on 4D spacetimes,” arXiv:2303.14413[gr-qc].
16. Bhal Chandra Joshi *et al.*, “Nanohertz gravitational wave astronomy during SKA era: An In PTA perspective,” J. Astrophys. Astron. **43**:98 (2022).
17. Pratik Tarafdar *et al.*, “The Indian Pulsar Timing Array: First data release,” Pub. Astron. Soc. Australia **39**:e53 (2022).

学位論文

修士論文

1. 末藤健介: 「曲率特異点を解消したReissner-Nordströmブラックホールの時空構造と情報喪失問題について」
2. 村上由三: 「Superspinarの安定性について」

その他

1. 吉野裕高: 2022年度大阪公立大学数学研究会特別賞「重力の強さを特徴づける新しい概念の提案」

数理物理研究室

森山 翔文 (教授)	西中 崇博 (准教授)	糸山 浩司 (研究員)
大田 武志 (研究員)	関 穰慶 (研究員)	吉岡 礼治 (研究員)
古賀 勇一 (D2)	中西 智暉 (D1)	
潘 敏 (Pan Min) (M2)	佐々木 照 (M2)	松村 和信 (M2)
谷川 昇右 (M1)	濱近 諒 (M1)	堀江 悠貴 (M1)
清林 咲良 (B4)	山田 真衣佳 (B4)	道脇元紀 (研究生)

研究概要

1. 双対カスケードと平行多面体とアフィンワイル群 (古川友寛, 松村和信, 森山翔文, 中西智暉, 佐々木照)

異なる群のゲージ場や異なる表現の物質場を持つゲージ理論でも同じ物理を与えることがあり、これを双対性という。超対称チャーン・サイモンズ理論では、異なるランクやレベルの理論の間に双対性があることが知られている。双対カスケードとは、双対性を通じてランクやレベルが継続的に変換されることであり、より低いランクは理論をより少ない自由度で記述するため、よい記述だと思われる。双対カスケードに関して、継続的な変換により必ず最低ランクに到達して終了するか (有限性)、また終了するとすればその終点は一意的吗 (一意性)、というのは、自然な興味深い物理的な疑問である。本研究では、この疑問を幾何学的な問題に翻訳し、離散幾何を用いて肯定的に解決した。具体的には、まずカスケードを相対ランクのパラメータ空間における平行移動と同定した上で、これ以上カスケードしないパラメータ領域を基本領域と定義する。すると、有限性の疑問は、基本領域が平行移動により隙間なくパラメータ空間を埋め尽くすかという問題に翻訳され、また、一意性の疑問は、基本領域の平行移動による無限個のコピーに重複がないかという問題に翻訳される。平行移動により重複も隙間もなく空間を埋め尽くす図形は、平行多面体とよばれるので、最終的に双対カスケードに関する疑問は、基本領域が平行多面体をなすかという問題に翻訳される。これは、基本領域がゾーン多面体をなすことから、ゾーン多面体が平行多面体になる判定条件を用いて一般的に解決された。特に、対応する物理系がワイル群の対称性を持つ場合には、平行多面体がアフィンワイル部屋になる。

2. 一般的な Z_2 ねじれを持つ非超対称ヘテロ型弦理論における内挿と宇宙定数 (古賀勇一)

自由に作用する Z_2 ねじれを伴って任意の次元をコンパクト化することで構成される、一般的な非超対称ヘテロ型弦模型を調べた。そのような模型において、コンパクト化半径をゼロや無限大にする極限をとることで、従来知られていたものよりも豊富な内挿パターンが得られることを示した。また、超対称性が漸近的に回復する領域において、一般的な Z_2 ねじれを持つ非超対称ヘテロ型弦模型の 1 ループ宇宙定数の公式を導出し、宇宙定数が指数関数的に抑制されるモジュライ空間の点を見つけた。さらに 1 ループ有効ポテンシャルを用いてモジュライの安定性を調べ、指数関数的に宇宙定数が抑圧される点は鞍点に対応していることを明らかにした。

3. 新しいゲージ固定法による弦の振幅 (関穰慶)

mostly BRST exact 演算子による新しいゲージ固定法を用いて、様々な弦の振幅の導出を試みた。これに加えて、特に閉弦理論では、ゴースト数 3 を持つ演算子を新たに導入することによって、閉弦振幅のゲージ固定が行われることを見た。

4. A_{n-1} 型 quiver 行列模型に於ける AD 超局面と極大対称性との対応 (糸山浩司, 大田武志, 吉岡礼治)

著者たちの過去の仕事により、この一連の多行列模型が $N = 2$ 超対称非アーベルゲージ理論の低エネルギー有効作用厳密解を与えることが明らかになっている。しかしながら、多行列

模型の場合、物理量の厳密決定は限られてくる。2つの論文に於いて、ユニタリー化すると対称性が明白になるという著者たちの発見に基づき、上記の対応関係を臨界現象として確立した。

5. 4次元 $\mathcal{N} = 3$ 共形場理論の S^1 コンパクト化と ABJM 理論 (中西智暉、西中崇博)

4次元で $\mathcal{N} = 3$ の超共形対称性を持つ場の量子論は、ラグランジアンによる構成法は知られていないが、弦理論を用いた構成法は知られている。この理論を S^1 でコンパクト化すると、3次元で $\mathcal{N} = 6$ の超対称性を持つ場の理論に帰着すると考えられており、最も簡単な例では、3次元理論は M2 プレーン上の場の理論である ABJM 理論になると信じられている。我々はこの4次元と3次元の関係を確かめるために、4次元 $\mathcal{N} = 3$ 超共形場理論の超共形指数の高温極限で、ABJM 理論の S^3 分配関数がどのように得られるかを調べた。その結果、4次元 $\mathcal{N} = 3$ 理論の $U(3)$ R 対称性と3次元 $\mathcal{N} = 6$ ABJM 理論の $U(1)$ フレーバー対称性の間に、これまで知られていなかった非自明な混合があることを発見した。

教育・研究業績

著書

1. 糸山浩司:「電磁気学から非アーベルゲージ場の理論へ」, 特集 電磁気学と現代物理, 数理学, 2022年10月号, No.712

学術論文

1. Matthew Buican, Hongliang Jiang, Takahiro Nishinaka, “Spin thresholds, RG flows, and minimality in 4D $\mathcal{N}=2$ QFT”, Phys.Rev.D **105** (2022) 8, 085021, [arXiv: 2112.05925 [hep-th]].
2. Tomohiro Furukawa, Kazunobu Matsumura, Sanefumi Moriyama, Tomoki Nakanishi, “Duality cascades and affine Weyl groups”, JHEP **05** (2022) 132, [arXiv: 2112.13616 [hep-th]].
3. Tomohiro Furukawa, Sanefumi Moriyama, Hikaru Sasaki, “Duality cascades and parallelotopes”, J. Phys. A: Math. Theor. **56** (2023) 165401, [arXiv: 2205.08039 [hep-th]].
4. Takuya Kimura, Takahiro Nishinaka, “On the Nekrasov partition function of gauged Argyres-Douglas theories”, JHEP **01** (2023) 030, [arXiv: 2206.10937 [hep-th]].
5. Hiroshi Itoyama, Takeshi Oota, Reiji Yoshioka, “Construction of irregular conformal/W block and flavor mass relations of $\mathcal{N} = 2$ SUSY gauge theory from the A_{n-1} quiver matrix model”, Phys.Lett.B **841** (2023) 137938, [arXiv: 2210.16738 [hep-th]].
6. Tomoki Nakanishi, Takahiro Nishinaka, “ S^1 reduction of 4D $\mathcal{N} = 3$ SCFTs and squashing independence of ABJM theories”, JHEP **03** (2023) 255, [arXiv: 2211.07421 [hep-th]].
7. Hiroshi Itoyama, Takeshi Oota, Reiji Yoshioka, “A-D hypersurface of $su(n)$ $\mathcal{N} = 2$ supersymmetric gauge theory with $N_f = 2n - 2$ flavors”, Int.J.Mod.Phys.A**38** (2023) 02, 2350017, [arXiv: 2212.06590 [hep-th]].
8. Yuichi Koga, “Interpolation and exponentially suppressed cosmological constant in non-supersymmetric heterotic strings with general Z_2 twists”, Nucl.Phys.B**990** (2023) 116160, [arXiv: 2212.14572 [hep-th]].

国際会議会議録

1. Satoshi Iso, Hiroshi Itoyama, Kazunobu Maruyoshi, Takahiro Nishinaka, Takeshi Oota, Kazuhiro Sakai, Asato Tsuchiya, Reiji Yoshioka, “Proceedings of the East Asia Joint Symposium on Fields and Strings 2021”, (Editors).

国際会議講演

1. Sanefumi Moriyama, “M2-branes –Parallelotopes and Bilinear Relations–”, Quantum Field Theories and Representation Theory, Osaka Metropolitan University, 2023/03/27-30
2. Hiroshi Itoyama, “Irregular Virasoro/W block and flavor mass relations From A_{n-1} quiver matrix model”, East Asia Joint Symposium on Strings and Fields, Korean Institute for Advanced Study(KIAS), Seoul, Korea, 2022/11/14-18
3. Hiroshi Itoyama, “Successes in matrix models in quantum field theory”, Space-time topology and geometry with a focus on vorticity and magnetic fields, JR Hakata city, Japan, 2022/11/14-17
4. Hiroshi Itoyama, “Critical hypersurface of $\mathcal{N} = 2$, $\text{su}(n)$ gauge theory with flavors from A_{n-1} multi-matrix model”, International Symposium on String and Fields, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 2022/12/17-20
5. Hiroshi Itoyama, “Critical hypersurface of $\mathcal{N} = 2$, $\text{su}(n)$ gauge theory with flavors from A_{n-1} multi-matrix model”, QFT and Related Mathematical Aspects, Shyuzenji, Shizuoka, Japan, 2023/03/13-15
6. Reiji Yoshioka, “Root of unity limit and elliptic deformation of q -Virasoro block”, Quantum Field Theories and Representation Theory, Osaka Metropolitan University, 2023/03/27-30.
7. Takahiro Nishinaka, “On the 3D reduction of 4D $\mathcal{N}=3$ SCFTs”, East Asia Joint Workshop on Fields and Strings 2022, Korea Institute for Theoretical Physics, 2022/11/14-18.

学会・研究会講演

1. 森山翔文：“双対カスケードと平行多面体”，YITP Workshop 「場の理論と弦理論 2022」, 2022/08/19-8/23.
2. 岸本功, 関穰慶, 高橋智彦：“新しいゲージ固定法を用いた閉弦の2点振幅の理解”, 日本物理学会 2022 年秋季大会, 岡山理科大学, 2022/09/06-08.
3. 古賀勇一：“非超対称な弦理論と宇宙定数”, 関西地域セミナー 2022, 奈良女子大学, 2022/10/8.
4. 古賀勇一：“非超対称な弦理論における宇宙定数と有限性”, 南部アインシュタインセミナー 2022, 奥琵琶湖マキノパークホテル, 2022/11/3-5.
5. 森山翔文：“Duality Cascades and Parallelotopes”, 名古屋大学多弦セミナー, 2023/02/17.
6. 中西智暉, 西中崇博：“ S^1 reduction of 4D $\mathcal{N} = 3$ SCFTs and squashing independence of ABJM theories”, 日本物理学会 2023 年春季大会, 東北大学, 2023/03/22-25.
7. 古賀勇一：“Interpolation and Exponentially Suppressed Cosmological Constant in Non-Supersymmetric Heterotic strings with general Z_2 twists”, 素粒子現象論研究会 2022, 大阪公立大学, 2023/03/16-18.
8. 古賀勇一：“Suppressed Cosmological Constant in Non-SUSY Heterotic Strings with General Z_2 Twists”, 日本物理学会 2023 年春季大会, 東北大学, 2023/03/22-25.
9. 東國沙紀, 岸本功, 関穰慶, 高橋智彦：“mostly BRST exact 演算子を用いた開弦 1 ループ振幅の計算について”, 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン, 2023/03/22-25.
10. 岸本功, 甲賀まこ, 関穰慶, 高橋智彦：“ゴースト数 2 をもつ新たな閉弦頂点演算子について”, 日本物理学会 2023 年春季大会, オンライン, 2023/03/22-25.
11. Yuichi Koga：“Interpolation and cosmological constant in non-SUSY heterotic strings with general Z_2 twists”, String Theory and BSM Seminar, University of Liverpool, 2023/3/28.
12. 糸山浩, 大田武志, 吉岡礼治：“irregular Virasoro/W block and flavor mass relations from A_{n-1} quiver matrix model”, 日本物理学会 2023 年春季大会, online, 2023/03/22-25.

学位論文

修士論文

1. Pan Min: 「Recent Developments in Causal Dynamical Triangulation and Hořava-Lifshitz Gravity」
2. 松村和信: 「双対カスケードとアフィンワイル群」
3. 佐々木照: 「BV形式を用いた位相的場の理論の構成について」

研究助成金取得状況

1. 森山翔文: 基盤研究 (C) (一般) 「量子代数曲線と対称性から探る、超共形場の理論と超弦理論」, 研究代表者.
2. 西中崇博: 若手研究 「アルジレス・ダグラス理論の双対性の研究」, 研究代表者.
3. 西中崇博: 基盤研究 (S) 「新時代の頂点代数の表現論」.
4. 関穰慶: 基盤研究 (C) (一般) 「量子エンタングルメントに関する S 行列理論と弦理論の研究」, 研究代表者.
5. 関穰慶: 基盤研究 (C) (一般) 「開弦の場の理論から迫る閉弦のダイナミクス」.
6. 関穰慶: 基盤研究 (C) (一般) 「弦理論における振幅の再構築とその応用-エンタングルメントと時空の理解へ」, 研究代表者.
7. 糸山浩 (浩司): 基盤研究 (C) (一般) 「行列・テンソル模型で探るゲージ理論・ランダム幾何学に於ける可積分性の出現」, 研究代表者.
8. 糸山浩 (浩司): 2022 年度大阪公立大学学内 STEP-UP 経費.

その他

1. Hiroshi Itoyama: Organizers of International Workshop “QFT and Related Mathematical Aspects”, Shuzenji, 2023/03/13-15.
2. Takahiro Nishinaka, Hiroshi Itoyama: Organizers of International Workshop “Quantum Field Theories and Representation Theory”, Osaka Metropolitan University, 2023/03/27-30.
3. Shigenori Seki, “Two-point string amplitudes revisited”, Amplitudes 2022, Charles University, Prague, 2022/8/8-12, ポスター発表.
4. Hiroshi Itoyama, “PKU lectures on matrix model”, delivered at Peking University, China, online, 2022/07/8,11,12,14,15.
5. 糸山浩 (浩司), 静岡大学集中講義 “QFT Primer” 場の量子論入門, 静岡大学, 2022/9/20-21.
6. 森山翔文: 物理学専攻専攻長.

数理物理 (表現論) 研究室

会沢 成彦 教授 伊藤 蓮 (M2) 木邨 太一 (M1)
田中 寿弥 (M1) 藤田 悠朔 (B4)

研究概要

本研究室では、表現論を主な道具として数理物理の様々な問題に取り組んでいる。今年は下記の3つをテーマとして研究を行った。

1. \mathbb{Z}_2^2 -graded 超対称性に関連する研究

\mathbb{Z}_2^2 -graded Lie super 代数は Lie 代数に可換群 $\mathbb{Z}_2^2 := \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$ による grading 構造を入れたものであり、Lie 超代数の自然な拡張になっている。また、連続的な対称性を生成することができ、このような対称性が良く知られた物理系の中にも見出せることが近年報告されたこと、超対称量子力学の \mathbb{Z}_2^2 拡張が導入されたことにより注目を集めている。

本研究室では \mathbb{Z}_2^2 -超対称な古典系を定式化し、それを量子化する方法を開発することで \mathbb{Z}_2^2 -超対称性を持つ量子系を構築する研究を行ってきた。 \mathbb{Z}_2^2 -超対称な古典系の定式化には超場形式の \mathbb{Z}_2^2 拡張が有用と思われるが、そのためにはラグランジアンを \mathbb{Z}_2^2 超空間上で積分する必要がある。 \mathbb{Z}_2^2 超多様体上の幾何学は数学者により研究されているが、未だに \mathbb{Z}_2^2 超多様体上の積分の定義が確立しておらず、超場形式を \mathbb{Z}_2^2 -超対称に応用する際の困難となっていた。

そこで、最も簡単な \mathbb{Z}_2^2 超多様体である最小 \mathbb{Z}_2^2 -超空間上の積分について詳細な解析を行った。その結果、これまで提案されている積分の定義のすべては積分可能な関数に制限がつくことを示し、超場形式には不適切であることを明らかにした。

超場形式を可能にするために、新たな積分の定義を考案した。この定義は最小 \mathbb{Z}_2^2 -超空間 (4次元) 上の積分を \mathbb{R}^2 上の積分を用いて定めるもので、積分可能な関数に制限がつかないのが特徴である。この定義を用いることにより、最小 \mathbb{Z}_2^2 -超空間上で \mathbb{Z}_2^2 -超対称古典系を構築することに成功した。さらに、得られた古典系は $\sin(\hbar)$ -Gordon, Liouville 方程式のような古典可積分系の \mathbb{Z}_2^2 拡張を与えることを示した。これらの \mathbb{Z}_2^2 -超対称形の可積分性は明らかではないが、 \mathbb{Z}_2^2 -超対称を持つ可積分系というこれまで知られていなかったクラスの可積分系の存在を強く示唆している。今後は、 \mathbb{Z}_2^2 -超対称可積分系の研究に力を入れることにしている。

2. Invariant differential operators (IDOs) の研究

Schroödinger, Maxwell, d'Alambert 方程式などが連続的な対称性を持つことはよく知られている。逆に、Lie 群などの連続群が与えられたとき、それを対称性の群として持つ偏微分方程式 (IDO) を導出する canonical な方法が Dobrev により開発された。この方法は Lie 代数の表現論を用いており、特に Verma 加群内の特異ベクトルの具体形を求める必要があるため、実際に IDO を導出するのは必ずしも簡単ではない。Dobrev は長年に渡り Lie 群 (有限および無限次元)、超 Lie 群、量子群などの IDO の具体形を求めるプロジェクトを実施しており、今回は Dobrev と共同で特殊なクラスの Lie 群 (split rank=1) である $Sp(n,1)$ の場合を研究し、 $n=2$ の場合の IDO を具体的に導出した。

3. 超代数とその拡張を用いた結び目不変量の研究

結び目の Kontsevich 不変量はすべての同値でない結び目を区別できる不変量であることが期待されている。しかし、Jacobi 図の作るベクトル空間に値をとる不変量であるため、具体的な数値を求めるには Jacobi 図を数値へ変換するプロセスが必要であり、このプロセスの取り方に自由度がある。良く知られているのは Lie 代数の表現を用いて Jacobi 図の空間から数値への写像を作る方法であり、近年は Lie super 代数を用いる方法へと拡張されているが、実際に計算されているのは $sl(n|m)$ の場合だけである。その他の Lie super 代数の場合、さらには \mathbb{Z}_2^2 -graded Lie super 代数の場合への拡張を研究中である。

教育・研究業績

学術論文

1. N. Aizawa, R. Ito, Z. Kuznetsova and F. Toppan,
New aspects of the $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$ -graded $1D$ superspace: induced strings and $2D$ relativistic models.
[Nuclear Physics B, **991** \(2023\) 116202 \(27 pages\).](#)
2. N. Azawa and H.-T. Sato,
Hom-Lie-Virasoro symmetries in Bloch electron systems and quantum plane in tight binding models.
[Nuclear Physics B, **995** \(2023\) 116336 \(34 pages\).](#)
Erratum; [Nuclear Physics B, **998** 116422 \(2024\).](#)
3. N. Aizawa and Ren Ito,
Integration on minimal \mathbb{Z}_2^2 -superspace and emergence of space.
[Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, **56** \(2023\) 485201.](#)
4. N. Aizawa, Ren Ito and Toshiya Tanaka,
 \mathbb{Z}_2^2 -graded supersymmetry via superfield on minimal \mathbb{Z}_2^2 -superspace,
[arXiv:2308.16860 \[math-ph\].](#)

国際会議会議録

1. N. Aizawa,
Irreducible representations of \mathbb{Z}_2^2 -graded supersymmetry algebra and their applications.
[SciPost Physics Proceedings, **14** \(2023\) 016 \(8 pages\).](#)

国際会議講演

1. N. Aizawa,
Towards a superfield formulation of \mathbb{Z}_2^2 -supersymmetry,
XV. International Workshop “Lie Theory and Its Applications in Physics”,
Varna, Bulgaria, 2023 年 6 月

学会・研究会講演

1. 伊藤蓮, “The \mathbb{Z}_2^2 -graded Classical Mechanics: The Analysis via Realization”,
素粒子・数理科学地域研究グループ研究集会, 東京理科大学 (口頭発表, オンライン), 2023 年 2 月.
2. 会沢成彦, “New aspects of \mathbb{Z}_2^2 -graded superspace with induced stringy-modes actions 1”,
日本物理学会 2023 年春季大会 (口頭発表, オンライン), 2023 年 3 月.
3. 伊藤蓮, “New aspects of \mathbb{Z}_2^2 -graded superspace with induced stringy-modes actions 2”,
日本物理学会 2023 年春季大会 (口頭発表, オンライン), 2023 年 3 月.

4. 伊藤蓮, “Integration on minimal \mathbb{Z}_2^2 -superspace and 2D relativistic Lagrangian”, 原子核三者若手夏の学校, 国立オリンピック記念青少年総合センター (口頭発表), 2023 年 8 月.
5. 伊藤蓮, “Integration on minimal \mathbb{Z}_2^2 -superspace and 2D relativistic Lagrangian”, 日本物理学会 2023 年年次大会, 東北大学 (口頭発表), 2023 年 9 月.
6. 伊藤蓮, “Integration on minimal \mathbb{Z}_2^2 -superspace and 2D relativistic Lagrangian”, 関西地域セミナー, 大阪公立大学 (口頭発表), 2023 年 10 月.
7. 伊藤蓮, “拘束系の量子化と $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$ 超対称力学”, 南部・アインシュタインセミナー, 大阪公立大学 (ポスター発表), 2023 年 11 月.
8. 田中 寿弥, “超場形式による \mathbb{Z}_2^2 超対称な古典力学”, 南部・アインシュタインセミナー, 大阪公立大学 (ポスター発表), 2023 年 11 月.

学位論文

修士論文

1. 井上 立輝: Extensions of supersymmetric quantum mechanics from isospectrality

研究助成金取得状況

1. 会沢成彦: 学術振興会・基盤研究 (C)(代表) 「次数付きリー代数の表現論に基づく可積分系の研究」 100 万円

高エネルギー物理学研究室

清矢 良浩 教授	本條 貴司 (D2)	金子 聡 (M1)	梅井 一輝 (B4)
山本 和弘 准教授	長谷 和哉 (M2)	川村 悠馬 (M1)	田中 甚吉 (B4)
	山本 達也 (M2)	田川 椋平 (M1)	山本 健裕 (B4)

研究概要

1. 陽子・反陽子衝突型加速器を用いた素粒子実験 (清矢, 山本)

米国フェルミ国立加速器研究所の陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンと汎用素粒子検出器 CDF によって得られたデータの解析を継続しているが, 新たな結果が得られたので簡単に報告する. データ取得自身は 2011 年 9 月末に終了しており, 解析に使用できるデータ量は最終的に約 10 fb^{-1} である.

