



Guide Book 2024

NewtonFest.

ニュートン祭の概要

ニュートン祭とは、九州大学理学部物理学科・九州大学大学院理学府物理学専攻・九州大学大学院理学研究院物理学部門（以下「九大物理」）構成員のみなさまの親睦を深め、この先の配属やコース選択などの手助けになるような機会を設けることを目的とした、交流期間および複数のイベントの総称です。例年、レクリエーション、研究室訪問、パンフレット制作、そして年末に懇親会を開催しております。

何を研究してみたいのかまだ決まっていない方も、自分の興味のある研究について知りたい方も、九大物理での交友関係を深めたい方も、ぜひ積極的に参加してみてください。



運営委員長挨拶

ニュートン祭 2024 運営委員長の金山 翔（かなやま つばさ）と申します。6月初め頃に昨年度の運営から引き継ぎ、これまで運営委員会で準備をしてまいりました。今年度は昨年度の企画を一部変更し、多くの方に新鮮な体験をしてもらい、物理学科全体を盛り上げたいという想いを持って運営しておりました。さて、個人的な話にはなるのですが、私は物理学科の教員の方々と昼休みによくサッカーをしており、学部生の中では教員とのつながりが多い学生であるという自信があります。自分が教員の方々とサッカーをするきっかけになったのが、学部1年の頃に参加したニュートン祭のレクリエーションでのサッカーでした。当時の学部3年生がニュートン祭の運営をしてくださったおかげで今の大学生生活があると思います。その感謝も込めて、今年度の運営委員長をさせていただいております。

最後になりますが、今年度のニュートン祭が開催できているのも運営委員をはじめ、協力してくださった教員方、研究室の皆様、学生の皆様、ほか関わっていただいたすべての皆様のおかげです。ニュートン祭に参加された方々に、少しでも運営委員会に感謝を感じていただくことができれば、運営委員長として冥利に尽きる想いです。

運営委員会

副委員長
鈴山 鉦生

パンフレット
永光 野乃佳
佐藤 里奈

会計
藤岡 優心

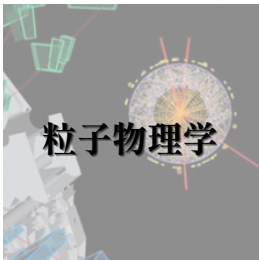
レク・懇親会
高橋 宏都
呉 撰泳

広報
下鶴 直久

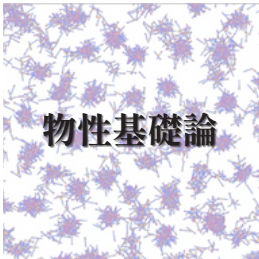
目次



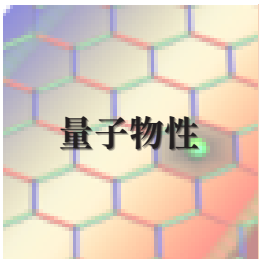
素粒子理論研究室	5
粒子系理論物理学研究室	10
理論核物理研究室	14
宇宙物理理論研究室	18



素粒子実験研究室	22
実験核物理研究室	26



物性理論研究室	31
凝縮系理論研究室	35



磁性物理学研究室	39
光物性研究室	42
創発量子物性研究室	46
固体電子物性研究室	51



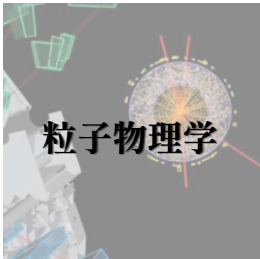
複雑物性基礎研究室	57
複雑生命物性研究室	61

研究室紹介

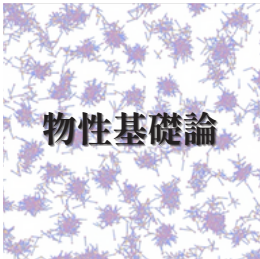


素粒子理論研究室	5
粒子系理論物理学研究室	10
理論核物理研究室	14
宇宙物理理論研究室	18

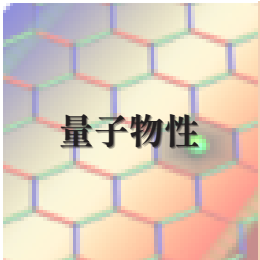
理論の力で宇宙を理解したい



素粒子実験研究室	
実験核物理研究室	



物性理論研究室	
凝縮系理論研究室	



磁性物理学研究室	
光物性研究室	
創発量子物性研究室	
固体電子物性研究室	



複雑物性基礎研究室	
複雑生命物性研究室	

粒子宇宙論

素粒子理論研究室

Elementary Particle Theory Group

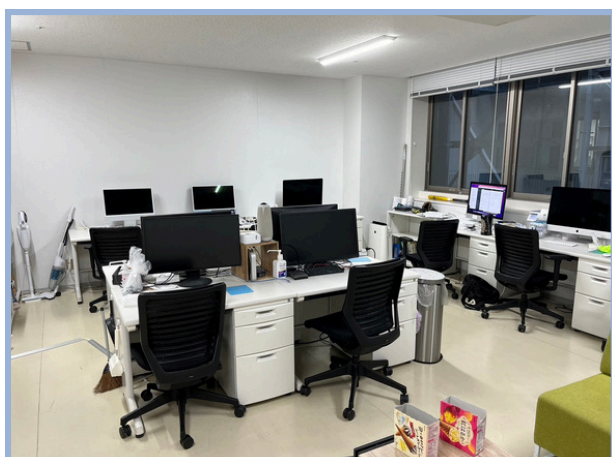
HP : <https://sites.google.com/view/kyushu-het>

コアタイム：週に1回

研究キーワード：場の量子論、量子異常、格子ゲージ理論、厳密くりこみ群、標準模型を超えた物理、素粒子模型構築とその現象論・宇宙論、超弦理論、素粒子統一理論、カラビ・ヤウコンパクト化、機械学習、量子重力、AdS/CFT対応、量子エンタングルメント、共形ブートストラップ、二次元共形場理論、圏論的対称性、アノマリー、非超対称弦理論とブレーン

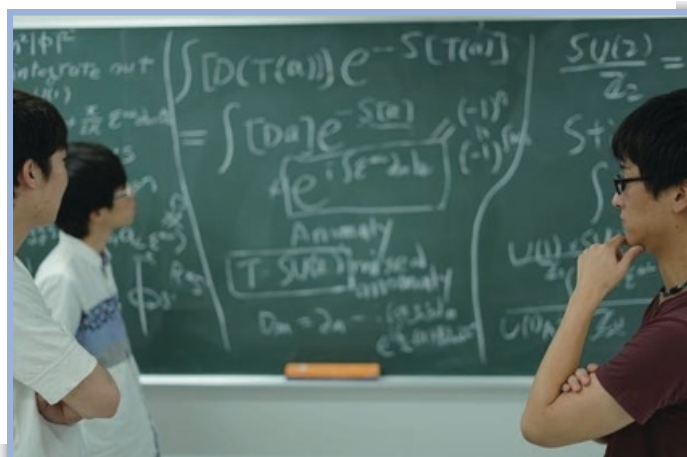


学生部屋の様子▼



Member

教授	鈴木 博
准教授	津村 浩二 楠亀 裕哉 Justin Kaidi
助教	大塚 啓
学術研究員	古賀 勇一 Yuefeng Liu
名誉教授	井上 研三
博士2年	阿部 元一 西村 皐 宮尾 光
博士1年	小野田 壮真 甲斐 貴文 中嶋 陽平 Riasat Sheikh
修士2年	内山 晴貴 船越 秀太 本田 大和
修士1年	原田 互 平崎 騎士 柳田 峻太
学部4年 (特別研究生)	キム ウソン 高橋 周大 北川 遥翔 永尾 空人 永野 陽紀



ゼミの風景▲



▲新歓BBQの様子



教員プロフィール



鈴木博 教授

前期に電磁気学IIを担当していましたので、三年生の皆さんには既におなじみかと思います。素粒子理論の中でも、場の量子論の題材を主に研究しています。場の量子論は、その摂動論的領域はよく理解されているのですが、非摂動論的領域は広大な未開の地で、この領域の開拓を目指しています。くりこみ群、格子場の理論、対称性とアノマリー、などがキーワードです。



津村 浩二 准教授

素粒子実験や宇宙観測に関係した現象論的研究を行っています。最後に発見された素粒子であるヒッグス粒子や、未だ謎の多いニュートリノや暗黒物質をどうやって検証するのかを研究しています。特に対称性とその破れの観点から新物理模型を構築し、その模型の理論予測を調べて実験結果と突き合わせることを行っています。



大塚 啓 助教

超弦理論に基づく素粒子現象論および宇宙論に関する研究を行っています。特に、6次元余剰次元空間のコンパクト化やその幾何学的対称性がもたらす素粒子現象論に注目しています。また、機械学習を用いた素粒子理論・弦理論に関する研究にも取り組んでいます。



楠亀 裕哉 准教授

素粒子理論（フォーマル）の研究をしています。去年までCaltechでポスドクをしており、今年から九大に着任しました。研究内容は量子重力理論の理解に向けた数学的手法の開発・応用です。具体的には、AdS/CFT対応、共形ブートストラップ、エンタングルメントを用いた新しい解析手法の模索です。また、こうした手法を応用して量子多体系（場の理論）の分類問題にも取り組んでいます。



Justin Kaidi 准教授

2024年から素粒子理論研究室に所属しています。主な研究分野は場の量子論と超弦理論です。最近では圏論的対称性という、量子力学独特の対称性の研究を進めています。通常の対称性が現代物理学の基礎的な考え方の一つになったのと同様、圏論的対称性もいつか物理学の大きな進歩に繋がると期待されています。



アピールポイント

雰囲気

自由活発な雰囲気で、ゼミや研究室行事に関すること以外は基本的に自由です。メンバー同士の交流が盛んで、今年度は院試が一段落してからは、修士学生と学部学生と一緒に自主ゼミに取り組む様子も見られました。素粒子物理学の内容を理解するにはじっくり勉強をする必要があるため、学問や研究に対して自主的に積極的に向かうと、より楽しく充実した生活が送れるでしょう。

人

物理好きはもちろん、皆さんが何かしらの好み・趣味を持っているため、ひとたび話が盛り上がればなかなか止まりません。お話好きが多いのでしょうか。個性豊かで好奇心旺盛、というのが一番ピッタリな言葉です。

環境

文献紹介やセミナー等の行事では粒子系理論物理学研究室・宇宙物理理論研究室などとの交流もあり、そちらの方々からも質問・アドバイス・指導を受けられるので、より一層充実した環境で研究ができると思います。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
5月	粒子宇宙論合同新歓コンパ
8月	原子核三者若手夏の学校(東京)
1月	博士論文公聴会
2月	修士論文公聴会
3月	追い出しコンパ
不定期開催	文献紹介・セミナー
毎週金曜日	研究室会議

週に1回の頻度で研究室会議とセミナーを行っています。文献紹介では担当者が面白そうな論文を探してきて皆に紹介します。セミナーでは外部から講師を招き、最新の研究内容について解説してもらいます。状況が許せば、セミナーの後に講師の方を交えて食事に行くこともあります。



実績

研究

<https://inspirehep.net/literature?sort=mostrecent&size=25&page=1&q=rn%20KYUSHU-HET%2A>

就職先

公務員／三井住友海上火災保険／三菱スペース・ソフトウェア／ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング／大和証券／TIS 西日本／フソウ／昭和発酵キリン／インディアナ大学／株式会社 NS ソリューションズ西日本／住重加速器サービス株式会社／新潟大学／台湾国立交通大学／高エネルギー加速器研究機構／九州大学高等教育開発推進センター／アクセンチュア／NTT コムウェア／構造計画研究所／富士総研／日立エンジニアリング／NEC／野村総研／ニトリ／文部科学省／西教特許事務所／塾講師／予備校講師／高校教員など

学部学生のほとんどは大学院に進学し、修士卒業生は博士後期課程に進学する人、企業に就職する人がいます。博士後期課程に進学した人の民間企業への就職も概ね良好です。いつの時代も研究職への道は険しいですが、ポスドクとして海外で研究される方も多いです。



研究内容

素粒子とは全ての物質を構成するこの世界で最も基本的な存在であり、様々な種類のものが知られています。我々の観察する多種多様な現象は、全てこの素粒子の性質とその間に働く力がもとになって起こっており、従って素粒子物理学は我々が自然をより深く理解するためには欠くことのできない重要な研究分野です。素粒子の世界は我々の直感と相反するような不思議な世界であり、未だによく理解されていない部分が数多く残されています。当研究室ではそれら素粒子に関する謎の解明を目標とし、具体的には以下のようなことを研究しています。

1. 素粒子標準模型を超えた現象論

現在、実験的に検証されている限りで最も基本的な物理理論は**標準模型**と呼ばれるものであり、約10のマイナス18乗メートル（原子核の1000分の1）の大きさまでの物理を正しく記述します。2012年には**ヒッグス粒子**が発見され、LHC実験の最先端はヒッグス粒子の精密検証のフェーズへと移っています。一方で、実験・観測の進展により標準模型を超えたさまざまな現象が見つかってきています。なかでもニュートリノがゼロでない微小質量をもつことや**暗黒物質**の存在することは疑いないものとなっており、その起源を明らかにすることがますます重要になってきています。

特に我々は標準模型において全ての粒子の質量の起源となっている**電弱対称性の破れ**がどのように実現されているのかに興味を持って研究しています。標準模型においてヒッグス粒子の質量はパラメータですが、発見されたヒッグス粒子の質量は理論的に「自然な」値ではありません。この標準模型に内包された問題が電弱対称性の破れの起源に強く結びついていると考えられています。我々はそのような物理が何であるかについて想像を巡らし、それを実験や観測からどのように検証すればよいのかを考察しています。また比較的新しい考え方である、超高エネルギーでの境界条件による理解など新しい可能性についても模索しています。

2. 場の量子論の非摂動論的研究

素粒子を記述する基本言語が場の量子論です。ファインマンダイアグラムで表される場の量子論の摂動論は、摂動論的くりこみ理論により不定性なく定式化されており、とてもよく理解されています。一方、クォークの閉じ込めや**カイラル対称性**の自発的破れ、トンネル現象など、自然界には摂動論では理解できない非摂動論的現象があることが知られており、場の量子論の非摂動論的側面には多大の関心が持たれます。しかし、場の量子論の非摂動論的研究には一般的な処方箋が存在せず、広大な未踏の地が広がっています。我々のグループは、この場の量子論の非摂動論的側面の研究を可能にする枠組みの開発に取り組んでいます。場の量子論の非摂動論的計算手法としては、4次元時空間を離散化することでゲージ場の量子論の非摂動論的側面を解析する**格子ゲージ理論**が代表的なものですが、我々は**グラディエントフロー**という手法を用いて格子ゲージ理論におけるエネルギー運動量テンソルの構成に成功しました。この構成はスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションに実際に応用されています。また最近では**ゲージ対称性を保った厳密くりこみ群**の定式化にも成功し、これを用いてゲージ場の量子論の非摂動論的くりこみ固定点を探索する研究にも取り組んでいます。

3. 超弦理論に基づく素粒子現象論

自然界で観測されている4つの力（重力・電磁気力・強い力・弱い力）を量子論的に記述する統一理論の最有力候補が「**超弦理論**」です。超弦理論は、素粒子ではなく「**弦**」を基本要素とする理論で、我々が認識している4次元（空間3次元＋時間1次元）に加えて6次元の余剰次元空間を预言します。この余剰次元空間は観測されない程度に小さくコンパクト化されていると考え、我々は直接認識できません。超弦理論の誕生後36年以上、**カラビ-ヤウ多様体**をはじめとする膨大な数の6次元コンパクト空間が調べられてきましたが、未だコンパクト化のルールの全貌は不明であり、素粒子標準模型の導出には至っていません。

6次元コンパクト空間の幾何学量や幾何学的対称性は、素粒子の世代数、世代構造、結合の強さ、CP対称性の破れ等を決定します。我々は、6次元コンパクト空間の持つ豊かな幾何学的構造に注目し、超弦理論に基づく素粒子現象論を研究しています。また、超弦理論に現れる6次元コンパクト空間とその真空構造の探索手法として、近年発展が著しい機械学習・深層学習等を用いた研究も行っています。



特別研究（学部 4 年）

どんな特研をやりませんか？

今のところ未定ですが、素粒子標準模型・場の量子論に関するテキストを輪講する予定です。後期の後半には、勉強したことの中からテーマを選び、卒業論文（レポート）を作成してもらおうと思います。（英語の）論文で知識を補ったり、自分で考えたり、紙と鉛筆またはコンピュータで計算したことなどをTeXでまとめ、最後には大学院生や教員の前で発表をしてもらう予定です。

輪講はどんなふうにやるのですか？

発表者（レポーター）には参加者の前で黒板を使いながらテキストの内容について解説し、議論をリードしてもらいます。レポーターは前もって決めずに、ゼミの当日にランダムにレポーターを決めています。つまり参加者全員が毎回発表の準備をしてくる必要があります。このようにすることで、輪講を単なる英文の和訳の会ではなく、本当の物理の内容だけを議論するexcitingな場にするのが狙いです。

研究にあたって必要な知識・技能

微分積分、線形代数、解析力学、量子力学、特殊相対性理論、物理数学等の基礎的な事柄を十分に理解していること。



修士課程

修士1年

週に1回ゼミが開かれます。そこで1年かけて素粒子を記述する上で基礎となる素粒子標準模型・場の量子論を勉強します。

修士2年

ゼミやセミナー、学会、研究会などを通じて修士論文に向けて自分の研究テーマを探っていくことになるでしょう。

Message

・学生部屋が広く、各人に割り当てられた机の他にも、ソファ・冷蔵庫といった設備が充実しています。（アイスが食べられますよ♪）

・大きなホワイトボードも設置されており、議論がはかどります。

・学生部屋の近くにはお茶部屋があり、宇宙論の方々と交流する機会などもあります。

以下、修士学生の趣味など！

- ・APEXやりましょう。
- ・仮面ライダー好きな人語りましょう。
- ・動画制作とか小説執筆とか、気ままに創作活動やっています。電車旅も好きです。
- ・YouTube鑑賞だいすき。ホロライブ大好き。
- ・にじさんじ大好き。
- ・アークナイツ、プロセカユーザー待っています。
- ・先達もする「すれどにき」といふものを我等もしてみむとてするなり。
- ・プロ野球観戦（阪神）、ゲームが大好きです。
- ・日向坂46（だけじゃない）、milet、ヴィッセル神戸が大好きです。
- ・物理が趣味です（物理最高！）

粒子系理論

粒子系理論物理学研究室

Theory of Subatomic Physics and Astrophysics Group

HP: <https://physicsthkyushu.wixsite.com/mysite> コアタイム: なし

研究キーワード: 標準模型, 大統一理論, 超弦理論, 素粒子論の宇宙論, 超弦理論の宇宙論, 有効場理論, 超対称ゲージ理論と双対性, 理論天文学・宇宙物理学, 高エネルギー天体物理学, 原子核理論



Member

教授	原田恒司 (Koji Harada) 大河内豊 (Yutaka Ookouchi)
准教授	小島健太郎 (Kentaro Kojima) 中里健一郎 (Ken'ichiro Nakazato)
助教	福井徳朗 (Tokuro Fukui)
博士3年	尹強 (In Kyo) 塚原壮平 (Sohei Tsukahara)
修士2年	杉山 龍汰 (Ryuta Sugiyama) 山本 侑生 (Yuki Yamamoto)
修士1年	池部 悠介 (Yusuke Ikebe) 緒方 颯斗 (Hayato Ogata) 山崎 真尋 (Mahiro Yamasaki)



教員プロフィール



原田恒司 教授

10月より「転職」しました。専門は「素粒子理論」と名乗っていますが、学生の頃からずっと超対称性や大統一理論が気に入らないというへそ曲がりです。「低エネルギー」(中国語では低能)物理学者となり、原子核理論を場の理論的に理解することなどをやっていました。最近では宇宙初期の相転移のことなどを学生に教えてもらっています。新しい科目開発にも取り組んでいます。



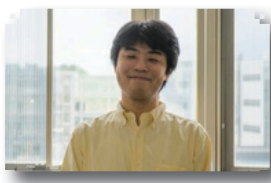
大河内豊 教授

主に基幹教育を担当しています。物理を専門としない学生への教育は発見が多く、刺激的です。物理学科の学生にもTAなどを通して、この経験をしてもらいたいと思っています。専門に関しては、最近、特に統一理論の真空構造に興味をもっています。真空構造の理解はダークエネルギーの理解とも密接に結びついています。これまでの弦理論の進展から得られた情報を元に、新しい宇宙像に迫ることが当面の目標です。



小島健太郎 准教授

主に素粒子理論に関する研究を行なっています。なかでも、高次元ゲージ理論、大統一理論、超対称性理論、宇宙論、素粒子のフレーバー構造などに関心を持って研究してきました。大学院生と一緒に勉強しながら、新しいトピックにチャレンジしつつ研究の幅を広げて行けたらと思っています。



中里健一郎 准教授

2015年、九州大学基幹教育院に着任しました。専門は理論宇宙物理で、現在はニュートリノや原子核といったミクロな物理過程と超新星爆発や中性子星といったマクロな天体現象をつなぐ研究を進めています。宇宙物理は物理学のごった煮とも言われ、宇宙のさまざまな階層でさまざまな物理が顔を出します。なので常に幅広い物理に興味を持ち、新しい研究にも挑戦し続けたいと考えています。