今回報告するのは, 弱い相互作用の媒介粒子である W^\pm ボソンの質量精密測定結果である. W^\pm ボソンの質量は素粒子標準模型の重要なパラメーターの一つであり, ヒッグス粒子が発見された現在, その精密測定は標準模型の, さらに厳密な検証という意味で重要な意義をもっている. データ量は以前の解析結果の約 4 倍であり, また, 系統誤差を抑えるための様々な解析の改善がなされた. 結果は

$$M_W = 80433.5 \pm 6.4 \text{ (stat.)} \pm 6.9 \text{ (syst.) MeV}/c^2$$

である. 標準模型において期待される値とは 7.0σ の違いがあり, 理論計算の見直しあるいは標準模型を超える物理を示唆している.

2. 長基線ニュートリノ振動実験 (清矢, 山本, 本條, 川村, 山本 健)

今年度も昨年度に引き続き, 長基線ニュートリノ振動実験 T2K を継続した. これまでに 3.8×10^{21} POT (ニュートリノモード: 2.2×10^{21} POT, 反ニュートリノモード: 1.6×10^{21} POT) の統計を収集することができ, これらを用いてニュートリノ振動パラメーター θ_{23} , Δm_{32}^2 (質量順階層 (NO) の場合), Δm_{13}^2 (質量逆階層 (IO) の場合), δ_{CP} を求めた. 特に δ_{CP} は現在の物質優勢宇宙の解明につながるレプトン CP 非対称性の大きさを表す CP 位相角である. 図 1 は質量順階層の場合の $\sin^2 \theta_{23}$ と Δm_{32}^2 の 90% 信頼水準での許容領域を示す. T2K 実験以外の世界で行われている実験結果も重ねて描いているが, T2K 実験が $\sin^2 \theta_{23}$, Δm_{32}^2 ともに世界最高精度での測定に成功していることが分かる. また, 図 2 は T2K 実験で得られたレプトン CP 位相角 δ_{CP} の各値における統計的有意度を表している. 3σ の信頼水準では $[-\pi, 0.31] \cup [2.59, \pi]$ (NO), $[-2.80, -0.14]$ (IO) の許容範囲領域が得られると同時に, CP 位相角が取りえる値の多くの領域が 3σ の信頼水準で排除された. 90% の信頼水準では $[-3.08, -0.52]$ (NO), $[-1.92, -0.89]$ (IO) の許容領域が得られ, CP が保存する $\delta_{CP} = 0, \pi$ が排除された. さらに CP が最大に破れる $\delta_{CP} = -\pi/2 (-1.57)$ が好まれていることが分かる.

また, 前置検出器の反応標的がプラスチックシンチレーターで後置検出器の反応標的が水であるため, ニュートリノ-原子核反応における不定性がキャンセルされず, 振動解析における系統誤差の要因となっている. この系統誤差を抑制するために, 前置検出器ホールに水標的を主体とした新たな検出器を建設し, 水とプラスチック標的のニュートリノ反応断面積比を測定する T2K 実験のサブプロジェクト (WAGASCI 実験) を行い, データ収集と解析が進行中である.

現在の J-PARC のメインリングの陽子ビームパワーは 500 kW であるが, 統計量を大幅に増やすために将来的には 1.3 MW まで増強しニュートリノ強度を 2 倍程度に増やす計画

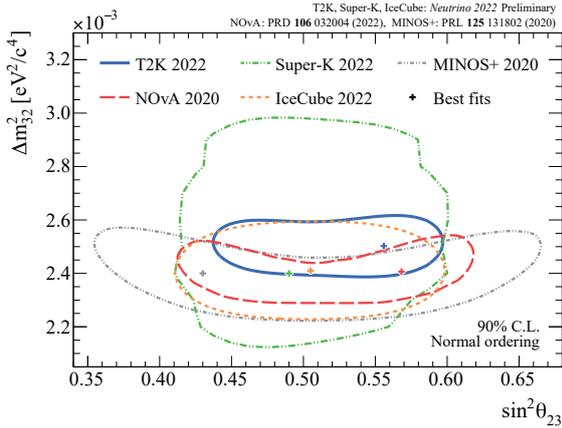


図 1: $\sin^2 \theta_{23}$ と Δm_{32}^2 の許容領域. T2K 実験の結果が世界最高精度を達成していることが分かる.

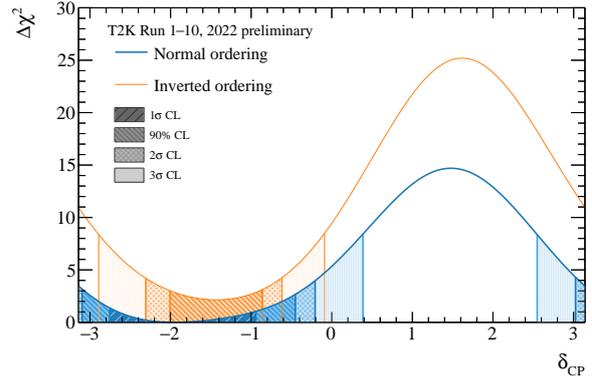


図 2: T2K 実験で得られた CP 位相角 δ_{CP} の各値における統計的有意度.

である. ニュートリノ強度とプロファイルを間接的にリアルタイムで測定しているミュオンモニターには, 現在シリコン PIN フォトダイオードと平行板ガスイオンチェンバーが使われているが, これらは将来強度では放射線損傷や線形性が保てないなどの問題が発生し, 使用に問題があることが分かっているため, これらに替わる新たな検出器として電子増倍管 (EMT) の開発を行っている. EMT は小型の光電子増倍管の光電面をアルミニウムで蒸着したものである. 11 月には東北大学電子光理学研究センターの電子線形加速器を用いて EMT 動作のテスト実験を行った. 先行研究により良好な放射線耐性や線形応答性を持つことが確認されているが, バイアス電圧印加時より数日間信号強度が低下しその後安定する初期不安定性が見られている. 今回はその初期不安定性の理解と放射線劣化の原因究明を目的に実験を行った. 結果として, 初期不安定性の原因に EMT の温度依存性の可能性が高いこと、及び EMT の放射線劣化の原因としてダイノードに蒸着されているアルカリアンチモンの劣化である可能性が高いことを突き止めた.

3. 荷電レプトンフレーバー非保存過程探索実験 (清矢, 山本, 長谷, 金子, 田川, 梅井, 田中)

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) において, 原子核に束縛された負ミュオンが電子に直接的に転換する過程, いわゆるミュオン・電子転換過程を探索する実験 DeeMe の立ち上げを引き続き遂行した. 電子を検出する multi-wire proportional chamber (MWPC) や信号読み出しエレクトロニクス等の開発は終了しており, 実験で使用するビームライン (H ライン) 建設も 2022 年 1 月に完了した. これを受けて, 今年度はついに DeeMe 実験の運転調整を開始した. 全システムは基本的には問題なく稼働し, 電子の運動量再構成にも成功した. 今後は運動量再構成の最適化, 運動量較正, ビームラインやバックグラウンドの理解といった詳細な解析を行っていく.

教育・研究業績

学術論文

1. T. Aaltonen, T. Okusawa, Y. Seiya, K. Yamamoto, D. Yamato *et al.* (The CDF Collaboration): “High-precision measurement of the W boson mass with the CDF II detector”, *Science* **376**, 170–176 (2022).
2. K. Abe, T. Honjo, T. Kobata, K. Nishizaki, T. Okusawa, Y. Seiya, S. Takayasu, N. Teshima, K. Yamamoto *et al.* (The T2K Collaboration): “Scintillator ageing of the T2K near detectors from 2010 to 2021”, *Journal of Instrumentation* **17** (p10028), 1–34 (2022).

国際会議講演等

1. 山本 和弘：“DeeMe –muon-electron conversion search experiment–”（招待講演），The 23rd International Workshop on Neutrinos From Accelerators (NuFact2022), 2022/07/31–08/06, The Cliff Lodge at Snowbird, Salt Lake City, Utah, USA, or remote (mixed mode), online participation, 2022/08/02.
2. 本條 貴司：“New muon monitor for J-PARC neutrino experiment”（招待講演），The 23rd International Workshop on Neutrinos From Accelerators (NuFact2022), 2022/07/31–08/06, The Cliff Lodge at Snowbird, Salt Lake City, Utah, USA, 2022/08/04.

学会・研究会講演等

1. 長谷 和哉：「ビームプロファイルスキャン装置を用いたビームチューニング」，日本物理学会 2022 年秋季大会，2022 年 9 月 6 日～8 日，岡山理科大学（現地開催・オンライン配信）.
2. 山本 達也：「T2K 実験ミューオンモニターに用いる電子増倍管の電子ビーム照射試験による性能評価とビームのプロファイル測定」，日本物理学会 2022 年秋季大会，2022 年 9 月 6 日～8 日，岡山理科大学（現地開催・オンライン配信），発熱によりキャンセル.
3. 清矢 良浩：「ミュオン電子転換過程探索実験 –DeeMe–：準備状況 (18)」，日本物理学会 2022 年秋季大会，2022 年 9 月 12 日～15 日，東京工業大学（現地開催・オンライン配信）.
4. 川村 悠馬：「T2K 実験ミューオンモニターに用いる 電子増倍管の電子ビームによる性能評価」（ポスター），ELPH シンポジウム 2023，2023 年 3 月 2 日，東北大学電子光物理学研究センター 三神峰ホール.
5. 清矢 良浩：「J-PARC RCS パルス陽子ビームを活用したミュオン電子転換過程の探索実験」（招待講演），素粒子現象論研究会 2022，2023 年 3 月 16 日～18 日，大阪公立大学 杉本キャンパス.
6. 川村 悠馬：「T2K ミューオンモニター用電子増倍管のビームテストで用いるビームプロファイル測定用 64 素子フォトダイオードアレイの較正」，日本物理学会 2023 年春季大会，2023 年 3 月 22 日～25 日，オンライン開催.
7. 山本 和弘：「ミュオン電子転換過程探索実験 –DeeMe–：現状報告」，日本物理学会 2023 年春季大会，2023 年 3 月 22 日～25 日，オンライン開催.
8. 金子 聡：「J-PARC MLF H1 エリアにおける μ - e 転換過程探索実験 DeeMe で用いる検出器の正の荷電パイオンを用いた運動量較正シミュレーション」，日本物理学会 2023 年春季大会，2023 年 3 月 22 日～25 日，オンライン開催.
9. 田川 椋平：「 μ - e 転換過程探索実験 DeeMe のためのミューオンミッセル崩壊陽電子を用いた運動量校正シミュレーション」，日本物理学会 2023 年春季大会，2023 年 3 月 22 日～25 日，オンライン開催.

その他

1. 本條 貴司：“Summary of Run 11 release status”，T2K Collaboration meeting, 2022/05/08, Tokai villag, Ibraki-ken, Japan.
2. 本條 貴司：“T2K Run 11 flux release status”，T2K Collaboration meeting, 2022/05/10, Tokai villag, Ibraki-ken, Japan.
3. 本條 貴司：“MUMON status and plan”，T2K ND280-Japan meeting, 2022/05/24, online.
4. 長谷 和哉：“Beam profile measurement”，The 11th DeeMe Collaboration meeting, 2022 年 12 月 27 日，Tokai village, Ibaraki-ken, Japan.

5. 田川 椋平：“Simulation study of momentum calibration using Michel positrons”, The 11th DeeMe Collaboration meeting, 2022 年 12 月 27 日, Tokai village, Ibaraki-ken, Japan.
6. 金子 聡：“Simulation study of momentum calibration using positrons from pion decays”, The 11th DeeMe Collaboration meeting, 2022 年 12 月 27 日, Tokai village, Ibaraki-ken, Japan.
7. 本條 貴司：“WAGASCI BabyMIND preparation status for the next beam time”, T2K ND280-Japan meeting, 2023/01/17, online.
8. 本條 貴司：“Next flux release status and plans”, T2K Collaboration meeting, 2023/02/07, Tokai villag, Ibraki-ken, Japan.
9. 本條 貴司：「T2K 実験の大強度ニュートリノビームの実現とそれを用いた微分断面積の測定」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, 2023 年 3 月 20 日, 大阪公立大学 杉本キャンパス

学位論文

卒業論文

1. 梅井 一輝・田中 甚吉：「DeeMe 実験で用いる MWPC のガスゲイン印加電圧依存性の評価」
2. 山本 健裕：「T2K 実験ミュオンモニター新型検出器 EMT のビームテストにおける入射ビーム電荷量の算出」

修士論文

1. 長谷 和哉：「大強度陽子加速器施設 J-PARC におけるビームライン H ラインのためのパルスビームプロファイル測定装置の開発」
2. 山本 達也：「T2K 実験ミュオンモニターに用いる電子増倍管の開発」

研究助成金取得状況

1. 清矢 良浩：新学術領域研究「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」計画研究 A02 「加速器ニュートリノビームで探る素粒子の対称性」（分担），直接経費：250 万円，間接経費：75 万円.
2. 清矢 良浩：基盤研究（C）「物質優勢宇宙の謎の解明に向けたニュートリノ反応断面積の精密測定」（分担），直接経費：10 万円，間接経費：3 万円.
3. 山本 和弘：基盤研究（C）「次世代ニュートリノ実験における大強度ミュオンの測定」（代表），直接経費：90 万円，間接経費：27 万円.

その他

1. 清矢 良浩：日本物理学会代議員, 2021 年 3 月 31 日 ～2023 年 3 月 31 日.
2. 清矢 良浩：東京大学宇宙線研究所運営委員会委員, 2022 年 4 月 1 日 ～ 2024 年 3 月 31 日.

宇宙・素粒子実験物理学研究室

中野 英一 教授	加藤 睦代(M2)	大木 賢祥(B4)
岩崎 昌子 准教授	楠本 泰徳(M2)	森政 寿音(M2)
	井上 拓海(M1)	山崎 祐 (B4)
	度会 龍 (M1)	

研究概要

1. Belle II 国際共同実験.(中野, 岩崎, 加藤, 楠本, 井上, 度会)

高エネルギー加速器研究機構(KEK)のSuperKEKB加速器を用いたBelleII国際共同実験を行っている。BelleII実験は、SuperKEKB 加速器を用いて電子・陽電子対消滅 反応によって大量に生成されるB中間子対の崩壊過程から、CP対称性の破れの検証やB中間子の稀崩壊の測定などを目的とした国際共同実験である。大阪市立大学の研究グループは BelleII測定器の中央飛跡検出器(CDC)を担当しており、CDCに関わるソフトウェア開発を行っている。

2. 機械学習の適応研究(岩崎, 加藤, 度会, 大木, 森政, 山崎)

原子核・素粒子実験分野研究者, 情報科学研究者による深層学習研究グループを組織し(代表 岩崎), 大阪大学 RCNP 研究プロジェクト, 大阪大学 IDS 学際プロジェクトとして研究を進めている。このプロジェクトにおいて, 大阪市大は, 以下の研究を進めた。

● スパースサンプリングを用いたデータ削減の基礎研究(岩崎, 加藤)

高エネルギー実験で生成された大量データについて, データの本質的な情報を保ちつつデータサイズ削減を行うため, 機械学習を用いたスパースサンプリングの適用研究を行った。ILC SiD測定器の電磁カロリメータ(ECAL)のエネルギー較正タスクにおいて, スパースサンプリングを用いたデータ削減を行い, その有効性を示した。評価結果を研究会・学会で発表し, 修士論文にまとめた。

● KEK Linac加速器運転調整(岩崎, 渡会)

機械学習を導入したKEK Linac加速器運転調整開発を進めた。強化学習のpre-trainingのため, 敵対生成ネットワーク(Generative Adversarial Networks, GAN)を用いた加速器シミュレータを開発した。O(1000)パラメータの加速器データを再現させるために, モード崩壊の解決が重要であり, そのためには, 次元削減が有効であることを示した。結果を国内学会・研究会, 国際学会で発表した。

● ATLAS実験公開MCデータを用いたトップクォーク識別の研究(岩崎, 大木)

ATLAS実験により, 機械学習開発用に公開されたMCデータを用いて, トップクォーク識別研究を行った。結果を卒業論文にまとめた。

● MNISTデータを用いた機械学習の基礎研究(岩崎, 森政, 山崎)

MNISTデータサンプルを用いて, 深層学習(畳み込みネットワーク, およびTransformer)を用いた画像識別の基礎研究を行った。結果を卒業論文にまとめた。

3. CDC 読み出し回路に用いる ASIC の開発(中野, 楠本, 井上)

BelleII測定器のCDCの読み出し電子回路には発熱の問題や放射線による損傷のため, 将来的には置き換えが計画されており, それにむけたASICの開発を進めている。現状のCDC読み出し回路にはASDにカスタムASICと市販品のFADCを用いているが, 消費電力低減を目的としてASDとFADCを共に搭載したASICの開発を進めており, その試作品での性能評価を行ない, 修士論文にまとめた。

教育・研究業績

学術論文

1. K. Goto, T. Suehara, T. Yoshioka, M. Kurata, H. Nagahara, Y. Nakashima, N. Takemura and M. Iwasaki, “Development of a vertex finding algorithm using Recurrent Neural Network,” Nucl. Instrum. Meth. A 1047, 167836 (2023)
2. U. Gebauer et al. [Belle], “Measurement of the branching fractions of the $B^+ \rightarrow \eta' l^+ \nu_l$ and $B^+ \rightarrow \eta l^+ \nu_l$ decays with signal-side only reconstruction in the full q^2 range,” Phys. Rev. D 106, no.3, 032013 (2022)
3. X. L. Wang et al. [Belle], “Study of $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\psi(2S)$ at Belle,” Phys. Rev. D 105, no.11, 112011 (2022)
4. K. Inami et al. [Belle], “An improved search for the electric dipole moment of the τ lepton,” JHEP 04, 110 (2022)
5. T. Czank et al. [Belle], “Search for $Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-$ in the L_μ - L_τ gauge-symmetric model at Belle,” Phys. Rev. D 106, no.1, 012003 (2022)
6. T. Bloomfield et al. [Belle], “Measurement of the branching fraction and CP asymmetry for $B \rightarrow D^0 \pi$ decays,” Phys. Rev. D 105, no.7, 072007 (2022)
7. Y. B. Li et al. [Belle], “First test of lepton flavor universality in the charmed baryon decays $\Omega_c^0 \rightarrow \Omega^- l^+ \nu_l$ using data of the Belle experiment,” Phys. Rev. D 105, no.9, L091101 (2022)
8. Y. C. Chen et al. [Belle], “Measurement of Two-Particle Correlations of Hadrons in e^+e^- Collisions at Belle,” Phys. Rev. Lett. 128, no.14, 142005 (2022)
9. T. Pang et al. [Belle], “Search for the decay $B_s^0 \rightarrow \eta' K_S^0$,” Phys. Rev. D 106, no.5, L051103 (2022)
10. S. Patra et al. [Belle], “Search for charged lepton flavor violating decays of $Y(1S)$,” JHEP 05, 095 (2022)
11. H. B. Jeon et al. [Belle], “Search for the radiative penguin decays $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 \gamma$ in the Belle experiment,” Phys. Rev. D 106, no.1, 012006 (2022)
12. L. K. Li et al. [Belle], “Measurement of the branching fractions for Cabibbo-suppressed decays $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^0$ and $D(s)^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^0$ at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.3, 033003 (2023)
13. S. S. Tang et al. [Belle], “Measurement of the branching fraction of $\Xi_c^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$ at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.3, 032005 (2023)
14. J. H. Yin et al. [Belle], “Search for $X(3872) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.5, 052004 (2023)
15. Y. B. Li et al. [Belle], “Evidence of a New Excited Charmed Baryon Decaying to $\Sigma_c(2455)^0_{++} \pi^\pm$,” Phys. Rev. Lett. 130, no.3, 031901 (2023)
16. Y. C. Chen et al. [Belle], “Two-particle angular correlations in e^+e^- collisions to hadronic final states in two reference coordinates at Belle,” JHEP 03, 171 (2023)
17. C. L. Hsu et al. [Belle], “Angular analysis of the low K^+K^- invariant mass enhancement in $B^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ decays,” Phys. Rev. D 107, no.3, 032013 (2023)
18. Y. Li et al. [Belle], “First search for the weak radiative decays $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ \gamma$ and $\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^0 \gamma$,” Phys. Rev. D 107, no.3, 032001 (2023)
19. F. Abudin en et al. [Belle-II], “Measurement of the Λ_c^+ Lifetime,” Phys. Rev. Lett. 130, no.7, 071802 (2023)
20. J. F. Krohn et al. [Belle], “Measurements of the branching fractions $B(B^0 \rightarrow D^* \pi^-)$ and $B(B^0 \rightarrow D^* K^-)$ and tests of QCD factorization,” Phys. Rev. D 107, no.1, 012003 (2023)
21. F. Abudin en et al. [Belle-II], “Search for a Dark Photon and an Invisible Dark Higgs Boson in $\mu^+ \mu^-$ and Missing Energy Final States with the Belle II Experiment,” Phys. Rev. Lett. 130, no.7, 071804 (2023)
22. S. Choudhury et al. [Belle], “Measurement of the B^+/B^0 production ratio in e^+e^- collisions at the $Y(4S)$ resonance using $B \rightarrow J/\psi(11)K$ decays at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.3, L031102 (2023)
23. A. Sangal et al. [Belle], “Measurement of the branching fraction and search for CP violation in $D^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 \pi^+ \pi^-$ decays at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.5, 052001 (2023)
24. Y. T. Lai et al. [Belle], “First Measurement of the $B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$ Branching Fraction and

- CP Asymmetry,” Phys. Rev. Lett. 130, no.18, 181804 (2023)
25. Y. Seino et al. [Belle], “Measurement of two-photon decay width of $\chi_{c2}(1P)$ in $\gamma\gamma \rightarrow \chi_{c2}(1P) \rightarrow J/\psi\gamma$ at Belle,” JHEP 01, 160 (2023)
 26. F. J. Abudinen et al. [Belle-II], “Measurement of the Ω_{c0} lifetime at Belle II,” Phys. Rev. D 107, no.3, L031103 (2023)
 27. I. Adachi et al. [Belle-II], “Observation of $e+e \rightarrow \omega\chi_{bJ}(1P)$ and Search for $X_b \rightarrow \omega Y(1S)$ at s near 10.75 GeV,” Phys. Rev. Lett. 130, no.9, 091902 (2023)
 28. M. Kumar et al. [Belle], “Search for rare decays $B^+ \rightarrow D_s^{(*)} + \eta$, $D_s^{(*)} + K^0$, $D + \eta$, and $D + K^0$,” Phys. Rev. D 107, no.3, L031101 (2023)
 29. W. J. Zhu et al. [Belle], “Study of $e+e^- \rightarrow \eta\phi$ via Initial State Radiation at Belle,” Phys. Rev. D 107, 012006 (2023)
 30. X. Han et al. [Belle], “Evidence for the singly Cabibbo-suppressed decay $\Omega_{c0} \rightarrow \Xi^- \pi^+$ and search for $\Omega_{c0} \rightarrow \Xi^- K^+$ and $\Omega^- K^+$ decays at Belle,” JHEP 01, 055 (2023)
 31. L. K. Li et al. [Belle], “Measurement of branching fractions of $\Lambda^+ c \rightarrow p K_S^0 K_S^0$ and $\Lambda^+ c \rightarrow p K_S^0 \eta$ at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.3, 032004 (2023)
 32. D. Wang et al. [Belle], “Measurement of the mass and width of the $\Lambda_c(2625)^+$ charmed baryon and the branching ratios of $\Lambda_c(2625)^+ \rightarrow \Sigma_c^0 \pi^+$ and $\Lambda_c(2625)^+ \rightarrow \Sigma_c^{++} \pi^-$,” Phys. Rev. D 107, no.3, 032008 (2023)
 33. J. Borah et al. [Belle], “Search for the decay $B_s^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$ at Belle,” Phys. Rev. D 107, no.5, 5 (2023)