福井徳朗 助教

福岡 → 大阪 → 茨城 → ナポリ → 京都 → 埼玉と移動しながら、九大に来ました。娘には、彼女が3歳のころから量子力学と相対論を吹き込んできました。「自然科学総合実験」の磁束密度実験を担当したときは、核力と中性子星の話をして、物理に興味の無い学生にも布教活動をしています。相撲が好きです。博多・天神落語まつりにも複数回行きました。物理学科メインの屋サッカーにも参加しています。



アピールポイント

教員の数が多い

理論研は学生に対して教員の数が多いという特徴があります。現在も学生 7 名に対して教員 5 名が在籍しており、手厚いサポートを受けながら研究に取り組むことができます。理論系の研究は地道な計算が多い上、途中の道のりも長く、気が滅入ってしまうこともしばしばあります。その際、様々な分野を専門とする教員の方々から多角的な視点でアドバイスをいただけるというのは他に類を見ない特色の 1 つです。

TA やアウトリーチに取り組めるチャンスが多い

理論研は基幹教育院に所属する研究室であるため、TA として学部教育に参画するチャンスが多くあります。そのため物理教育などに興味のある方にとってはうってつけの研究室とも言えるでしょう。また、理論研では物理学を専門としない方々へ向けたアウトリーチも推奨されています。専門的な研究に邁進するだけでなく、物理の枠を超えて活躍する場が多く準備されている稀有な研究室です。

研究の裁量が大きい

理論研は他の理論系の研究室と比較して、研究に与えられる裁量が非常に大きい研究室です。修士 1 年生で自身の関心に応じたテキストを輪講し、以降は教員の専門と相談しながら主体的に研究を進めていくことになります。もちろん初めから研究の海に突き落とされるのではなく、きちんと指導教員から「泳ぎ方」を教わりながらです。しかし、どんな計算をしてどんな事が言えそうか、それらを考え提案し実行に移すのは（基本的に）学生自身に委ねられています。一歩ずつ着実に、自分の手で研究を育てていくことのできる研究室です。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
9月・10月	修論構想（M2）
10月	文献紹介（M1） / 博論構想（D3）
11月	修論構想 2nd（M2）
12月	忘年会
1月	新年会
3月	リサーチレビュー（M1）

定例イベント

毎週月曜日 昼休み	研究室ミーティング （ランチミーティング）
不定期開催	文献紹介（月 1~2 回程度） 理論物理学セミナー

修論構想とは M2 の学生が研究の進捗や開催時点での修論の構想を研究室全体で共有する会のことを指します。博論構想も同様です。理論物理学セミナーとは学内外から講師をお招きしてご講演いただくものです。過去のイベントの様子は研究室 HP のイベント（<https://physicsthkyushu.wixsite.com/mysite/event>）から閲覧できます。

当研究室は 2017 年に設立されたため、進学や就職に関しては、そもそもサンプル数が少ないという事情があります。



実績

研究

- Koji Harada, Shuichiro Tao, Qiang Yin, “Saddle-point approximation to the false vacuum decay at finite temperature in one-dimensional quantum mechanics”
- Yutaka Ookouchi, Ryota Sato, and Sohei Tsukahara, “Decay of Kaluza-Klein Vacuum via Singular Instanton”
- Kentaro Kojima, Yuri Okubo, Carolina Sayuri Takeda, “Vacuum structure of an eight-dimensional SU(3) gauge theory on a magnetized torus,” Physical Review D 110 (1) 016028 (2024)
- Ken'ichiro Nakazato, Ryuichiro Akaho, Yosuke Ashida, and Takuji Tsujimoto, “Impacts of Black-Hole-Forming Supernova Explosions on the Diffuse Neutrino Background,” Astrophys. J. 975, 71 (2024)
- Makoto Sakuda, Toshio Suzuki, Ken'ichiro Nakazato, Hideyuki Suzuki, “Study of the neutrino-oxygen cross sections of the charged-current reaction $^{16}\text{O}(\nu\bar{e}, e+)^{16}\text{N}(0\text{ MeV}, 2-)$ and the neutral-current reaction $^{16}\text{O}(\nu, \nu')^{16}\text{O}(12.97/12.53\text{ MeV}, 2-)$, producing high-energy γ rays,” Prog. Theor. Exp. Phys. 2024, 103D01 (2024)
- Yudai Suwa, Akira Harada, Masamitsu Mori, Ken'ichiro Nakazato, Ryuichiro Akaho, Masayuki Harada, Yusuke Koshio, Fumi Nakanishi, Kohsuke Sumiyoshi, and Roger A. Wendell, “Observing Supernova Neutrino Light Curves with Super-Kamiokande. V. Distance Estimation with Neutrinos Alone”
- L. Coraggio, G. De Gregorio, T. Fukui, A. Gargano, Y. Z. Ma, Z. H. Cheng, and F. R. Xu, “The role of three-nucleon potentials within the shell model: past and present,” Prog. Part. Nucl. Phys. 134, 104079 (2024)
- T. Fukui, G. De Gregorio, and A. Gargano, “Uncovering the Mechanism of Chiral Three-Nucleon Force in Driving Spin-Orbit Splitting,” Phys. Lett. B 855, 138839 (2024)
- Sohei Tsukahara, “On Stabilization of Magnetically Charged Brane Shell and Over-extremality”

進学

- 博士課程進学（全て粒子系理論物理学研究室）5名
就職先（修士課程）
金融系, IT系, (株)NHKエデュケーショナル
就職先（博士課程）
半導体系, IT系, JR九州システムソリューションズ（株）



研究内容

粒子系理論物理学研究室（以下、理論研）では、素粒子理論（場の理論や超弦理論）、原子核理論、宇宙理論など、多角的視点で理論物理学の研究を行っています。研究に関連するキーワードとしては以下のようなものがあります。

標準模型

標準模型は自然界を記述する基礎的な理論の1つです。この理論は $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ という対称性（ゲージ対称性）に基づいており、これらは素粒子が受ける4つの力（重力、電磁力、強い力、弱い力）のうちの重力を除いた3つの力を表現しています。2011年には、理論の最後のピースであったヒッグス粒子が実験的に発見され、この理論の成功がより強固なものとなりました。

大統一理論

3つの力を統一的に記述する試みとして大統一理論と呼ばれるものがあります。これは、標準模型よりも大きなゲージ対称性（ $SU(5)$ や $SO(10)$ など）を持つ理論から、対称性の自発的な破れを通じて標準模型を実現するというシナリオに基づく理論です。大統一理論は、標準模型の背後にある、より基礎的な理論の候補として、さまざまな観点から研究が進められてきています。

素粒子論的宇宙論

誕生直後、まだ極小サイズだった宇宙では、インフレーションという指数関数的な膨張が起こったとされています。このインフレーションとその後の宇宙の発展には素粒子論が密接に関わっており、粒子がどのように結合し、どのような性質を持つかによって宇宙の発展が支配されます。また、現在の宇宙を構成するのは物質のみであり、反物質は自然に存在していません。この非対称性を生み出すメカニズムを理解するためにも素粒子論は不可欠です。加えて実験的に存在が示唆されているダークマターやダークエネルギーについても、素粒子論の観点から理解する試みが進められています。

超弦理論 / 超弦理論的宇宙論

アインシュタインの一般相対性理論と量子論を両立するような量子重力理論の構築は素粒子理論の大きな研究テーマの1つです。これを4次元時空の理論で実現することは難しく、現状は時空を10次元に拡張した超弦理論が最有力候補とされています。この時、余計な6次元を十分小さなスケールまで（上手に）丸め込む（コンパクト化する）ことで、実際の観測と無矛盾な理論が得られると期待されています。とりわけブラックホールや初期宇宙といった、極めて重力の作用が大きいステージの物理を理解する上では、こういった量子重力理論の効果が重要になってきます。超弦理論を完全に扱うことは大変難しいことですが、理論の中に存在する紐状の物体やDブレーンのような高次元物体をうまく組み合わせることで初期宇宙のダイナミクスなどを調べることができます。

有効場理論

場の量子論の有用性は、素粒子の記述ばかりにとどまりません。場の量子論のもつ普遍的な性質によって、核子のような複合粒子の低エネルギーでの相互作用も系統的に扱うことができます。有効場理論を用いれば、モデルによらない一般的な解析を行うことができます。



超対称ゲージ理論と双対性

双対性とはある種の理論間の対応関係のことを指します。2つの異なる理論の間に対応関係があれば、片方の理論で解くのが難しい問題であっても、もう片方の理論で解析することが可能となります。このように、双対性は極めて強力な手法である一方、双対な理論を見つけることは一般的に非常に難しい問題です。その点、超対称性を保つ理論ではこの双対関係を調べやすく、結果として、ゲージ理論の強結合領域におけるダイナミクスや真空の相構造の解析が可能になります。これらの結果から強結合領域では閉じ込め現象に限らず多くの興味深い相が現れることが理解されるようになりました。

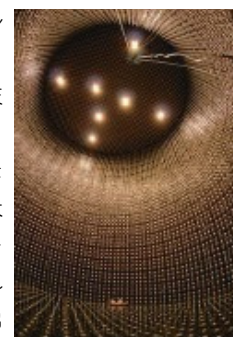
超新星爆発

太陽より約10倍以上重たい星は、その進化の最後に自らの質量を支えきれなくなり重力崩壊を起こします。その結果、超新星爆発が起こって中性子星が残されたり、ブラックホールが形成されたりすると考えられています。しかし、その全容が理論的に解明されたとは言えないのが現状です。特に重力崩壊した星の中心部は非常に高密度な状態となり、原子核や素粒子といった微視的な物理過程が爆発のダイナミクスにあらわな影響を与え、同時に大量のニュートリノを宇宙空間に放出することが知られています。よって、この現象を正しく理解するためには、大型検出器によるニュートリノ観測とともに、粒子系物理学に基づく理論研究の両輪が不可欠になってきます。



ニュートリノ天文学

超新星爆発をはじめとする種々の高エネルギー天体から放射されるニュートリノは、天体内部の情報のみならず宇宙における天体進化の歴史や、素粒子としてのニュートリノの性質についての情報をも我々にもたらしてくれます。また、過去に起こった大質量星の重力崩壊を起源とする背景ニュートリノ放射は、近い将来、検出が期待されているため、その理論モデルの構築と検出予測が重要な課題となっています。



三体核力

3つの核子に働く力で、二体核力の組み合わせでは記述できません。三体核力は謎だらけで、その強さや原子核の構造・反応にどのように寄与するのかが解明されていません。この謎を解くために、カイラル有効場理論によって導出された二体核力と三体核力をインプットとして、核多体計算をスーパーコンピュータ上で実行することが現在の原子核理論研究の大きな潮流です。

具体的な研究テーマをご紹介します。↑がついているものが学生の参画している研究です。

・宇宙初期の1次相転移とバブルの運動↑

宇宙初期に起こる電弱相転移が標準理論を超えた物理の影響で1次相転移であると仮定すると、宇宙バリオン数生成、ダークマターの生成などのシナリオに大きな影響を及ぼします。我々は有限温度での1次相転移の崩壊確率と、生成された真真空のバブルの速度を決定する方法について、先行研究における不備な点を改善すべく研究を行いました。

・フラックス背景場中の6次元ゲージ理論のスペクトルとその現象論↑

6次元ゲージ理論において余剰次元方向の非自明なフラックスの存在を仮定すると、その影響が低エネルギー有効理論にも現れてきます。我々は、非可換ゲージ理論に基づく模型に注目し、運動方程式や場の境界条件と両立するフラックスおよびウィルソンラインの背景場を包括的に調べました。また、その結果に基づき、一般性のあるフラックスおよびウィルソンラインの背景場のもとで、4次元有効理論に生じる質量スペクトルを議論しました。

・T2/ZN オービフォールド余剰次元模型におけるゲージ同値な境界条件の分類

コンパクトな余剰次元としてT2/ZN($N = 2, 3, 4, 6$)オービフォールドを仮定した高次元ゲージ理論に課される場の境界条件の性質を調べました。このようなゲージ理論では、ゲージ変換の自由度を用いて、場の境界条件を変化させることができます。これにより、境界条件に対して物理的に等価な同値類が定義できます。このことを用いて、ゲージ群の表現空間において境界条件を表す行列が、その同値類の中に常に対角型なものを含むかどうかを詳細に検討しました。

・超新星ニュートリノ

超新星爆発やブラックホール形成など大質量星の重力崩壊に伴って放出されるニュートリノ（超新星ニュートリノ）に関する研究を多角的に進めています。最近では、超新星ニュートリノの光度や平均エネルギーが核物質状態方程式にどのように依存するかに焦点を当てた数値シミュレーションを行いました。さらに実験研究者とも協力の下、既存の検出器スーパーカミオカンデを想定した観測予測を行って、実際に超新星ニュートリノが検出された際のデータから、核物質の性質や後に残される中性子星の質量などを探る手法を提唱しました。また超新星背景ニュートリノと呼ばれる、過去の超新星爆発によって宇宙に放出されたニュートリノに関する研究にも取り組んでいます。特に、最新の天文観測から示唆される銀河の化学進化モデルに基づいた星形成率も取り入れて、超新星背景ニュートリノのフラックスや検出数の予測を行いました。

理論研には特別研究生の配属がなく、大学院からの受け入れとなります。大学院では学生1人1人がそれぞれの興味関心に応じて主体的に研究に取り組んでいくことになります。参考までに修了生の研究テーマを以下に列挙します。

- Mass spectrum and vacuum structure of higher-dimensional non-abelian gauge theories with magnetic flux background (2024年9月、博士論文)
- Exploring Higher-Dimensional Gauge Theory: A Model of Early Dark Energy and A Non-Abelian Gauge Theory with Magnetic Flux Background (2024年3月、博士論文)
- Study of Kerr-AdS5 spacetime from the quasi-normal modes and catalytic effect of the vacuum decay (2023年3月、博士論文)
- 特異点を含むバウンス解による5次元真空崩壊の解析 (2024年3月、修士論文)
- トーフトフラックスを持つ6次元SU(N)ゲージ理論の構築と4次元低エネルギー有効理論における質量スペクトル (2023年3月、修士論文)
- 弦理論における準安定状態の崩壊と触媒効果 (2022年3月、修士論文)
- 複数の質量スケールを持つ系に対して有効場理論を用いて得られるRG改善有効ポテンシャルとその有限温度への拡張 (2022年3月、修士論文)
- CP対称性と一般化された大域的対称性を用いたSU(6)カイラルゲージ理論の相構造の研究 (2021年3月、修士論文)
- Λ CDMモデルにおけるハッブル定数の不一致問題と5次元ゲージ理論によるEarly Dark Energyの実現 (2021年3月、修士論文)

研究室HPにこれらの修士論文の概要が掲載されていますので、興味のある方は是非ご一読ください。

Message

今やってる研究に全力で向き合ってください。1年後の自分に感謝されるはず (M1 池部)
 学部の勉強の重要性を痛感する日々です (M1 緒方)
 今ある時間と毎日の学習を大切にしてください (M1 山崎)
 一緒にゼミをしないか(お願いします) (M2 杉山)
 これまで通り、言語化する努力を止めないことです (M2 山本)
 人類は最初に読んだ場の量子論の教科書を親と思う習性があります (D3 塚原)

粒子宇宙論

理論核物理研究室

Nuclear Theory Laboratory

HP : <https://sites.google.com/view/kyushu-nucl-th/>

コアタイム：研究室会議の日時以外、特になし

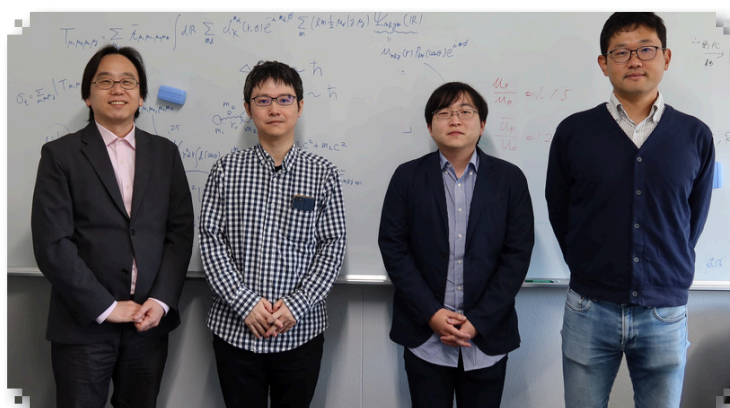
研究キーワード： 原子核・ハドロン



Member

教授	緒方 一介
准教授	湊 太志
スタッフ	小川 翔也 茶園 亮樹
博士3年	中田 響 (大阪大学より指導委託)
修士2年	木田 浩樹
修士1年	宇都宮 颯斗 浦津 源 田中 峻
学部4年 (特別研究生)	立石 諒汰 平原 颯太 吉岡 真陸

教員プロフィール



緒方 一介 教授

研究室主宰者の緒方一介（おがた かずゆき）です。九大出身（2000年度博士課程修了）で、一昨年、しばらくぶりに母校に戻ってきました。私は原子核を中心に、量子系のダイナミクスを研究しています。見えない粒子どうしをぶつけたときに起きる現象の理解が目的です。9割は原子核が研究対象ですが、ハドロンの反応も扱っています。量子反応研究は、基本的には実験で測定される「粒子の数」を計算対象とするもので、量子力学特有のモヤモヤしたところが少なく、理解の足場が作りやすいと思います。私自身の経験からいっても、ミクロの世界に興味をもちつつ、量子力学アレルギーに悩まされている人には、量子反応研究がお勧めです。趣味は動物との触れあいです。最近の推しはヒドジョウです。

湊 太志 准教授

准教授の湊太志（みなと ふとし）です。生まれは北海道です。福岡に来たので、北海道出身者がいるとうれしくなります。専門は原子核構造の理論研究です。特に、原子核の中で弱い相互作用が引き起こす現象の研究に興味があり、 β 崩壊やミュオン・電子捕獲、ニュートリノ原子核反応などの研究をしています。これらの研究テーマは宇宙物理や工学・基礎物理などへ幅広く応用でき、様々な分野の人と交流できる充実した（忙しい？）研究生活を過ごしています。趣味はボウダリングです。今年の冬は「強傾斜」集中月間とし、背中と胸の筋肉痛がハンパないです。昨年のニュートン祭パンフレットに書いた目標の結果、2024年1月は鹿児島へ旅行に行きました！今度は1級を登れたら沖縄旅行に行きます。

小川 翔也 特任助教

特任助教の小川翔也（おがわ しょうや）です。私は学部・大学院ともに九州大学で、所属していた研究室は今いる理論核物理研究室です。一昨年の春に学位を取得後、縁あって改めて九大に所属することになりましたが、皆さんにはあまり認識されていないと思います。研究分野は原子核反応で、原子核構造がどのように観測量に反映されるか核反応理論を用いて調べています。これについては後にある「研究内容」を読むと良いと思います。普段は7階の居室が院生部屋にいますので、研究分野に興味がある方は気軽にお尋ねください。最近は紙の本の精読をなんとかしたいと思いつつ、Kindleで本を読むことにはまっています。

茶園 亮樹 特任助教

特任助教の茶園亮樹（ちゃぞの よしき）です。生まれてから2022年3月に博士号を取得するまで、ずっと大阪にいました。その後、2年ほど埼玉の理化学研究所でポストドクをさせていただき、縁あって今年の5月に理論核物理研究室に着任しました。研究分野は原子核反応で、特に原子核の構成要素を明らかにすることに適したノックアウト反応の理論を主軸として活動をしています（下記の【研究内容】をご覧ください）。また、九州大学に来てからは、3体核力に関連する研究にも取り組んでいます。物理以外では、各地域の神話や伝説などに興味があり、身近なものとの意外なつながりを楽しみながら、少しずつ勉強しています。



アピールポイント

理化学研究所や大阪大学 RCNP などの 研究機関との共同研究

理論核物理研究室はその名の通り“理論”的に原子核を研究する理論物理のグループです。理論物理と聞くと1人で机に向かって黙々と計算している姿を浮かべるかもしれませんが、必ずしもそうとは限りません。本研究室では加速器施設を持つ大阪大学核物理研究センター(RCNP)や理化学研究所、九州大学総合理工学研究所との共同研究も行っています。理論研究で閉じることなく実験の研究者とも議論し、理論・実験が互いに刺激しながら原子核物理を推し進めています。

工学への応用

原子核物理は基礎研究の側面が強く見えるかもしれませんが、【研究内容】に記載してあるように工学分野へ応用することも私たちの重要な課題です。理学部は基礎研究を行う場所という見方もあるかもしれませんが、「応用研究をしたい」、「社会貢献に直結する研究をしたい」と考えている学生も少なくないと思います。そのような人たちには是非、ここを配属希望研究室のひとつに選んでもらえたらと思います。(もちろん、基礎研究がしたい人も大歓迎です。)



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
9月	物理学会
10月	博士論文構想
11月	修士論文中間報告
2月	博士論文公聴会／修士論文発表／卒業研究発表
3月	追い出しコンパ／物理学会

定例イベント

隔週水曜日	研究室会議 インフォーマルセミナー (文献紹介や研究成果の報告)
不定期開催	九大原子核セミナー

隔週で「研究室会議」があり、主に研究室の今後の予定や運営について話し合います。その後、文献紹介や研究報告などの「インフォーマルセミナー」を行います。また、「九大原子核セミナー」が不定期に行われ、外部の研究者から最新の研究成果を紹介していただきます。さらに、基本的には年に1回「集中講義」があり、他大学の先生に専門的な内容を基礎から話していただきます。



実績

最近の論文

- ・ K. Ogata, K. Yoshida, Y. Chazono, "pikoe: A computer program for distorted-wave impulse approximation calculation for proton induced nucleon knockout reactions", *Comp. Comm. Phys.* 297, 109058 (2024).
- ・ T. Shizuma, M. Omer, T. Hayakawa, F. Minato, S. Matsuba, S. Miyamoto, N. Shimizu, and Y. Utsuno, "Parity assignment for low-lying dipole states in Ni-58", *Phys. Rev. C* 109, 014302 (2024).
- ・ K. Yoshida, Y. Chazono, and K. Ogata, "Significance of the refraction effect on the p-d elementary process in the (p,pd) reaction", *Phys. Rev. C* 110, 014617 (2024).
- ・ H. Nakada, S. Nakayama, K. Yoshida, Y. Watanabe, and K. Ogata, "Difference in peripherality of the inclusive (p,p'x) and (d,d'x) reactions and its implications for a phenomenological reaction model", *Phys. Rev. C* 110, 014616 (2024).
- ・ P. J. Li+, "Spectroscopy of deeply bound orbitals in neutron-rich Ca isotopes", *Phys. Lett. B* 855, 138828 (2024).
- ・ S. Watanabe, Y. Suzuki, M. Kimura, and K. Ogata, "Uncovering the sign of nuclear deformations: Determination of prolate or oblate shape via low-energy α inelastic scattering", *Phys. Rev. C* 110, 034618 (2024).
- ・ F. Minato, O. Iwamoto, "Fission Fragment Yields Of $^{235}\text{U}(\text{nth},\text{f})$ Evaluated By The CCONE Code System", *Phys. Rev. C*, to be published.