国際会議講演

1. Masako Iwasaki, “Overview of AI application in Accelerator”, KEK IINAS 5th International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology (ISBA22), 2022 Nov. (Hiroshima), Invited.
2. C. Kato, M. Iwasaki, et.al., “R&D of the Data Processing with Sparse Sampling using Machine Learning for High Energy Experiments”, ML at HEP workshop, 2023 Feb. (KEK)

学会・研究会講演

1. 加藤睦代, 岩崎昌子, 他6名, 「機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発」, ML@HEP, 2022年7月(東京大学, 遠隔)
2. 度会 龍, 岩崎昌子, 他6名, 「GANを用いた加速器シミュレータ開発のための基礎研究」, ML@HEP, 2022年7月(東京大学, 遠隔)
3. 岩崎昌子, 「素粒子物理学実験への機械学習の適用研究」, JHPCN 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第14回シンポジウム, 2022年7月(遠隔), 招待講演
4. 加藤睦代, 岩崎昌子, 他7名, 「機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発(II)」, 日本物理学会2022年秋季大会, 2022年9月(岡山理科大学)
5. 楠本泰徳, 中野英一, 他5名, 「ガスをを用いた飛跡検出器用読み出しASICの性能評価」, 日本物理学会2022年秋季大会, 2022年9月(岡山理科大学)
6. 岩崎昌子, 「加速器制御への機械学習の適用」, 第19回日本加速器学会年会, 2022年10月(日本大学), 招待講演
7. 岩崎昌子, 「大型加速器を用いた素粒子実験への機械学習適用」, 東大ICEPPセミナー, 2022年11月(東京大学)
8. 加藤睦代, 岩崎昌子, 他7名, 「機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発」, Flavor Physics workshop 2022, 2022年11月(静岡)
9. 岩崎昌子, 「機械学習」, Flavor Physics workshop 2022, 2022年11月(静岡), 招待講演
10. 岩崎昌子, 「機械学習を適用したKEK電子陽電子入射器ビーム調整のための開発」, 加速器・ビーム物理の機械学習ワークショップ, 2023年3月(理化学研究所), 招待講演
11. 度会龍, 岩崎昌子, 他6名, 「GANを用いた加速器シミュレータの開発」, 日本物理学会2023年春季大会, 2023年3月(遠隔)

学位論文

修士論文

1. 加藤睦代：「高エネルギー実験のための機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術開発」
2. 楠本泰徳：「ガスを用いた飛跡検出器用読み出しASICの性能評価」

共同研究・研究助成金獲得状況

1. 「素粒子物理学実験への機械学習の適用研究」 学際大規模情報基盤共同利用(JHPCN) 公募型共同研究 2022年4月 - 2023年3月, 岩崎 昌子(代表), 末原 大幹, 武村 紀子, 中島 悠太, 中野 貴志, 長原 一, 山田 悟
2. 「機械学習を用いた物理学実験シミュレーターの基礎開発」 文部科学省 文部科学省補助事業「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ(牽引型)」 2022年6月 - 2023年3月, 岩崎 昌子
3. 「機械学習による素粒子物理学の革新的な発展」 日本学術振興会 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A) 学術変革領域研究(A) 2022年6月 - 2027年3月, 野尻 美保子(代表), 岩崎 昌子, 武村 紀子, 田中 純一, 長原 一
4. 「スパースセンシングを用いた素粒子実験データプロセス機構の開発」 大阪公立大学 女性研究者 研究実践力強化支援プログラム(RESPLECT) 2022年7月 - 2024年3月, 岩崎 昌子(代表), 長原 一, 末原 大幹, 山田 悟
5. 「機械学習を適用させた新しいデータ処理技術・解析システムの開発」 東京大学素粒子物理国際研究センター 共同研究, 2022年12月 - 2023年3月, 岩崎 昌子(代表), 田中 純一, 齊藤 真彦, 野辺 拓也, 森永 真央, 加藤 睦代, 度会 龍
6. 「スーパーBファクトリー研究による素粒子物理学フロンティアの開拓と若手研究者の育成」 国際共同研究加速基金・国際共同研究強化(A), 2022年12月 - 2029年3月, 飯島 徹(代表), 岩崎 昌子, 他

その他

1. Belle II Speakers Committee member (2020年11月 - 2022年10月, 岩崎 昌子)
2. 高エネルギー物理学研究者会議 将来計画検討委員会メンバー (2021年10月 - 2023年9月, 岩崎 昌子)
3. 日本物理学会, 男女共同参画推進委員会 委員 (2022年4月 - , 岩崎 昌子)

電波天文学研究室

大西 利和 教授	松本 健 (D1)	亀山 晃 (M1)
前澤 裕之 准教授	米津 鉄平 (D1)	北野 尚弥 (M1)
村岡 和幸 准教授	小西 亜侑 (M2)	北村 太一 (M1)
小川 英夫 客員教授	西本 晋平 (M2)	孫 赫陽 (M1)
澤田-佐藤 聡子 (PD)	川下 紗奈 (M2)	抱江 柊利 (M1)
長谷川 豊 (PD)	鈴木 大誠 (M2)	野曾原 千晟 (M1)
藤田 真司 (PD)	知念 翼 (M2)	山内 良斗 (M1)
小西 諒太郎 (D3)	中尾 優花 (M2)	
増井 翔 (D3)	米田 龍生 (M2)	
山崎 康正 (D2)	米山 翔 (M2)	

研究概要

1. ALMA望遠鏡等を用いた星形成機構の解明

元素量が銀河系の1/5である小マゼラン雲において、原始星からの分子ガスアウトフローを初めて検出し、このような低元素量下においても、銀河系同様に、惑星系形成に繋がるディスク形成が見られることが明らかになった（プレスリリース）。大マゼラン雲では、フィラメント構造を含む星形成につながる星間物質の多様性を明らかにしてきた。中心部でスターバーストが確認されている銀河NGC253の中心部の観測から、スターバースト銀河中心部の速度構造や力学エネルギーに磁場が大きく関与しており、それが大規模な星形成の原因になっていることを示した。系外銀河M33では、Atacama Compact Arrayによって明らかにした銀河全域の分子雲分布と電離水素領域の付随状況を統計的に調べ、大質量星を形成する巨大分子雲の進化の研究を推進している。深層学習を使用して、大質量星原始星が形成する赤外線リング構造の検出を進めている。

2. 電波望遠鏡観測システムの開発

大阪公立大学の1.85m望遠鏡を始め、野辺山45m鏡、VERA望遠鏡などの開発を、観測周波数帯域の広帯域化を進めた。1.85m望遠鏡では、導波管立体回路を広帯域化することにより、RF帯（受信周波数帯）としては210-375 GHz、IF帯（中間周波数帯）としては4-21 GHz、をカバーする受信機の開発に成功した。また、FPGAを用いた安価な広帯域分光システムの開発を進めている。野辺山45m望遠鏡では、マルチビーム受信機の開発を進めている。

3. 次期国際協働火星探査計画搭載候補のテラヘルツ分光装置の開発

現在、アメリカ航空宇宙局 (NASA)、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、カナダ宇宙庁 (CSA)、イタリア宇宙機関 (ASI) などを中心に、次期国際火星探査 Mars Ice Mapper (MIM) 計画の検討を進めている。MIMは、将来の火星有人探査に向け、合成開口レーダ (SAR) を搭載した周回機により火星表面下の水・氷分布を探査する他、火星の気象予測や大気環境・気候変化の解明を目的としている。本年度は、Joint ASI/CSA/JAXA/NASA Measurement Definition Team (MDT) が結成され、前澤はコアメンバとして Surface-Atmosphere Interaction, Atmospheric & Aeronomic Structure & Processes の分野に関わる、より詳細の科学目標やそのための搭載測器の検討を推進した。その結果、前澤をPIとするテラヘルツヘテロダイン分光装置 (THSS) が高い評価を得て、サブペイロードとして最優先度の搭載測器に位置付けられた。これら火星の今後の科学目標や搭載測器候補の議論は <https://science.nasa.gov/researchers/ice-mapper-measurement-de>

inition-team)に最終レポートとしてまとめられた。

THSSの最大の特徴は、高度0-140 kmに渡る密度・温度などの基本物理量や、水や同位体、光化学反応に関わる微量分子 (0.4-0.9THz)や、ドップラー速度の計測により子午面循環や東西風のダイナミクスの観測を可能とする点である。また太陽のような背景光源が不要で、昼夜問わずあらゆる経度・緯度・時刻帯の観測が可能という強みがある。さらに、波長が長いことから、火星特有のダストストーム発生時にも低層の微量分子の動態を見通し、火星大気物質循環を総合的に捉えることができる。これにより、火星の表層・大気・宇宙を繋ぎ、火星大気環境の変遷の解明や、大気化学ネットワーク、有人活動を見据えた気象・気候予測のための大気大循環モデルのデータ同化と高精度化開発に期待が寄せられている。THSSが実現すれば、国内外でも初めての地球型惑星でのテラヘルツヘテロダイン分光となる。

2022年度は、このTHSSの高速デジタル・フーリエ変換分光器について、高分散モードと広帯域モードを4-12GHzの帯域で同時に実現する新設計(A/D変換器、CPU、FPGAなどの選定)を行い、低消費化、放射線・衝撃・振動の耐久性強化、1Uサイズの小型軽量化、惑星保護カテゴリIVの乾熱滅菌処理に耐える熱設計の検討を実施した。また、CFRPにアルミ蒸着した宇宙用のテラヘルツ軽量アンテナ(JAXA)の性能や、FPGA等のチップのボールはんだ処理部のエレクトロマイグレーションなどについても惑星保護の熱処理が影響しないことを実験的に検証した。

4. 「テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査」の検出器開発

国際宇宙探査(アルテミス計画)への我が国の参加を踏まえ、総務省は月での宇宙科学・探査や経済活動などの持続的な活動を支援すべく、月周回軌道から月面の地表面水資源探査サーベイを広域に渡って効率的に実施し、氷・水・土壌水分含有量の推定するテラヘルツ波センサーを搭載する超小型衛星の統合開発を推進している。2022年度はNICT、JAXA、大阪公立大学、東京大学、SpaceBD社を中心とした研究チームにより委託開発を進め、観測に最適な周波数バンド(280、490 GHz帯)を選定し、ショットキーバリアダイオードミキサ検出素子を、導波路型の周波数分離フィルターに直接集積する高調波ミキサ検出器を開発した。さらにこれを伝送損失を軽減改良したOrthomode Transducerと組み合わせることで、直交・垂直偏波の観測を可能にする衛星搭載用ブレッドボードモデルとエンジニアリングモデルの受信機システムを開発した。また、衛星通信で使用するXバンドを回避するフィルターを実装した中間周波増幅系を開発して真空試験を実施した他、構成要素の熱特性や印加電圧の変化に対する感度応答や、リニアリティ、アラン分散などの諸特性を性能評価した。

5. プラズマ放電による有機分子ダストの形成とテラヘルツヘテロダイン分光

星形成領域などの比較的温かい環境の星間ガスを模擬したプラズマ放電により、有機分子からなる負に帯電したダスト粒子の形成過程やダスト音響波、クーロン結晶を高速度カメラにより捉えることに成功した。また、その過程で生成されるプラズマ内のHCN分子などを、世界でも初めて超伝導/絶縁層/超伝導電極からなる4K冷却のミキサ検出素子を用いてプラズマヘテロダイン分光診断/長期モニタリングすることに成功し、プラズマ内の中性の微量分子ガスの温度や存在量の推定を実現した。

教育・研究業績（代表的な物）

学術論文

1. Harada, N., Tokuda, K., Yamasaki, H., Sato, A., Omura, M., Hirano, S., Onishi, T., Tachihara, K., & Machida, M. N., "Crescent-shaped Molecular Outflow from the Intermediate-mass Protostar DK Cha Revealed by ALMA", *ApJ*, 945, 63 (2023)
2. Tokuda, K., Zahorecz, S., Kunitoshi, Y., Higashino, K., ..., Onishi, T., & Machida, M. N., "The First Detection of a Protostellar CO Outflow in the Small Magellanic Cloud with ALMA", *ApJL*, 936, L6 (2022)
3. Finn, M. K., Indebetouw, R., Johnson, K. E., Costa, A. H., Chen, C.-H. R., Kawamura, A., Onishi, T., Ott, J., Sewiło, M., Tokuda, K., Wong, T., & Zahorecz, S., "Structural and Dynamical Analysis of the Quiescent Molecular Ridge in the Large Magellanic Cloud", *AJ*, 164, 64 (2022)
4. Tokuda, K., ..., Onishi, T., "An ALMA Study of the Massive Molecular Clump N159W-North in the Large Magellanic Cloud: A Possible Gas Flow Penetrating One of the Most Massive Protocluster Systems in the Local Group", *ApJ*, 933, 20 (2022)
5. Wong, T., ..., Onishi, T., Roman-Duval, J., Rubio, M., & Tielens, A. G. G. M., "The 30 Doradus Molecular Cloud at 0.4 pc Resolution with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array: Physical Properties and the Boundedness of CO-emitting Structures", *ApJ*, 932, 47 (2022)
6. Sewiło, M., ..., Onishi, T., & Zahorecz, S., "ALMA Observations of Molecular Complexity in the Large Magellanic Cloud: The N 105 Star-forming Region", *ApJ*, 931, 102 (2022)
7. Barman, S., Neelamkodan, N., Madden, S. C., Sewiło, M., Kemper, F., Tokuda, K., Sanyal, S., & Onishi, T., "A Study of Photoionized Gas in Two H II Regions of the N44 Complex in the LMC Using MUSE Observations", *ApJ*, 930, 100 (2022)
8. Konishi, R., Enokiya, R., Fukui, Y., Muraoka, K., Tokuda, K., & Onishi, T., "Discovery of a Giant Molecular Loop in the Central Region of NGC 253", *ApJ*, 929, 63 (2022)

MIM MDT (2022) Final Report (前澤裕之がCORE TEAMとして担当)

The International Mars Ice Mapper Reconnaissance/Science Measurement Definition Team (MDT).

239 pp., posted online at <https://science.nasa.gov/researchers/ice-mapper-measurement-definition-team>.

国際会議議録

1. Konishi, A., Muraoka, K., ..., Onishi, T., "Exploring the evolution of giant molecular clouds in one of the nearest spiral galaxies M33", *IAUS*, 373, 98-104 (2023)
2. Nishimoto, S., Ueda, S., Fujita, S., Nishimura, A., Onishi, T., Tokuda, K., Yoneda, R., Shimajiri, Y., Miyamoto, Y., Kawanishi, Y., Ito, A. M., Nishikawa, K., Yoshida, D., Kaneko, H., Inoue, T., Takekawa, S., & Nakatani, S., "Development of a high-speed identification model for infrared-ring structures using deep learning", *SPIE*, 12189, 121891Q (2022)
3. Nishimura, A., Tachihara, K., Nishimoto, S., Fujita, S., Nishikawa, K., Yoneda, R., Handa, K., Kurakami, T., Ogawa, H., & Onishi, T., "Active surface measurements for large aperture millimeter/submillimeter-wave telescopes using a photogrammetry technique", *SPIE*, 12182, 1218222 (2022)

国際会議講演

1. Onishi, T. : "High-mass star formation under various environments in the Magellanic Clouds explored by ALMA", A half-century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future, 2022年12月15日, 宮古島市未来創造センター
2. Konishi, A. : "The GMC evolution scenario in one of the nearest spiral galaxies M33", A half-century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future, 2022年12月15日, 宮古島市未来創造センター

学位論文

修士論文

1. 中尾 優花：「ADCを内蔵したFPGAを用いた電波天文分光計の開発」
2. 知念 翼：「6.5-12.5GHz帯 メタノールレーザー電波観測に向けた直交偏波分離器の開発」
3. 川下 紗奈：「ミリ波帯 高感度観測に向けた広帯域受信機の開発」
4. 米山 翔：「野辺山45m電波望遠鏡に搭載する72 - 116 GHz直交偏波分離器と7ビーム受信機の開発」
5. 鈴木 大誠：「大質量星形成領域Monoceros R2におけるhub filamentの観測研究」
6. 米田 龍生：「銀河面への中間速度HIガス降着流」
7. 西本 晋平：「深層学習を用いた赤外線リング構造の検出と大質量星形成シナリオの解明」
8. 小西 亜侑：「最近傍の渦巻銀河M33における巨大分子雲の進化」

博士論文

1. 増井 翔：“Development of wideband heterodyne receiver system for next-generation radio telescopes”
2. 小西 諒太郎：“Triggering Mechanism of the Central Starburst and Roles of the Magnetic Fields in NGC 253”

研究助成金取得状況

1. 大西利和：日本学術振興会・新学術領域研究（研究領域提案型）「巨大分子雲における星団形成機構の観測的解明」2570万円
2. 前澤裕之：総務省宇宙開発利用加速化戦略プログラム「テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査」2億2851万円
3. 前澤裕之：JAXA戦略的開発研究費「テラヘルツヘテロダイナミック分光装置の火星用広帯域・高分散/低消費・小型の高速FFTデジタル分光計の基板/回路設計、熱解析、ADCの放射線試験 MACO（周回・探査技術実証による火星宇宙天気・気候・水環境探査）/ Mars Ice Mapperとの協働による戦略的海外計画提案（MACO+）に向けたキー技術開発」760万円

その他

1. プレスリリース：「お隣の銀河で星の産声を捉えた！100億年前から星が誕生するメカニズムは変わらない！？」、2022年8月26日、https://www.omu.ac.jp/info/research_news/entry-01897.html
2. プレスリリース：「世界初！ AIが描く 天の川銀河のガス雲分布 約14万個の「星の誕生候補地」を推定」、2023年1月27日、https://www.omu.ac.jp/info/research_news/entry-04010.html
3. 全国同時七夕講演会(主催大阪公立大学、大阪市立科学館) 前澤裕之「暗黒星雲から、生命生存可能な地球型惑星環境圏へ」、2022年7月31日、大阪市立科学館/多目的室

宇宙線物理学研究室

常定芳基	教授	古前壱朗	M1
藤井俊博	准教授	敷田淳	M1
フレイザー・ブラッドフィールド	D1	河内祐輔	B4
有村龍平	M2	中原美紅	B4
岩崎葵	M2	小林祐作	B4

研究概要

宇宙線は宇宙を飛び交う高エネルギー粒子（陽子、原子核、電子、ニュートリノ、ガンマ線）である。そのエネルギーは $10^9 \sim 10^{20}$ eV におよび、宇宙線の生成と加速はこの宇宙における最も激しい現象と関係していると考えられている。宇宙線起源天体の候補としては超新星残骸や活動銀河核など、電磁波観測によってさまざまな高エネルギー現象が起こっていることが確認されている天体が提唱されているが、そこで確かに宇宙線が生成されているという理論的・観測的根拠は確立されていない。従来の宇宙観測・天文学は、もっぱら電磁波観測によって得られる情報をもとに宇宙現象を理解しようとしてきたが、宇宙線観測によってこれまで知られていなかった現象や新しい物理を理解しようとするのが宇宙線物理学の主眼である。当研究室では、これら宇宙線を観測するさまざまなプロジェクトに参画し、特に米国ユタ州において行われている日米韓露の国際共同実験であるテレスコープアレイ実験 (TA) では主導的役割を果たしている。

1. テレスコープアレイ実験：日米によってユタ州に砂漠地帯に建設された有効面積 700 km^2 を誇る北半球最大の宇宙線観測施設であり、宇宙線の中でも最もエネルギーの高い 10^{18} eV 以上の宇宙線観測を目的としている。さらにその低エネルギー拡張である TALE, 次世代の宇宙線望遠鏡開発を目的とした FAST 実験も同サイトで行われており、さらに TALE-infill と名付けられた $\sim 10^{15}$ eV 付近の宇宙線観測を可能とする施設も建設し、 $10^{15} \sim 10^{20}$ eV という5桁にわたる広いエネルギー領域をカバーする宇宙線観測施設として稼働している。2022年度は TALE を用いた宇宙線エネルギースペクトルを決定する解析を推し進めたほか、大学院生（有村、岩崎）を派遣して TALE-infill の検出器設置を実現した。
2. FAST: 次世代宇宙線観測実験のための広視野低コスト望遠鏡開発を推し進めている。FAST 実験では 2022 年 11 月に TA サイトに渡航し、鏡や紫外線フィルターに積もった塵を除去し、反射率および透過率測定後に、コロナ禍以降中断していたデータ収集を再開した。TA の大気蛍光望遠鏡からの外部トリガーに同期したデータ収集を実施し、宇宙線からの信号が記録できることを確かめた。また太陽光パネルとバッテリーによる電力供給にデータ収集するため、低電力で動作する新型波形収集回路を新たに開発している。内部トリガーの開発を進め、新型波形収集回路を使った宇宙線の定常観測へ向けた準備を進めていく。
3. IceCube-Gen2: IceCube は南極の地下水中に設置された宇宙ニュートリノ観測施設であり、宇宙線によって生成される高エネルギーのニュートリノを観測することによって高エネルギー宇宙現象の解明を目指す。宇宙線原子核は宇宙磁場によって曲げられてしまうが、宇宙ニュートリノは磁場の影響を受けず直進するため、起源天体同定の可能性が高く期待されている分野である。2022 年には史上初めて銀河系外起源の高エネルギー宇宙ニュートリノの起源天体を 1 つ同定することに成功した (NGC1068)。当研究室は IceCube の拡張計画である IceCube-Gen2 に 2022 年より参画し、この実験で用いる光センサの感度向上を目的とした光ファイバ使用による信号エンハンサーの開発に取り組んでいる。
4. CALET: 国際宇宙ステーションに設置した宇宙線観測装置で、 $10^9 \sim 10^{12}$ eV 領域の銀河系内起源宇宙線の観測をターゲットとし、2015 年より稼働している。2022 年度は宇宙線陽子の精密なエネルギースペクトルを得て PRL 誌に発表したほか、宇宙線中のホウ素 (B) の

エネルギースペクトル決定に成功し、また重力波実験 LIGO との同時観測によるガンマ線バースト探査についての論文も発表した。

5. ALACA: 南米ボリビアの高山 (4700m) において宇宙ガンマ線観測を目的としたプロジェクトで、2021 年より建設が始まり、2022 年に観測を開始した。観測できる天体の数が多い南半球を観測値として選び、さらに大気の影響を軽減するために高山に装置を建設したものである。「南半球・高山」は宇宙ガンマ線観測におけるキーワードであり、世界に先駆けて稼働を開始した ALPACA のデータには期待がかけられている。

学術論文

査読論文：13 件ほか

国際会議講演

常定 2 件、藤井 6 件

1. “Recent results from the Telescope Array”, Y. Tsunesada, *THE GOLDEN UNIVERSE: Nuclear Astrophysics and Cosmic Rays in the Multimessenger Era*, July 24-30, 2022, ICISE, Quy Nhon, Vietnam
2. “Recent results from prototypes of the Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes (FAST) in both hemispheres”, T. Fujii for the FAST Collaboration, Oral, 6th International Symposium on Ultra High Energy Cosmic Rays, October 7, 2022

ほか

学会・研究会講演

1. 「宇宙研究と大阪」、常定芳基、ミュージアム連続講座 2022 (全 3 回)「大阪と自然科学」2023 年 3 月 5 日 (日)・12 日 (日)・19 日 (日) 大阪市立難波市民学習センター
2. 「貞観政要に倣う 2040 年代の宇宙線観測の大風呂敷」、藤井俊博, 招待講演, 2040 年代のスペース天文学研究会, 名古屋大学, 2022 年 11 月 15 日
3. “Ultra-high-energy cosmic rays”, 藤井俊博, 口頭発表, L-INSIGHT OIST 往訪プログラム FY2021, 沖縄科学技術大学院大学 (OIST), 2022 年 2 月 14 日