講演

- ・ S. Ogawa, "Description of the dineutron knockout reaction", 5th International Workshop on Quasi-Free Scattering with Radioactive-Ion Bream 2023, Lefkada, Greece, Oct. 1-6 (2023) [Invited talk]
- ・ F. Minato, "Nuclear structures observed from global beta-decay predictions and measurements", *Advancing Physics at next RIBF (ADRI24)*, Jan. 23-24, 2024, Wako, Japan. [Invited talk]
- ・ K. Ogata, "Some perspectives on direct reaction theories", The 12th International Conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2024), Jun. 24-28, 2024, Wiesbaden, Germany. [Keynote talk]
- ・ Y. Chazono, "Maris polarization in deuteron knockout reactions", The 12th International Conference on Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2024), Jun. 24-28, 2024, Wiesbaden, Germany.
- ・ F. Minato, "Transitions To Door-way States And Nuclear Responses Against 2-body External Fields", Jul. 8-12, 2024, Wien, Austria. [Invited talk]
- ・ K. Ogata, "Reaction theory developments for breakup and quasifree knockout reactions", 14th Nucleus-Nucleus Collisions Conference (NN2024), Aug. 18-22, 2024, Whistler, Canada. [Invited talk]
- ・ 緒方氏, 湊氏, 小川氏, 茶園氏, 中田氏, 木田氏, 浦津氏, 田中氏が日本物理学会第79回年次大会(北海道大学)で講演

進学先 (学部卒)

九大や他大学の大学院／公務員／IT系の民間企業／etc.

修士卒

企業の研究所・研究部門／国家公務員
ソフトウェア会社の開発部門 etc.

博士卒

各地の大学教員・研究員／高専・高校の教員
国家公務員 etc.

就職先 (例)

富士通／HITACHI／NSソリューションズ西日本
東洋ビジネスエンジニアリング／楽天証券／NEC
SCSK／共立出版／気象庁／理化学研究所
高エネルギー研究所／日本原子力研究開発機構 etc.

理論核物理研究室自体は昔からありますが、一昨年度、教員が入れ代わって全く新しい研究室になりました。研究室を立ち上げたばかりのため学生の研究実績は少ないですが、新たに入ってくる皆さんたちと盛り上げていきたいと思っています。



研究内容

理論核物理が目指すもの

まず、理論核物理の基本的な目標を明確にしておきましょう。それは、陽子と中性子(総称して核子)からなる複合粒子系の在りよう(構造)と変転(反応)を解明することです。ただそう聞くと、次のような疑問をもつ人がいるかもしれません。

陽子や中性子がクォークからできていることはとくに知られているのに、なぜそれらを基本粒子として扱うのですか? それに、核子と核子の相互作用はよくわかっているのだから、単にそれらが集まっただけの原子核に謎なんてないのではないですか?

答えは簡単です。基本構成要素と基本相互作用が完璧にわかっている、その構成要素が複数集まったときの振る舞いは予想できないからです。たとえば、バナナやハートの形をした原子核の存在が予言されていますが、誰もそれが本当かどうか知りません(そもそも原子核が存在する極微のスケールで形をどう定義するのかということ自体が、面白い問題です)。あるいは、原子核の中に、葡萄の房のような小さな原子核(クラスター)がたくさん浮かんでいるという説もあります(図1)。こういった姿は「核子が単に集まっているもの」とはまったく異なることがわかんと思います。このように、核子という単一の構成要素が多数集まった系は、大変豊かな物理と未知の性質を内包した、とても興味深い研究対象なのです。

原子核は我々の身近なところにも関係します。夜空を彩る星たちを輝かせているのは、原子核の変化です。我々のまわりにある元素は、主に星の中で、宇宙の始まりから現在までの間に、原子核の反応によって生み出されたものなのです。さらに、危険性の高い放射性廃棄物を現実的な時間とコストで消滅処理する、いわゆる核変換の研究も、突き詰めれば原子核の変転の解明に他なりません。原子核の研究は、天の物理とも社会の物理とも繋がっているのです。

最近の研究から

では、本研究室が取り組んでいる具体的な研究テーマをいくつか紹介しましょう。

1. 量子だるま落とし反応を用いた原子核の全貌解明

先ほど述べた、原子核の豊かな構造を解明する手段として近年注目されているのが、ノックアウト反応です(図2)。これは、量子的世界におけるだるま落としにたとえられる反応で、主に高いエネルギーをもった陽子のハンマーで原子核を勢いよく振り抜き、原子核の構成要素(様々な粒子)を叩き出して捕まえます。観測した粒子の運動量分布を量子力学で分析すると、もとの原子核の中にその粒子がどのくらい存在して、どのように運動していたかがわかるのです。ごく最近、重い原子核の中にある α 粒子(4He 原子核)を初めて観測した仕事がScience誌に掲載されました。一連のノックアウト反応研究は「おのころプロジェクト」と名付けられ、実験・理論の協力の下、推進されています。この名前は、古事記の国生み神話で日本発祥の地とされる「自凝島」からとられています(図3)。私たちのグループは、このプロジェクトで、ノックアウト反応の理論的な分析を担当しています。特に力を入れているのが、脆い粒を原子核から叩き出す反応の記述です。ガラス製のだるま落としを叩いたらどの程度ガラスは砕けるのか? また、砕けたガラスから、どうやってもとのガラスパーツの情報を引き出すのか? 量子力学的反応理論を駆使して、これらの問題に取り組んでいるところです。

2. 核変換と元素合成への挑戦

原子力発電所でつくられる核廃棄物、特に10万年を超える期間にわたって管理が必要な長寿命放射性廃棄物の処理は、人類にとって極めて重要な課題です(図4)。この問題に対して、原子核反応を利用して核廃棄物の放射性レベルを低減化する試みがなされています。特に近年注目されているのが、重陽子を用いた処理です。重陽子は電荷をもっているため、加速器でのコントロールが比較的容易である上、陽子と中性子に分解しやすいという特徴を有しています。周回型の加速器で重陽子をコントロールし、標的核に何度も入射させると、やがて重陽子は陽子と中性子に分解します。中性子は電荷をもたないため、標的核に深く侵入し、高い確率で核変換をおこすことができると考えられているのです。

理論的には、分解の自由度を含めた重陽子の反応の記述が不可欠になります。九大グループが独自に開発した研究手法「連続状態離散化チャネル結合法(CDCC)」はこの手の分解反応を最も精度よく記述できるものですが、核変換に必要な反応(標的核が様々な核種に変化する過程)に直接適用することはできません。CDCCをベースとしつつも、抜本的な反応モデルの改良が必要とされています。

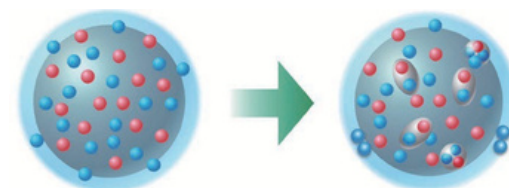


図1: 原子核は「核子の一様な集団」ではなく、核子の海の中で、粒状のミニ原子核が浮かんで消えているのではないか? この新しい仮説の検証が進められています。



図2: 量子的世界のだるま落とし反応で、原子核の全貌を暴きます。「叩けばわかる!」がキャッチフレーズです。



図3: 自凝島は古事記に伝わる日本発祥の地です。その漢字が意味する Self-Clustering というのは、このプロジェクトを象徴する重要な概念です。

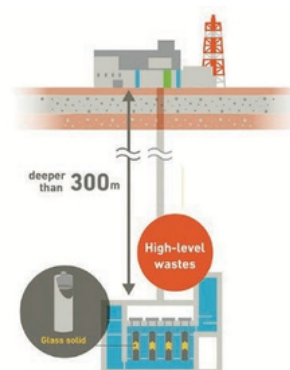


図4: 現時点での核廃棄物の処理方法は「地中深く埋める」です。その実行可能性については未だ議論中です。

Message

緒方一介: 原子核の世界で、量子力学と楽しく遊びましょう。

湊太志: 無課金おじさんが今年の流行語大賞にノミネートされなかった(´・_・`)

小川翔也: 量子力学の問題は解けるけど何かモヤモヤする人、そういう人ほど原子核という具体的な系を例にして理解を深めてみてほしいです。

茶園亮樹: 反応・構造・核力という原子核研究の主要分野の研究者が一堂に会する、日本でも数少ない研究室です。とにかく原子核について知りたいという学生さんは是非、私達の研究室に来てください。

他方、宇宙における元素合成に目を向けてみましょう。地上にある金(の一部)やウランは、原子核による中性子の捕獲と β 崩壊が、短時間で繰り返される過程によって生成されたと考えられています。その過程がおきる場所に関する学説が、この10年で大きく変わりました。現在、この過程は、中性子星同士の合体時におきると考えられているのです。しかし考えてみてください。中性子星の合体時、その場所には大量の中性子がいるはずです。原子核が中性子を捕まえる反応において、周辺中性子はどんな役割を果たすのでしょうか？ 私たちはごく最近、この環境中性子は反応中性子を加速し、元素合成の確率を有意に変化させ得ることを突き止めました。この結果をより一般化し、宇宙元素合成ネットワーク計算に組み込むことが今後の課題です。



図5：中性子星合体（イメージ）。宇宙で重元素が生成される場所と考えられています。そこはまさに中性子の海です。

3. 原子核反応を基軸とした量子系の時間階層進化の研究

最後に、少し毛色の違う話を紹介しましょう。一口に原子核反応といっても、実はその対象は千差万別で、時間スケールでいえば10-23秒から10-16秒という極めて広い範囲にわたる現象を研究の対象としています。この時間の開きは、1秒と1年に相当します。反応のプロセスは、経過時間(反応の進行度)に応じて、直接過程、前平衡過程、複合核過程に大別されます。ここで面白いのは、直接過程から前平衡過程に至るとき、系の量子性が一部失われているようにみえることです。具体的には、放出粒子がどの角度にどの程度飛んできたかをみたとき、直接過程では干渉縞模様がみられ、前平衡過程ではこれが消失するのです。縞模様は、原子核の異なる場所で反応がおきるプロセスが干渉していることの証左ですから、縞模様が消失するという事は、この干渉性(量子力学の重要な特質)が失われているということです。さらに反応が進行した複合核過程となると、系の時間発展は古典的なランジュヴァン方程式によく従うことが知られています。このことを以て系が古典化したといえるかどうかには慎重な分析が必要ですが、少なくとも系の量子性に何らかの変化が生じていることは間違いありません。反応の進行度(時間の経過)に応じて系の量子性が変化していく様子を、私たちは「時間階層進化」と捉え、原子核の階層だけに閉じず、多くの研究者たちとこの物理について議論しています。

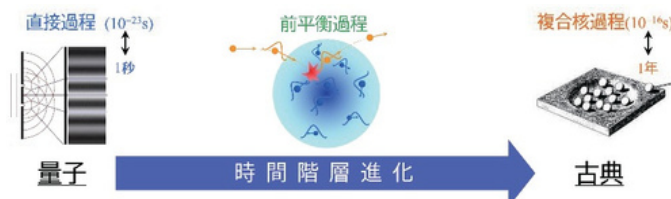


図6：原子核反応の進行度に応じて、系の量子性は大きく変化すると考えら

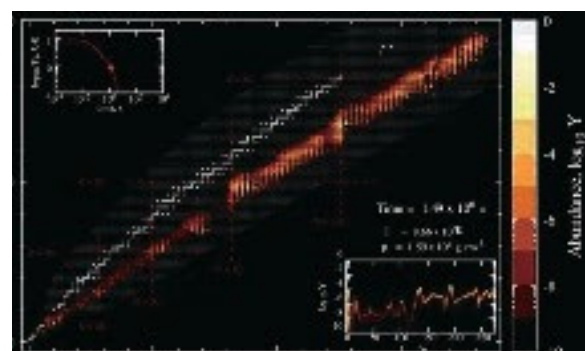


図7：星の中の元素合成(r-process)を示した核図表。縦軸が原子番号で横軸が中性子数となっている。星の爆発的变化の1.49秒後にどのような原子核ができたかを示している。

4. 原子核の中での弱い相互作用

基本相互作用の一つである弱い相互作用は、強い相互作用や電磁相互作用に比べると、その名の通りとても弱いものです。しかしこの理解は、あくまでも一つの粒子(バリオン)に着目した場合です。複数の陽子・中性子から構成される原子核が、弱い相互作用を通して反応を起こす場合、どのような変化が得られるでしょう？ 典型的なもののひとつは β 崩壊です。例えば ^{132}Sn という原子核は約40秒で β 崩壊して ^{132}Sb になります。これは中性子が単体で存在した場合の寿命の約15分より圧倒的に早いスピードです。なぜこのような違いが生まれるのか？ その答えは、異なる原子核で束縛エネルギーの違いがあることと、陽子と中性子が複数集まったときに生まれる「集団性」の効果が関与しています。このことは昔から定性的に理解されていましたが、理論モデルを用いて原子核の β 崩壊率の実験データを再現できるようになってきたのは最近のことです。『(2)核変換と元素合成への挑戦』では、中性子星の合体時に中性子捕獲と β 崩壊が繰り返されることで重い元素が作られていることを紹介しました。図7は、中性子星合体後1.49秒後の原子核の分布を示しています。原子核の分布は、中性子数が多い領域に集中していることが分かります。そのような中性子過剰核の性質を実験で測定することは難しいですが、 β 崩壊率を理論的に予測できるようになったことで、宇宙における元素合成のメカニズムの理解が進みつつあります。

より身近な原子核の弱い相互作用には、二次宇宙線であるミューオンを原子核が捕獲する反応があります。このミューオンは、1分間あたり1cm²に1個飛んできています。そのため、ミューオン捕獲反応は身の回りのあちこちで起きており、電子機器を故障させたり、鉱物に当たってその元素量を変化させたり、と様々な問題を起こしています。これらの問題点の解決には、原子核の知識が必要とされており、我々は世界をリードする研究を行っています。

まとめ

本研究室では、原子核をはじめとする量子多体系の性質を、反応現象を通じて研究しています。特に重視しているのが、実験で観測されるデータを正しく解釈することです。新しい物理を高い確度で引き出すべく、反応理論を日々磨いています。量子力学という“凄そうだけどなんだか得体の知れない奴”が、ミクロの散乱実験で得られた結果を見事に記述する、“信頼できる友人”であることを体感できる研究室だと思います。国内外の実験研究者との議論も活発です。また、核変換という、社会に役立つ研究や、我々の身のまわりにある物質の起源に迫る宇宙元素合成研究もカバーしています。さらには、反応系の量子性の変化といった根源的な課題にも取り組んでいます。皆さんと一緒に研究できる日を、楽しみにしています。

Message

中田響: 落ち着いて研究ができるととてもよい環境です。

木田浩樹: 原子核理論では量子力学の具体例がたくさん出てきます。実際に触れることで量子力学への理解がきっと深まるはず。

宇都宮颯斗: 困基打てる人、興味がある人募集します 浦津源: 比較的自由に研究を進めることができる楽しい研究室です。

田中峻: 面白い研究ができる研究室です!! 立石諒汰: 一緒に活発な議論をしましょう! 平原 颯太: たのしんで学びましょう!

吉岡 真陸: 物性と素粒子の中間のスケールである原子核の物理を研究できます。理論の研究室なのでコンピュータによるシミュレーションを行いますので、数値計算に興味がある人にもおすすめです。

HP : <https://cosmologykyushu.wixsite.com/index>

コアタイム : なし(金曜日の研究室会議は全員出席)

研究キーワード : 重力 量子情報 開放量子系 オプトメカ 曲がった時空上の場の量子論



Member

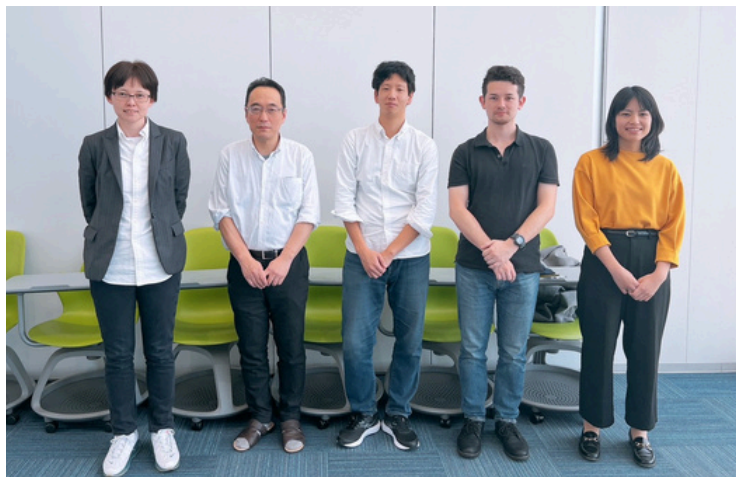
教授	山本 一博
准教授	菅野 優美
助教	松村 央 ギャロック芳村 建祐(特プロ助教) 平良 敬乃(特プロ助教)
博士3年	三木 大輔(DC1)
修士2年	柏木 海翔 谷口 彰(DC1予定) 谷 将樹 山崎 優樹
修士1年	上永 裕大 畠山 広聖 廣谷 知也 福澄 諒太郎
学部4年 (特別研究生)	池田 大樹 槻木 勇大 西木 友哉 萩原 巧 松隈 錬



教員プロフィール

山本 一博 教授

研究者としては、宇宙の始まりに起こったインフレーション宇宙論の研究からスタートし、その後観測的宇宙論、曲がった時空上の場の量子論を研究してきました。観測に基づいた宇宙の事実を知って、真に存在する世界の観測や実験を説明する理論を研究したいという気持ちと、また一方で面白い理論研究をしたいという気持ちの間で、研究テーマが少しずつ変化してきました。現在は重力の量子性に関する理論研究を行なっています。面白いというだけでなく九大独自の研究を発展させたいという思いとともに取り組んでいます。



菅野優美 准教授

私たちの宇宙は量子揺らぎから始まったと考えられています。しかし宇宙の起源が確かに量子揺らぎだったという証拠は未だに見つかっていません。私は、初期の宇宙が本当に量子揺らぎから始まったのかを検証する方法を研究しています。最近、原始重力波やアクシオンを使って、量子揺らぎの痕跡を探ろうとしています。また、理論から導いた予想を、どのように観測や実験に結びつけるかの研究も行っています。

平良 敬乃 特プロ助教

量子力学は小さな世界の現象を説明するための物理で、今年で生誕100周年になります。たった100年のうちに半導体、レーザー、MRIといった重要な技術や、磁石がくっつく仕組み、金属の色などの、目にみえる疑問も解決してくれました。しかし小さな世界も私たちの住む世界の一部なので影響を受けるはず。私は開放量子力学という、小さな世界が周りの大きな世界の影響を受けた際の奇妙で面白い現象を研究しています。

松村 央 助教

量子宇宙物理理論研究室に所属している助教の松村です。私は重力・宇宙・量子の3つのキーワードに興味を持って研究しています。最近では量子情報理論を応用して、重力の量子現象やそれを記述する理論について調べています。私が携わっている分野は比較的新しく、理論と実験の両面で発展してきました。重力理論や宇宙論だけでなく、量子論にも興味がある元気な学生たちと研究していきたいと思っています。

ギャロック芳村建祐 特プロ助教

私は一般相対性理論、量子情報理論、場の量子論、そして量子熱力学の4つが交わる領域に関連する研究をしています。具体的には「相対論的量子情報」と呼ばれる研究分野に携わっていて、曲がった時空における量子場が持つエンタングルメントを複数の量子ビットを使って調べる方法や、量子場から熱力学的な仕事を得る手法を考えています。(来年度離任予定)



アピールポイント

新しい研究に触れられる

弊研究室では量子情報と量子基礎論、重力、宇宙を組み合わせた新しい研究をしています。重力の量子性や宇宙論と量子情報科学の結びつきは近年注目されてきている分野で、実験可能性も常に考えながら理論構築をしています。比較的幅広い分野をカバーしているので、まだ分野を決めかねているけど理論物理学をしたいというような学生にお勧めです。新しい研究分野は、あまり他の人が研究していないので、良い研究テーマが沢山あるブルーオーシャンです。

バックアップが手厚い

研究で息詰まることは多々あります。しかし先生や先輩方はいつでも質問を歓迎しており、議論してくださります。また、研究を始めると特研ゼミとは別に研究ゼミなどを設けていただき、議論や質問、研究の方向性を話し合うこともあります。また、粒子宇宙論研究室兼用のお茶部屋があり、コーヒーを飲みながら研究室の枠組みを超えてコミュニケーションができる環境があります。