ほか

研究助成金取得状況

科研費：常定 2 件、藤井 5 件
科研費以外：常定 1 件

その他

1. 常定芳基：宇宙線研究者会議 (CRC) 実行委員
2. 常定芳基：東京大学宇宙線研究所 共同利用研究運営委員長
3. 常定芳基：CRC 将来計画検討小委員会 委員

重力波実験物理学研究室

神田 展行 (教授)	武田 芽依 (D3)	富田航汰 (M1)
伊藤 洋介 (准教授)	清田 泰成 (M2)	松山まほろ (M1)
澤田 崇広 (特任講師)	福永 勇 (M2)	藤森匠 (M1)
Marco Mayer (JSPS 海外特別研究員)	覺依珠美 (M1)	岩永響生 (B4)
横田 晴香 (秘書)	高谷匡平 (M1)	川本竜生 (B4)

研究概要

重力波は一般相対性理論の予言した時空の歪みの波動である。2015年の初観測以来、ブラックホールや中性子星の連星であるコンパクト連星からの重力波が多数観測されている。重力波は重力理論の検証に不可欠であるとともに、超高密度な天体内部の情報を持つ。重力波と電磁波やニュートリノが協調して観測する「マルチメッセンジャー天文学」は、重元素の起源、ガンマ線バーストや超新星爆発のメカニズムの解明など、高エネルギー突発天体現象の仕組みを探る新たな手段として期待されている。

1. 大型低温レーザー干渉計型重力波望遠鏡 KAGRA

KAGRA は岐阜県神岡鉱山内に建設された基線長 3km のレーザー干渉計型重力波検出器であり、東大宇宙線研究所をホストとした大型共同研究である。本研究室は KAGRA において、データ取得・転送系、データ解析（重力波イベントの探索、検出器診断）、キャリブレーションなどを担い、計画の中核となる機関として研究活動を行なっている。

2. 国際重力波観測網

天体起源の重力波観測では、複数台の、かつ設置場所が離れた検出器を必要とする。その理由は、地球上の離れた多地点での観測の時間差（位相差）、振幅比、偏極特性から、重力波源の方向を推定するためである。また、雑音相関のない独立した検出器によって偽イベントの誤認を抑制することも理由である。方向特定のためには重力波の波長に比して十分に離れた検出器が必要であり、必然的に国際的な観測網が望まれる。KAGRA は米国 LIGO、欧州 Virgo と協定を結んだ。本研究室での研究活動のいくつかも国際観測網への貢献となっており、特に観測データの共有やコンピューティング、ソフトウェア関連、連続重力波探索などでは KAGRA からの座長として責任を担っている。

3. 重力波観測データ解析手法の開発

本研究室では、機械学習、新しい信号解析・抽出手法などを研究・開発している。重力波信号は極めて微弱なため、雑音との弁別方法の研究は重要である。ARMA/ARIMA や独立成分分析、ウィナーフィルターなどを用いた雑音除去手法のパフォーマンスについて研究をおこなっている。また、教師なし深層学習を用いた信号分類について論文を出版した。そのほか、計算量の縮減のために深層学習を用いた重力波信号検出、波源パラメータ推定やその誤差の推定について研究をおこない、学会等で発表している。

4. シューマン共鳴の影響についての研究

KAGRA 物理環境モニタリンググループ（Physical Environmental Monitor Group）と共動でシューマン共鳴についての理論および実験的研究をおこなっている。地下環境でシューマン磁場が増幅されているように観測されていることについて、理論および実験的側面から検討をおこなっている。また、シューマン共鳴が背景重力波の観測およびその物理パラメータの決定に与える影響について、理論的に研究をおこなった。

教育・研究業績

学術論文

1. Akutsu, T., Ando, M., Arai, K., and 250 colleagues, “Input optics systems of the KAGRA detector during O3GK”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2023, 023F01 (2023)
DOI:10.1093/ptep/ptac166, Published Date:02/2023
2. Abbott, R., Abbott, T.D., Acernese, F., and 1654 colleagues, “Population of Merging Compact Binaries Inferred Using Gravitational Waves through GWTC-3”, *Physical Review X*, 13, 011048 (2023)
DOI:10.1103/PhysRevX.13.011048, Published Date:01/2023
3. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1692 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Model-based Cross-correlation Search for Gravitational Waves from the Low-mass X-Ray Binary Scorpius X-1 in LIGO O3 Data”, *The Astrophysical Journal*, 941, L30 (2022)
DOI:10.3847/2041-8213/aca1b0, Published Date:12/2022
4. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1668 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “All-sky search for continuous gravitational waves from isolated neutron stars using Advanced LIGO and Advanced Virgo O3 data”, *Physical Review D*, 106, 102008 (2022)
DOI:10.1103/PhysRevD.106.102008, Published Date:11/2022
5. Washimi, T., Yokozawa, T., Takamori, A., and 11 colleagues, “Response of the underground environment of the KAGRA observatory against the air pressure disturbance from the Tonga volcanic eruption on January 15, 2022”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2022, 113H02 (2022)
DOI:10.1093/ptep/ptac128, Published Date:11/2022
6. The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, the KAGRA Collaboration, and 1667 colleagues, “Search for gravitational-wave transients associated with magnetar bursts in Advanced LIGO and Advanced Virgo data from the third observing run”, *arXiv e-prints*, arXiv:2210.10931 (2022)
DOI:10.48550/arXiv.2210.10931, Published Date:10/2022
7. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1666 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Search for gravitational waves from Scorpius X-1 with a hidden Markov model in O3 LIGO data”, *Physical Review D*, 106, 062002 (2022)
DOI:10.1103/PhysRevD.106.062002, Published Date:09/2022
8. Sakai, Y., Itoh, Y., Jung, P., and 11 colleagues, “Training Process of Unsupervised Learning Architecture for Gravity Spy Dataset”, *arXiv e-prints*, arXiv:2208.03623 (2022)
DOI:10.48550/arXiv.2208.03623, Published Date:08/2022
9. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1666 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Search for continuous gravitational wave emission from the Milky Way center in O3 LIGO-Virgo data”, *Physical Review D*, 106, 042003 (2022)
DOI:10.1103/PhysRevD.106.042003, Published Date:08/2022
10. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1696 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Searches for Gravitational Waves from Known Pulsars at Two Harmonics in the Second and Third LIGO-Virgo Observing Runs”,

The Astrophysical Journal, 935, 1 (2022)
DOI:10.3847/1538-4357/ac6acf, Published Date:08/2022

11. KAGRA collaboration, Abe, H., Akutsu, T., and 200 colleagues, “Noise subtraction from KAGRA O3GK data using Independent Component Analysis”, arXiv e-prints, arXiv:2206.05785 (2022)
DOI:10.48550/arXiv.2206.05785, Published Date:06/2022
12. Abbott, R., Abbott, T.D., Acernese, F., and 1627 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “All-sky, all-frequency directional search for persistent gravitational waves from Advanced LIGO’s and Advanced Virgo’s first three observing runs”, Physical Review D, 105, 122001 (2022)
DOI:10.1103/PhysRevD.105.122001, Published Date:06/2022
13. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1667 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “First joint observation by the underground gravitational-wave detector KAGRA with GEO 600”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2022, 063F01 (2022)
DOI:10.1093/ptep/ptac073, Published Date:06/2022
14. Sakai, Y., Itoh, Y., Jung, P., and 11 colleagues, “Unsupervised learning architecture for classifying the transient noise of interferometric gravitational-wave detectors”, Scientific Reports, 12, 9935 (2022)
DOI:10.1038/s41598-022-13329-4, Published Date:06/2022
15. Abbott, R., Abbott, T.D., Acernese, F., and 1659 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Narrowband Searches for Continuous and Long-duration Transient Gravitational Waves from Known Pulsars in the LIGO-Virgo Third Observing Run”, The Astrophysical Journal, 932, 133 (2022)
DOI:10.3847/1538-4357/ac6ad0, Published Date:06/2022
16. Abbott, R., Abe, H., Acernese, F., and 1667 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “All-sky search for gravitational wave emission from scalar boson clouds around spinning black holes in LIGO O3 data”, Physical Review D, 105, 102001 (2022)
DOI:10.1103/PhysRevD.105.102001, Published Date:05/2022
17. Abe, H., Akutsu, T., Ando, M., and 140 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “The Current Status and Future Prospects of KAGRA, the Large-Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope Built in the Kamioka Underground”, Galaxies, 10, 63 (2022)
DOI:10.3390/galaxies10030063, Published Date:04/2022
18. Abbott, R., Abbott, T.D., Acernese, F., and 1635 colleagues (LIGO Scientific Collaboration, Virgo Collaboration, and KAGRA Collaboration), “Search for Gravitational Waves Associated with Gamma-Ray Bursts Detected by Fermi and Swift during the LIGO-Virgo Run O3b”, The Astrophysical Journal, 928, 186 (2022)
DOI:10.3847/1538-4357/ac532b, Published Date:04/2022

学会・研究会講演

1. 神田展行, KAGRA collaboration, 「KAGRA データ転送・保管系の次期観測へ向けての拡張」、日本物理学会春季大会、2023年3月
2. 覺依珠美, 神田展行, 伊藤洋介 (大阪公大理), 「地上設置の重力波検出器を用いた円偏波モードに着目した背景重力波の解析」、日本物理学会春季大会、2023年3月

3. 富田航汰, 伊藤洋介, 神田展行 (大阪公大理), 「機械学習による重力波時系列データの解析と重力波検出に向けて」、日本物理学会春季大会、2023年3月
4. 岩永響生, 神田展行, 伊藤洋介 (大阪公大理), 「重力波データ解析のための Vision Transformer を用いた画像認識モデルの評価」、日本物理学会春季大会、2022年9月
5. 澤田崇広, 「地下からの重力波観測 – 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA –」(基調講演)、日本天文学会 2022年 秋季年会 9月13日(火)
6. 武田芽依, 「重力波の非線形メカニズムに着目した データ解析手法」、日本天文学会 2022年 秋季年会 9月13日(火)
7. 武田芽依, 他, 「Hilbert-Huang 変換を用いた非線形メカニズムからの重力波データ解析」、日本物理学会秋季大会 2022年9月7日
8. 富田航汰, 松山まほろ, 「機械学習を用いた重力波イベントのパラメータ推定」、第1回 ML@HEP ワークショップ、2022年7月8日、ハイブリッド形式(東大本郷キャンパス+リモート)

学位論文

修士論文

1. 清田 泰成: 重力波検出器 KAGRA の電源系統に起因するノイズの評価 (Study on interferometer noise due to the power supply systems in the gravitational wave detector KAGRA)
2. 福永 勇: 重力波検出器 KAGRA における相関磁場雑音の測定および背景重力波探索への影響評価 (Measurement of the global magnetic noise at Mount Ikenoyama and evaluation of its effect on the search for stochastic gravitational wave background)

博士論文

1. 武田芽依: Hilbert-Huang 変換を用いた突発天体からの重力波の汎用的な解析手法の研究 (Study of a versatile analysis method using the Hilbert-Huang transform for gravitational-wave transients)

研究助成金取得状況

1. 科学研究費 基盤 (S) 「重力波宇宙物理学の包括的研究」 伊藤 (分担)、2020-2025
2. 科学研究費 基盤 (A) 「多波長重力波宇宙物理学の展開」 伊藤 (分担)、期間: 2020-2025
3. 科学研究費 基盤 (B) 「重力波データ抽出方法の開発: 新たな解析手法および分散型コンピューティングの導入」 伊藤 (分担)、期間: 2019-2024
4. 日本学術振興会 特別研究員奨励費 「リアルタイム検出のための非パラメトリック重力波再構成アルゴリズムの研究 MEYER MARCO (受入: 神田)、2022-2024

その他

1. 神田展行: 宇宙線研究者会議 (COSMIC RAY RESEARCHERS CONGRESS) 運営委員、2022/4/1-2023/3/30
2. 伊藤洋介: Progress of Theoretical and Experimental Physics 企画編集委員 (2019より継続)
3. 伊藤洋介: Japan Gravitational Wave Consortium 運営委員
4. 伊藤洋介: Scientific Organizing Committee for the Japan General Relativity and Gravitation workshop

素励起物理学研究室

坪田 誠 教授
 竹内 宏光 講師
 湯井 悟志 特任助教
 Sahar Hejazi 博士研究員

乾 聡介(D3:学振特別研究員DC1)
 佐野融人(D2)
 中川 朋(D2)
 浅川研太(D1)
 楊 維燦(M2)
 朝賀我夢(M2)
 宿野伸征(M2)

研究概要

1. 量子渦と常流体の相互作用を解明(坪田、湯井)

極低温で超流動状態となった液体ヘリウム⁴Heにおける量子渦と常流体の相互作用について数値計算により調べ、フロリダ州立大学の実験結果と比較し、複数の理論モデルから最も整合性のとれたモデルを決定した。これは数十年の間、低温物理学の分野で未解決とされてきた問題に終止符を打った。

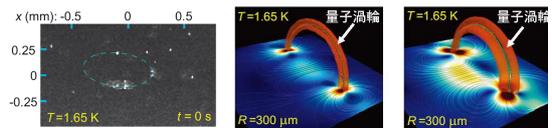


図1 左図：可視化された量子渦輪。中・右図：計算結果により得られたイメージ図。緑線が量子渦輪、赤のチューブが常流体渦輪、常流体速度（赤が高速）の平面内分布と流線分布。

2. 原子気体BECの量子乱流における等方対称性の回復(坪田、佐野)

ケンブリッジ大学の観測に動機付けられ、円筒形箱型ポテンシャル中のBECで量子乱流を生成し、特に高波数において、励起やポテンシャルの形状によらず、系が等方対称性を回復することを、巨視的波動関数が従うGross-Pitaevskii方程式の数値解析により示した。通常の古典乱流でも、レイノルズ数をあげて乱流を生成すると、統計的に並進および回転対称性が回復することは知られているが、それを量子乱流で初めて定量的に示した。

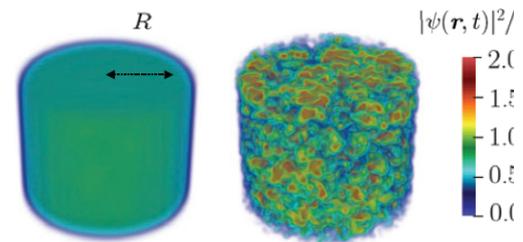


図2 円筒形箱型ポテンシャル中のBECにおける量子乱流発展の様子(左から右へ)。

3. 純粋な超流動体における量子粘性とレイノルズの相似則(竹内)

空気や水などで物体が移動する際に発生する流れは、エネルギー損失の主要な原因である。この挙動や損失の度合いは、流体の持つ粘性を取り入れた「レイノルズ数」という量によって把握できる。この法則は「レイノルズの相似則」と呼ばれており、地球の気体から人体の血液まで、さまざまな流体に普遍的に適用できる強力な経験則として知られている。粘性が消失する量子流体である超流体は、この法則が適用できない明らかな例外と考えられていた[図1]。我々は超流体における(量子)乱流を理解する上での理論的な課題に焦点を当て、超流体中を落下する物体の終端速度を測定すれば、超流体におけるレイノルズの相似則の成立を検証できることを示した。これが成立すれば純粋な超流体にも実効的な粘性(量子粘性)が存在することを提言した。

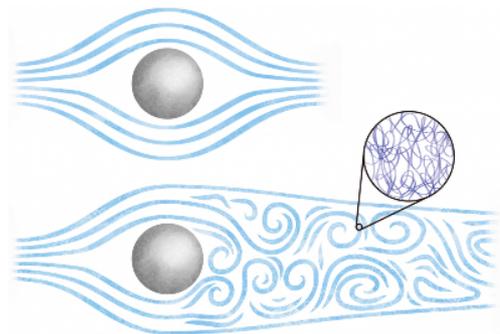


図3：超流体中を一定速度で運動する物体のまわりの流れ(模式図)。(上)純粋な超流体では流体の抵抗力が働かない流動状態が実現する。(下)物体の速度を十分大きくすると粘性流体と同様な流れのパターンが後方に形成されることが予想される。

教育・研究業績

学術論文

1. Yuto Sano, Nir Navon, Makoto Tsubota: “Emergent isotropy of a wave-turbulent cascade in the Gross-Pitaevskii model”, EPL140 66002(2022).
2. Yuan Tang, Wei Guo, Hiromichi Kobayashi, Satoshi Yui, Makoto Tsubota, Toshiaki Kanai: “Imaging quantized vortex rings in superfluid helium to evaluate quantum dissipation”, Nature Communications 14, 2941 (2023).
3. Wei-Can Yang, Chuan-Yin Xia, Hua-Bi Zeng, Makoto Tsubota, Jan Zaanen: “Motion of a superfluid vortex according to holographic quantum dissipation”, Phys. Rev. B 107, 144511(2023).
4. Nobuyuki Shukuno, Yuto Sano, Makoto Tsubota: “Faraday Waves in Bose-Einstein Condensates-The Excitation by the Modulation of the Interaction and the Potential”,- J. Phys. Soc. Jpn. 92, 064602(2023).
5. Tomo Nakagawa, Makoto Tsubota, Keegan Gunther, Yoonseok Lee: “Dynamics of pinned quantized vortices in superfluid 4He in a microelectromechanical oscillator”, Phys. Rev. B 108, 144110(2023).
6. Wei-Can Yang, Makoto Tsubota, Adolfo del Campo, Hua-Bi Zeng: “Universal defect density scaling in an oscillating dynamic phase transition” Phys. Rev. B 108, 174518(2023).
7. Haruya Kokubo, Kenichi Kasamatsu, and Hiromitsu Takeuchi
Vorticity Distribution in Quantum Kelvin–Helmholtz Instability of Binary Bose–Einstein Condensates
Journal of Low Temperature Physics 208, 410–417 (2022)
8. Kenichi Kasamatsu, Maki Okada, and Hiromitsu Takeuchi
Kelvin wave in miscible two-component Bose-Einstein condensates
Physical Review A 107, 013309 (2023)
9. Hiromitsu Takeuchi
Quantum viscosity and the Reynolds similitude of a pure superfluid
Physical Review B 109, L020502 (2024)

国際会議講演

1. [Invited] Makoto Tsubota
Studies on quantum turbulence with Vinen
QFS2023: International Conference on Quantum Fluids and Solids, UK, 8.9-15 (2023)
2. [Invited] Hiromitsu Takeuchi
Drag force due to quantum viscosity in superfluid 4He at zero temperature
QFS2023: International Conference on Quantum Fluids and Solids, UK, 8.9-15 (2023)
3. [Invited] Hiromitsu Takeuchi
Isolated fractional skyrmions in a magnetic quantum gas
Condensed Matter Solitons, Daejeon, South Korea, 6.28-30 (2023)
4. [Invited] Hiromitsu Takeuchi
Nematic superfluidity of spinor Bose-Einstein condensates
Collective Effects & Non-Equilibrium Phenomena in Quantum Gases and Superconductors

- (CMD29), Manchester, UK, 8.21-26 (2022)
5. Haruya Kokubo, Kenichi Kasamatsu, Hiromitsu Takeuchi
Critical velocity for quantized vortex formation in a superfluid wake with a plate obstacle
QFS2023: International Conference on Quantum Fluids and Solids, UK, 8. 9-15 (2023)
 6. Hiromitsu Takeuchi
Isolated fractional skyrmions generated by Kelvin-Helmholtz instability in a magnetic quantum gas
QFS2023: International Conference on Quantum Fluids and Solids, UK, 8. 9-15 (2023)
 7. Michikazu Kobayashi, Hiromitsu Takeuchi, Kenichi Kasamatsu
Mechanism of splitting instability of a doubly quantized vortex
LT29: 29th International Conference on Low Temperature Physics (online), 8. 18-24 (2022)
 8. Hiromitsu Takeuchi
Nematic superfluidity manifested as anomalous topological defects in spinor quantum gases
LT29: 29th International Conference on Low Temperature Physics (online), 8. 18-24 (2022)
 9. Hiromitsu Takeuchi
Fractional Skyrmion due to Local Nematic Order in a Ferromagnetic Superfluid
FYR03 QLC meeting (online), 2. 17-19 (2022)

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、春季大会、3.22-25 (2023)
2. [Invited] 竹内宏光
磁性量子流体のスピン配向性秩序が生み出す新奇な位相欠陥構造
日本物理学会北海道支部講演会（共催：第288回エンレイソウの会）、北海道大学, 5. 16 (2023)

学位論文

博士論文

1. 乾 聡介: 「Theoretical and numerical studies on quantum hydrodynamics in superfluid ^4He —Approaches based on the two-fluid model & one-fluid extended model—」

修士論文

1. 朝賀 我夢: 「超流動 ^4He における渦糸の再結合と熱対向流中の量子乱流プラグの成長」
2. 宿野 伸征: 「Bose-Einstein凝縮体におけるFaraday waves ～相互作用およびポテンシャルの駆動による励起～」
3. Weican Yang: 「The motion of single superfluid vortex and vortex cluster formation according to holographic quantum dissipation」

研究助成金取得状況（直接経費）

1. 坪田誠：科研費基盤研究(B)「量子流体力学と量子乱流の研究」540万円
2. 乾聡介：特別研究員奨励費「超流動ヘリウムにおける量子流体力学と量子乱流の理論的および数値的研究」90万円
3. 竹内宏光：科研費基盤（B）
「量子相転移動力学の基盤となるスピノールBEC中の位相欠陥の内部状態と動力学の解明」
3,800千円

4. 竹内宏光：JST（科学技術振興機構）さきがけ
「量子粘性の検証と複雑な量子流動現象の解明」
3,828千円

その他

受賞

1. 中川朋がQFS2023でBest Poster Awardを受賞した。
2. 浅川研太が日本物理学会第78回年次大会で学生優秀発表賞(領域6)を受賞した。

プレスリリース・解説記事

1. 竹内宏光
プレスリリース（大阪公立大学，科学技術振興機構（JST））[PDF](#)
[日本語「超流動体はレイノルズの相似則に従うか？物理学の「常識」を覆す量子粘性を理論提言」](#)（2024年1月12日）

電子相関物理学研究室

小栗 章 教授 堤 和彦 特任助教 本山 海司 (M2) 吉岡 智紀 (B4)
西川 裕規 講師 橋本 将史 (D3) 佐伯 彰彦 (M1) 川村 亮介 (B4)
寺谷 義道 特任助教

研究概要

我々の研究の主題にある近藤効果は、元々は希薄磁性合金系において電気抵抗の温度変化に現れる極小現れる現象として知られていたものである。その本質は、金属中の伝導電子と磁性不純物に局在した量子スピンの強く結合した多体量子状態を形成することにより、凝縮系物理学の重要な基礎概念の一つとなっている。また、その舞台は多方面に広がり、今日では量子ドット、冷却原子気体などの様々な系で研究の対象となっている。近藤効果の低エネルギー領域の性質は、LandauのFermi流体論の精神を受け継いだゼロ次元的な場の理論により記述される。最近、量子ドット系では非平衡電流および電流ノイズの高感度測定によって、Fermi流体を特徴づけるパラメータの決定が可能になってきた。それに伴い、従来の理論では十分でなかった非線形応答や電子励起と正孔励起の非対称性まで含めた輸送係数の高次体補正に関する検討、およびトポロジカル不変量を考慮に入れた検討、が必要になっている。本研究室では、このようなFermi粒子からなる凝縮系の理論研究を行っている。