研究の発表・交流機会

4年生でもやる気と計算力があれば早くから研究に参加することは可能です。学部の中に論文投稿や、学会発表している人もいます。

夏の学校では院生が主体となって自身の研究やレビューを発表します。（4年生は院試と被るので参加は厳しいです。）また他大学の教員や学生との共同研究や議論・交流をすることもあります。修士課程のうちに、物理学会や研究会で発表している人が多いです。国際学会で発表している人もいます。



イベント

年間スケジュール

4月	歓迎会
7月-8月	天文・天体物理若手夏の学校 院試
9月	日本物理学会
10月	院試お疲れ様会
11月	量子情報技術研究会 物理学会九州支部例会
12月	JGRG、忘年会
3月	物理学会 追いコン

定例イベント・不定期開催イベントなど

毎週金曜日	研究室会議／コロキウム (飲み会も金曜日が多いです)
-------	-------------------------------

コロキウムでは、研究や関連論文に関して、研究室メンバーが交代で発表します。月に1回程度外部の方を招いて講演していただくこともあります。非常に議論が活発で質問がたくさん飛び交うので、理解を深めることができます。4年生は後期の最後に特別研究で研究したことや学んだ内容を発表してもらいます。



実績

研究	発表した論文は以下に掲載しています。 https://cosmologykyushu.wixsite.com/index/news-and-events
表彰	天文・天体物理若手夏の学校オーラルアワード（2名） 日本物理学会学生優秀発表賞（2名）
進学先 (特研生)	九大院、東大院、京大院、KEK 等
進学先 (修士卒)	九大院 理研、国立天文台 等
就職先 (修士卒)	日立製作所、ガンバリオン、建設コンサル、英進館、JCB、気象庁、三菱UFJインフォメーションテクノロジー、株式会社IHI、宇宙技術開発株式会社、株式会社西島製作所、株式会社ワークスアプリケーションズ、NTTデータ、広島銀行、株式会社データフォーシーズ、株式会社メディカルネット 等
就職先 (博士卒)	(ポスドク研究院として) カリフォルニア工科大学、東大物性研究所、国立天文台、理研、神戸大 等

直近の5年間に博士課程に在籍したまたは在籍中の学生は6名おり、うち4名が学振DC1またはDC2に採用されている。さらに博士学位を取得した学生5名は学位取得後に大学等研究教育機関に博士研究員として採用され、このうち一名は、後に常勤のポストに就職している。大半の博士学生は在学中に10編程度の論文を発表しており、アクティビティの高い研究活動を行なっている。



研究内容

研究室では、**重力・宇宙論**を中心に、重力の量子性、宇宙の始まりと進化、インフレーション宇宙、重力波、量子科学と重力、といったテーマの研究を進めおり、量子情報や量子技術の応用を、重力だけでなく広く基礎科学に応用することで生まれる研究を目指しています。特に力を入れているのは、**重力の量子性**に関する研究です。量子重力は理論研究が先行し多くの研究者が取り組んでいますが、その出発点である「**重力が量子力学の枠組みに従うのか**」という重力の量子性の問いは、古くはファインマンやペンローズの奥深い考察の歴史があり、量子情報や量子技術の発展と結びついて新しい物理の潮流が生まれています。このテーマは他の研究者がまだあまり取り組んでいないので未開拓の分野で、量子重力における実験と関わるテーマとしてとても面白いと思っています。また下で述べるように重力波観測と密接に関わる側面を持つので、宇宙論や宇宙物理学の研究へのフィードバックもあります。**インフレーション宇宙における場の量子揺らぎ**は、宇宙の構造の起源を説明し、重力と量子力学が同時に重要となる問題を含んでいます。インフレーション宇宙では、重力波が時空の量子揺らぎとして生成され、**原始重力波**として観測される可能性があります。曲がった時空における場の量子論を用いて原始重力波の生成を理論的に予言して、観測的帰結を検証することで、宇宙がインフレーションによって始まったのかといった問題や、重力の量子性の検証にもつながります。

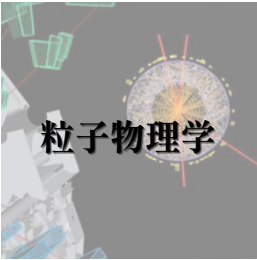
重力波はアインシュタインの宿題とも呼ばれ、一般相対論が予言する重力固有の物理現象です。10年程前に初めて直接観測され、宇宙に存在するブラックホールや中性子星について情報をもたらしています。この重力波観測の基盤技術は、**オプトメカ系**と呼ばれるレーザー光と巨大な鏡振動子とで構成される干渉計にあります。オプトメカ系は、調和振動子と光が相互作用する簡単な理論模型で記述されますが、極限まで高感度にするため、巨視的な鏡振動子を量子状態に近づけられるようになってきています。このようなオプトメカ系は、重力波観測だけでなく、どこまでマクロな物体で量子力学が成立するのかという**量子と古典の境界**を明らかにする研究や、高感度のオプトメカ系によってダークマターを検出する実験プロジェクトへの応用もあります。さらに、高感度の重力計測によって地球や惑星の質量分布をモニターできるので地球惑星科学分野でも重要になってきています。研究室では、オプトメカ系の理論模型に基づいて、量子測定理論を応用した標準量子限界を超える計測方法や、それらを利用した重力波や重力の量子性の検証について理論的研究を行なっています。またこの研究で必要となる量子エンタングルメントや量子開放系といった**量子情報**、**量子技術**、**量子基礎**に関連する基礎研究も広く進めています。量子分野の発展を応用して新しい基礎科学研究を生み出すというコンセプトに基づいて、宇宙物理学研究の新テーマの開拓を目指しています。そして九大独自の学問の創出を目標にします。この取り組みに共感してもらえる人は、是非当研究室の門をたたいて下さい。新しい知識を勉強するのが好きな人、理論計算が好きな人、考えるのが好きで自分で考えて研究を進めたい人、実験が苦手といった人には良いかもしれません。最後に、オプトメカ系は当研究室の研究テーマの一つとして紹介しましたが、この他にも宇宙、重力、量子に関わる研究を行なっているので、興味のある人は研究室訪問等で尋ねて下さい。

特別研究では、前期は基本的に週2、3回のゼミを行っています。**宇宙論・相対論・量子論**などの基礎的な内容について、テキストを用いて勉強しています。ゼミでは、担当者が黒板等を使いながらテキストの内容・数式などの解説を行います。後期は前期のゼミを更に進めたり、興味を持った研究分野の論文を読んだりします。時には難しい問題が出てくる場合がありますが、先生・先輩方が適切に助言してくださるので、4年生でも十分やり遂げられると思います。また23年度からは学部生も研究に参加することもあり、早いうちから取り組みば4年生でも論文執筆・投稿までできます。年度末にはゼミや論文等で学んだ内容、または進めた研究内容を研究室内で発表してもらう予定です。

Message

研究室にはなるべく来ましょう
ようこそ計算地獄へ
研究以外の心の支えを何か作りましょう
なるべく内部に残ってもらえると嬉しいです
博士に行く人歓迎
博士行かないと厳しいって
先輩優しいよ
英語に耐性を付けておきましょう
筋トレ器具揃ってます
全員分のPC、デスク揃ってます

研究室紹介



粒子物理学

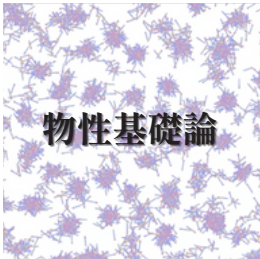
素粒子実験研究室	22
実験核物理研究室	26

113番「ニホニウム」の先へ



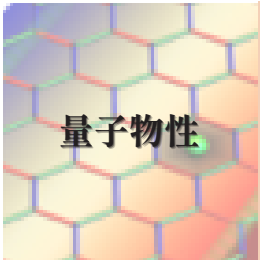
粒子宇宙論

素粒子理論研究室 ...
粒子系理論物理学研究 ...
理論核物理研究室 ...
宇宙物理理論研究室



物性基礎論

物性理論研究室
凝縮系理論研究室 ...



量子物性

磁性物理学研究室 ...
光物性研究室
創発量子物性研究室
固体電子物性研究室



複雑物性

複雑物性基礎研究室
複雑生命物性研究室

粒子物理学

素粒子実験研究室

Experimental particle physics

HP : <http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/>

コアタイム：なし



Member

教授	東城順治
准教授	吉岡瑞樹、音野瑛俊
助教	森津学 調翔平
スタッフ	水野貴裕 Bouillaud Thomas
研究生	榊原麻希
博士2年	谷田征輝
博士1年	David Zhou 山田瑞樹
修士2年	吉川大智 今村幹 水取雅登 星野公邦
修士1年	田中翔琉 東地雄大 大倉野広樹 平田吾一 阿波克典 土居俊介 中村優 張 皓瑞
学部4年 (特別研究生)	酒井了 村松将吾



教員プロフィール



東城順治 教授

2011年12月から素粒子実験研究室で活動しています。LHC加速器の史上最高エネルギーの陽子-陽子衝突を用いたヒッグス粒子の研究や新物理の探索、J-PARC加速器の全く新しいミューオンビームを用いた新現象の探索に取り組んでいます。研究室の学生・スタッフや国内外の共同研究者と協力して、素粒子実験のフロンティアを推進しています。

吉岡瑞樹 准教授

2011年に九州大学に着任し、その後、2013年に先端素粒子物理研究センターに異動して、素粒子実験研究室と協力して研究活動を行なっています。現在は、主に茨城県東海村の大強度陽子加速器施設での中性子やミュー粒子を用いた素粒子実験研究を行なっています。LHCなどの大型の加速器実験と比べると小規模ですが、特定の現象をピンポイントで狙って、素粒子標準模型を超える物理を発見しようと頑張っています。

音野瑛俊 准教授

CERN（欧州原子核研究機構）のLHC（Large Hadron Collider）を用いた世界最高エネルギーでの素粒子実験を推進しています。2012年にATLAS実験に加わり、2018年にFASER実験を開始しました。現在稼働中の両実験はともに大幅なアップグレードを控えており、今後さらなる物理成果が期待できます。海外での実験に興味をお持ちの方にもぜひお越し頂けたらと思います。

森津学 助教

2022年10月に着任しました。これまでは、国内の大学や高エネルギー加速器研究機構、中国の研究所に所属していました。研究では、スイスCERN研究所での最高エネルギー衝突実験や国内でのミューオンの崩壊過程を利用した素粒子物理の研究をしています。物事を深く考えることが好きな人、モノづくりが好きな人、何かに“オタク”な人、是非一緒に研究しましょう！

調翔平 助教

2023年9月に着任しました。これまではスイス・ジュネーブの大学に所属し、LHCのATLAS実験に取り組んでいました。現在はATLAS実験とJ-PARKのミューオン実験で半導体検出器開発を行っています。学生時代にも過ごした研究室で皆さんと一緒に研究できるのを楽しみにしています





アピールポイント

研究室の雰囲気

- ・ みんな優しくアットホームな雰囲気です。大居室にはコーヒーマーカーがあります。
- ・ 研究に対してとても熱心で、先輩同士の議論を聴いているだけでも刺激的な毎日です。
- ・ 居室では雑談がさかんで、いろいろな話題で盛り上がります。雑談を通して先輩方とも仲良くなれます。

ぐんぐん成長する元気な研究室

2011年4月に、九州大学に初めて素粒子実験の研究室が誕生しました。最初は教員2名と学部生2名の小グループでしたが、現在は先端素粒子物理研究センター(RCAPP)所属を含めて上記の大グループに成長しました。研究室全体で連携を持ちつつ、各自が様々なことにチャレンジしています。研究室の歴史と一緒に作りませんか。

設備

配属時、デスクに一人一台デスクトップPCがあります。また、大居室には研究内容に関連した書籍が多くあります。充実した環境で学習・研究活動が行えます。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
5～6月	研究室旅行(一泊二日程度)

定例イベント

毎週火曜日	週一ミーティング
週1、2回	ゼミ(特研生、院生)
不定期	・ 他大学、研究機関から講師を招いて素粒子実験セミナーを開催 ・ 研究室BBQ会

上記のほかにかかなり頻繁に研究会や講演会を開催しています。その運営にも参加してもらいます。

- ・ 素粒子物理に関する国内・国際研究会、研究打ち合わせ
- ・ 一般向けのサイエンスカフェや講演会

Message

- ・ 毎週の輪講や研究室ミーティングなどを除き、コアタイムはありません。時間の使い方は各人に任されています。
- ・ スライドを作って発表する機会が多くなります。また、徐々に英語に慣れておくことで、研究室での活動がスムーズに進むと思います。
- ・ 困った時には先輩方やスタッフの方々が相談にのってくれます。多くの助言を頂きつつ、楽しく研究に取り組んでいます。



実績

就職先

2023	東芝エネルギーシステムズ、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング、日本電信電話、高校教員
2022	東北大学、インターネットイニシアティブ、イー・アンド・エム、中国電力、ソニーセミコンダクタソリューションズ、渡辺電機工業、ナフコ、システナ
2021	高校教諭、富士通、ソニーLSIデザイン、東芝、日本原燃、南陽
2020	九州大学、中国電力、ニコン、ソニーLSIデザイン、東芝エネルギーシステムズ、東芝インフラシステムズ、トータル

卒業後の進路について 大学院に進学して研究者を目指すことができます。この研究室の先輩には、高エネルギー加速器研究機構の助教、海外の大学で活躍中のポスドク研究員がいます。

- ・ 学部卒業後の進路は大学院進学がメインですが、民間企業などに進む人もいます。
- ・ 学士卒、修士卒、博士卒それぞれ、民間企業、公務員、教員等への就職実績があります。





研究内容

素粒子から宇宙へ

本研究室では、最先端加速器を用いて、素粒子と宇宙に関する実験的研究を行います。

■ 物質の究極の構成要素＝素粒子：宇宙の基本要素である素粒子の研究を行い、標準理論を超える新粒子・新現象の探索を行います。

・標準理論とは

現在の素粒子物理学は「標準理論 (Standard Model : SM)」と呼ばれる理論の上に成り立っており、素粒子とそれらの間に働く3つの相互作用（強い相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用）はこの理論で説明できます。物質を構成する素粒子にはクォークとレプトンがあり、これらはフェルミオンです。一方、力を媒介する粒子はゲージ粒子と呼ばれ、これらはボソンです。また、質量を与える素粒子はヒッグス粒子と呼ばれています。ヒッグス粒子は2012年に発見されています。これにより、標準理論で予言されている粒子は全て揃い、完成した。ヒッグス粒子の精密測定を行い、その性質を研究します。ヒッグス粒子とフェルミオンの結合の強さや、ヒッグス粒子の自己相互作用の測定を目指します。ヒッグス粒子は新物理への扉を開いてくれるかもしれません。

・標準理論を超えた“新物理”

ヒッグス粒子の発見で素粒子物理学は終わり...ではありませんでした。標準理論が完成した一方で、ダークマターの存在など標準理論では説明できないものもあり、標準理論を超えた“新物理(Beyond the Standard Model : BSM)”の存在が予想されています。

■ 自然界の4つの相互作用(強い相互作用、弱い相互作用、電磁相互作用、重力相互作用)：標準理論では説明できない自然界の相互作用として、重力相互作用が存在します。これらの力は統一できるのでしょうか？力の統一は我々素粒子物理学者の悲願です。

■ 素粒子から宇宙を探索：高エネルギー粒子の衝突で、宇宙初期を再現します。また、宇宙の物質の大半を占める暗黒物質（ダークマター）の正体を探ります。

現在、本研究室のメンバーは、以下の実験・プロジェクトに取り組んでいます。

1. CERN/LHC での ATLAS 実験

2. 国際リニアコライダー (ILC) 計画

3. ミューオンを用いた素粒子実験 (COMET, Muon g-2/EDM)

4. 低エネルギー中性子を用いた基礎物理学実験

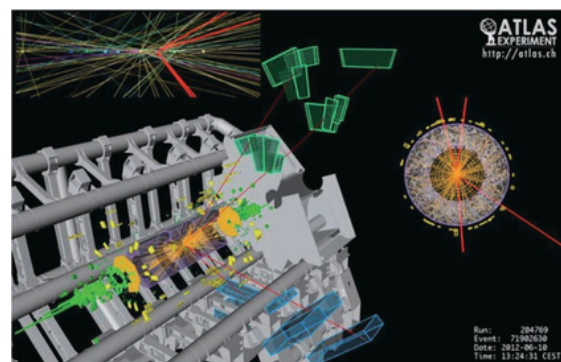
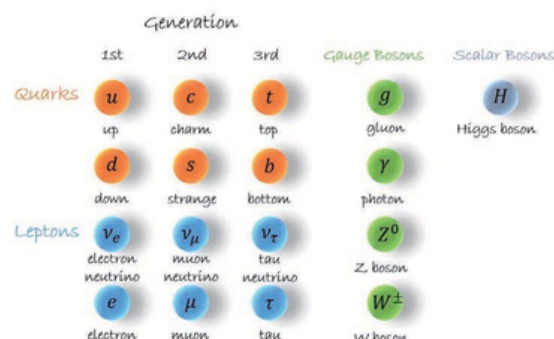
1. CERN/LHCでのATLAS実験

LHC 加速器はスイスのCERNにある周長約27 kmの世界最大の衝突型加速器です。ATLAS検出器はLHCの衝突点に建設した検出器の1つで、特に陽子-陽子衝突実験で生成する粒子の研究を、世界38カ国183研究機関からの約1000人の大学院生を含む3000人以上の研究者が協力して進めてきました。重心系エネルギー7.8 TeVで蓄積したデータの解析から、2012年にヒッグス粒子を発見しました。これを受けて、2013年にFrançois EnglertとPeter Higgsがノーベル賞を受賞したことはご存じの方も多いのではないでしょうか。本研究室では、シリコン製の内部飛跡検出器の運転を担当するとともに、新型半導体検出器の開発を行っています。現在、LHC 加速器は重心系エネルギーを増強し、13.6 TeVでの実験が7月から始まったところです。また、ヒッグス粒子の詳細な研究はもちろん、宇宙の物質の大半を占めている暗黒物質の候補を予測する超対称性理論、4次元より高次元の時空を予測する余剰次元理論などの検証にも取り組み始めました。皆さんも自分の興味に応じて、素粒子物理の新しい世界を切り拓いてみませんか。

2. 国際リニアコライダー (ILC) 計画

■直接測定

ILC は、国際協力で日本国内での建設を目指す次世代加速器で、長さ約20kmの地下トンネル内で電子と陽電子をまっすぐ加速して正面衝突させる装置です。LHC で発見されたヒッグス粒子を極めて高精度で測定することで、新粒子・新現象とその背後にある根本法則を明らかにする「ヒッグスファクトリー」の最有力計画として、ILC は世界の素粒子研究者から期待されており、日本国内での検討と政府間の国際協議が進んでいます。ILC が実現すれば、20年以上にわたり世界をリードする、国内では過去に例のない国際研究所が誕生することとなります。



本研究室では、ILC 実現に向けて計画そのものの推進、測定器の開発設計、深層学習を用いた高度なデータ解析技術の開発などを国際協力で行っています。ILC 測定器は超高精細カロリメータを用いて従来の測定器を大きく越える精度で粒子やジェット(電子・陽電子の衝突により発生する粒子群)をこれまでにない精度で測定することを目指しており、本研究室の研究内容はその中核を担っています。

■間接測定

素粒子物理学の実験では、LHC やILC といった大型加速器を用いたコライダー実験は王道といえますが、実験グループは数百人から数千人にも及び実験期間も建設開始から10 年以上かかります。このような大型国際共同実験で活躍するためには、比較的小規模な実験で十分に力を養う事も重要です。また、小規模実験ではコライダー実験でカバーできない領域を探索できることがあり、互いに相補的な関係にあります。

3. ミューオンを用いた素粒子実験 (COMET, Muon g-2/EDM)

■ COMET 実験

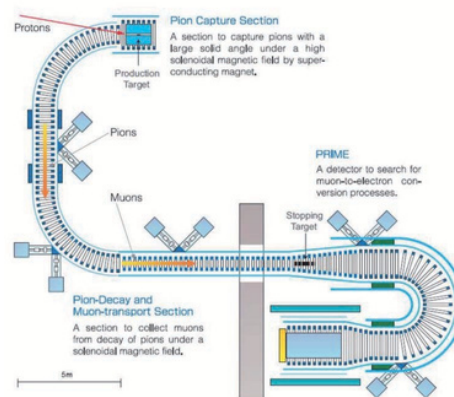
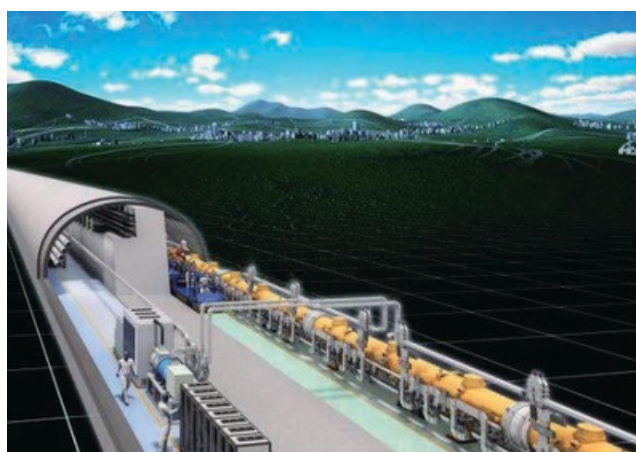
最近のヒッグス粒子の発見に伴って、超対称性などの素粒子の標準理論を超える物理 (BSM) を発見する機運が益々高まっています。本研究室は、茨城県東海村の大強度陽子加速器施設J-PARC で計画されている、BSM の発見に感度が高い「荷電レプトン・フレーバーの破れ」を探索する比較的大規模な新しい実験 (COMET実験)に参加しています。具体的には、大強度の陽子ビームで生成するミューオンを原子核ターゲットに導き、そこで静止するミューオンが電子に直接転換する過程を探索します。

■ Muon g-2/EDM実験

また、過去の国外での実験および同じ実験手法を踏襲して現在行われている別の実験において、ミューオン異常磁気モーメントの測定値が標準理論の予想値から有意にずれているという報告があり、新しい手法による超精密測定が望まれています。そこで、ミューオンの磁気モーメントと電気双極子モーメントを精密に測定する実験 (Muon g-2/EDM 実験)もJ-PARC で計画されており、本研究室もこのプロジェクトに参加しています。

4. 低エネルギー中性子を用いた基礎物理学実験

中性子は電荷を持たず、約15分という他の粒子と比べて長い寿命を持ちます。また、重力から受ける力、磁場から受ける力、原子核から受ける力(強い力)が同程度であるという特徴を持ち、低エネルギーの中性子とこれらの性質を組み合わせる事で様々な実験が可能になります。本研究室はJ-PARC で行う以下の実験 (NOP)に参加しています。①中性子寿命の精密測定実験: 中性子寿命はビッグバン宇宙論での元素合成比を決めるための重要なインプットになるため、その精密測定が望まれています。②原子核反応での時間反転対称性の破れの探索実験: 中性子が複合核共鳴吸収を受ける場合、時間反転対称性が大きく破れることが示唆されています。この破れを中性子前方散乱振幅において測定することで、新物理に対して高い感度を持ちます。



特別研究 (学部4年)

研究内容

4年生だけで行う小規模な実験を通して、粒子の検出メカニズムやデータ解析の手法などについて学んでいきます。今年度は4つのグループに分かれ、「CMOSピクセルセンサーの性能測定」、「シリコンストリップセンサー開発」、「ビームプロファイルモニター開発」、「CIGS検出器の性能評価」をテーマに実験を行っています。

粒子物理学

実験核物理研究室

Experimental Nuclear Physics Lab.

HP : <https://ne.phys.kyushu-u.ac.jp/>

コアタイム：なし

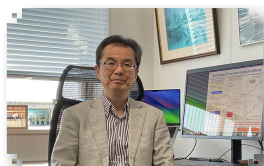
研究キーワード： 新元素・エキゾチック核・EDM・九大タンデム・ 3α 反応・レーザー分光

Member

教授	若狭 智嗣 坂口 聡志
准教授	寺西 高 市川 雄一 高峰 愛子
助教	西畑 洸希 庭瀬 暁隆
修士2年	田中 裕典 谷本 昂平 長尾 陽平 平沢 健斗 松永 琳太郎 道本 優也 山ノ内 邑希 山本 陽介
修士1年	牛島 健成 北川 尚幸 坂本 健輔 清水 博光 永武 瞭 藤井 友喜 藤本 真広 松井 瑠生 松藤 陽菜 宮下 直人
学部4年 (特別研究生)	島田 望帆 古谷 泰斗 鹿田 涼介 林田 昌大 河原 仁志 大塚 玄 渡辺 大翔 宮内 優斗 清水 豪太
学術研究員(高等 研究院・特別主幹 教授)	森田 浩介



教員プロフィール



若狭 智嗣 教授

富山県出身(散居村で有名)。本学・学外加速器施設で、陽子と中性子の「二成分」の量子系としての原子核に対して「スピン」を使って本質に迫ります。絵画鑑賞が好きですが、同じ景色(原子核)でも人によって見え方が違う点が似ています。このような多様性を有する原子核を観てみませんか？



坂口 聡志 教授

子供の頃、「自転車で走りながら鍵をかけたらどうなるだろう」と実験。自転車から放り出され顔から電信柱にめり込んだ瞬間、物理やろう！と決めました。趣味は旅行(元バックパッカー、インド、東南アジア等)、子育て、お酒(クラフトビール、シングルモルト)、映画、スキー、サッカー、山奥の秘境、宇宙飛行士。一緒にお酒や実験をenjoyしましょう！



寺西 高 准教授

出身：東京都。同居家族：妻と娘3人。趣味かどうかかわからないが好きなこと：装置のソフト・ハードいじり、飲酒、旅行、読書。皆さんへ一言：実験研究の一環としてタンデム加速器系の開発にも力をいれています。実験核に興味を持った積極的な学生さんと一緒に研究を進めたり新しい知識や技能の習得ができたりするとうれしいです。



市川 雄一 准教授

九大に来て5年目になります。原子核のスピンを操る実験手法を使って、エキゾチックな原子核の性質を調べたり、基本対称性の破れの探索を行ったりしています。今年は西畑さんに唆され、勢いで福岡マラソンにエントリーしてしまい、九州の美食と美酒でため込んだ質量エネルギーを大解放中です。



高峰 愛子 准教授

今年九大へ参りましたヘヴィメタルをこよなく愛する新任教員です。ゲーム、映画、読書、海外ドラマ、アニメ、お絵描きも好きなインドア派です。九大の合気道部にも加えていただきました。「神は細部に宿る」をスローガンに、原子物理学の精密分光手法を使って不安定核の性質を調べています。どうぞよろしくお願いします。



西畑 洸希 助教

ガンマ線・ベータ線などの放射線を測定して、不安定な原子核の構造を探る研究を行っています。趣味は、DDRやルアー釣り(おもに瑞梅寺川でスズキを釣っています)、また最近は光の戦士業もやっています(ちな白魔)。最近は学生と昔やっていた軟式テニスを楽しんでいます。ちな、DDRと釣り仲間募集中です。よろしくお願いします。



庭瀬 暁隆 助教

九大で博士を取り2023年9月より九大に助教として戻ってきました。現在は質量測定から原子核の構造を探ることで、超重元素ないしは宇宙における元素の起源の解明を目指して研究をしています。趣味は野球(中日ドラゴンズ)、お酒(日本酒など)、電子工作、読書など。「よく食べ、よく飲み、よく学ぶ」をモットーに研究活動を送っています。



アピールポイント

コアタイムなし！！

朝から研究室に来て夕方に帰るもよし、昼からきて遅くまでいてもよし。アルバイトや趣味と研究を両立させるなど、フレキシブルな時間帯で研究を進められます！

人数が多い！

勉強でも研究でも私生活でも、相談できる人が多いです！誰かの実験にはみんなで参加するなど、助け合って研究室生活を送っています。

各地に出張に行ける！

学会発表や実験参加、他のメンバーの実験の手伝いなど、各地に出張に行くことができます！
状況次第では海外での学会発表も！



イベント

年間スケジュール

5月	新入生歓迎BBQ
6月	タンデムドライブ
9月	後期も頑張ろうBBQ
12月	忘年会
2月	修論・博論打ち上げ

定例イベント

毎週火曜日	研究室コロキウム(院生)
毎週決まった曜日	研究グループ打ち合わせ(院生)
毎週決まった曜日	原子核物理に関する輪講(特研究生)
毎週決まった曜日	一般物理に関する勉強会(特研究生)



実績

表彰・受賞

日本物理学会若手奨励賞（第15回、第17回）
原子核談話会新人賞（第27回、第29回）
日本放射化学会奨励賞（2022年）
日本放射化学会討論会若手優秀発表賞（第62～65回）
RIBF User Group Thesis Awards（2022年）
SNP CNS Summer School Incentive Prize（2024年）
ANPhA 2nd (Silver)（2024年）

進学先
(特研究生)

九大大学院（修士）

進学先
(修士課程)

九大大学院（博士）

就職先
(修士課程)

三菱重工業、パナソニック、住友重機械、NTT西日本、京セラ、筑紫台学園、AIG損害保険、Simplex、沖縄電力、富士通九州、三井倉庫九州、佐賀県庁、Qtnet、シスコシステムズ

就職先
(博士課程)

オーストラリア国立大学、
高エネルギー加速器研究機構

表彰・受賞は学生のみ。
一部を抜粋。

Message

単位は早めに
取っておこう！

院試勉強はみんな
協力してやろう！

研究室訪問は
たくさん行こう！





研究内容

1. 核力・核応答の研究「核物性、およびその発現機構の解明」

核力・核物性の発現機構（若狭・西畑）

質量の大部分は、真空中にクォークと反クォークの対が凝縮しこれらがクォークと相互作用する、という過程でダイナミックに生じるとされています。この凝縮の強さは密度依存を持ち、原子核中のような超高密度空間では真空中の 2/3 程度まで減少する（軽くなる）とされています。この変化に敏感な核力のスピン観測量の測定から、**質量の獲得機構**や、**核力に基づく核物性**の発現機構の解明を目指します。



核応答・集団運動（若狭・西畑）

原子核は比較的是っきりした表面を持つため、外場に対して形状が歪んだり、復元力により原子核全体が**集団的に振動**したりします。また、原子核特有の**新奇な変形**をしている可能性も示唆されています。このような原子核という量子系固有の現象やその創発機構を、核反応により励起しその応答を見たり、高スピン・高励起の状態を作り出しそこから放出されるガンマ線などを測定したり、することにより研究しています。



2. 新元素・新原子核の合成「人類未到の第8周期元素、および"安定の島"の探索」

新元素の探索（坂口・庭瀬）

この宇宙は全部で何種類の元素で構成されているのでしょうか。これは古くは四元素説に遡る、数千年にわたる人類の根源的な問いです。21世紀に入ってから113番元素の発見、そして「ニホニウム」との命名を受け、現時点までに元素周期表の第7周期まで埋められました。現在私たちは、理化学研究所など国内外十数の研究機関との国際共同研究により、**人類未到の「第8周期」に位置する119番元素の合成実験**を進めています。新元素を人類史上初めて観測するのは貴方かもしれません！！



安定の島の探索（坂口・庭瀬）

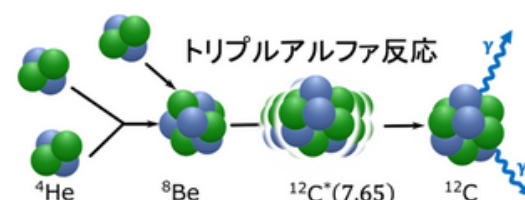
ニホニウムなど非常に重い原子核は一瞬で崩壊してしましますが、既知核より中性子が数個多い同位体は寿命が桁違いに長くなり安定的に存在できると言われています。この「**安定の島**」という**人類未到領域**への到達は核物理学者の夢ですが、これらの原子核は性質解明はおろか合成手法すら未知です。新しい原子核の合成手法、共に探しませんか？

3. 宇宙核物理「身の回りの元素は宇宙のどこでどのように生まれたか？」

現在の宇宙における**元素の起源の謎**を解決することは、原子核物理が抱えている大きな課題の1つです。私たちは、原子核の質量や励起準位の性質等を加速器実験により測定し、天体核反応過程を解明する「宇宙核物理」に取り組んでいます。

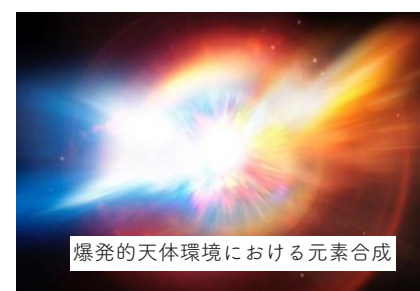
安定核領域の元素合成過程（寺西）

ビッグバン元素合成や恒星中の準静的な核反応過程では、安定核領域の核反応が主要な役割をしています。私たちは、これらの核反応を支配する共鳴状態の性質を、主にタンデム加速器を用いて調べています。最近特に、恒星進化と元素合成において重要な「**トリプルアルファ反応**」（三つの α 粒子から炭素12を生成する反応）の反応率の精密決定に取り組んでいます。



不安定核領域の元素合成過程（寺西・高峰・庭瀬）

恒星進化の末期の爆発的天体環境（超新星爆発、中性子星合体、X線バースト等）では、不安定核領域を核反応過程が進みます。このため私たちは理化学研究所のRIBF等において、不安定核のビーム（RIビーム）を用いた実験を進めています。特に、r-過程等に関与する不安定核の質量を**革新的な精密質量分光器 MRTOF**を用いて精密測定しています（高峰・庭瀬）。また、中性子や陽子捕獲反応率を支配する共鳴状態の測定に取り組んでいます（寺西）。

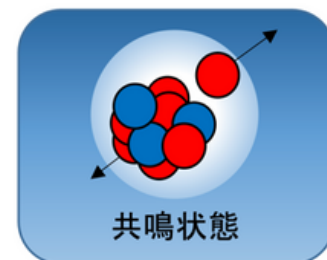


4. エキゾチック核の構造「陽子と中性子の数がアンバランスな原子核の性質は？」

天然に存在する安定な原子核に比べて、陽子数と中性子数の比が大きく異なっている**エキゾチック核**の性質を研究しています。

共鳴状態の研究（寺西）

ドリップライン近くのエキゾチック核は、中性子ハロー構造等の特異な構造を持つことが次第に明らかになっています。これらの原子核のエネルギー準位の多くが粒子放出に対して不安定な「共鳴状態」として現れます。構造、崩壊様式、天体核反応への寄与等を理解するために、RIビーム施設およびタンデム加速器施設において共鳴反応・散乱の実験を行い、**未知の共鳴状態**の探索を行っています。



スピン操作を利用した核分光研究（市川・高峰・西畑）

エキゾチック核を加速器で人工的に生成して、状態のスピンパリティや核電磁モーメント、状態間の遷移強度などの測定を行います。エキゾチック核のこれらの性質を調べることで、原子核の奥に潜む本来の姿を見出し、元素創生の手がかりを探ります。原子核反応を使って**スピンの向きを揃えるユニークな手法**や**高精度レーザー分光**や**原子ビーム共鳴法**を駆使して実験を行います。実験は理化学研究所やカナダのTRIUMF研究所などの加速器施設で行っています。

精密質量分光による核構造研究（高峰・庭瀬）

質量とエネルギーの等価性が示すように、原子核の質量は原子核の結合エネルギーを直に反映した量です。つまり、原子核質量を測定することで、その原子核がどれだけ安定なのか知ることができます。私たちはMRTOF装置を使って、**様々な原子核の質量を正確かつ精密に決定**し、中性子数や陽子数に対して結合エネルギーがどのように変化するかを精査します。その結果から、原子核の魔法数はどこまで成立するのか、原子核の変形の兆候があるかを探り、幅広い不安定核領域にわたって核構造を研究しています。

5. 基礎物理「原子・原子核を応用して、素粒子標準理論のその先へ」

基本対称性の破れ（市川・高峰）

宇宙初期でどのようにして物質が創生されたのか？その謎を解き明かすには、素粒子の標準理論に組み込まれているよりも格段に大きな**CP対称性の破れ**が必要です。身近な系では原子や原子核の電気双極子モーメント（Electric dipole moment, EDM）がその有力な候補です。わずかなEDMを大きく増幅しうる原子核の性質に注目し、核スピンの動きを制御・操作しながら精密測定することのできる核スピンメーザーの装置を用いて、EDMの探索を行います。

標準理論を超える新粒子探索（高峰・市川）

上記のEDM以外にも、標準理論を超える物理現象を生み出す**新粒子の候補**が予想されています。例えば「強いCP問題」の解決につながると期待されるアクシオンの粒子や、中性子と電子の間で交換される可能性のある新しいボソンを、原子物理・原子核物理的手法を応用することで探索します。これらの探査実験は、加速器を使わないテーブルトップの実験装置を用いて行います。

6. 加速器系装置・技術の開発「巨大装置“加速器”、関連装置・技術の開発」

タンデム加速器関連装置・技術（全員）

九州大学のタンデム加速器において、高度な核反応測定等を精密に効率よく行うために、イオン源、本体、ビームライン、コンピューター制御系等の開発を進めています。RIビーム生成法の開発や外部施設の大規模実験で用いる検出器系の開発試験も行っています。加速器系のすべての構成要素の原理を部品レベルから把握して改善を行っています。タンデム加速器実験には、研究の全過程（実験企画・装置開発・ビーム生成・反応測定・データ解析・成果発表）にすべて深く関わることができるという醍醐味があります。

FFA加速器関連装置・技術（全員）

FFA 加速器からの 100 MeV 級の陽子や (p, n) 反応からの中性子を用いた原子核の反応断面積測定や中性子照射による半導体の放射線耐性の測定、核融合反応による「安定の島」への到達等を目指して、新ビームラインや実験装置の整備、新原子核合成のシミュレーションを進めています。ビームラインから院生が携わることができるのは、加速器施設を有する九大・実験核の大きな利点です。



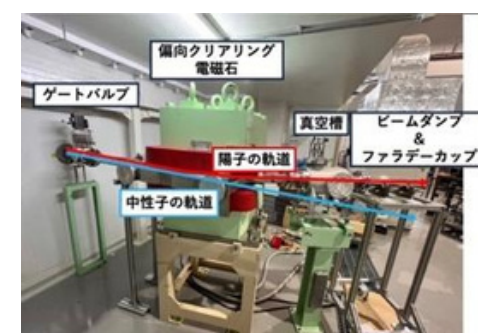
質量分光器MRTOF



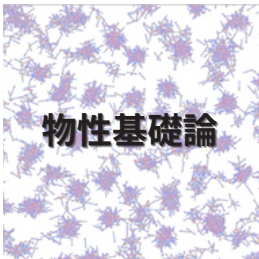
EDM探索用核スピンメーザー



タンデム加速器の内部

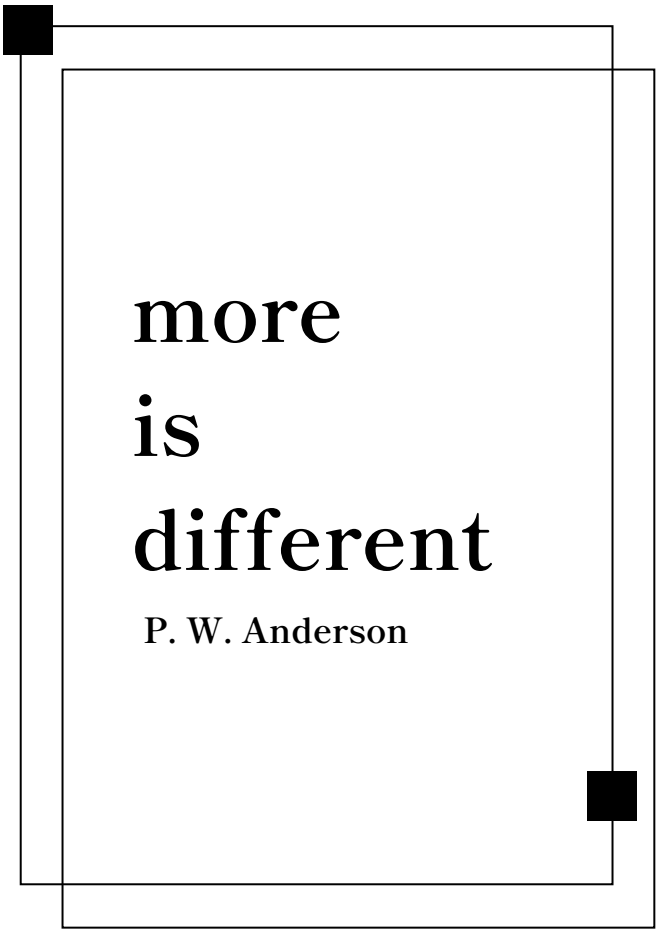


研究室紹介



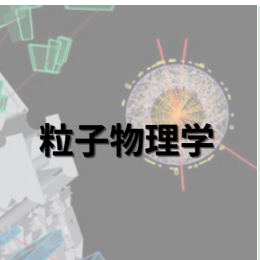
物性基礎論

物性理論研究室	31
凝縮系理論研究室	35



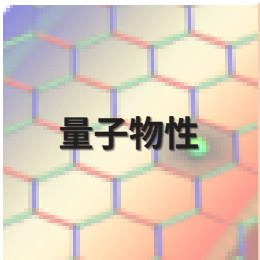
粒子宇宙論

- 素粒子理論研究室 ...
- 粒子系理論物理学研究 ...
- 理論核物理研究室 ...
- 宇宙物理理論研究室



粒子物理学

- 素粒子実験研究室 ...
- 実験核物理研究室 ...