研究内容：小栗

磁性合金や量子ドットに代表される量子不純物系は、軌道数、磁場やゲート電圧などの外場による不純物準位など多くの実験的に制御可能なパラメータを持ち、超伝導と近藤効果の競合なども含め、多彩な量子状態が実現される。我々は、高次フェルミ流体補正に現れる非線形感受率を通じた3体ゆらぎの効果に関して、広いパラメータ空間の一部を調べている。我々はこれまでに、電子正孔対称性や時間反転対称性を持たない、多軌道の量子ドット系に対して、非線形電流ゆらぎ・電流ノイズに対する高次フェルミ流体補正に関する微視的なFermi流体論を確立した。特に、非平衡定常状態におけるKeldysh形式の4点バーテックス関数の低エネルギーにおける振る舞い等を明らかにした。さらに、実験グループとの共同で、輸送現象を通じた強相関電子系の低エネルギー量子状態の研究を行っている。また、超伝導-量子ドット接合系では、磁性-非磁性の量子相転移およびクロスオーバーに加え、複数の常伝導リードが接続された系で見られるCooper対のトンネル効果に起因する非局所的な電気伝導が見られる。与我々は、他研究機関の理論研究者との共同研究を通して、多端子系の近藤効果との競合を詳細に調べている。特に、三角形三重量子ドット系のAndreev散乱のFermi流体領域における振る舞いや、単一量子ドット系の交差Andreev散乱に対する磁場の効果に関する研究を行っている。

研究内容：西川

フェルミ液体状態は、電子、ヘリウム3、中性子といった相互作用するフェルミ粒子の集団（フェルミ粒子多体系）で普遍的にみられる状態である。ランダウによるフェルミ液体論は、「断熱接続の原理」による「準粒子描像の成立」が理論の要であるが、「断熱接続の原理」は、必ずしも「準粒子描像の成立」の必要条件ではない。我々は、「準粒子描像は成立するが、断熱的連続は不成立のフェルミ多体系」というこれまで見落とされていた「新しいフェルミ液体」に注目し、それに関する研究を継続して行ってきた。これまでの我々の研究活動や他研究グループの最新の研究から、新しいフェルミ液体の局所版である「新しい局所フェルミ液体」を実現する系の存在および新しい局所フェルミ液体相が電子相関由来のトポロジカル不変量で特徴付けられることが明らかにされている。

2022年度は、この新しいフェルミ液体の物理的起原解明に加え、これまで研究してきた4重量子ドット系におけるリーブフェリ磁性の近藤効果等の多重量子不純物系の近藤遮蔽過程の詳細解明ために、これら状態に対して量子情報論的観点からの研究を開始した。

教育・研究業績

学術論文

1. “Role of bias and tunneling asymmetries in nonlinear Fermi-liquid transport through an $SU(N)$ quantum dot”, Kazuhiko Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Kaiji Motoyama, Rui Sakano, and Akira Oguri, *Phys. Rev. B* **108**, 045109 (2023) [16 pages].
2. “Kondo Temperature Evaluated from Linear Conductance in Magnetic Fields”, Rui Sakano, Tokuro Hata, Kaiji Motoyama, Yoshimichi Teratani, Kazuhiko Tsutsumi, Akira Oguri, Tomonori Arakawa, Meydi Ferrier, Richard Deblock, Mikio Eto, and Kensuke Kobayashi, *Phys. Rev. B* **108**, 205147 (2023) [10 pages].
3. “Kondo screening of local moments in a triangular triple quantum dot connected to normal and superconducting Leads”, Masashi Hashimoto, Yoshimichi Teratani, Masaya Shirotani, Yukihiro Nakata, Masashi Shimamoto, Yoichi Tanaka, Yasuhiro Yamada, and Akira Oguri, *JPS Conf. Proc.* **38**, 011178 (2023) [6 pages].
4. “Current noise and Keldysh vertex function of an Anderson impurity in the Fermi liquid regime”, Akira Oguri, Yoshimichi Teratani, Kazuhiko Tsutsumi, and Rui Sakano, *Phys. Rev. B* **105**, 115409 (2022) [37 pages].
5. “Kondo effect in Lieb’s minimal ferrimagnetic system on the T-shaped bipartite lattice”, Masashi Tokuda and Yunori Nishikawa, *Phys. Rev. B* **105**, 195120 (2022) [7 pages].

解説

1. 非平衡近藤系の低エネルギー量子輸送と三体相関;
小栗 章、『数理科学』, “特集:量子多体系の物理と数理”, 12月号, No. 714, 14–20 (2022),
サイエンス社.

国際会議講演

1. Yuori Nishikawa, “A New Topological Fermi Liquid State in Quantum Impurity Systems with Duality between localized and itinerant nature”, The 10th International Workshop on the Dual Nature of f-Electrons (2023.6, Himeji).
2. Masashi Hashimoto, Yoshimichi Teratani, Masaya Shirotani, Yukihiro Nakata, Masashi Shimamoto, Yoichi Tanaka, Yasuhiro Yamada, and Akira Oguri, “Kondo screening and Andreev scattering in a triangular triple quantum dot connected to normal and superconducting leads”, 29th International Conference on Low Temperature Physics (August 18–24, 2022, Sapporo).
3. Kazuhiro Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, and Rui Sakano, “Three-body Fermi-liquid corrections in an $SU(N)$ quantum dot with asymmetric tunnel couplings”, 29th International Conference on Low Temperature Physics (August 18–24, 2022, Sapporo).
4. Rui Sakano, Tokuro Hata, Kaiji Motoyama, Yoshimichi Teratani, Tomonori Arakawa, Meydi Ferrier, Richard Deblock, Mikio Eto, Kensuke Kobayashi, and Akira Oguri, “Universal Scaling property of Linear Conductance through a Kondo Dot in Magnetic Field and its Application”, 29th International Conference on Low Temperature Physics (August 18–24, 2022, Sapporo).

5. Akira Oguri, “Collision integral and generalized Ward identity for nonlinear Kondo effect in the low-energy Fermi-liquid regime”, 29th International Conference on Low Temperature Physics (August 18–24, 2022, Sapporo).

学会・研究会講演

1. 軌道縮退した磁性不純物系の熱電気輸送に対する三体的 Fermi 流体効果：Anderson 模型による定式化,
寺谷義道, 小栗章, 本山海司, 阪野壘
日本物理学会 (2023.3.22–25, オンライン開催)
2. 磁場中の量子ドット系の非線形電流に対するトンネル結合・バイアス電圧の非対称性の効果,
堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
日本物理学会 (2023.3.22–25, オンライン開催)
3. SU(4) 量子ドット系の 3 体 Fermi 流体補正に対する軌道分裂の効果,
本山海司, 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
日本物理学会 (2023.3.22–25, オンライン開催)
4. 磁場中の量子ドット系における非局所 Andreev 散乱 II,
橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
日本物理学会 (2023.3.22–25, オンライン開催)
5. 電子正孔非対称な SU(N) 量子ドット系の非線形応答に対するトンネル結合およびバイアス電圧の非対称性の効果,
堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)
6. 強相関 SU(4) 量子ドット系の輸送係数における 3 体 Fermi 流体補正 II,
本山海司, 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)
7. SU(3) Anderson 不純物模型を透過する電流に対する 3 体相関の効果,
寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)
8. 磁場中の量子ドット系における非局所 Andreev 散乱,
橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)
9. 磁気コンダクタンスを用いた近藤温度の見積もりの実験データへの適用,
阪野壘, 秦徳郎, 本山海司, 寺谷義道, 堤和彦, 荒川智紀, Meydi Ferrier, Richard Deblock, 江藤幹雄, 小林研介, 小栗章
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)
10. T 字型 4 量子ドット系における Lieb フェリ磁性と近藤効果の競合,
徳田将志, 西川裕規
日本物理学会 (2022.9.12–15 東京工業大学)

学位論文

修士論文

1. 本山海司: 多軌道量子ドット系の低エネルギー輸送現象における 3 体的 Fermi 流体効果

博士論文

1. 堤 和彦: 量子ドット系の Fermi 流体状態の輸送現象におけるトンネル結合およびバイアス電圧の非対称性の効果

研究助成金取得状況

1. 小栗章(代表): 学術振興会・基盤研究(C)「メゾ・ナノスケール系における量子凝縮相の多電子相関と電流ゆらぎに関する理論的研究」50万円(直接経費)

海外出張および海外研修

非線形物理研究室

水口毅 准教授
赤石大夢 (M2)
岡本雄亮 (M1)

研究概要

1. 家系図ネットワークの構造 (赤石, 水口)

家系図は生物個体間の親子関係を図示したものであるが、個体を頂点、親子関係を辺とするネットワークとみなすことができる。辺には向きが自然に定義され、ネットワーク全体としても有向非巡回性を有しているという特徴を持つ。この家系図ネットワークは多くのループを含んだ複雑な構造をしていることが知られている。本研究では、一個体の先祖を辿ることによって得られるネットワークに着目し、有向非巡回性をもつネットワークに特有な構造として祖先ループを定義し、その長さの分布を数理的に解析した。得られた知見の一部を日本物理学会 2022 年秋季大会, 同 2023 年春季大会にて発表している。

2. 慣性センサーによる運動物体の動態解析 (池本 [OB], 井筒 [OB], 水口)

多機能ロガーの小型化・高性能化に伴い、様々な状況における生物個体の挙動を定量的にとらえることが可能になっている。特に慣性センサーは比較的高いサンプリング周波数で加速度と角速度の時系列データを得られることから、搭載個体の動態を推定するための有効なデバイスの一つと言える。本研究では、運動が周期的な場合に有効な初期条件の推定手法を提案している。実際の振り子の運動データに適用し、方法の妥当性と精度を検証した後、一定のプロトコルで制御したトレッドミル上を運動するヒトの運動の解析を行った。また、物体の運動状態の加速度の揺らぎの最小点を推定ための手法も提案している。得られた知見の一部は、国際研究集会 ISABMEC2022 及び NOLTA2022 で発表している。

3. 亀裂のパターンとダイナミクス (岡本, 水口)

亀裂は破壊という非線形で不可逆な現象の痕跡であると同時に破壊を駆動する応力場の境界条件でもあることから、その形成過程には未解明な部分が多く残されている。中でも、乾燥や温度変化という外的要因によって駆動される場合、規則的なパターンを成すことが知られている。近年、X線トモグラフィや写真測量法など、様々な方法で亀裂パターンの三次元的な構造を可視化することが可能になってきている。本研究では、乾燥するペーストに見られる亀裂の形成過程に対する三次元的な構造解析をおこなった。得られた知見の一部は Phys. Rev. E に採録されている。また、岩石に見られる割れ目の三次元構造解析にも取り組み始めている。

4. テキストの単語列解析 (水口)

Zipf 則は多様な要素で構成される集団の統計的な性質に関する現象論的な分布則である。本研究は、文章を単語の列とみなすことで、ユニグラムに対する分布則である Zipf 則では捉えきれない特徴を定量化し解析することを主眼としている。単語列を数列に変換することで、文章構造を数理的な取り扱い。これはよく知られた記号力学の手法の一つでもあり、特定の言語によらない解析・比較を可能にする。今回我々は、単語列を単語の出現頻度のランクに変換し、その帰還写像を解析することで、異なる言語の分類や比較を行った。また、品詞との関係についても論じている。結果の一部を、日本物理学会 2022 年秋季大会, 同 2023 年春季大会, 研究集会「社会物理学とその周辺」で発表している。

教育・研究業績

学術論文

1. S. Kitsunozaki, A. Nishimoto, Tsuyoshi Mizuguchi, et al.: “X-ray computerized tomography observation of Lycopodium paste incorporating memory of shaking,” Phys. Rev. E **105**, 044902 (2022).

国際会議会議録

1. S. Ikemoto, D. Izutsu, and T. Mizuguchi: ”Detection of Least Acceleration Fluctuation Point of Moving Object by Using Inertial Sensor”, Proceedings of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2022), C5L-E-02 (2022).

国際会議講演

1. D. Izutsu, S. Ikemoto, and T. Mizuguchi: “A method for motion analysis of periodically moving objects by using inertial sensor”, 8th International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms (ISABMEC2022), 2022年11月16-18日, ONLINE
2. S. Ikemoto, D. Izutsu, and T. Mizuguchi: “Detection of Least Acceleration Fluctuation Point of Moving Object by Using Inertial Sensor”, NOLTA2022, 2022年12月12-15日, ONLINE

学会・研究会講演

1. 赤石大夢, 水口毅: 「ループ構造に着目した家系図の構造解析」 日本物理学会 2022年秋季大会 東京工業大学
2. 水口毅, 鈴木岳人: 「機能語内容語分類による英文テキストの構造解析」 日本物理学会 2022年秋季大会 東京工業大学
3. 赤石大夢, 水口毅: 「ループ構造に着目した家系図の構造解析 II」 日本物理学会 2023年春季大会 オンライン
4. 水口毅, 鈴木岳人: 「品詞分類による英文テキストの構造解析」 2022年度 MIMS 現象数理学研究拠点 共同研究集会 社会物理学とその周辺 明治大学/オンライン

その他

1. 水口毅: 「人名分布と大阪」 大阪ミュージアム連続講座 2022

量子動力学研究室

田中智	教授	片山舞人 (M1)	藤田大地 (B4)	
神吉一樹	准教授	武友輝 (M2)	松山雄大 (M2)	田中和嶺 (B4)
ガーモン・サバンナ	准教授	塩田奈帆 (M1)	柳田康汰 (B4)	
野場賢一	講師	浅野光祐 (D2)	古永武 (M1)	新智貴 (B4)

研究概要

1. 強いコヒーレント外場駆動された単分子共鳴発光スペクトル (田中、神吉、片山)

強いコヒーレント外場によって単一分子の振動モードがコヒーレント励起された場合の発光緩和ダイナミクスを、自由輻射場系も含めた全系の複素スペクトル解析を用いて解析した。量子散逸現象の起源を明らかにし、時間分解共鳴発光スペクトルの計算を行った。不可逆過程の起因となる複素共鳴モードがインコヒーレントな自発発光を形成し、一方、実連続モードがコヒーレントなレイリー散乱を形成することを明らかにした。また、これらの発光線の時間変化が顕著に異なることを示した。コヒーレント励起された分子の励起と緩和のダイナミクスは、ラビ振動、緩和時間、分子分極のコヒーレント振動、に対応した3つの時間スケールで特徴づけられ、それぞれの時間領域に対応した発光スペクトルが現れることを示した。特に、励起の初期時間領域では、共鳴モードと連続モードの破壊的干渉によって、スペクトル強度が抑えられ、複写バンド全体にわたる広いスペクトル構造をとることを明らかにした。このことは、強いコヒーレント励起の発光において、量子効果が重要な働きを持つことを示したものである。

2. 動的カシミール効果による光子放射の理論 (神吉、田中、武友)

動的カシミール効果による光子生成を電磁場の量子ゆらぎのパラメトリック増幅ととらえ、固有振動数がその約2倍の振動数の外場駆動により周期的な変調をうけるパラメトリック振動子を考えた。さらに、光子の生成から放射までを統一的に記述するために、パラメトリック振動子が連続場と結合したモデルを取り扱い、全自由度を含めてハイゼンベルク描像での時間発展を計算した。パラメトリック増幅が散逸の効果により抑えられている状況では、パラメトリック振動子の光子数は一定に保たれ、外部に放射される光子数が時間に比例して増大する定常光子放射が起こることを示した。

3. Non-Hermitian physics for open quantum system (S. Garmon)

From April 2022 to March 2023 I gave several talks at conferences, including an invited talk at the American Physical Society (APS) March Meeting, that was attended by many people working diversity initiatives in physics. I also attended and gave a talk at a smaller workshop in Tokyo on topics in non-Hermitian physics in July and I attended and gave a talk virtually (on zoom) for a conference on localization in condensed matter in August. I made progress on two of my main research topics during this period, which are the dynamics of open quantum systems with chiral sublattice symmetry and classical radiation damping of electrons experiencing cyclotron motion in waveguides. Finally, I gave a Science Cafe talk here at OMU for student orientation, at which I presented about the moons of Jupiter and the theory of life on Europa, in addition to my own research.

4. 相関のある動的エネルギーゆらぎによるトポロジカルエッジ状態の不安定化 (野場)

1次元 Su-Schrieffer-Heeger モデル (SSH モデル) の端に局在するエッジ状態はトポロジカルに守られている状態と呼ばれ、静的なエネルギーゆらぎの下で安定な状態として存在する。一方で、時間とともにランダムに変化する動的なエネルギーゆらぎがある場合には、エッジ状態といえども不安定化する。本研究では、SSH 鎖のサイトエネルギーが相関のある動的エネルギーゆらぎで表される場合について、エッジ状態の減衰率の評価を行なった。その結果、

動的ゆらぎの相関時間を短くしていくと、エッジ状態の減衰率はある値で最大値をとり、その後減少することがわかった。この減衰率の減少は、量子 Zeno 効果の一種と解釈することができる。

5. 共鳴点近傍における小惑星の運動の安定性と不安定性の根拠について（浅野、野場）

木星の運動との共鳴効果により、木星の公転振動数に対して小惑星の公転振動数の比が例えば $3/1$ や $2/1$ となるところの近傍に Kirkwood gaps と呼ばれる小惑星の分布のギャップがあり、それらはそれぞれ $3:1$ 共鳴点、 $2:1$ 共鳴点と呼ばれている。ところが、 $3:2$ 共鳴点近傍ではその反対に、ヒルダ群小惑星と呼ばれる数千もの小惑星が観測されている。同じ共鳴効果が一方では小惑星の運動を不安定化させ、他方では安定化させている。我々は、この相反する結果が、共鳴効果によるこの系の可積分-非可積分性の違いによって起こることを明らかにした

教育・研究業績

学術論文

1. T. Ikeda, S. Tanaka, K. Kayanuma: "Floquet-Landau-Zener interferometry: Usefulness of the Floquet theory in pulse-laser-driven systems", Phys. Rev. Res. 4, 033075-1-033075-15 (2022).

国際会議講演

1. G. Savannah: "Localization, topology, and symmetry-breaking properties of an open PT-symmetric Su-Schrieffer-Heeger model" (Virtual Presentation) Localization 2022, Sapporo, August 26, 2022.
2. G. Savannah: "Reservoir-assisted symmetry breaking and coalesced zero-energy modes in an open PT-symmetric SSH model", NH2002 (Non-Hermitian Quantum Mechanics 2022), University of Tokyo, July 4, 2022.
3. G. Savannah: "A trans perspective on building inclusive physics communities", American Physical Society March Meeting, Las Vegas, March 6, 2023.
4. G. Savannah: "Topologically-protected states and their dynamical influence in structured reservoirs with chiral sublattice symmetry" American Physical Society March Meeting, Las Vegas, March 9, 2023.
5. S. Garmon: "Non-Markovian dynamics revealed at the bound state in continuum" Butler University, Indianapolis, March 17, 2023.

学会・研究会講演

1. 田中智:「空洞共振器フォトニックバンド結合系の動的カシミール効果: 艦装ヒルベルト・シンプレクティック空間におけるリウビリアン複素スペクトル解析」第 829 回 基礎科学セミナー, 日本原子力研究開発機構、先端基盤研究センター、2022 年 11 月 9 日
2. 田中智, 神吉一樹, トミオ・ペトロスキー:「複素固有モード解析による共振器・フォトニックバンド結合系の動的カシミール効果における非平衡定常状態」日本物理学会 2022 年秋季大会
3. 宮永麟太郎, 大畠悟郎, 溝口幸司, 田中智:「半導体微小共振器における例外点の創出と光学特性」日本物理学会 2023 年春季大会 オンライン
4. 武友輝, 神吉一樹, 田中智:「パラメトリック振動子からの光子放出の理論」第 33 回光物性研究会 2022 年 12 月 9 日 大阪大学

5. 神吉一樹, 田中智 : 「動的カシミール効果による光子の生成と放射の理論」 第 33 回光物性研究会 2022 年 12 月 9 日 大阪大学
6. 神吉一樹, 武友輝, 田中智 : 「動的カシミール効果における複素スペクトル構造と 2 光子放射過程」 日本物理学会 2023 年春季大会 2023 年 3 月 23 日 オンライン
7. 野場賢一 : 「相関のある動的エネルギーゆらぎによるエッジ状態の不安定化とその減衰率」 日本物理学会 2023 年春季大会
8. 浅野光祐, 野場賢一, Tomio Petrosky : 「小惑星分布に対する共鳴点近傍におけるヒルダ群小惑星の運動の安定性の根拠と Kirkwood gaps での不安定性の根拠」 日本天文学会 2022 年秋季年会
9. G. Savannah: “Characteristic dynamics near exceptional points in non-Hermitian systems” University of Tokyo, Kashiwa campus, April 7, 2022.
10. G. Savannah: “Non-Markovian dynamics revealed at the bound state in continuum” Butler University, Indianapolis, March 17, 2023.

学位論文

修士論文

1. 武友輝 : 「パラメトリック振動子モデルを用いたフォトニック結晶中での動的カシミール効果の理論」
2. 松山雄大 : 「乱れた量子分子鎖におけるエネルギー輸送の理論」

研究助成金取得状況

1. サバンナ・ガーマン : 学術振興会・基盤研究 (C) (代表) 「Liouvillian analysis of dynamics at exceptional points incorporating quantum jumps」 1 8 0 万円
2. サバンナ・ガーマン : 学術振興会・基盤研究 (B) (分担) 「非エルミート系の非平衡輸送現象 : 物理量演算子を定義する枠組みの構築」 2 8 6 万円

生体光物理研究室

飯田 琢也 (教授)

[LAC-SYS研究所(兼任)]

田村 守(特任講師)

豊内 秀一(特任講師)

高木 裕美子(研究員)

勝間田 麻美(テクニカルスタッフ)

[所属学生]

林 康太(D2、学振DC1)

叶田 雅俊(M2)

藤原 佳奈(M2)

小森 弘稀 (M1)

長谷 龍馬(B4)

堀田 隆生(B4)

研究概要

1. 【課題(1) 光誘導加速によるアフィニティー制御】

抗原抗体反応のマイクロフロー光誘導加速の機構を解明し、低濃度の膜タンパク質を計測領域に誘導濃縮してプローブ粒子の多層構造と一層目の面積比から得られる信号強度から数十アトグラムレベルの特異検出に成功した[Commun. Biol. 2022, IF=5.9]。また、抗体修飾ビーズを光集積した光濃縮基板によるタンパク質修飾ナノ粒子の高感度特異検出にも成功し、新規な相互作用解析の方法論の基礎構築に進展があった[PCT/JP2022/019417]。

2. 【課題(2) 核酸の特異的結合の光誘導加速】

一本鎖DNAを修飾したマイクロ粒子と金ナノ粒子を用いた異種プローブ粒子混合光濃縮の機構解明を行った。Mie散乱を顕著に示すマイクロ粒子の光圧増大による輸送効果と金ナノ粒子の局在表面プラズモン(LSP)由来の光発熱効果により、蛍光染色したDNAの高感度定量評価における重要な知見を獲得した[PCT/JP2023/006708]。

3. 【課題(3) 細胞内での小器官への分子集積】

本課題では、従来の1/1000の数百pMレベルのMitoTrackerの光濃縮により細胞内小器官への集積化の光誘導加速の高効率化に向けた重要な知見を獲得し、数十nMレベルのR8-PADによる細胞選択的アポトーシスにも成功した[Nano Lett. 2022, IF=10.8]。さらに、細胞膜は従来負に帯電しているため取り込み困難であった負電荷をもつGALAペプチドをカチオン性脂質なしでも光濃縮で細胞内取り込みできることを解明し、細胞表面におけるアフィニティー制御における重要な知見を得た。また、ファイバ型光濃縮モジュールによる大面積光濃縮の原理提案も行い[PCT/JP2023/006701]、課題(2)の成果との融合による細胞内場所選択的な分子導入プロセスの評価システム構築に向けて大きく前進した。

4. 【課題(4) 光誘起流体現象およびナノ光熱変換の理論】

ナノ秒パルス光渦によるナノニードル形成において、高温での融解条件下でのマランゴニ効果が重要な役割を果たすことを解明した。また、ナノニードルの厚さと高さは、リング状の不均質な温度上昇によって、回折限界を超えてビーム半径の1/25 (5 μ m) に相当する200nm以内に正確に制御ことが分かり、高度なナノ加工における重要な知見を得た[Opt. Exp. 2022, IF=3.8]。さらに、低熱伝導率ナノ構造におけるLSPの光励起により、光発熱効果をLSPの波動関数の空間パターンを反映してナノ空間に局在できる可能性を理論的に明らかにした[Nanoscale 2022, IF=6.7]。マイクロ共振器内のグラフェンに印可される光圧の理論解析に関する国際共同研究も行った[Opt. Commun.2022, IF=2.2]。

5. 【課題(5) 光濃縮の社会実装に向けた検討】

光濃縮に基づく医療分野での超早期診断法への実装に向けて夾雑物中での光濃縮検出に関する重要な知見を獲得した。また、汎用型光濃縮システムの試作機開発でも重要な進展があり国際的な展示会BioJapan2022に出展した。たとえば、マイクロフロー光濃縮システムをベースとした試薬開発により、がんマーカータンパク質検査キットの国際特許出願を大阪公立大-愛知県がんセンターの共同で行った[PCT/JP2023/018633]。さらに、食品検査・環境計測と関連して低ダメージ光濃縮基板(擬似気泡)を用いた蛍光スペクトロスコピーによる細菌濃度の定量評価法の基礎構築も行った[AIP Advances 2022, IF=1.7]。

教育・研究業績

学術論文

1. Ikuhiko Nakase*, Moe Miyai, Kosuke Noguchi, Mamoru Tamura, Yasuyuki Yamamoto, Yushi Nishimura, Mika Omura, Kota Hayashi, Shiroh Futaki, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, “Light-Induced Condensation of Biofunctional Molecules around Targeted Living Cells to Accelerate Cytosolic Delivery”, *Nano Letters*, **22**, 9805–9814. (2022).
<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.2c02437>
2. Kota Hayashi, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami*, Takuya Iida*, “Quantitative fluorescence spectroscopy of living bacteria by optical condensation with a bubble-mimetic solid-liquid interface”, *AIP Advances*, **12**, 125214 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0104984>
◆AIP Scilight: [Heating an imitation bubble to focus on fluorescent bacteria | Scilight | AIP Publishing](https://doi.org/10.1063/5.0104984)
3. Takuya Iida*, Shota Hamatani, Yumiko Takagi, Kana Fujiwara, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami*, “Attogram-level light-induced antigen-antibody binding confined in microflow”, *Communications Biology*, **5**, 1053 (2022). <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03946-0>
4. Mamoru Tamura*, Takashige Omatsu, Takuya Iida*, “Nanoneedle formation via doughnut beam-induced Marangoni effects”, *Optics Express*, **30**, 35136-35145 (2022).
<https://doi.org/10.1364/OE.460962>
5. Mamoru Tamura, Takuya Iida, Kenji Setoura*, “Plasmonic nanoscale temperature shaping on a single titanium nitride nanostructure”, *Nanoscale*, **14**, 12589-12594 (2022).
<https://doi.org/10.1039/D2NR02442J>
◆Illustration was selected for the front cover picture
6. Le Tri Dat*, Sang H. Luong, Vinh N.T. Pham, Nguyen Duy Vy*, Takuya Iida*, “Radiation pressure on a graphene layer inserted inside an optical microcavity”, *Optics Communications*, **520**, 128478-128478 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2022.128478>

国際会議会議録

1. M. Kanoda, K. Hayashi, M. Tamura, S. Tokonami, T. Iida, “Detection of Biological Nanoparticles by Photothermal Convection with Plasmonic Nano-bowl Substrate”, Proceedings of the 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 2022, paper CTuP16E_04 (2022)
2. K. Hayashi, M. Tamura, M. Fujiwara, S. Tokonami, T. Iida, “Development of Three-dimensional Arbitrary Optical Condensation Method with Fiber-based Module”, Proceedings of Proceedings of the 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 2022, paper CTuA16D_04 (2022)
3. T. Iida, K. Hayashi, T. Suehiro, Y. Yamamoto, M. Tamura, R. Ishikura, K. Sakurai, S. Tokonami, H. Washida, T. Yamasaki, H. Ishikawa, “Highly Efficient Assembly of Bacteria by Portable Optical Condensation System with Multiple Compact Laser Modules”, Proceedings of Proceedings of the 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 2022, paper CMP15B_03 (2022)
4. K. Fujiwara, Y. Takagi, M. Tamura, I. Nakase, S. Tokonami, T. Iida, “Sensitive Detection of Biological Nanoparticles by Controlled Optical Force in Microflow”, Proceedings of Proceedings of the 2022 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 2022, paper CTuA15C_04 (2022)

招待講演

1. T. Iida, S. Tokonami, I. Nakase, “Light-induced acceleration of biochemical reactions mediated by plasmonic nanoparticles”, The 13th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO13) (於：北海道大学、2022/7/31)
2. 飯田琢也、「光誘導加速システムが拓く次世代医工計測とヘルスケア」、第55回光学四学会関西支部連合講演会 医療・健康・ヘルスケアと光、(オンライン開催、2022/12/7)
3. 飯田琢也、床波志保、中瀬生彦、「光誘導加速によるハイスループット生体計測技術と量子生命・医療への展開」、大阪公立大学(OMU)-量子科学技術研究開発機構(QST)包括連携締結式 (於：大阪公立大学 I-siteなんば、2022/12/5(月))

国際会議講演

1. Masatoshi Kanoda, Kota Hayashi, Mamoru Tamura, Shiho Tokonami, Takuya Iida, “Detection of Biological Nanoparticles by Photothermal Convection with Plasmonic Nano-bowl Substrate” [Presentation Style] Onsite, CLEO-PR 2022 (2022/8/1-2022/8/5, Sapporo Convention Center) 8/2
2. Kota Hayashi, Mamoru Tamura, Masazumi Fujiwara, Shiho Tokonami, Takuya Iida, “Development of Three-dimensional Arbitrary Optical Condensation Method with Fiber-based Module” [Presentation Style] Onsite, CLEO-PR 2022 (2022/8/1-2022/8/5, Sapporo Convention Center) 8/2
3. Takuya Iida, Kota Hayashi, Taichi Suehiro, Yasuyuki Yamamoto, Mamoru Tamura, Ryota Ishikura, Kenji Sakurai, Shiho Tokonami, Hirohito Washida, Tsutomu Yamasaki, Hiroki Ishikawa, “Highly Efficient Assembly of Bacteria by Portable Optical Condensation System with Multiple Compact Laser Modules” [Presentation Style] Onsite, CLEO-PR 2022 (2022/8/1-2022/8/5, Sapporo Convention Center) 8/1
4. Kana Fujiwara, Yumiko Takagi, Mamoru Tamura, Ikuhiko Nakase, Shiho Tokonami, Takuya Iida, “Sensitive Detection of Biological Nanoparticles by Controlled Optical Force in Microflow” [Presentation Style] Onsite, CLEO-PR 2022 (2022/8/1-2022/8/5, Sapporo Convention Center) 8/2

学会・研究会講演

1. 「光渦レーザー加工における螺旋突起形成の数値探索」田村守、尾松孝茂、飯田琢也、第33回光物性研究会（大阪大学 豊中キャンパス、2022/12/9-10）12/10
2. 「マイクロフロー光濃縮による疾患マーカー生体ナノ物質の高効率検出」、小森弘稀、藤原佳奈、勝間田麻美、高木裕美子、田村守、中瀬生彦、床波志保、飯田琢也、第33回光物性研究会（大阪大学 豊中キャンパス、2022/12/9-10）12/9
3. 「光誘起対流を用いた選択的細菌検出法の開発」、渡邊翔太、本田杏奈、林康太、Olaf Karthaus、飯田琢也、床波志保、第33回光物性研究会（大阪大学 豊中キャンパス、2022/12/9-10）12/9
4. 「マイクロフロー光濃縮による細胞外小胞の表面状態の高感度検出」、藤原佳奈、高木裕美子、田村守、中瀬生彦、床波志保、飯田琢也、第83回応用物理学会秋季学術講演会（東北大学 河内北キャンパス+オンライン、2022/9/20-23）9/21
5. 「自己組織型ナノボウル基板によるウイルスの2ステップ光濃縮法の開発」、叶田雅俊、林康太、高木裕美子、田村守、床波志保、飯田琢也、第83回応用物理学会秋季学術講演会（東北大学 河内北キャンパス+オンライン、2022/9/20-23）9/20
6. 「疾患マーカー生体物質のマイクロフロー光誘導検出」、小森弘稀、藤原佳奈、勝間田麻美、高木裕美子、田村守、中瀬生彦、床波志保、飯田琢也、日本分析化学会第71回年会、（岡山大学津島キャンパス、2022/9/14-9/16）9/14
7. 「ファイバー型モジュールによる生体物質の3次元光濃縮法の開発」、林康太、田村守、藤原正澄、床波志保、飯田琢也、量子生命科学会第4回大会、（2022年5月26日～27日、於：神戸大学百年記念館六甲ホール）
8. 「プラズモニク・ナノボウル光濃縮基板による生物学的ナノ粒子の迅速・高感度検出」、叶田雅俊、林康太、田村守、床波志保、飯田琢也、量子生命科学会第4回大会、（2022年5月26日～27日、於：神戸大学百年記念館六甲ホール）
9. 「生物学的ナノ粒子と生体分子の弱量子結合の光誘導加速における重力効果」、小森弘稀、藤原佳奈、勝間田麻美、高木裕美子、田村守、中瀬生彦、床波志保、飯田琢也、量子生命科学会第4回大会、（2022年5月26日～27日、於：神戸大学百年記念館六甲ホール）
10. 「オープニング(趣旨説明): ナノ光熱変換が拓く異分野横断型光科学の新地平」、飯田琢也、第70回応用物理学会春季学術講演会、（上智大学 四谷キャンパス+オンライン、2023/3/15-18）3/16
11. 「異種プローブの光濃縮による迅速・高感度なDNA定量分析法の開発」、豊内秀一、大

- 間知誠也, 林康太, 高木裕美子, 田村守, 床波志保, 飯田琢也、第70回応用物理学会春季学術講演会, (上智大学 四谷キャンパス+オンライン, 2023/3/15-18) 3/16
12. 「マイクロ流路中での疾患マーカー生体ナノ物質の光濃縮検出」、小森弘稀, 藤原佳奈, 勝間田麻美, 高木裕美子, 田村守, 中瀬生彦, 床波志保, 飯田琢也、第70回応用物理学会春季学術講演会, (上智大学 四谷キャンパス+オンライン, 2023/3/15-18) 3/16
13. 「ファイバー型モジュールによる界面近傍での非従来型光濃縮」、林康太, 田村守, 藤原正澄, 床波志保, 飯田琢也、第83回応用物理学会秋季学術講演会 (東北大学 河内北キャンパス+オンライン, 2022/9/20-23) 9/20

研究助成金取得状況

1. 代表者: 飯田琢也、JST未来社会創造事業「共通基盤」領域(本格研究)、研究課題: 低侵襲ハイスループット光濃縮システムの開発、期間: 2021年度~2025年度、研究費総額(直接+間接): 7.5億円 [継続]
2. 代表者: 飯田琢也、科学研究費補助金 基盤研究 (A)、研究課題名: 光濃縮下での高密度系における生体分子のアフィニティー制御、期間: 2021年度~2024年度、研究費総額(直接+間接): 42,510千円 [継続]

その他

1. 大阪公立大学学長表彰 (2023年3月、於: 大阪公立大学)、[受賞者: 飯田琢也]
2. 大阪公立大学学生表彰 (2023年3月、於: 大阪公立大学)、[受賞者: 林康太]
3. 大阪公立大学学生表彰 (2023年3月、於: 大阪公立大学)、[受賞者: 叶田雅俊]
4. 第20回 (2022年秋季) 応用物理学会 Poster Award、応用物理学会、発表題目: 「自己組織型ナノボウル基板によるウイルスの2ステップ光濃縮法の開発」 20a-P05-3 (12.有機分子・バイオエレクトロニクス)、叶田雅俊、林康太、高木裕美子、田村守、床波志保、飯田琢也、(2022年11月16日、於: 東北大学川内北キャンパス+オンライン) [受賞者: 叶田雅俊]
5. Best Poster Presentation賞、量子生命科学会第4回大会、発表題目: 「ファイバー型モジュールによる生体物質の3次元光濃縮法の開発」 (2022年5月26日~27日、於: 神戸大学百年記念館六甲ホール) [受賞者: 林康太]
6. Best Poster Presentation賞、量子生命科学会第4回大会、発表題目: 「プラズモニック・ナノボウル光濃縮基板による生物学的ナノ粒子の迅速・高感度検出」 (2022年5月26日~27日、於: 神戸大学百年記念館六甲ホール) [受賞者: 叶田雅俊]
7. 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム「ナノ光熱変換が拓く異分野横断型光科学の新地平」開催、日時: 2023年3月16日(木)、会場: 上智大学四谷キャンパス A307(6号館)+オンライン(ハイブリッド開催)、世話人: 飯田琢也(大阪公立大)、柚山健一(大阪公立大)、東海林竜也(神奈川大)、伊都将司(大阪大)
8. 広報・アウトリーチ活動: 11件(プレスリリース: 2件、新聞記事: 2件(日経新聞、科学新聞)、Webメディア: 7件(オプトロニクス、QLife Pro医療ニュース、Bio Optics Worldなど))

生体・構造物性物理学研究室

南後 守	特任教授	橋本 健人	(D2)	新在家 隆征	(M1)
杉崎 満	准教授	山本 歩波	(M2)	坂本 翼	(M1)
		堀 雅樹	(M2)	香川 智彦	(B4)
		南 玲央	(M2)	橋本 直哉	(B4)

研究概要

1. スペクトル分解顕微鏡の開発とこれを用いたステート遷移の可視化（南，橋本，杉崎，南後）

高等植物や藻類をはじめとする光合成生物は、太陽光エネルギーを効率よく集めるためのアンテナ蛋白質複合体を有する。太陽光の強度は時間や季節により大きく変化するため、光合成生物は、強光下において余剰エネルギーを散逸させるための機構を兼備することが必要となる。このような光強度の変化に伴うエネルギーの輸送経路を切り替える機構はステート遷移とよばれ、生物種ごとに様々なモデルが提唱されている。例えば藍藻において、フィコビリゾーム（PBS）とよばれるアンテナ複合体は、弱光下では光化学系IIの反応中心に結合しているが、強光に晒されると光合成膜上を移動し、光化学系Iに結合をすると考えられている。しかしながら、ステート遷移に関する研究報告のうち、ミクロスコピックな観測に基づくものは非常に限られているのが現状であるため、ステート遷移の完全な理解には至っていない。

本研究では、藍藻である *Gloeobacter violaceus* のステート遷移を明瞭に可視化する方法論の確立を目指している。本年度は、走査型顕微鏡を改造したスペクトル分解顕微鏡を構築し、1細胞の大きさよりも高い空間分解能で顕微蛍光スペクトルを取得することに成功するとともに、色素タンパク質複合体間の蛍光強度が正の相関を示すことを見出した。明順化した細胞と暗順化した細胞では、相関の度合いを示す回帰直線の傾きに明確な違いが現れるという観測結果をもとに、細胞内における局所的なステート遷移の発現場所のイメージングを実現した。

2. β -カロテンにおけるコヒーレント分子振動の制御と溶媒効果（堀，杉崎，南後）

1990年代から、光の波形を特徴づける振幅、波長、位相といった物理量を制御した光を用いて光化学反応を行うと、反応収率が人為的に操作可能となることが知られるようになってきた。初期に行われた研究では、操作可能な物質は簡単な構造を持つ分子に限られていたが、その後2000年代に入ると、光合成色素蛋白複合体やロドプシンのような複雑な構造をもつ物質においても、同様な人為操作が可能であることが示された。一連の研究において、反応収率を人為操作するためには、非常に複雑な波形が必要であることが知られているが、その物理的なメカニズムは現在でも不明なままである。光合成色素蛋白複合体においては、反応に用いられた波形から、物質の低周波の分子振動が重要な役割を果たしているという仮説が提唱されているが、これを検証する手法はまだ確立されていない。

本年度の研究において、波形成型した超短パルス光を、代表的な光合成色素である β -カロテンに照射し、本来は禁制である低周波分子振動を人為的に励起することに成功した。ウェーブレット解析法を用いて分子振動の時間発展を広い周波数領域で見積もり、励起された低周波分子振動が、通常分子振動の基本モードと同程度の寿命を持つことを明らかにした。また、溶質と溶媒間の分子振動の結合モードという奇異な低周波分子振動の発生にも成功した。この結合モードが極性・無極性の両溶媒において基本モードと同程度の寿命を持つことから、波形成型超短パルス光照射は非常に安定した低周波振動を発生させる

手法であると考えられる。今後の研究において、低周波振動モードが光合成反応の収率にどの程度影響を及ぼすかについて明らかにしていくことを計画している。

3. 生体機能測定を目指した簡便なガスセンサーの開発（杉崎，南後）

生体情報を得るうえで、生体組織がエネルギー生産を行う過程で生成される二酸化炭素をできるだけ非侵襲にリアルタイムで検出することは、細胞生物学や医療の分野において重要な課題となっている。CO₂が体内に過剰に蓄積されたり、また逆に不足が生じたりした場合にはpHが正常値から外れ、生体の恒常性が崩れて様々な障害をおよぼすことが知られている。近年のパンデミックにより、簡単に循環器系における気体濃度を測定する手法の開発が必要とされている。このような状況を鑑み、蛍光色素としてNile redを含む生体適応性が高い材料を用いた二酸化炭素センサーの開発を開始した。試作したセンサーは呼吸に反応し色調が変化することを確認した。今後は反応時間の短縮が課題となる。

教育・研究業績

国際会議講演

1. Soichiro Seki, Kazuhiro Yoshida, Naohiro Oka, Yumiko Yamano, Yasuhiro Kamei, Mitsuru Sugisaki, Ritsuko Fujii, “Carotenoid interconversion in LHCII of *Codium fragile* stimulated by blue-green irradiation”, 18th International Congress on Photosynthesis Research, Hybrid at the Dunedin Centre, New Zealand, 2022年7月31日～8月05日.
2. Soichiro Seki, Kazuhiro Yoshida, Naohiro Oka, Yumiko Yamano, Mitsuru Sugisaki, Ritsuko Fujii, “Why does the marine light-harvesting carotenoid siphonaxanthin have non-conjugated hydroxyl group?”, International Symposium on Photosynthesis and Chloroplast Regulation, Kobe, Japan, 2022年11月15日～18日.

学会・研究会講演

1. 杉崎 満, 堀 雅樹, 南後 守, 「波形成型した励起光を用いたβ-カロテンの四光波混合信号 III」, 日本物理学会2022年秋季大会, 東京工業大学, 2022年9月12日～15日.
2. 関 莊一郎, 吉田 和広, 山野 由美子, 岡 直宏, 杉崎 満, 藤井 律子, 「光合成カロテノイドシフオナキサンチンにおける非共役官能基の共役系への影響」, 第60回生物物理学会年会, 函館アリーナ, 2022年9月28日～30日.

学位論文

修士論文

1. 堀 雅樹: 「β-カロテンにおけるにおけるコヒーレント分子振動の制御と溶媒効果」.
2. 南 玲央: 「スペクトル分解顕微鏡法によるステート遷移の可視化」.

研究助成金取得状況

1. 杉崎満: 学術振興会・基盤研究C「無染色試料による超解像度顕微分光法の開発とそれを用いた細胞内光合成色素分布の追跡」130万円.
2. 杉崎満: 株式会社カテラ, 共同研究費「シリコーンゴムの高分子修飾に関する研究開発」165万円.

光エレクトロニクス物理研究室

鐘本勝一 教授

舘 亮太(M2)

福嶋直人(M2)

城戸美奈代(M1)

堤 晴香(M1)

村屋孝夫(B4)

安田萌菜(B4)

研究概要

1. TADF型OLEDに対する分光計測法の構築 (舘、鐘本)

近年熱活性化遅延蛍光 (TADF) を示す有機LED (OLED) が注目されている。その動作過程についての知見を引き出す目的で、動作過程に同期させた分光計測により動作過程を追求する研究を行い、その実験系の構築に成功した。

2. スピン流の直接計測に向けた計測系の構築 (福嶋、鐘本)

角運動量の流れを意味するスピン流の研究が最近注目されているが、通常その観測は発生起電力を主体とした計測技術により行われる。ここでは、スピン流を発生させるスピホール効果と磁気共鳴計測を融合させた計測系を確立させ、実際に、スピン流発生に伴われる磁気共鳴信号の計測に成功した。

3. 有機EL素子内における高密度励起状態生成 (城戸、鐘本)

電気化学発光セルではトンネル効果を利用した高効率なキャリア注入が可能であり、この研究では、その性質を利用して、キャリアを高密度に発生させ、そこから発光励起子が高密度に発生する状態を生成させることに成功した。

4. 電気化学発光セルに対する電子スピン共鳴計測法の確立 (堤、鐘本)

電気化学発光セルにおける発光は電子と正孔の再結合により得られるが、中間状態として電子正孔対が発生するものの、その性質を調べることは難しい。ここでは、電子スピン共鳴時の微小な発光強度変化を利用して、発光強度あたりの電子正孔対の存在量が電圧印加とともに減少することを明らかにした。

教育・研究業績

学術論文

1. N. Tajima, K. Kanemoto: "Time-Resolved Operando Spectroscopy for Dye-Sensitized Solar Cells from Multiple Perspectives", *J. Phys. Chem.* **C126**, 7535-7541 (2022).
2. K. Nakahashi, K. Takaishi, T. Suzuki, K. Kanemoto,: "Power-Dependent Characteristics of Spin Current Transfer in Metal Bilayer Devices under High-Power Pulse Excitation", *ACS Appl. Mater. Interfaces* **14**, 21217-21223 (2022).
3. 鐘本勝一: 「スピン流で電力を運ぶ? -スピン流伝搬の特異性」 化学, 66-67 (化学同人、2022年11月号)

学位論文

修士論文

1. 舘 亮太: 「TADF型有機LEDの動作機構解明に向けた分光システムの開発」

2. 福嶋直人：「磁気共鳴を利用した新しいスピン流検出法の探索」

研究助成金取得状況

1. 鐘本勝一（代表）：学術振興会・基盤研究(B)「スピン流伝播に関する直接計測法の開発とその学理の総合的発展」250万円
2. 鐘本勝一（分担）：学術振興会・基盤研究(B)「トポロジカル励起スピン制御による π ラジカル材料のエレクトロニクス素子への展開」15万円
3. 鐘本勝一（代表）：泉科学技術振興財団研究助成「有機発光材料を用いた量子センサー技術の開発」100万円

その他

1. 鐘本勝一：「有機EL動作過程の物理現象」 2022年7月15日 大阪府立夕陽丘高等学校にて模擬授業
2. 鐘本勝一：「スピン流とはどういうもの？」 2022年11月22日 市民講演会「21世紀の物理学2022」にて講演, 大阪公立大学杉本キャンパス

光物性研究室

溝口幸司	教授	宮永麟太郎(D2)	伊吹駿 (M1)	尾田竜太郎(B4)
河相武利	准教授	岩田直樹 (M2)	梶原大渡(M1)	加藤大智 (B4)
大島悟郎	准教授	尾崎翔太 (M2)	蒲田将行(M1)	竹内舜弥 (B4)
		吉川天斗 (M2)	亀阪紀人(M1)	古谷順都 (B4)
		森尾東 (M2)	仲田壮 (M1)	松岡礼子 (B4)
			宮本隆将(M1)	松本栄希 (B4)