量子物性

- 磁性物理学研究室 ...
- 光物性研究室
- 創発量子物性研究室
- 固体電子物性研究室



複雑物性

- 複雑物性基礎研究室
- 複雑生命物性研究室

物性基礎論

物性理論研究室

Condensed Matter Theory Group

HP: <https://cmt.phys.kyushu-u.ac.jp/ja/>

コアタイム: なし

研究キーワード: ソフトマター・液晶・高分子・ガラス・生命現象の物理



Member

教授	福田順一
講師	松井 淳
助教	多羅間 充輔
博士3年	金子 甲二郎 米澤 弦起
博士2年	松清 洋輝
修士2年	小田 響己 北本 光 中村 草平
学部4年 (特別研究生)	小林 凌 本間 陸斗 大淵 慧陽 片山 大介



教員プロフィール



福田順一 教授

ソフトマターと呼ばれる柔らかい物質群に関する理論的研究を、主に連続体理論とそれに基づく数値シミュレーションによって行っています。特に興味を持っているのが、液晶が形成する秩序構造とそのダイナミクス、および光学的性質です。国内外の実験系の研究者とも緊密な共同研究を行っています。これまでの具体的な研究テーマは、薄い液晶薄膜内における特異な秩序構造の形成メカニズムと光学的性質、コレステリックブルー相と呼ばれる複雑な秩序構造の相転移ダイナミクス、および共焦点顕微鏡像の計算、正弦波状の溝中の液晶がつくるトポロジカル欠陥の性質、パターンを施した表面を用いたトポロジカル欠陥のデザイン、コロイド粒子を含んだ液晶系などです。また過去には高分子の統計力学に関する研究も行なったことがあります。

松井淳 講師

平衡系・複雑系・不規則系で見られる様々な現象について、統計力学に基づく理論と計算機シミュレーションを用いて研究しています。近年は、ガラス転移の統一理論を中心に置き、多岐にわたるテーマに取り組んでいます。また、化学現象の理論的な研究を通して、統計力学の基本的な問題を調べています。その他に社会物理についても研究対象となっています。



多羅間充輔 助教

非平衡系の物理学に興味を持ち、主にアクティブマターと呼ばれる生き物のように自発的に運動するものを対象にした理論物理の研究を行なっています。理想化した状況での一般的な理論の構築を進める研究と並行して、生物学の研究者とも協力して、実際の生き物で見られる具体的な現象を対象とした研究を進めています。特に、生体分子・細胞・細胞集団の各スケールでの力学ダイナミクスとそれらの階層間の繋がりを解明することにより、生命現象を物理学の視点から理解することを試んでいます。また、複数のエレベータの同期を例に社会現象を対象とした物理の研究にも挑戦しています。このような学際領域の「新しい」物理学の研究を進める上で、ソフトマター物理学などで培われてきた粗視化の概念や統計物理学的解析手法、計算機シミュレーションは非常に強力なツールです。

アピールポイント

アットホームな研究室

教員と学生の間の垣根が低く、教員に気軽に質問・議論に行くことができます。
気さくな先輩が多いため、研究についてだけでなく生活面などについての相談もしやすい環境です

自由な研究環境

ある程度自由に学生側が研究テーマから研究活動の方針まで設定することができます。

設備や計算機

最新のCPU、GPUを搭載した計算機サーバーが利用可能です。個人に机とPCが割り当てられます。
お茶部屋には豊富な蔵書がある上に、コーヒーが一杯10円～20円で飲み放題です。

イベント

年間スケジュール

4月	全体ミーティング#／歓迎会
6月	論文発表会(B4)＊
8月	研究中間発表(M2)＊ 飲み会(院試激励&前期お疲れ様会)＊
9月	サンマ会（コロナとサンマ高騰のため、数年休止）＊
10月	研究中間発表(M1)＊
12月	修論・特研中間発表＊／忘年会＊
1月	新年会／修論予備審査#
2月	修論発表会
3月	特研発表会(B4)＃／リサーチレビュー発表会(M1)＃ Farewellパーティー＊

#印：物性基礎論全体でのイベント
＊印：統計物理学研究室と合同で行うイベント

定例イベント

隔週月曜日	コロキウム
毎週水曜日	研究室ミーティング／論文速報（論文紹介）
毎週1回	輪読

実績

研究	プレス発表: 「液晶は渦を巻く～液晶の新たな秩序構造形成を理論、実験により初めて実証～」 (https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159) 「液晶がナノ構造をつくる際の新現象を発見」(https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/661)
表彰	福田: Outstanding Referee（アメリカ物理学会, 2020）, 日本液晶学会論文賞（2019,2012）日本物理学会若手奨励賞（領域12, 2008）, 日本液晶学会奨励賞（2002） 多羅間: 第9回ソフトマター研究会ポスター発表賞（2019）, Presentation Awards for Young Scientist at the International Conference on Advances in Physics of Emergent orders in Fluctuations（2018）, Richard M. Noyes Fund Fellowship（2014）, 未踏科学サマー道場ポスター発表優秀賞（2012）
進学先 (特研究生)	九大大学院／東工大大学院
進学先 (修士課程)	九大大学院
就職先 (修士課程)	九大大学院
就職先 (博士課程)	九大／九産大

Message

- ランニングクラブの部員募集中です♡（松清）

■ 困った時は先輩を頼りにしてください！！（北本）

■ 一緒に学食に行きましょう（中村）

■ ゆるふわ放置系理論研究室なので、院生は研究スタイルを教師なし学習していくことになります。ノーベル賞のトレンドを反映したとても素敵な研究室です。（米澤）



研究内容

本研究室では、柔らかい物質群の総称である「ソフトマター」をキーワードに、液晶、高分子、ガラス、生物といった幅広い主題の理論的研究に取り組んでいます。先に挙げた研究対象を見ると、本当に物理学の研究対象なのかとも思いますが、アメリカ物理学会が発行するPhysical Review Eやヨーロッパ物理学会が発行するEuropean Physical Journal Eなど、ソフトマター物理学をターゲットとする専門誌も複数出版されており、基礎物理学の重要な一分野として認識されています。ソフトマターは物理学、数学、化学、工学、生物学などの多様な学問分野が融合して発展している学際的な研究分野です。理論物理の立場においても、純粋数学に近い観点からも、工学寄りの観点からも興味深い問題は多様に存在し、様々な問題に幅広いスタンスで取り組むことが可能です。また当研究室では、学生の研究テーマ設定においても極力自主性を尊重しており、自らテーマを設定する学生も珍しくありません。以下に当研究室で取り組んでいる研究テーマの例を示します。

液晶の秩序構造とその光学的性質

ソフトマターは様々なかたち、空間スケールの秩序構造を自発的に形成すること（「自己組織的秩序構造」と呼ばれます）が興味深い性質の1つであり、液晶はそのような自己組織的秩序構造の宝庫です。また、秩序の不連続性として定義される位相欠陥という数学的概念が目に見える形で現れることも液晶が理論の立場から興味を持たれている理由の1つとなっています。主に連続体理論を用いて、それらの秩序構造の性質、形成メカニズムの解明に向けた研究を行っています。

ターゲットとしている系の1つは、鏡映対称性のないキラルな液晶が示す複雑な秩序構造であるコレステリックブルー相です（以下「ブルー相」）。ブルー相を示す液晶を薄い空間に閉じ込めると、素粒子物理学分野や他の凝縮系物理学分野で盛んに研究されているスカーミオンと呼ばれる渦状の秩序構造などが生じること（図1）を示したり、ブルー相の秩序が示す立方格子が異なる向きで接する双晶と呼ばれる構造、およびその形成メカニズム（図2）を明らかにしたりしてきました。他にも、液晶を閉じ込める2枚の平らな表面上にパターンを施すことで液晶中に生じる位相欠陥をデザインできることを示したり（図3）、層状の秩序を有する液晶の構造のシミュレーションを行なったりしています（図4）。

またディスプレイへの応用からも容易に想像できるように、液晶の光学的性質に関する研究は非常に盛んに行われています。上述のスカーミオンを含む数百nmのスケールの秩序構造の光学顕微鏡像を数値計算により求め、実験結果を極めてよく説明できたこと（図5）、ブルー相に入射した光の反射特性を計算し、実験と良い一致を示したなどが当研究室の成果として挙げられます。また凝縮系物理学の分野で近年大きな注目を集めている、波数空間におけるバンドトポロジーの概念を液晶の秩序構造に適用して、光学的性質に関する新たな知見を得られないかという観点からの研究も行なっています。

出典:

図1: <https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/159>

図2: Phys. Rev. E 105, 044707 (2022), 修士論文（山下晃弘）

図3: Nature Comm. 6, 7180 (2015)

図4: 修士論文（西山大樹）

図5: Nature Phys. 13, 1215 (2017)

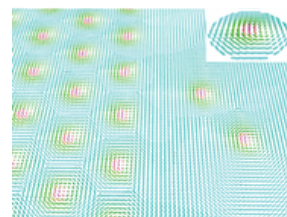


図1: ブルー相のスカーミオン構造

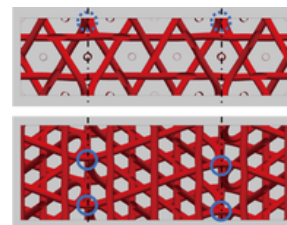


図2: ブルー相が示す双晶構造

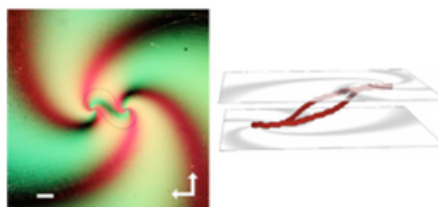


図3: 位相欠陥のデザイン
(左:実験 右:数値計算)

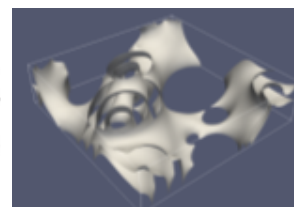


図4: 層状の秩序を有する液晶

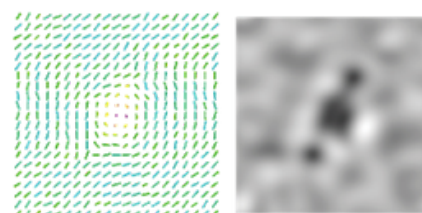


図5: 左は液晶の秩序構造 右はその光学顕微鏡像
(いずれも数値計算で得られたもの)

ガラス

ガラスは、非晶質固体（面心立方や体心立方のような周期的配置ではなく、各分子の位置が乱雑なままの固体）に分類され、0 Kにおいても分子配置が乱雑なためにエントロピーが消失しない、未だ統計力学や熱力学で取り扱うことが出来ない研究対象です。また、高温の液体状態から冷却してガラス状態へ転移するとき、通常の相転移でみられるような比熱の急激な変化が観測されますが、その変化の原因を転移前後の分子配置構造の変化によって説明することができません。理由は、液体の分子配置とガラスの分子配置がどちらも乱雑で区別がないからです。分子の配置ではなく速度（運動量）を比熱変化の原因と考え、分子1つ1つの動きや全体的な運動の変化を計算機シミュレーションを用いて解析しています。これまでの研究により、ガラス転移温度近くの分子運動の2つの特徴が明らかになりました。時間的な特徴の「間欠性」と、空間的な特徴の「動的不均一性」です。アンサンブル平均などの統計力学の考え方を、時間的にも空間的にも不均一な系に対して適用することは難しく、革新的なアイデアによる統計力学の進化を目指しています。

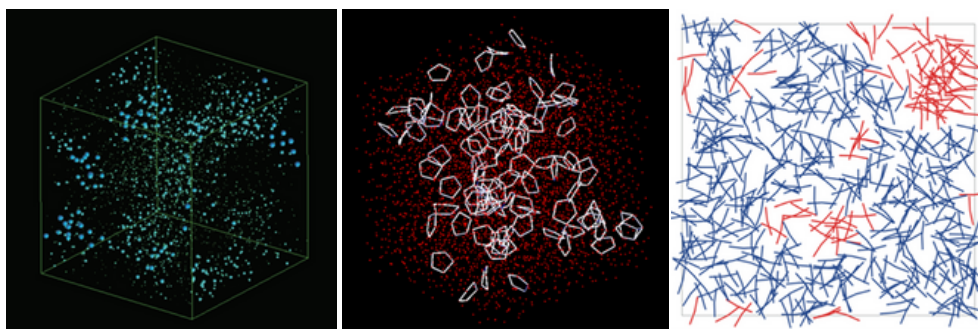


図 6: 計算機シミュレーションを用いた分子運動の解析; 分子運動を可視化して、時間的あるいは空間的な不均一さを数値化します。

生命現象の物理

生命の最小単位である細胞は細胞骨格と呼ばれる分子が生み出す力により能動的に運動します。細胞内では、細胞骨格分子がさまざまな動的な高次構造を形成しており、その構造形成原理と細胞ダイナミクスに対する役割に焦点を当てた研究を進めています（図 7）。最先端の高速・超解像度の顕微鏡でも捉えることが困難なこれらの分子集団のダイナミクスを、一つ一つの分子の動きを追う数値シミュレーションにより再現して解析することで、そのメカニズムを明らかにすることを目指しています。また、このような生体分子の力生成の結果現れる細胞の運動を特徴づける基礎方程式の構築も研究課題の一つです。さらに、細胞から生体組織、器官、個体へと生き物が形作られる上で重要な役割を担う細胞集団の協働運動の背後に潜むメカニズムを物理学の視点から研究しています（図 8）。

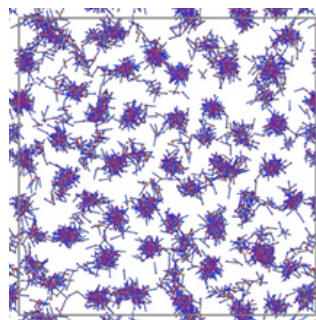


図 7: アクチン細胞骨格が自己組織化するクラスター構造の再現 [Nat Commun (2024) 15:464]

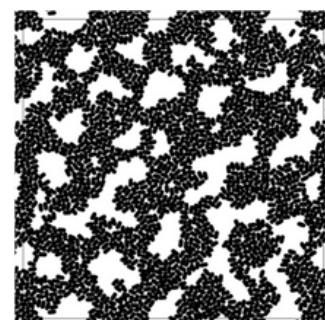


図 8: 細胞運動の力学モデルを用いて再現された中胚葉細胞が自己組織化するネットワーク構造

アクティブマター

生き物のように、外力に駆動されることがなくとも、自発的に運動するものをアクティブマターと呼びます。もちろん生物はアクティブマターの宝庫です。また、コロイド粒子や液滴などを用いて、より制御された非平衡条件下で自発的な運動を実現した「人工系」のアクティブマターも数多く作成・研究されてきました。我々は、細胞や自己推進液滴のように形の変形を伴って自発運動するアクティブソフトマターが変形と運動の相互作用によって示す多彩なダイナミクスや、外場下でのアクティブダイナミクス、集団運動などを研究しています。在籍中の大学院生の中には、狭い領域に閉じ込められたバクテリア集団の運動を具体例に、連続体シミュレーションや粒子シミュレーションの手法を用いて、境界とバクテリアのキラルな相互作用の影響や（図 9）、巨視的な渦の形成メカニズム（図 10）などを研究している人もいます。

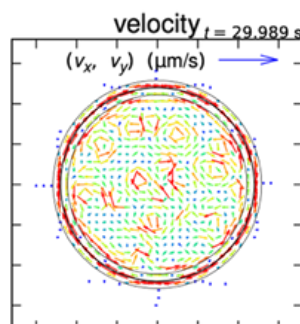


図 9: 連続体シミュレーションを用いた、円形容器に閉じ込めたバクテリア集団が示すエッジカレントの研究

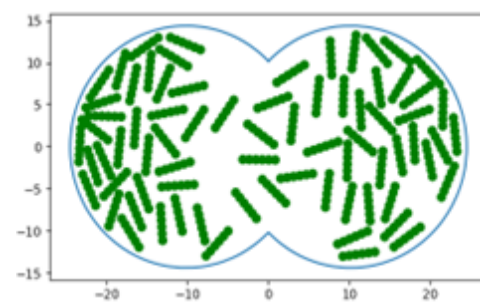


図 10: 粒子シミュレーションを用いた、狭い領域中のバクテリア集団の安定した自発的渦形成の研究

その他にも、以下のようなテーマに取り組んでいる大学院生がいます（いました）。

- ・環状分子からなる系の相転移
- ・温度勾配下での相分離のダイナミクス
- ・液晶の熱揺らぎに由来する擬似カシミール力
- ・液晶が示すソリトン構造のダイナミクス
- ・細胞組織のダイナミクス
- ・場の理論の手法を用いた高分子系の統計力学
- ・高分子系のマイクロレオロジー
- ・細胞運動の力学環境応答
- ・データを用いた自己推進液滴の運動方程式の推定

物性基礎論

凝縮系理論研究室

Many Body Physics Theory Group

HP: <https://sites.google.com/view/mbp-phys-kyushu-u/home>

コアタイム: なし

研究キーワード: 物性理論・トポロジカル物質・量子力学・電磁気学



Member

教授	野村健太郎
准教授	磯部大樹
助教	工藤耕司
博士3年	木村春貴
修士2年	目黒智成
修士1年	古庄優汰 山崎一朗
学部4年 (特別研究生)	田上大志 前原啓人 渡邊光太



教員プロフィール

野村健太郎 教授

出身地: 神奈川県藤沢市
専門分野: 物性理論・凝縮系理論



令和4年度より九州大学に着任しました。
膨大な電子からなる凝縮系の理論研究, 特にトポロジカル物質と呼ばれる比較的新しい分野を中心に磁性や超伝導, 量子輸送現象など, 不思議で面白い物理現象を探究しています。
ここ数年は, 物質中の電子があたかも相対論的粒子のように振る舞う, ディラック電子系の研究をしていて, 電気と磁気が複雑に絡み合った新現象を明らかにしてきました。
好奇心は強い方で, 興味を持っていることは数学(幾何学, トポロジー)と物理の境界分野からスピントロニクスや量子コンピュータなどの応用まで幅広いです。
この分野の研究の面白みは自由な発想と多彩なアプローチだと思います。また, 比較的若い時期から, 海外の研究者と論文を書いたり, 実験研究者と共同研究したりと活躍の場が広がっていくことも良い点だと思います。当研究室のメンバーは話好きな人やスポーツ好きな人など, 親しみやすい人ばかりなので気軽に遊びにきてください。

磯部大樹 准教授

出身地: 山口県萩市
専門分野: 物性理論・凝縮系理論



2024年7月に九州大学に着任しました。これまでは東大・MIT・理研で物性理論の研究を行ってきました。物性理論は、身近に存在し目で見て触れる、あらゆる物質を対象とする分野です。これまで金属、絶縁体、磁性体、有機物質などにおいて、主に電子が関わる現象を対象に、トポロジカル物性、超伝導、量子ホール効果など、さまざまな研究を行ってきました。身の回りのものについて不思議に思ったことはすべて研究テーマになります。研究ツールは自由で柔軟なアイデア、そして紙とペンです。これまで世界のいろいろなところで研究をしてきた経験を生かし、九州発でみなさんとまだ誰も知らない最先端の研究をしたいと考えています。

工藤耕司 助教

出身地: 埼玉県所沢市
専門分野: 物性理論・凝縮系理論



2023年4月に着任しました。初めての九州生活です。やはり福岡のご飯は美味しいですね！私は物性物理学、特にトポロジカル量子物性の研究を行っています。量子力学によると粒子はフェルミオンかボソンのいずれかなわけですが、実は2次元系では「エニオン」と呼ばれる奇妙な粒子が存在できます。これは、量子力学のトポロジカルな視点から導かれる一つの帰結です。私はそのエニオンを伴う物質相を研究しています。趣味は音楽です。ピアノとオーボエを演奏できます！音楽好きな人、今度お話ししましょう！

アピールポイント

固体中の電子

物性基礎論研究グループの中でも、私たち凝縮系理論研究室はいわゆる固体物理の理論を研究対象にしています。統計物理学で有名な「More is different」という言葉があります。固体中の電子についても、アボガドロ数のオーダーの電子たちが相互作用しあって、普通の電子の振る舞いとは違った性質をみせます。Berry位相、“トポロジカルな”絶縁体、半金属…など一見ふしぎに見える電子の世界を、私たちは調べています。

研究室内・外のメンバーの距離感

私たちは、毎朝 10 時に集まってミーティング（と称した雑談）をしたり、昼間に集まってフットサルをしたりと、研究室メンバーで交流する機会が多いです。朝のミーティングでは、最近こういう映画を見たとか、そろそろワールドカップの季節だとか、そういった話（本当に、ただの雑談）をしています。また昼間のフットサルでは、他の研究室や事務の方々も遊びに来るので、研究室内・外で様々な人と交流することができます。

フレッシュさ

我々凝縮系理論研究室は、東北大から移籍して令和 4 年度から発足した研究室です。故に研究室の決まり事などあまり無く、自由に勉強、研究することができます。また研究分野自体も新しく、ここ 10 年、20 年ほどで発見されてきたものです（参考までに、研究対象の 1 つである磁性 Weyl 半金属が見つかったのは 2017 年です）。新しくできた研究室で、そして新しく形成されつつある研究分野で、共に研究しましょう！

イベント

年間スケジュール

4 月	物性理論グループBBQ / 新メンバー歓迎会
8 月	物性若手夏の学校 / 大学院入学試験
9 月	日本物理学会

定例イベント

輪講	週に一度、研究室全員でゼミを行います。 過去には「量子ホール効果」や「凝縮系物理における場の理論」などに取り組みました。
チームミーティング	週に一度、研究の進捗報告やブレインストーミング、論文の紹介など、研究に関わることを活発に議論しています。
日課	朝のミーティング（AM10：00～）や昼休みのサッカーを通して、交流を深めています。

実績

進学先 (学部卒)	内部進学 / 東北大 / 京都大
進学先 (修士卒)	内部進学 / 海外
就職先 (修士卒)	電機 / 半導体 / IT / 自動車 / 鉄鋼 / 教職
就職先 (博士卒)	ポスドク（国内・海外） / 企業研究職

これまで、修士18名、博士7名の学生を指導し、卒業生は専門性を活かしつつ様々な業界で活躍しています。博士進学率の高さも特徴です。また在籍中に海外留学する人も多く、国際的な感覚を身に付けられます。

今年で3年目になる研究室で、今後もどんどんイベントを増やしていく予定です！
研究室に配属されたら、一緒にイベントを企画したりして、もっと研究室を盛り上げていきましょう！

Message

■博士3年 木村
学部時代に量子力学の面白さに魅了され、この研究室を選びました。ここでは量子ホール効果や超伝導、スピントロニクスといった多様な量子力学現象の研究に取り組むことができ、とても充実しています。

Message

■修士1年 古庄
固体中の電子の振る舞いはまだまだ分からないことだらけで、宇宙のように深淵なものだと思っています。素粒子や宇宙のように小難しいことも好きだけど、もっと身近に感じながら研究を行いたい方はぜひ凝縮理論研を考えてみてはどうでしょうか。
■学部4年 前原
B4の時から大学院の先輩のセミナーに参加でき、最先端の研究を早くから一緒に学べるところが魅力的だと思います。メンバー間の距離が近く、気軽に相談させてもらえるのも良いところです。

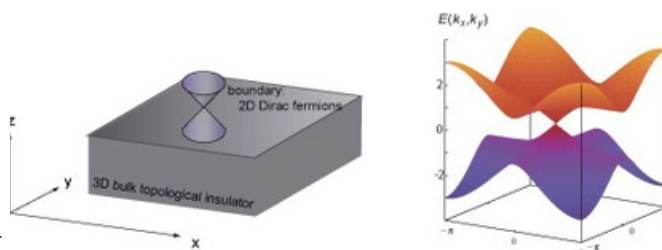


研究内容

我々の研究室では、トポロジカル物質と呼ばれる新奇物質の電子状態、輸送現象を理論的に研究しています。トポロジカル物質においては、相対論的粒子(ディラック粒子、ワイル粒子、マヨラナ粒子)がその物性を担い、既存のマクスウェル電磁気学では説明できない電磁応答が発現します。量子力学、相対論的量子力学、場の理論などに興味のある方は、是非我々の研究室をご検討ください。ここでは、特異な電子状態を持つトポロジカル物質について少しだけ紹介したいと思います。

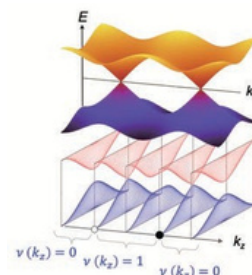
トポロジカル絶縁体：

物質内部ではバンドギャップ(禁制帯)が生じ、電流が流れない絶縁体状態になっていますが、表面・界面においてギャップが存在しない金属状態(ギャップレスモード)が存在します。このような特性はトポロジーによって特徴付けられます。3次元トポロジカル絶縁体の表面状態は2次元の相対論的波動方程式(ディラック方程式)で記述され、ディラック粒子に起因した通常の金属とは異なる特殊な性質を示します。我々のグループでは、トポロジカル物質の表面における電気伝導、特に乱れや相互作用の効果、および表面状態に起因したスピン-電荷変換などの電磁応答に関する理論的研究を行っています。



トポロジカル半金属：

物質内部に三次元の線形なエネルギースペクトルが存在する物質です。スピン縮退したものはディラック半金属、対称性が破れてスピン縮退がとけたものはワイル半金属と呼ばれています。特にワイル半金属においては、その物性はワイル粒子が担い、量子異常に起因した特殊な電磁応答が現れます。我々のグループでは、近年発見されたカゴメ層状の強磁性ワイル半金属 Co₃Sn₂S₂ に注目し、有効モデルの構築、輸送特性の解析を行い、ワイルバンドに起因した新規物性を明らかにしました。

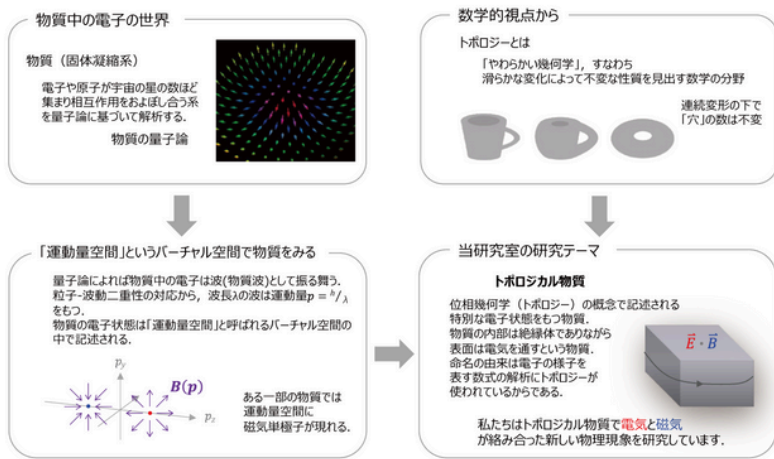


トポロジカル超伝導体：

トポロジカル物質の概念は絶縁体に留まることなく、トポロジーによって特徴付けられる超伝導体、トポロジカル超伝導体の存在も提唱されています。3次元トポロジカル超伝導体の表面の電子の励起はマヨラナ粒子として記述されます。マヨラナ粒子とは自分自身が反粒子である粒子であり、非可換統計に従うなど奇妙な性質を示すことが知られています。近年、その性質が量子計算に応用できることが指摘され、量子コンピュータ実現の鍵として世界中で研究が進められています。我々のグループでは、トポロジカル超伝導体接合系などで見られる現象や基礎的な特性の理論的に研究を行っています。



凝縮系理論研究室



参考文献：野村健太郎、「トポロジカル絶縁体・超伝導体」丸蔵、2016。

野村健太郎 教授 著

「トポロジカル絶縁体・超伝導体」

トポロジカル物質の理論が詳しく書かれています。Aharonov-Bohm効果から始まり、量子ホール効果、トポロジカル絶縁体・超伝導体といったトポロジカル物質に関する様々なトピックが学べます。量子力学、固体物理学を学習した方でしたら楽しめます。我々のグループに興味がありましたら是非ご一読ください。



研究室紹介



量子物性

磁性物理学研究室	39
光物性研究室	42
創発量子物性研究室	46
固体電子物性研究室	51

新 奇 な 量 子 現 象



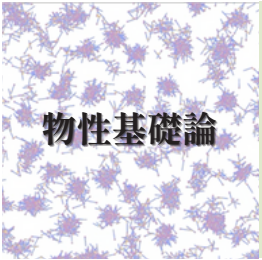
粒子宇宙論

素粒子理論研究室 ...
粒子系理論物理学研究 ...
理論核物理研究室 ...
宇宙物理理論研究室



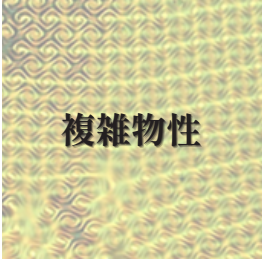
粒子物理学

素粒子実験研究室 ...
実験核物理研究室 ...



物性基礎論

物性理論研究室
凝縮系理論研究室 ...



複雑物性

複雑物性基礎研究室
複雑生命物性研究室

量子物性

磁性物理学研究室

Physics of Magnetism Laboratory

HP : <http://pom.phys.kyushu-u.ac.jp>

コアタイム：なし

研究キーワード： 磁性 物性 希土類元素 実験



Member

教授	光田暁弘
修士2年	木村哲平 田坂啓悟
修士1年	大谷峻人 松田悠太
学部4年 (特別研究生)	梶西幸平 成田悠馬



教員プロフィール

光田暁弘 准教授



愛知県出身ですが、親の仕事と家庭の都合で大阪、静岡でも育ちました。大学は、身の回りにある電化製品やPC等に使われるデバイスや材料に興味があったので工学部に進学しました。当時の大学では1, 2年生(私の大学では回生を使っていました)は教養部(九大の基幹教育院のような組織)で授業を受けることがほとんどだったのですが、そこで受けた物理学の授業が興味深かったのと、ある先生と教養部の物理学実験を通じて親しくなり、より基礎的なことに興味が移っていきました。その先生からは、「君の学科なら〇〇先生の研究室が良いよ」と勧められて、私の所属学科にあった磁性物理学の研究室に所属することになりました。金属結晶中の電子や磁気モーメントの振舞を研究する研究室であったので、当初の興味とは少しずれていましたが、より基礎的な所を掘り下げる研究という意味では繋がっていると思っています。その後、理学的な研究室でPD研究員、助手を務めて九大物理に赴任しました。



アピールポイント

コアタイムについて

磁性物理学研究室では基本的にコアタイムと呼ばれる拘束時間はありません。そのため、各自自由に計画を立てて自分の研究を行う事ができます。

先生方・仲間のサポート

研究で行き詰まったり、サポートが必要な際は先生方、研究室メンバーに頼る事も可能です。なかなか1人で研究を進められない場合、声をかけて頂けるとサポートします。

雑誌会

上半期、下半期に1回ずつ論文紹介があります。自分の研究に近い内容、興味のある内容の論文を、翻訳して研究室メンバー、先生方と議論し合います。様々な論文に触れられる機会だと捉えています。

 イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
8月	大学院入試 / 院試お疲れ様会
12月	ニュートン祭
3月	合同卒論発表会 / 忘年会

定例イベント

前期・後期	雑誌会 (半期一回ずつ論文の紹介をします)
-------	--------------------------

 実績

実績	2024.3 量子物性分野特研発表会で大谷君と松田君が発表しました。 2024.2 修士発表会で中島君，横枕君が発表しました。 2023.3 量子物性分野特研発表会で菊本君，木村君が発表しました。 2022.3 和田先生の理学研究院長の任期が終了しました。 2021.3 大山耕平君が理学博士号を取得しました。 2021.3 量子物性分野特研発表会で飯森君，木下君，仲村君が発表しました。
----	--

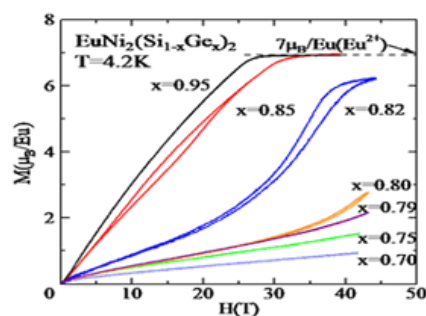
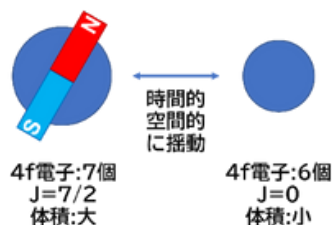
Message

コアタイムがなく自分のペースで研究を進めることができる自由な雰囲気が魅力の研究室です。

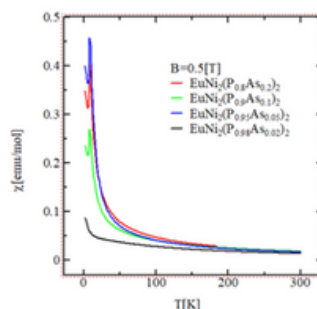
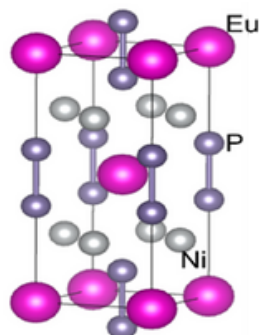


研究内容

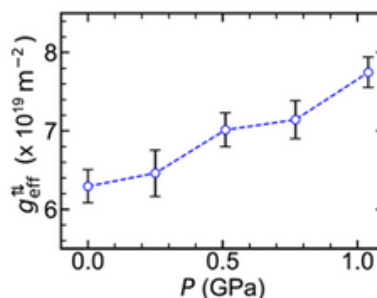
1. 希土類元素では4f電子が磁性の主役である。この4f電子軌道の外側には5s軌道, 5p軌道という電子の詰まった軌道が存在する。さらにその外側の5d軌道に1個, 6s軌道に2個の電子があり, これらの3つの電子が結合にあずかる。すなわち, 4f電子はふつう化学結合にあずかることはなく, 内側に存在するので, 隣からの影響も受けにくい。金属でも, 絶縁体でもこのような希土類を通常3価の状態と呼ぶ。たとえばEuでは3価の状態 (Eu^{3+}) では4f軌道に電子が6個存在する。ところがEuの場合, 伝導電子から1つ4f軌道に電子が入った2価 (4f電子が7個) となる場合 (Eu^{2+}) も存在する。さらに面白いことに, 価数が時間空間的に揺動して, 2価と3価の中間の値をとるような化合物もあり, これを価数揺動という。



2. 4 f 軌道の電子が磁性に関係する希土類金属元素で, Eu化合物であるEuNi2P2を扱っています。EuNi2P2ではEuが2価と3価の2つの状態をとり, 両価数間で揺らぐ価数揺動という現象が生じます。またEuの平均価数には温度依存性があることがわかっており, 最低温で約2.5価という非整数の値をとる珍しい物質です。現在取り組んでいる内容としては, PサイトやNiサイトを同族でより大きな元素であるAsやPtに置換した試料を作製し, 電気抵抗や磁化率などの物性にどのような影響があるかを調べています。図はEuNi2P2の構造とAs置換後のMPMS測定。



3. 強磁性/非磁性素子を用いた強磁性共鳴(FMR)によるスピン注入という現象がある。これは強磁性層に高周波電流を流すことでFMRが起こり, 磁化が歳差運動を始める。このとき磁化の歳差運動から伝導電子スピンの非磁性層に注入される。この際素子を加圧することで界面スピン注入効率を制御することが可能であることがわかっており右図から界面が加圧されることでスピン注入効率が上昇していることがわかる。またこのことからそのほかの二層膜の現象において, 圧力をかけることで界面スピン偏極に起因したものであるか調べることができる。左図は加圧するための器具。



量子物性

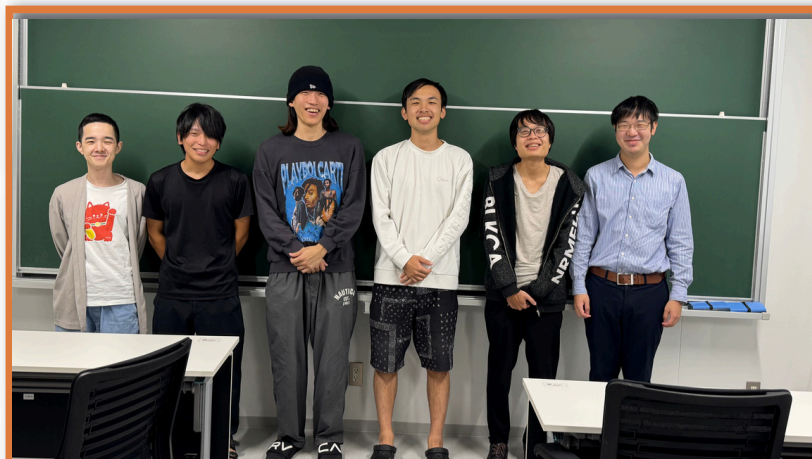
光物性研究室

Solid State Spectroscopy

HP : <https://hikari.phys.kyushu-u.ac.jp/>

コアタイム：なし

研究キーワード： テラヘルツ・超伝導・低温

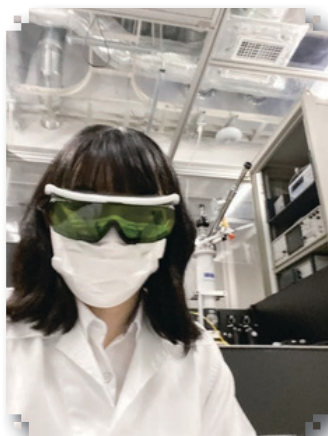


Member

准教授	中村 祥子
修士1年	高野 紘輔 李 柏諭 中村 駿
学部4年 (特別研究生)	小澤 悟朗 吉中 波瑠 秦 史弥



教員プロフィール

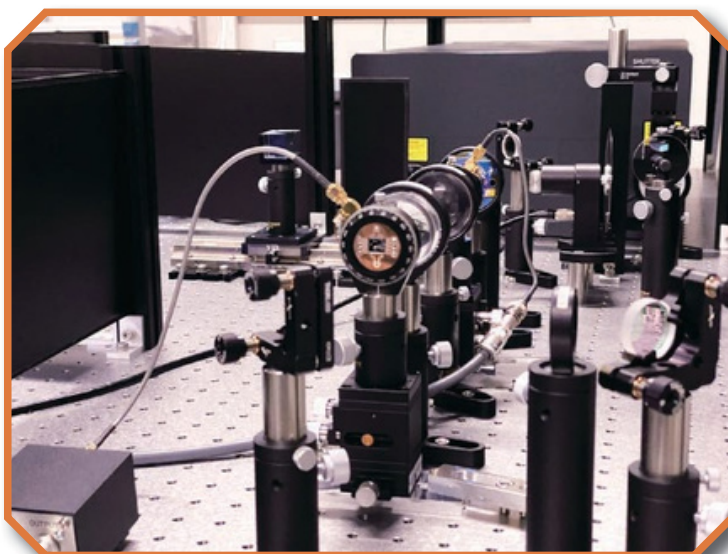


中村祥子 准教授

11月で着任3年目に入りました！

福岡出身です。高校時代に、空気抵抗の実験が楽しくて物理を志しました。物理学に進学後は、超流動・超伝導に惹かれて超低温の研究室に入り、2次元ヘリウムの比熱測定で学位を取得した後、光物性の研究室に移り、最も低エネルギーの光であるテラヘルツ波を用いて超伝導体の光学応答を研究してきました。現在の実験技術では、温度は数ケルビン、周波数は0.3 THz付近が限度ですが、もっと低温、もっと低エネルギーに、おもしろそうな超伝導体がたくさんいます。低温と光学の技術を磨いて融合し、新しい超伝導物性を切り拓くことを目指しています。

写真は、ほぼ不審者ですが、光学実験中の服装です。マスクはミラーを息で曇らせないため、メガネはレーザー光から目を守るため、白衣はホコリから光学系を守るため……iPhoneには人間と認識してもらえません。



アピールポイント

テラヘルツ波は未来の電波

テラヘルツ波は、現在スマートフォンなどで使用されている5Gの次(beyond 5G)、さらに高速な通信を実現する6Gでの利用が期待されている周波数帯で、光のような直進性と、電波のような透過性の双方を兼ね備えた電磁波です。電波の利用、すなわち、電波を発信して伝送して受信するには、電波を高強度に発信して受信する技術や、電波をロス無く伝える素材、電波に敏感に反応する素材など様々な技術が必要なので、未来の電波利用に向けて、材料・技術の開発が急ピッチで進められています。私たちは、テラヘルツ帯の基礎物理を解明し、応用研究に指針を与えることを目指しています。

ダイバーシティ

現メンバーは、おそらく多様性が高いです。ここで書くより直接聞いた方が楽しいので、詳細はニュートン祭で！

自主性・主体性を重んじる

特別研究や大学院の研究は年単位で行うものですが、細かく見ると、月単位の目標、週単位の目標、1日の作業、1時間でできること、とわかれていて、そのそれぞれが小さな研究になっています。最終的に、自立して大きな研究が進められる人になれるように、日々の小さな研究から、自分で考えて自分に最適化する練習を繰り返して欲しいと考えています。

イベント

年間スケジュール

4月	新入生が加わる
8月	夏休みの到来・大学院入学試験
9月	日本物理学会
10月	夏休みの終わり
12月	日本物理学会九州支部例会
1~3月	リサーチレビュー、特研発表会など
3月	日本物理学会、卒業・修了生が旅立つ

定例イベント

毎週月曜日	輪読
毎週水曜日	ミーティング
不定期開催	セミナー・講演会・講習会などの聴講（年数回程度）
適宜	大学院集中講義の聴講

実績

研究	Phys. Rev. Lett. 133, 036004 (2024) (Editor's Suggestion, Featured in Physics 17, 117 (2024).)『固体物理』（アグネ技術センター）に寄稿（2024年12月号に掲載予定）。
進学先 (特研究生)	九大大学院（予定）
就職先 (特研究生)	IT関係、公務員（予定）

Message

- 単位は4年前期までに切り切りましょう。
- 量子力学はちゃんとやろう。
- 計画を立てる癖をつけよう（せめて明日は何やろーくらい考える）

教員がアルコールを受け付けない体質のため、飲み会系のイベントはありませんが、歓迎したり送別したりする気持ちが無いとか、研究室の人間関係が険悪すぎて集まるとバトルがはじまるとか、そういう状況ではないので、ご理解いただけると幸いです。



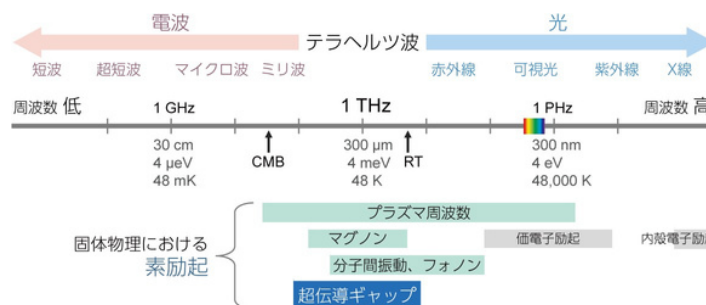
研究内容

光物性研究室では、光を用いて、物質の中の量子力学を研究します。

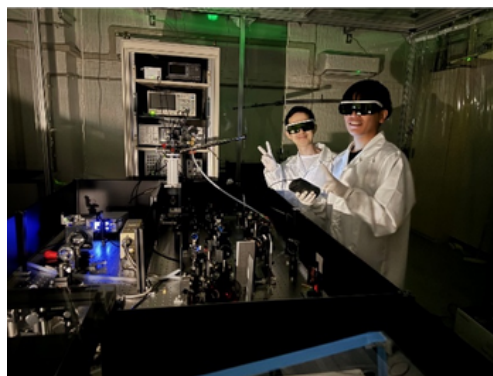
具体的な研究内容を、1. 光を「作る」、2. 光で「測る」、3. 光で「駆動する」に分けて、ご紹介します。