研究概要

1. 開放量子系における結合ダイナミクスの実験研究（宮永、岩田、大島、溝口）

半導体層を含む共振器層を多層膜反射鏡（分布ブラッグ反射鏡）で挟んだ構造をしている半導体微小共振器は、共振器層内に光を閉じ込めることができる。この時、共振器層内の半導体中の励起子と光子が相互作用し、共振器ポラリトンと呼ばれる励起子と光子の混成状態が形成される。本研究では、CuCl半導体微小共振器において、定常状態の透過スペクトル、および、時間分解透過率変化を測定し比較することで、半導体微小共振器中の共振器ポラリトンのダイナミクスの起源を明らかにすることを目的に研究を行った。
2. トポロジカル絶縁体試料の光学特性の研究（吉川、宮本、溝口）

トポロジカル絶縁体は、その結晶内部では絶縁体的特性を有し、表面層では金属的特性を呈している。このトポロジカル絶縁体の表面層に存在するディラック電子は、波数に対して線形なエネルギー分散を有しており、また、スピン偏極の方向が運動量の方向に対して直交しているという性質（スピン-運動量ロッキング）を持っている。今まで、多結晶粒から構成されているトポロジカル絶縁体薄膜においてディラック電子の光学特性について調べられており、その結果、光励起されたディラック電子の緩和時間は約10fsと非常に早いと報告されている。本研究では、この早い緩和時間の原因を探るため、トポロジカル絶縁体単結晶を作製し、ディラック電子の緩和時間およびキャリア数の結晶軸依存性を明らかにすることを目的に研究を行った。
3. アルカリハライド結晶中の不純物センターの発光特性の研究（伊吹、尾田、河相）

Tl⁺イオンとAu⁻イオンは最外殻電子配置として6s²をとり、アルカリハライド結晶中において、所謂ns²センターを形成する。このような不純物センターの発光特性は、配位座標空間での断熱ポテンシャル曲線を考慮して議論されているが、スピン-軌道相互作用と電子格子相互作用の共存下では、断熱ポテンシャル曲線が複雑になることが指摘されている。本研究では、発光ダイナミクスの温度依存性を詳細に測定し、断熱ポテンシャル曲線の特徴について議論した。
4. 貴金属ヨウ化物結晶の光学特性の研究（梶原、加藤、河相）

CuClを代表として貴金属ハライドは特徴ある励起子遷移を示すことから、光物性分野では盛んに研究されている。貴金属ハライドの中でも、AgIやCuIのヨウ化物結晶の研究はそれほど多くない。現在、AgIやCuIの薄膜やナノ結晶を作製し、その光学特性を明らかにすることを目的に研究を行った。
5. 励起子分子の二光子吸収過程における周波数量子もつれの研究（森尾、竹内、溝口、大島）

周波数領域における密度行列を定量化する分光手法（周波数領域・密度行列分光(DMS)）を新たに開発（波長400nm帯）した。実験では、まず周波数領域DMSに用いるためのプローブ光パルス（2周波重ね合わせパルス）の生成光学系を新たに構築し、さらにスペクトル干渉法にて評価を行った。また、測定対象として半導体CuCl単結晶中における励起子分子に着目した。二

光子吸収過程を利用して励起子分子の2周波数に限定した密度行列を測定し、その結果、励起子分子に内在する2つの励起子が周波数（エネルギー）の量子もつれ状態であることを実験的に初めて明らかにした。

6. 励起子分子から生成された光子・励起子間の偏光・スピン量子もつれ状態に関する研究(尾崎、竹内、溝口、大嶋)

スピンの量子もつれを有した電子状態の典型例である、半導体CuCl中の励起子分子とそこから対生成される光子と励起子に着目した。低温において、二光子共鳴励起された励起子分子は、ハイパーパラメトリック散乱（その中でも特に片側が後方散乱する位相整合条件）により崩壊し光子と励起子を生成する過程が存在する。実験では、この光子と励起子に対する偏光・スピンについての密度行列をスピン自由度のDMSによって定量化した。その結果、量子もつれの指標であるTangleの値が0.98を超えること示した。このように、半導体において生成される光子（偏光）と励起子（スピン）が量子もつれ状態であることは、今回実験的に初めて明らかにされた。また、励起子の結晶における滞在時間の違いによる量子もつれの変化についても議論した。

教育・研究業績

学術論文

1. K. Kubota and T. Kawai: “Optical characteristics of Tl^+ centers in $CsCaCl_3$, $KCaCl_3$, and $CsCl$ crystals”, J. Phys. Chem. Solids, **163**, 110592(2022).

学会・研究会講演

1. 尾崎翔太, 大嶋悟郎, 溝口幸司:「励起子分子から励起子に近いポラリトン状態への散乱過程における偏光量子もつれの測定」日本物理学会 2022年秋季大会 東京工業大学
2. 森尾東, 大嶋悟郎, 溝口幸司:「励起子分子の二光子吸収過程における周波数量子もつれ」日本物理学会 2023年春季大会 オンライン開催
3. 宮永麟太郎, 大嶋悟郎, 溝口幸司, 田中智:「半導体微小共振器における例外点の創出と光学特性」日本物理学会 2023年春季大会 オンライン開催
4. 森尾東, 大嶋悟郎, 溝口幸司:「励起子分子の二光子吸収過程における励起光パルスの周波数相関」第33回光物性研究会 大阪大学
5. 宮永麟太郎, 大嶋悟郎, 溝口幸司, 田中智:「例外点近傍における共振器ポラリトンの光学特性」第33回光物性研究会 大阪大学
6. 河相武利:「NaCl結晶中の Tl^+ センターと Au^- センターの発光特性」UVSORシンポジウム2022, 岡崎コンファレンスセンター

学位論文

修士論文

1. 岩田直樹:「CuCl半導体微小共振器におけるRabi振動の研究」
2. 吉川天斗:「 Sb_2Te_3 トポロジカル絶縁体結晶における磁気光学KERR効果の研究」
3. 森尾東:「励起子分子の二光子吸収過程における周波数量子もつれの測定」
4. 尾崎翔太:「励起子分子から生成された光子・励起子間の偏光量子もつれ状態に関する研究」

研究助成金取得状況

1. 大嶋悟郎（代表），溝口幸司（分担）：学術振興会・基盤研究(B)「密度行列分光による量子もつれ物性とそのダイナミクスの研究」208万円

その他

1. 大嶋悟郎：2022年ノーベル物理学賞解説セミナー開催・講演（学内，井上慎教授と共同）
2. 大嶋悟郎：第一回量子地球生命科学研究会・開催（世話人）
3. 大嶋悟郎：日本物理学会 男女共同参画推進委員会（委員）
4. 溝口幸司：日本学術振興会・産学協力研究委員会 「テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会」(運営幹事)
5. 溝口幸司：第33回光物性研究会(2022) (組織委員)

レーザー量子物理学研究室

井上 慎 教授 船波寛史(M2) 米田光佑(M1)
堀越宗一 特任准教授 藤野真幸(M2) 浅井 裕智(B4)
加藤宏平 特任助教

研究概要

1. ユニタリーフェルミ気体における状態方程式の精密測定 (船波、米田、堀越)

6Li冷却フェルミ気体を用いてユニタリー極限の状態方程式を精密測定し、得た状態方程式からビリアル係数の評価を行った。ユニタリー極限とはBCS-BECクロスオーバー領域内のs-波散乱長が発散している状態であり、構成している粒子同士が強い相関を持っている強相関フェルミ多体系として振る舞う。またビリアル係数とは状態方程式をフガシティーで高温展開した際の展開係数であり、少数系の物理情報を含んでいる。有限温度のクロスオーバー領域では散乱長が負から正にかけて、原子から分子状態へと連続変化することが知られており、この階層変化を少数系の物理から理解するためにビリアル係数に注目した。クロスオーバー領域の中で、ユニタリー極限は3次のビリアル係数 Δb_3 の実験研究と理論研究の一致が確認されているが、4次のビリアル係数 Δb_4 は確認されていない。そのためユニタリー極限の状態方程式に注目し、4 次のビリアル係数を評価した。

実験では様々な温度条件下でトラップ中の密度分布を精密測定し、熱力学関係式を用いて状態方程式を評価した。理想フェルミ気体での結果は解析解とよく一致し、実験データの信頼性を確認した。ユニタリー極限の高温側では3次の係数は $\Delta b_3 = -0.356(4)$ となり先行研究との一致が確認でき、4次の係数の評価結果は $\Delta b_4 = 0.066(9)$ となり理論計算とエラー範囲内で一致した。また低温側で先行研究との異なる振る舞いの考察を踏まえて、クロスオーバー領域に渡る測定技術が確立された。

2. ルビジウム87のグレイモラセス冷却 (藤野、加藤、井上)

87Rbと41Kの混合ボースアインシュタイン凝縮体(BEC)を用いた相分離過程の研究を行うにあたり、BEC中の原子数を最大化することは喫緊の課題である。原子に対する予備冷却としてグレイモラセス冷却を行うことで、位相空間密度を1桁程度改善することが期待できる。グレイモラセス冷却のためには、原子をF=1とF=2の重ね合わせ状態に「隠す」ための2光子遷移を可能にする光源が必要である。2つの外部共振器半導体レーザーのビート信号をファンクションジェネレーターからのマイクロ波に位相周波数同期(PLL, Phase-Lock Loop)することで、差周波の狭窄化を行なった。2つのレーザー光のビートスペクトルの線幅は 0.79Hz であり、グレイモラセスに十分な性能が得られたと言える。この光源で暗状態が生成できることを確認するために、ガラスセル中の常温のRb原子気体を用いて電磁誘起透明化(Electromagnetic Induced Transparency, "EIT")が観測できることを確認した。

教育・研究業績

学術論文

1. Yiping Chen, Munekazu Horikoshi, Makoto Kuwata-Gonokami, and Kosuke Yoshioka: "Creating a noninteracting Bose gas in equilibrium at finite temperature", Phys. Rev. A **105**, 043312 (2022).

国際会議講演

1. Munekazu Horikoshi: "Toward complete of the phase diagram of the BCS-BEC crossover"

学会・研究会講演

1. 堀越宗一：「冷却原子を用いた核物質状態方程式の量子シミュレーション」
RCNP 研究会 「低エネルギー核物理と高エネルギー天文学で読み解く中性子星」
2022年8月5日、大阪大学核物理研究センター
2. 堀越宗一：「冷却分子を用いた励起分子状態の精密分光」
理研シンポジウム「冷却分子・精密分光シンポジウム」
2022年8月26日、理科学研究所
3. 堀越宗一：「BCS-BECクロスオーバーの相図完成に向けて」
冷却原子研究会「アトムの会」
2022年9月21日、関西セミナーハウス
4. 川口泰加, 船波寛史, 加藤宏平, 井上慎, 堀越宗一：
「ベイズ最適化を用いた冷却 6Li 原子実験の最適化」
日本物理学会 2022年秋季大会, 2022年9月13日, 東京工業大学
5. 船波寛史, 米田光佑, 加藤宏平, 井上慎, 堀越宗一：
「BCS-BECクロスオーバー領域におけるビリアル係数の評価」
日本物理学会 2022年秋季大会, 2022年9月13日, 東京工業大学
6. 米田光佑, 船波寛史, 加藤宏平, 井上慎, 堀越宗一：
「有限温度BCS-BECクロスオーバー領域における等温圧縮率の測定」
日本物理学会 2022年秋季大会, 2022年9月13日, 東京工業大学
7. 井上慎：
「冷却原子でめぐる2体の共鳴、3体の共鳴、そして分子」
応用物理学会北海道支部, エンレイソウの会, 2022年10月25日, 北海道大学
8. 船波寛史, 米田光佑, 加藤宏平, 井上慎, 堀越宗一：
「BCS-BECクロスオーバー領域におけるビリアル係数の評価 2」
日本物理学会 2023年春季大会, 2023年3月23日, オンライン開催

学位論文

修士論文

1. 船波寛史：「ユニタリーフェルミ気体における状態方程式の精密測定」
2. 藤野真幸：「ルビジウム87のグレイモラセス冷却のための光源開発」

研究助成金取得状況

1. 井上慎(代表)、加藤宏平(分担)：科研費・基盤研究(B)「2原子種ボース凝縮体の相分離過程の可視化と動的スケールリング仮説の実験的検証」559万円
2. 堀越宗一(代表)：科研費・基盤研究(B)「FFLO超流動の直接観測と第一原理計算による探索」650万円

その他

1. 井上慎：日本物理教育学会近畿支部総会記念講演「レーザーで原子を冷やす、分子を作る」オンライン開催、2022年5月21日
2. 主催研究会：第4回冷却原子研究会「アトムの会」、世話人：井上(大阪公大)、遠藤(東北大)、加藤(大阪公大)、岸本(電通大)、中島(京大)、福原(理研)、藤本(東工大)、堀越(大阪公大)
2022年9月21日-22日、関西セミナーハウス

3. 井上慎：“Promising Candidate for Quantum Simulation? New Metastable State of Ytterbium is Now Ready for Rydberg Tweezer Arrays”
Shin Inouye, JPSJ News Comments 19, 16 (2022) (解説記事)
4. 井上慎：2022年ノーベル物理学賞「量子もつれ」の解説
2022年11月8日、第4講義室(杉本キャンパス)+サイエンスホール(中百舌鳥キャンパス)

超低温物理学研究室

石川修六	教授	柿本直紀 (M2)
矢野英雄	准教授	島村椎耶 (M2)
小原 颯	講師	都田瑤馬 (M2)
		西村 歩 (M1)

研究概要

1. 熱対向乱流が生成する超流動ヘリウム4の量子乱流（矢野、小原、石川、都田）
超流動ヘリウム(^4He)の超流動成分と常流動成分の対向流は、臨界速度を超えると流路内に量子乱流を生成する。対向流による量子乱流の研究は数多く行われているが、対向流乱流の量子渦運動の研究はまだ少ない。我々は、狭い流路内で生成した対向流乱流から放出される量子渦輪を、流路外に設置した渦輪検出器で検出頻度を調べることで、流れに対する量子渦輪の運動と量子乱流の異方性を研究している。直径0.3 mmの流路端から0.2 mm離れた流路軸上に検出器（振動ワイヤー）を設置し、対向流を制御することで乱流生成から渦輪検出までの時間測定を行い、次のことを明らかにした。①検出時間の分布から平均検出頻度を見積もり、対向流速の増加に伴う検出頻度増加を見出した。②同じ対向流速では、超流動の流れる向きに運動する渦輪に比べ、逆向きに運動する渦輪の検出頻度が多いことを見出した。③超流動流とは逆向きに運動する渦輪は、ある速度を超えると急激に増加することを見出した。一方、超流動流の向きではこのような急増は見られない。急増が現れる速度領域は、常流動流れが層流から乱流へ遷移する領域と重なる。しかし異方的な急増を流路内の常流体流の状態変化だけでは説明できない。このように対向流乱流の渦輪放出の研究により、渦輪運動と乱流成長の異方性について明らかにした。
2. 超流動吸込渦の研究（小原、柿本、島村、西村）
超流動ヘリウムを強制的に回転させたらどうなるだろうか？ 容器を一様回転させた場合、直線的な渦糸が等間隔で三角格子を組むのが最終状態であるということはわかっていた。我々は最近、超流動中で直接回転するタービンを開発し、このタービンを用いて吸込渦（風呂桶の栓を抜いたときにできる渦と同様）を生成することに成功した。液面の形状から、渦糸は直径2 mm程度の領域（コア）に集中していることがわかった。超音波を用いた循環測定では、コア中では直線渦糸換算で1平方ミリあたり数万本に相当する渦糸が存在することがわかった。さらに、第2音波（超流動中を伝播する温度の波で、渦糸があると減衰する）の減衰測定を加え、吸込渦のコアには螺旋状の渦糸が堆積していることが明らかになった。これは、粘性流体でいえば、コア付近の渦度ベクトルが螺旋状に存在していることに対応する。じつは、粘性流体における吸込渦の構造もほとんど未解明である。超流動吸込渦の場合は第2音波を使って渦糸の局所平均密度（すなわち渦度）を計測できたため、粘性流体を含めた流体の吸込渦の構造を解明したことになる。さらに、固体水素微粒子を用いた量子渦の可視化実験を準備中である。
3. 低温で動作する NMR 用プリアンプの制作（小原）
低温下のNMR測定、特に微小試料の場合には、ある微小信号が熱雑音に埋もれてしまうため、特別な技術が必要にある。本研究では低温で動作するバイポーラ・トランジスタとpHEMTを用いて、1 MHz以上の周波数で入力インピーダンスが非常に大きく10倍以上の利得を得ることに成功した。本研究は新奇超伝導物質の評価を行う大阪大学の椋田グループへの技術協力である。

教育・研究業績

学術論文

1. N. Kakimoto, K. Obara, H. Yano and O. Ishikawa, “Circulation of Superfluid Suction Vortex”.
Journal of Low Temperature Physics. **208**, 379-385 (2022)
(DOI: 10.1007/s10909-022-02684-1)

国際会議講演

The 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29), Sapporo Convention Center, JAPAN (18–24 Aug. 2022)

- (1) K. Obara: Superfluid Suction Vortex (Talk)

International Conference on Ultra Low Temperature Physics (ULT2022), Otaru, Hokkaido, JAPAN (25–28 Aug. 2022)

- (2) H. Yano: Vortex Emission of Counter Flow Turbulence in Superfluid ^4He (Invited Talk)
- (3) K. Obara: Structure of Superfluid Suction Vortex (Poster)
- (4) Y. Miyakoda: Emission of Vortex Rings from Thermal Counterflow Turbulence in Superfluid Helium 4 —TII Turbulence State—(Poster)

学会・研究会講演

日本物理学会 2023年春季大会（オンライン、2023年3月22日～25日）

- (1) 微少試料NMR測定を可能にする極低温組込み型低ノイズアンプと平面型コイルの開発
西岡颯太郎, 桑原慶大, 吉永享平, 八島光晴, 椋田秀和, 小原颯
- (2) 超流動ヘリウム4熱対向流乱流の渦輪放出
都田謡馬, 小原颯, 矢野英雄, 石川修六
- (3) 熱対向流による細管中の量子乱流の異方的成長
吉坂颯紀, 小原颯, 都田謡馬, 矢野英雄, 石川修六

学位論文

修士論文

1. 柿本直紀：「循環測定による超流動吸込み渦の流れの構造」
2. 島村椎耶：「第二音波を用いた超流動吸込み渦の渦糸密度測定と光学窓付き無冷媒冷凍機開発」
3. 都田謡馬：「超流動ヘリウム4熱対向流乱流の渦輪放出」

研究助成金取得状況

1. 小原 颯：日本学術振興会・科学研究費補助金 基盤研究 (C)：「超流動ヘリウムを用いた吸込渦形成機構の解明」 (70 万円)
2. 矢野英雄：日本学術振興会・科学研究費補助金 基盤研究 (C)：「二流体流れ場における乱流の量子渦構造」 (130 万円)

その他

1. 小原：大阪府立大手前高等学校サイエンス探求中間発表会
2. 石川：低温工学・超電導学会関西支部基礎技術講習会 (2022年9月16日)
3. 石川、矢野：低温工学・超電導学会関西支部幹事

分子磁性研究室

細越裕子 教授

小野俊雄 准教授

山口博則 准教授

Miguel Pardo(D2)

上田大貴(M2)

古家日向(M2)

清水雄紀(M2)

中口直久(M2)

仲野希一(M2)

飯田百佳(M1)

築山陽菜(M1)

新井野修二郎(M1)

師田慧 (M1)

研究概要

1. 有機ラジカルによる新規磁性体の物質開発と量子磁気状態の解明（細越、上田、古家、清水、新井野、Pardo、小野）

軽元素から構成される有機ラジカル磁性体が顕著な量子効果を発現することに着目した新物質開発を行っている。ニトロニルニトロキシドの π 共役系を制御し、 $S = 1/2$ の8倍周期鎖および強磁性鎖の新物質合成に成功した。ビスニトロキシドベンゼンが強い分子内強磁性相互作用によって $S = 1$ 種を形成することを利用して、 $S = 1$ 磁気格子の新物質合成を行った。

$S = 1$ 梯子鎖を形成するBIP-TENOについて、100 Tの強磁場を高速掃引することにより、磁化曲線の多段階の飽和過程を明らかにし、さらに磁場誘起相転移の観測に成功した(論文3)。 $S = 1/2$ 梯子鎖物質4-F-2-NN-BIPについて、磁化、比熱、電子スピン共鳴実験から、低温物性を評価した。非磁性基底状態と磁化が生じる境界で、量子相転移を観測した。さらに飽和磁場近傍で特異な磁化過程を観測した(国際会議講演2)。三角スピンを形成する有機トリラジカルについて、中性子線回折実験と μ SR測定を行い、その微視的な磁気状態の解明を行っている。

2. 微細加工熱伝導率測定プローブの開発と評価（小野、中口、飯田）

有機ラジカル磁性体の熱伝導率測定に向けて、微細加工技術を用いた熱伝導率測定プローブの開発を進めている。十分な先行研究が存在し、かつ熱伝導率が最大でも10 W/(m·K)程度のNiCl₂·4SC(NH₂)₂を用いて、開発中のプローブの評価を行った。その結果、温度が100 K以下の温度領域で低温領域での測定値の再現性が悪くなることがわかった。この原因として、定常熱流法で使用している4端子のうち、測定の度に異なる端子で熱接触が低下していると推定された。熱接触の低下は、ヒーターや温度センサが成膜されているダイアフラムに生じている残留応力による座屈が原因として考えられる。そのため、ダイアフラムの素材を変更したプローブの製作を計画した。

3. ラジカル系錯体を用いた量子磁性体の開発（山口、仲野、築山、師田）

安定有機ラジカル的一种であるフェルダジルラジカルの設計性と多様性を活用した量子磁性体の開発に取り組んだ。特に、配位子として設計したフェルダジルラジカルを3d遷移金属と組み合わせた錯体の合成に積極的に取り組んだ。新規Zn錯体では、スピン1/2の4倍周期反強磁性鎖の形成が示唆された。二次摂動の効果を考慮した有効スピンモデルによる考察から、実効的な反強磁性交替鎖の形成が考えられた。さらに、量子モンテカルロ法によるシミュレーションによって、観測された磁化の振る舞いを定量的に再現することができた(論文1)。新規Mn錯体では、ラジカルとMnの2種類のスピンから成るミックス型強磁性鎖を実現した(論文2)。数値解析を通して磁気特性を定量的に再現し、比熱のダブルピーク構造を修正スピン波理論によるマグノン分散の観点から説明することができた。

教育・研究業績

学術論文

1. H. Tsukiyama, S. Morota, S. Shimono, Y. Iwasaki, M. Hagiwara, Y. Hosokoshi, and H. Yamaguchi: “Crystal structures and magnetic properties of verdazyl-based complexes with transition metals”, *Phys. Rev. Mater.*, **6**, No.9, 094417/1-8 (2022).
2. H. Yamaguchi, S. C. Furuya, S. Morota, S. Shimono, T. Kawakami, Y. Kusanose, Y. Shimura, K. Nakano, and Y. Hosokoshi: “Observation of thermodynamics originating from a mixed-spin ferromagnetic chain”, *Phys. Rev. B*, **106**, No.10, L100404/1-5 (2022).
3. Kazuya Nomura, Yasuhiro H. Matsuda, Akihiko Ikeda, Yoshimitsu Kohama, Hiroshi Tsuda, Naoki Amaya, Toshio Ono, and Yuko Hosokoshi: “Metastable magnetization plateaus in the $S = 1$ organic spin ladder BIP-TENO induced by a microsecond-pulsed megagauss field”, *Phys. Rev. B*, **105**, No.21, 214430/1-8 (2022).

国際会議講演

1. Yuko Hosokoshi: “Quantum states in frustrated molecular magnets”, International Conference on Molecular Spintronics Based on Coordination Compounds: Toward Quantum Computer and Quantum Memory Device (The 73rd Yamada Conference), International Symposium on Frontier and Perspectives of Molecule-Based Magnets (Institute for Materials Research International Symposium), 2022年10月8日, 東北大学片平さくらホール [招待講演]
2. Miguel Pardo-Sainz, Toshio Ono, Ismael Francisco Diaz-Ortega, Takumi Kihara, Hiroyuki Nojiri, Yohei Kono, Toshiro Sakakibara, Hironori Yamaguchi, Yuko Hosokoshi and Javier Campo: “Quantum criticality and anomalous magnetization in a purely organic spin ladder”, *ibid.*, 2022年10月10日, 東北大学片平さくらホール

学会・研究会講演

1. 師田慧, 山口博則, 細越裕子, 古谷峻介, 下野聖矢, 川上貴資, 草ノ瀬優香, 志村恭通: 「ミックス型強磁性スピン鎖における低温物性」 日本物理学会 2023年春季大会 オンライン開催 2022年3月25日

学位論文

修士論文

1. 上田大貴: 「ニトロキシドポリラジカルの合成と磁性」
2. 古家日向: 「ニトロニルニトロキシドラジカル結晶の構造と磁性」
3. 清水雄紀: 「ニトロキシドピラジカルの合成と磁性」
4. 中口直久: 「微細加工熱伝導率測定プローブの設計と検証」
5. 仲野希一: 「フェルダジラジカル系の低温磁気特性」

研究助成金取得状況

1. 小野俊雄: 学術振興会・基盤研究(C)「量子スピンによる熱マネジメントに向けた微細熱流プローブの開発」156万円
2. 細越裕子: カシオ科学振興財団・研究助成「ナノスケール分子磁石の縮重電子軌道を利用した新しいマルチフェロイクスの開拓」75万円

その他

1. Miguel Pardo: The 73rd Yamada Conference & Institute for Materials Research International Symposium ポスター賞, 2022年10月11日

構造物性研究室

久保田佳基 教授
石橋広記 准教授

芦谷拓嵩(D3)
廣藤誠(M2)
古川裕陸(M2)
正木秀知(M2)

田中将晴(M1)
西川圭祐(M2)
大坪康彦(B4)

研究概要

1. 多孔性配位高分子のガス吸着構造に関する研究 (久保田、芦谷、廣藤、古川、田中)

多孔性配位高分子 (PCP: Porous Coordination Polymer) 優れたガス吸着能を持ち、我々は放射光粉末回折法を用いてそのガス吸着状態の結晶構造解析を行ってきた。PCPが骨格構造を柔軟に変形しながらガス分子を取り込む機構は他の多孔性材料とは異なる大変重要な特徴であり、静的な構造だけでなく、ガス吸着ダイナミクス研究も重要である。

今年度は、CPL-1と呼ばれるPCPのCO₂吸着に着目し、その飽和吸着構造を明らかにするとともに、サブ秒オーダーの時間分解放射光粉末X線回折測定によりCO₂吸着相の時間変化と構造変化の相関を調べた。吸着相の時間発展をAvramiの式を用いて解析したところ、吸着初期に2段階の過程が存在することが示唆された。第1段階ではCO₂分子が細孔内へ取り込まれる際に細孔の形を大きく変化させ、吸着相の相分率がゆっくりと変化し続ける2段階目は、CO₂分子が細孔形状を少しずつ押し広げながら拡散し、最終的な飽和吸着相の分子配列に至る過程と推定された。また、ガス吸着相の時間発展の解析にベイズ推定を導入した。Avramiの式などの吸着モデルを用いて、最小二乗法では推定が困難な吸着開始時刻 t_0 を時間分解能の0.333秒よりも一桁小さい精度で求めることができた。そして、ベイズの自由エネルギーの評価によりAvramiの式が今回の吸着実験において最適なモデルであることが分かった。

ピラードレイヤー型PCPのCPL-4とCPL-5はピラー配位子を構成する原子がC-HとNとを置き換えた非常に類似した構造を持つが、吸着特性が大きく異なると報告されている。これらの物質のN₂、CO₂、O₂ガス吸着測定を行い、放射光粉末回折法によりガス吸着相の結晶構造解析を明らかにした。CPL-5はCPL-4と比べCO₂を選択的に吸着し、骨格構造の柔軟性と静電的なゲスト-ホスト相互作用の違いが吸着特性の違いの原因であることを実験的に解明した。

2. 層状酸化物の酸素吸収・放出と結晶構造の相関に関する研究 (石橋、正木、西川、大坪)

マルチフェロイック物質として知られる六方晶マンガン酸化物RMnO₃ (R = Y, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)は、RO₆多面体層と5配位のMnO₅六面体層がc軸に沿って積層した層状構造をもつ。これらのうち、R = Y, Hoでは酸素中で昇温することにより酸素を吸収して結晶構造が変化することが知られている。この挙動に着目し、我々は層状酸化物RMnO₃のTi置換体の作製を行い、主に放射光粉末回折法を用いてその精密な結晶構造を調べている。

今年度はHoMnO₃のTi置換体について、結晶構造および酸素吸収・放出特性を調べた。作製試料のTi置換量 x が $x < 0.15$ ではHoMnO₃と同様の六方晶の結晶構造であったが、 $x \geq 0.15$ では六方晶のc軸が3倍となる菱面体晶となることが分かった。また、XAFSスペクトルによる陽イオンの価数評価を行った結果、Mn³⁺がTi⁴⁺に置換されて組成がHoMn_{1-x}Ti_xO_{3+x/2}となり、作製試料において1組成中 $x/2$ の過剰酸素が含まれることが示唆された。過剰酸素を含めた精密構造解析により、この過剰酸素は(Mn/Ti)O₅六面体の隙間位置を優先的に占め、その近接に位置する(Mn/Ti)O₅六面体頂点の一部の酸素が欠損することが分かった。さらに、この酸素欠損位置の方向にHo原子がc軸に沿って変位することがわかった。次に、HoMn_{0.7}Ti_{0.3}O_{3.15}の作製試料についてアルゴン、空気、酸素中で熱重量測定を行い、酸素吸収・放出の挙動を示すことを明らかにした。さらに、これらのガス雰囲気中における放射光粉末回折その場測定により、菱面体晶を保ったまま酸素吸収・放出を起こすことが分かった。さらに、酸素吸収にともなってHo原子位置の特徴的な変位が観測され、この変位の大きさが過剰酸素量と相関があることを明らかにした。

教育・研究業績

学術論文

1. H. Ishibashi, F. Cubillas, K. Uchihashi, H. Tsukasaki, S. Kawaguchi, T. Ina, F. Brown, N. Kimizuka, S. Mori, and Y. Kubota: “Phase diagram and crystal structure of Ti-doped HoMnO_3 by high resolution synchrotron powder diffraction”, *J. Solid State Chem.* **312**, 123273(8 pages), (2022).
2. H. Ashitani, S. Kawaguchi, H. Furukawa, H. Ishibashi, K. Otake, S. Kitagawa, and Y. Kubota: “Time-resolved *in-situ* X-ray diffraction and crystal structure analysis of porous coordination polymer CPL-1 in CO_2 adsorption”, *J. Solid Stat. Chem.* **319**, 123796 (7 pages), (2023).
3. M. Mukoyoshi, M. Maesato, S. Kawaguchi, Y. Kubota, K. Cho, Y. Kitagawa, and H. Kitagawa: “Systematic Tuning of Magnetic Properties in Mixed-Metal MOF-74”, *Inorg. Chem.* **61**, 7226-7230, (2022).
4. Y. Maruta, K. Kusada, D. Wu, T. Yamamoto, T. Toriyama, S. Matsumura, O. Seo, S. Yasuno, S. Kawaguchi, O. Sakata, Y. Kubota, and H. Kitagawa: “Compositional dependence of structures and properties of platinum-group-metal quinary alloy nanoparticles”, *Chem. Commun.* **58**, 6421-6424, (2022).
5. H. Minamihara, K. Kusada, D. Wu, T. Yamamoto, T. Toriyama, S. Matsumura, L. S. R. Kumara, K. Ohara, O. Sakata, S. Kawaguchi, Y. Kubota, and H. Kitagawa: “Continuous-Flow Reactor Synthesis for Homogeneous 1 nm-Sized Extremely Small High-Entropy Alloy Nanoparticles”, *J. Am. Chem. Soc.* **144**, 11525-11529, (2022).
6. Z. Xue, J. Zheng, Y. Nishiyama, M. Yao, Y. Aoyama, Z. Fan, P. Wang, T. Kajiwara, Y. Kubota, S. Horike, K. Otake, and S. Kitagawa: “Fine Pore-Structure Engineering by Ligand Conformational Control of Naphthalene Diimide-Based Semiconducting Porous Coordination Polymers for Efficient Chemiresistive Gas Sensing”, *Angew. Chem. Int. Ed.* **62**, e202215234(5 pages), (2023).
7. H. Sato, T. Matsumoto, K. Maeda, Y. Taguchi, N. Kawamura, H. Ishibashi: “Metal-insulator transition in CuIr_2S_4 observed by Cu $K\alpha$ resonant x-ray emission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **106**, 155151(8 pages), (2022)

国際会議発表

1. M. Hirofujii et al.: “Crystal structure analysis and gas adsorption measurement of CPLs”, The 17th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA2022), 2022年10月30日, 韓国 Ramada Plaza Jeju Hotel.
2. H. Furukawa et al.: “Analysis of phase change in porous coordination polymer CPL-1 using Bayesian estimation”, The 17th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA2022), 2022年10月30日, 韓国 Ramada Plaza Jeju Hotel
3. H. Ashitani et al.: “Dynamic structural measurement of CPL-1 during CO_2 adsorption process”, The 17th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA2022), 2022年10月30日, 韓国 Ramada Plaza Jeju Hotel
4. H. Ishibashi et al.: “Phase diagram and crystal structure of Ti-doped HoMnO_3 by synchrotron powder diffraction”, The 17th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA2022), 2022年10月30日, 韓国 Ramada Plaza Jeju Hotel

学会・研究会発表

1. 廣藤誠ほか: 「CPL系多孔性配位高分子のガス吸着測定と結晶構造解析」日本結晶学会令和4年度年会 2022年11月26日 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス
2. 古川裕陸ほか: 「ベイズ推定を用いた多孔性配位高分子CPL-1のガス吸着過程の観測」日本結晶学会令和4年度年会 2022年11月26日 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス
3. 西川圭祐ほか: 「放射光粉末回折実験による擬二元系酸化物 $\text{RMnO}_3\text{-R}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (R = Dy, Ho, Er, Yb)の相図と結晶構造解析」日本結晶学会令和4年度年会 2022年11月27日 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

4. 石橋広記ほか：「層状酸化物 $\text{HoMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{3+\delta}$ ($x=0.3$) における酸素吸収・放出挙動と結晶構造変化」日本結晶学会令和4年度年会 2022年11月27日 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス
5. 芦谷拓嵩：「CPL-1の CO_2 吸着過程における動的構造計測と CO_2 吸着構造の解明」日本結晶学会令和4年度年会 2022年11月27日 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

学位論文

修士論文

1. 廣藤誠：「ピラードレイヤー型多孔性配位高分子CPL-4, 5のガス吸着測定と精密結晶構造解析」
2. 古川 裕陸：「ベイズ推定を用いた多孔性配位高分子のガス吸着ダイナミクスの解析」
3. 正木 秀知：「層状酸化物 $\text{HoMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{3+\delta}$ ($x=0.3$)における酸素吸収・放出挙動と結晶構造」

博士論文

1. 芦谷拓嵩：“Studies on Static and Dynamic Structures of Porous Coordination Polymers during CO_2 Adsorption Process”

研究助成金取得状況

1. 久保田佳基：学術振興会・基盤研究(B)「多孔性配位高分子のガス分子認識と吸着過程の構造変化の観測」390万円（代表）
2. 石橋広記：学術振興会・基盤研究(C)「六方晶マンガン酸化物をベースとした層状酸化物の酸素貯蔵機能と結晶構造学的研究」78万円（代表）
3. 河口彰吾：学術振興会・基盤研究(B)「複合環境下リアルタイムナノ空間構造計測システムの開発と構造可視化」65万円（分担）

熱電物性研究室

小菅厚子 准教授 濱元亮佑 (M2) 高尾 侑希 (B4)
安藤美恵 技術スタッフ 今井大樹 (M1) 松尾 遼 (B4)
青木理恵子 事務スタッフ 岡明則 (M1)

研究概要

本研究室では、物質科学、固体物理、半導体物性に立脚した新物質開発と、それらの機能の発現機構を明らかにするための物性研究を行っている。特に、熱と電気の相互作用を利用したエネルギー変換材料である熱電変換材料を対象に、構造と輸送特性の相関を探り、かつ高熱電性能化させるための研究を推進してきた。

1. ゲルマニウムテルライド系熱電材料のキャリア濃度制御（濱元，安藤，小菅）
ゲルマニウムテルライド系熱電材料において、キャリア濃度を調整することで、熱電特性の高性能化を図ることを目的に、結晶構造、バンド構造、熱電特性の関係について、実験及び第一原理計算を用いて明らかにした。
2. ハイエントロピー熱電材料の作製とその物性測定（岡，高尾，松尾，安藤，小菅）
複数の熱電材料において、エンタルピー変化に対する配置エントロピーの変化を大きくすることで、対称性の高い結晶構造を安定化させることを狙ったハイエントロピー熱電材料を作製し、配置エントロピー、結晶構造、構造安定性、熱電特性の相関を明らかにする研究に着手した。今年度は、試料の作製とその同定を行った。
3. ゲルマニウムテルライド系熱電材料の音速測定（今井，安藤，小菅）
ゲルマニウムテルライド系熱電材料の組成による格子熱伝導率の変化の要因を探るため、音速測定を行った。前年度から装置に不具合が生じていたため、装置の修理や校正用試料の選定や校正用試料での測定などを行い装置の状態は改善された。また、ゲルマニウムテルライド系熱電材料においては複数の試料を作製し、妥当な測定結果を得ることができた組成もあったが、試料が脆く上手く測定ができない組成もあったため、次年度も引き続き測定を行う予定である。

教育・研究業績

学術論文

1. T. Oku* and A. Kosuga*: “Band Effective Masses of Cubic (GeTe)₁₀Sb₂Te₃ and Its Anisotropy” *Mater. Trans* **64**(2), 522-526, 107462 (2023).

学会誌・商業誌での書き物

1. 小菅厚子：「ストーリーを共有する場」（巻頭言）
日本熱電学会誌（日本熱電学会），18(3), 135, (2022).
2. 小菅厚子：「日本熱電学会誌のJ-STAGEへの登載」
日本熱電学会誌（日本熱電学会），18(3), 136-138, (2022).
3. 小菅厚子：書評「確かめてナットク！物理の法則」
応用物理（応用物理学会），91(8), 523, (2022).

4. 小菅厚子：「室温排熱を回収するための新規熱電変換材料の開発」
自動車技術（自動車技術会），76, 82-88, (2022).
5. 小菅厚子：「学会誌編集委員会からのご挨拶」
日本熱電学会誌（日本熱電学会），19(2), 100, (2022).
6. 小菅厚子：「歴代編集委員長が選ぶこの記事 ～一般社団法人化前第1期（2004～2006年）」
日本熱電学会誌（日本熱電学会），20(1), 21, (2023)

国際会議講演

1. A. Kosuga: “Excellent room-temperature electrical properties in GeTe systems via multiple valence band convergence to a narrow energy range” <invited>
IUMRS-ICAM2021 (the International Union of Materials Research Societies-International Conference on Advanced Materials (ICAM2021), Cancun, Mexico & online, August 2022.

学会・研究会講演

1. 岡 明則, 五十鈴川 拓也, 小菅 厚子：「GeTe-rich Ge-Sb-Te系材料の電気的特性を支配する因子」，第19回日本熱電学会学術講演会，アオーレ長岡，2022年8月.
2. 小菅厚子：「多元化合物の熱電材料への応用」<依頼講演>，多元系化合物・太陽電池サマースクール2022，オンライン，2022年8月.
3. R. Hamamoto, T. Oku, A. Kosuga: “GST-based Bulk Thermoelectric Materials: High Thermoelectric Performance near Room Temperature”，The 34th Symposium on Phase Change Oriented Science (PCOS2022), virtual conference, November 2022.
4. 小菅厚子：「これからの若い研究者へのメッセージ～私の個人的な節目をふりかえって～」<招待講演>，本物理学会 2023年春季大会 Luncheon meeting 「近未来の若手人材のキャリア・社会接点を考える」，オンライン，2023年3月.

研究助成金取得状況

1. 小菅厚子：第15回 資生堂 女性研究者サイエンスグラント 「室温廃熱を回収するための高性能熱電材料の開発」.
他2件（過年度からの継続含む）

受賞

1. 小菅厚子：第15回資生堂 女性サイエンスグラント受賞，2022年7月.
2. R. Hamamoto, T. Oku, A. Kosuga: PCOS Award, The 34th Symposium on Phase Change Oriented Science (PCOS2022), virtual conference, November 2022.

その他

- <地域貢献>女子中高生のための関西科学塾における実験講座，2022年10月.
<学会のorganize> Asian Board of Organizers, VCT2022 (the 2022 edition of the Virtual Conference on Thermoelectrics), 2022年7月.

以上

極限物性研究室

野口 悟 教授

吉田 勝一 (M2)

前川 翔 (M1)

有川 雄太 (B4)

辻林 実莉 (M2)

研究概要

強磁場物性研究分野ではロードマップ2020に採択された「強磁場コラボトリー」があり、本研究室も本学の強磁場環境利用研究センターを通じて協力機関として参画している。但し、その様式はビッグプロジェクト参加ではなく、小回りの利くスモールアンドインディビジュアルな手法で、具体的には1 K以下の極低温環境を如何にして30テスラ以上の強磁場環境と組み合わせるかにテーマを絞って研究を進めている。本年度は以下の4つの研究を行った。

1. ロングパルスマグネット用断熱消磁クライオスタットの開発 (野口、吉田)

パルス強磁場によって誘起される電流による発熱が1 K以下の極低温環境を阻害するため、パルス強磁場発生部に金属材料が使用できない。ただし、パルス幅が長くなればそれに反比例して誘導電流が小さくなるため、ロングパルスマグネットと極低温環境の組み合わせには優位性がある。この指針に基づいてロングパルスマグネット用断熱消磁クライオスタットの開発を行った。その結果、 ^3He を用いない常磁性断熱消磁法によって0.5Kの極低温環境を得ることに成功した。低温物理学国際会議 (LT29) 等で成果発表を行った。今後、この極低温下でパルス磁場印加を行い開発研究成果を実証する。

2. 超伝導マグネットシステムを転用したパルス強磁場断熱消磁クライオスタットの開発 (野口、前川)

市販の超伝導マグネットシステムを用いれば高磁場大口径かつ安定した磁場空間により、大きな磁気冷凍能力が得られる、というアイデアに基づいて8Tマグネットを断熱消磁専用のシステムに改造したクライオスタットを設計、製作している。試算では ^3He を用いずに0.1K以下の極低温環境に達する結果を得ている。物性物理学アジア太平洋国際会議で経過発表を行った。

3. 2つの同軸ピックアップコイルを用いたパルス強磁場化測定装置の開発 (野口、辻林)

多重極限下の測定の実現にはいくつかの制約条件が付いてくる。例えば試料の有り無しで引き算を行い正確な磁化を求める従来手法が試料を動かせなくなると使えなくなる。そのようなケースを想定して、本研究では一度の測定で試料の有り無しデータを得るための装置開発を行った。2つのピックアップコイルセットを用いるというアイデアである。全く同一特性のコイルを作製することが難しいことが判ってきたが、少なくとも補償コイルなしで磁化測定できるシステムの開発に成功している。

4. クランプセルを用いた高圧下1GPaにおけるCeSiの磁性研究 (野口、有川)

本研究は強相関物性の圧力効果に着目した物性研究である。CeSiは近藤効果を示さないCe化合物と位置付けられ、6 Kで反強磁性秩序を示す。この反強磁性秩序は正弦波振幅変調構造を取ることが中性子回折実験から判っている。我々はこれまでに単結晶試料を作製し、大きな負の磁気抵抗や異常ホール効果を示す物性を明らかにしてきた。いずれも大きなスピン揺らぎがあることで理解される。この系に圧力を加えるとイオン半径の違いに起因する Ce^{3+} から Ce^{4+} への移行を促し、近藤状態が誘起されると考え、高圧下磁化測定を開始した。予備的な結果であるが、1 GPa の圧力下で反強磁性による磁化のピークが消失するデータが得られている。

教育・研究業績

学術論文

国際会議会議録

国際会議講演

1. S. Yoshida, S. Noguchi, M. Mikawa, Y. Narumi, M. Hagiwara: “ ^3He -free cryostat based on adiabatic demagnetization and ^4He heat conduction down to 0.5 K”, The 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29), 2022年8月18-24日, 札幌コンベンションセンター、札幌
2. S. Yoshida, S. Noguchi, M. Mikawa, Y. Narumi, M. Hagiwara: “ ^3He -free cryostat for pulsed magnet based on adiabatic demagnetization and ^4He heat conduction down to 0.5 K”, Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics (AC2MP2022), 2022年11月21-23日, 東北大学金属材料研究所、仙台
3. S. Maegawa, S. Noguchi: “Creation a combined of cryogenic and high magnetic field environment by inserting a pulse magnet in an adiabatic demagnetization cryostat”, Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics (AC2MP2022), 2022年11月21-23日, 東北大学金属材料研究所、仙台

学会・研究会講演

1. 野口悟、「実験を安全に行うには一極低温編（寒剤）」第8回強磁場実験入門セミナー、2022年5月6日、大阪大学
2. 前川翔、野口悟：「超伝導マグネットシステムを活用した、パルス強磁場・断熱消磁クライオスタットの作製」低温工学・超電導学会関西支部特別講演会（第21回低温工学・超伝導若手）2022年11月18日、大阪
3. 野口悟、「試料作りから装置作りまで一数々の失敗談を交えて一」令和4年度神戸大学物性実験研究室セミナー、2022年12月10日、神戸大学
4. 前川翔、野口悟：「超伝導マグネットシステムを転用したパルス強磁場断熱消磁クライオスタットの開発」日本物理学会2023春季大会 23pPSC29 オンライン
5. 吉田勝一、野口悟、三川基、鳴海康雄、萩原政幸：「パルス強磁場用断熱消磁クライオスタットの開発」日本物理学会2023春季大会 25pC1-3 オンライン

修士論文

1. 吉田勝一：「断熱消磁法と ^4He 熱伝達を用いたパルス強磁場用 ^3He フリークライオスタットの製作」（ ^3He -free cryostat for pulsed magnet based on adiabatic demagnetization and ^4He heat conduction down to 0.5 K）

卒業論文

1. 有川雄太：「高圧下1GPaにおけるCeSiの磁化測定」
2. 辻林実莉：「2つの同軸ピックアップコイルを用いたパルス強磁場磁化測定装置の開発」

研究助成金取得状況

その他

1. 野口悟：「2022液体ヘリウム利用者講習会」2022年6月10日、13日、中百舌鳥キャンパスC10棟

2. 野口悟、吉田勝一：「パルス強磁場用極低温実験装置の開発」パルス強磁場施設利用課題（兼強磁場コラボトリー横断課題）2022年度前期後期
3. 野口悟：②「超伝導の不思議」～極低温と磁力～、「こども・親子科学教室」狭山池まつり実行委員会事業、2022年8月6日、大阪狭山市立公民館
4. 野口悟：低温工学・超電導学会関西支部副支部長