1. 光を「作る」

光子は、周波数によって異なる光子エネルギーを持ち ($E = h\nu$)、光子エネルギーの大きさによって励起できる素励起が変わります。ヒトと光の相互作用を考えると、赤外線ヒーターは暖かいだけですが、可視光だとまぶしくて、紫外線が当たると日焼けしますよね。同様に、物質と光の相互作用も、周波数によって変化します (図を参照)。そのため、調べたい物質・調べたい性質 (素励起) に合わせて、ちょうどよい周波数の光を「作る」必要があるのです。固体物性において重要な素励起は、光の中で最も低エネルギーの「テラヘルツ波」と呼ばれるエネルギー帯に相当しています。そこで本研究室では、近赤外のフェムト秒パルスレーザーを光源に、非線形光学結晶や光伝導スイッチを用いてテラヘルツ波を作る研究を行っています。



非線形光学結晶を透過した光が、目に見えない近赤外光から緑色の光になる第2高調波発生。



光学実験の様子。近赤外光(1030 nm)は目に見えないのでモニタ付きのカメラを使用します。

2. 光で「測る」

光と素励起のエネルギーがピッタリ一致すると、光をよく吸収する (共鳴する) ので、光の吸収の周波数依存性から、物質中の素励起のエネルギーを決定することができます。それだけでも十分 すごいのですが、偏光を用いることで素励起の対称性が見えてきたり、短いパルスの光を使うことで超高速な変化が追えたり、物質の内側や、逆に表面だけの応答を抽出できたり、そこに非線形応答を加えると、物質の中の対称性の破れや、光の波長と異なる波長に相当するエネルギー帯も調べることができます。そのように、光と物質の相互作用には、測定するサンプルと照射する光、検出する光によって、多彩な物理が広がっています。



3. 光で「駆動する」

「測る」ときに興味があるのは、外場（光）が無いときの性質です。一方、ここでは、外場（光）があるとき特有の性質に着目します。半導体の光センサーは、光を照射して、励起されたキャリア（電子や正孔）が電荷を運ぶのを検出します。この場合に重要なのは光子のエネルギーですが、光が「周期的に変化する電磁場であることに着目すると、実は、その周波数にも重要な意味があることがわかります。ブランコを周期的に押してあげるとき、リズム良く、つまり良い周波数で押すと大きく揺れますよね。このとき、よく揺れる周波数からブランコの性質（重力加速度？）がわかるのはもちろんですが、ブランコをおとなが押してあげること、こどもが自分で漕ぐよりずっと高速で、かつ時間軸に周期性（結晶性）がある新しい状態を作り出したと考えることもできます。そんなふうに光を用いて、物質中のブランコ（振動子）を高速に駆動することで新たな物性の発現を目指します。



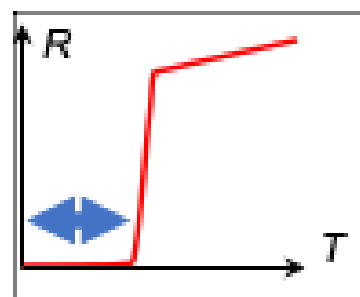
■ 超伝導光物性

超伝導体は、冷却すると、磁場が内部に侵入できず（マイスナー効果）、電気抵抗がゼロという特徴的な物性を示す超伝導状態に相転移します。超伝導状態は、量子力学で学ぶ「コヒーレント状態」として、1つの波動関数 Ψ で表される状態です。 Ψ の絶対値の2乗は超伝導電子対の密度に対応し、サンプル全体というマクロ（巨視的）な領域に広がるので「巨視的波動関数」と呼ばれますが、転移温度以上ではゼロ、転移温度以下では有限で、超伝導秩序を端的に記述する物理量でもあるので、相転移の言葉を用いて「超伝導秩序変数」とも呼ばれます。

超伝導状態は、巨視的な数の電子が協力して作る状態なので、簡単には変化せず、遅いというのが定説だったのですが、最近、この超伝導秩序変数や、そのトポロジカル欠陥である量子渦が、テラヘルツ波を用いると超高速に駆動できることがわかってきました。電気抵抗測定では、電気抵抗が有限かゼロかによって、超伝導か超伝導でないか、を識別することができますが、テラヘルツ波なら、図に青い矢印で示した超伝導状態の中で、超流動密度の大きさ、超伝導秩序変数の対称性といった超伝導の特性を調べ、操作することができるのです。

超伝導転移における自発的対称性の破れや、秩序変数の振幅の振動、トポロジカルソリトンとしての量子渦、相転移のダイナミクスは、理論的には素粒子・宇宙物理学とも関連しています（興味があれば、超伝導ヒッグスモード、キブル・ズーレック機構などをキーワードに探してみてください）。唯一無二の宇宙を高精度に観測して解き明かす人々に対比すると、量子物性は、温度、圧力、磁場、組成、電場といったパラメータを、定常的に、または超高速に変化させることで、いろんな宇宙をテーブルトップで作ったり壊したり温めたり冷やしたりできるのが特徴です。

室温・大気圧中でははっきりしない物質中の量子力学を、低温・強電場（高強度光）という極限環境で引きずり出して、遊びたおしませんか？



物性基礎論

創発量子物性研究室

Emergent Quantum Matter Group

HP : <https://sites.google.com/view/eqm-phys-kyushu-u/>

研究キーワード：強相関電子系、エキゾチック超伝導、量子スピン系、トポロジカル物性



Member

教授	笠原裕一
助教	村山陽奈子
学部4年 (特別研究生)	木下淳嗣 野上大輝



教員プロフィール



笠原裕一 教授

出身地：神奈川県逗子市

今年の4月に着任しました。これまで九州とは縁もゆかりもありませんでしたが、新天地で私生活だけでなく研究／教育においてもたくさん刺激をいただいています。自身は学部4年生から一貫して超伝導や磁性を中心とした固体物理(凝縮系物理)の実験研究を行ってきました。九州大学に異動して間もなくであり、まだ研究室は立ち上げ最中ですが、すぐに研究を軌道にのせてメンバーとともに独自の成果をあげていきたいと意気込んでいます。学部／修士／博士でそれぞれ異なる国立／私立の大学を卒業するというやや特殊な経歴をもっており、その後もさまざまな現場を見てきた経験から、フレキシブルに対応できるほうかと僥倖ながら思っています。物性実験の魅力は、思いがけない発見があったり自然界にない状態を人の手やアイデアで作りに出せたりすることだと思います。研究テーマに沿って測定手法や物質開発の方法は最適なものを選択していくというのが研究室のスタイルであり、「型」にはまらない研究ができればと思います。研究内容を見て興味を持たれた方は、是非、研究室見学にお越しください。



村山陽奈子 助教

出身地：北海道札幌市

専門分野：固体物理（超伝導・量子スピン液体）

京都大学での学生生活、理化学研究所でのポスドク経験を経て、今年の10月に着任しました。学生時代は極低温での熱測定等の物性測定を行っていましたが、ポスドクになってからは結晶合成にも取り組んできました。協力し合って大きなものを作り上げるのが実験系研究室の醍醐味だと思っています。みんなで知恵を絞って面白い研究をしましょう！好きな食べ物はトマト、趣味は今年生まれたばかりの息子を抱っこして散歩することです。

アピールポイント

新研究室

本研究室は今年度に発足しました。新しく研究室を立ち上げている最中です。そのため研究室の雰囲気や歴史は、これから配属される皆さんに作り上げていただくことになります。装置立ち上げは、さまざまなことを学ぶ貴重な機会であり、他にはできない経験ができます。まだメンバーも少ないので、配属時にはひとり1台機とモニターを使っていただけます。

柔軟な研究スタイル

私たちが行うのは固体中の電子やスピンの示す物理現象の実験的研究です。研究のアプローチは精密測定を軸としつつ、物質合成、新物質開発、装置開発などと多岐にわたっています。興味のある電子状態や物理現象に狙いを定めたら、その解明／発見に最短距離となる手法を吟味して選択し実験を行う、というのが基本的な研究スタイルです。特にコアタイムはなく、ゼミやセミナーは皆の都合の良い日程に合わせています。

スタンダードだが最先端を狙う

測定する物理量は聞いたことがあるようなスタンダードなもので、比熱、磁化、電気抵抗、熱伝導などになります。しかし測定技術工夫して測定精度を世界最高水準まで高めることなどにより、大規模施設で行う実験では得られないような新しい知見が得られることが多くあります。そのため、装置開発などにも積極的に取り組みます。

イベント

年間スケジュール

4月	新メンバー歓迎会
8月	前期打ち上げ／物性若手夏の学校／大学院入試
9月	日本物理学会
12月	忘年会
2月	卒論、修論、D論打ち上げ
3月	日本物理学会／アメリカ物理学会／送別会
随時	国際会議

定例イベント

週一回 (通年)	研究進捗報告会／セミナー[論文紹介] (全体)
週一回 (前期)	ゼミ[輪読] (B4, M1) 磁性、超伝導、電子物性などから興味のあるトピックスを 学生中心に選択。今年度はトポロジカル物性や超伝導。
不定期開催	量子物性セミナー (外部研究者)

研究進捗報告会／セミナー／ゼミは所属学生の予定に合わせて決めています。それぞれ1〜2コマ分くらいを目安に行っています。今年度発足したばかりの新しい研究室ですので、イベントはメンバーの活力になるようなものを次々と増やしていきたいと考えています。未来のメンバーの方々も含め、学生の皆さんにイベント等を通じて研究室の歴史と雰囲気を作り上げていただきたいと願っています。

Message

教員より

- ・器用な人でも不器用な人でも、全く問題ありません。少しでも「手を動かす」ことが好きな人は、是非！
- ・測定だけでなく、装置開発や物質合成／開発も行っています。
- ・机とモニターはひとり1台あります。

学部4年 野上

特別研究生は、研究室のテーマにそって輪読やセミナーで学習を進めることができ、先生方からのキャッチアップも多く、日々様々な学びが得られます。また、創発量子物性研究室はまだ発足1年目なので、ぜひ研究室立ち上げという、他では得られないチャレンジングな経験を共にしましょう！

学部4年 木下

準粒子は素粒子のようなもので、1つの素粒子には対応するラグランジアンがあるように、系のハミルトニアンがその性質を決めます。ハミルトニアンには結晶構造や相互作用の様子、対称性を反映され、それらを工夫することで、自然界では観測の難しい、マヨラナフェルミオンや非可換エニオン、分数電荷などの粒子を実現することができます。まだ人数の少ない創発量子物性なら、これらの不思議な準粒子たちの第1発見者になれるかもしれません。

実績

研究	・ T. Yokoi, Y. Kasahara et al., “Half-integer quantized anomalous thermal Hall effect in the Kitaev material candidate α-RuCl₃”, Science 373, 568-572 (2021). プレスリリース：「量子コンピューターのワイルドカードとなる粒子を解明」https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-08-02-0 ・H. Murayama, Y. Kasahara et al., “Bond Directional Anapole Order in a Spin-Orbit Coupled Mott Insulator Sr₂(Ir_{1-x}Rh_x)O₄”, Phys. Rev. X 11, 011021 (2021). プレスリリース：「物質中における極のないナノ電磁石の発見 -原子間ループ電流が引き起こす新しい電子状態を観測-」https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-02-05-0 ・Y. Kasahara, T. Ohnishi et al., “Majorana quantization and half-integer thermal quantum Hall effect in a Kitaev spin liquid”, Nature 550, 227-231 (2018). Hot Paper (Top 0.1%) & Highly Cited Paper (Top 1%), Web of Science/Clarivate Analytics プレスリリース：「幻の粒子「マヨラナ粒子」の発見 -トポロジカル量子コンピューターの実現に期待-」https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2018-07-12
表彰	第27回井上研究奨励賞(2010年／笠原) 日本物理学会若手奨励賞(2018年／笠原) 第6回ヤマト科学賞(2019年／笠原) 第13回京都大学たちばな賞(2021年／村山) 第39回井上研究奨励賞(2023年／村山)
進学先 (特研生)	内部進学／東大(九大)
進学先 (修士課程)	内部進学(京大)
就職先 (修士課程)	パナソニック、キーエンス、富士通、新日鉄、村田製作所、三菱電機、日立製作所、NEC、IBM、他多数(京大)
就職先 (博士課程)	ポスドク[国内、海外]、助教[国内]、コニカミノルタ、東陽テクニカ、テルモ(京大)

上記は笠原の前職である京都大学の実績を含みます。これまで多数の修士／博士の学生を指導し、卒業生はアカデミックから企業の研究職など、さまざまな分野で活躍しています。博士課程の学生には、在学中の海外留学(半年から1年)を奨励し、渡航費などをできるだけ支援したいと考えています。



研究内容

本研究室では、固体中に存在する膨大な数の電子やスピンの示す量子力学的多体現象、具体的には**高温超伝導を含む非従来型超伝導、重い電子状態、量子臨界現象、量子スピン液体、トポロジカル現象**などに興味を持って研究しています。強く相互作用する量子多体系においては、電子やスピンといった構成要素の性質だけでは理解できないような質的に新しい性質や現象が出現することがあり、これが研究室名の由来でもある「**創発性**」になります。そして新しい量子現象や量子状態を実験的に開拓・解明することに挑戦しています。

研究分野はひとことで言うと「固体物理学」になりますが、上記の研究対象には「強相関」、「対称性の破れ」、「トポロジー」といった、現代物理学のエッセンスが詰まっています。また、研究テーマによっては統計物理、量子情報や量子計算、素粒子物理や原子核物理、さらには応用物理などさまざまな研究分野と密接な関係をもっていて、さまざまな展開が期待されることもこの研究分野の大きな魅力だと思います。

興味のある量子現象はしばしば低温で現れるため、数ケルビン以下の極低温環境を用い、強磁場や強電場により物質の状態がどのような応答を示すかを調べます。したがって、**多重極限環境下における精密物性測定**が中心的な研究アプローチで、研究テーマに応じて電気輸送測定、熱輸送測定、熱力学量測定、磁気測定などのさまざまな測定手法を駆使しています。また、新しい実験手法および計測技術の開発や、物質開発にも取り組んでいます。従来の化学的な物質合成だけでなく、最先端の薄膜作製技術を用いた人工超格子により**自然界には存在しない物質系の作製**にも挑戦しています

非従来型超伝導

超伝導はゼロ抵抗を示す状態であり、リニアモーターカーやMRIなどの応用に用いられていることはご存知の方も多いのではないのでしょうか。量子現象が巨視的(マクロ)なスケールで現れる物理学の中でも最も劇的な現象のひとつであり、電子が対(クーパーペア)を形成しボーズ・アインシュタイン凝縮することで起こります。発見から100年以上の歴史があるものの、現代物理の中心課題のひとつとして依然として活発な研究が行われています。超伝導の基礎的な理解は50年以上前に発表されたBCS理論により確立したものの、BCS理論の枠組みを超えて不思議な性質を示す**非従来型超伝導体**が次々と発見されています。非従来型超伝導体には銅酸化物や鉄系化合物における高温超伝導体も含まれており、その超伝導状態の理解や発現機構の解明は物性物理学における大きな課題です。

非従来型超伝導の研究における重要なキーワードは、「対称性の破れ」と「新奇超伝導状態」です。前者は物理学における重要かつ普遍的な概念であり、超伝導はゲージ対称性の破れた状態として特徴づけられます。しかし近年、ゲージ対称性以外の対称性が破れた超伝導が次々と発見されています。後者は**クーパーペアが重心運動量をもつ超伝導状態**(図1)や**トポロジカル超伝導体があります**。それぞれ現実物質における実現／実証は議論的になっています。なかでも重心運動量を持つクーパーペア形成は中性子星でも議論されるなど、原子核物理とも関連しています。精密物性測定により、対称性の破れを決定し新奇超伝導状態を探索します。

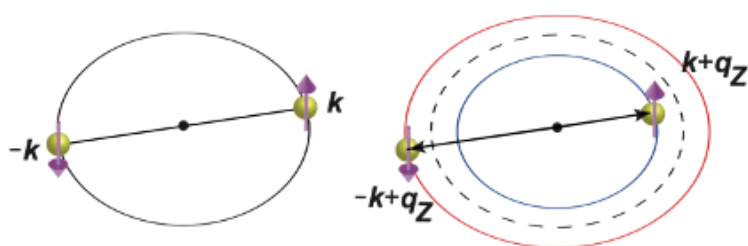


図1：(左) 通常のクーパーペア、(右) 重心運動量を持つクーパーペア

量子スピン液体

磁性体中のスピンは通常、温度を下げていくと物質と同様に凍結します。しかし量子揺らぎが支配的になるとスピンの絶対零度まで凍結せず液体状態にとどまり、このような状態は**量子スピン液体**と呼ばれます。磁性体におけるスピン励起を量子化した準粒子としてスピン波の量子化であるマグノンがよく知られていますが、量子スピン液体においてはさらにエキゾチックな**準粒子**の出現が提唱されており、自然界には存在しない未知の粒子ともみなせるため、それらの探索および解明を目的とした研究を行っています。一例として、我々の研究グループの最近の成果を紹介します。対象としたのは**キタエフ量子スピン液体**と呼ばれる特殊な量子スピン液体状態です。この量子スピン液体状態においては、粒子と反粒子が同一という特殊な性質を持つ中性フェルミ粒子、**マヨラナ粒子**が準粒子として現れるため、大きな注目を集めています。マヨラナ粒子に由来する**非可換エニオン**を利用した量子計算が提案され、ニュートリノがマヨラナ粒子の候補ともされていますが、理論的予言から80年以上もその存在の確証が得られていませんでした。我々はキタエフ量子スピン液体の候補物質である磁性絶縁体において**半整数熱量子ホール効果**を観測し、物質中にマヨラナ粒子が存在することを実験的に証明しました(図2)。量子ホール効果はトポロジカル現象の代表例であり、量子スピン液体においてトポロジーによって保護された量子状態が実現していることを初めて示したことになります。マヨラナ粒子の理解はまさにこれからであり、今後は発現機構や普遍性を探索します。さらに量子計算も含めた応用展開に向けて、マヨラナ粒子の検出技術の開発にも取り組んでいます。

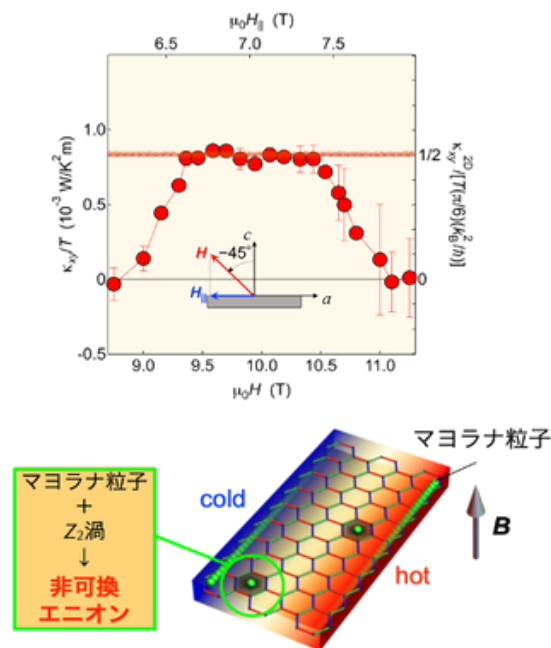


図2：キタエフ量子スピン液体候補物質において観測された半整数熱量子ホール効果とその模式図

PLD装置

MBE装置

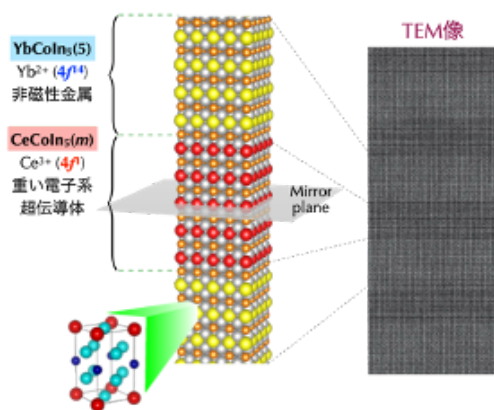
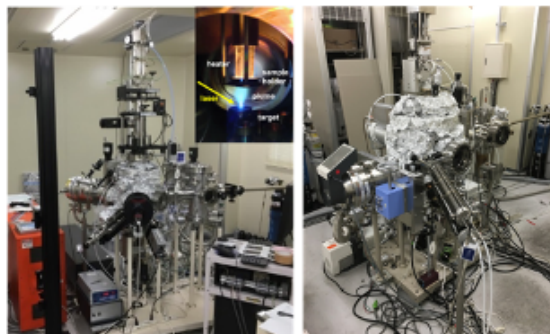


図3：PLD, MBE装置と人工超格子の例

物質合成、人工構造による物質開発

複数の種類の結晶格子の重ね合わせにより、その周期構造が基本単位格子より長くなった結晶格子は超格子と呼ばれますが、これを人為的に異なる物質を交互積層したものが**人工超格子**です。人工超格子により、前例のない組み合わせの積層構造、すなわち**自然界に存在しない物質の作製**が可能となり、興味のある量子状態の次元性制御や空間反転対称性の破れの人工導入、さらには界面を通じた電子状態の変調により、各構成要素には見られなかった新奇な量子相の出現が期待されます。本研究室では、パルスレーザー堆積法(PLD)や分子線エピタキシー法(MBE)などによる原子層薄膜作製技術を駆使して、新物質開発に挑戦します(図3)。

物性基礎論

固体電子物性研究室

Solid State Physics Lab.

HP : <https://ssp.phys.kyushu-u.ac.jp/index.html>

研究キーワード：スピン・スピントロニクス・超伝導・ナノ構造・微細加工



Member

教授	木村 崇
特プロ助教	Troy Dion
訪問研究員	Amany Harby
スタッフ	石間 美香
博士3年	鄭 剛 岩堀 拓真 飯森 陸 一兜 博人
博士1年	山崎 太志郎 田 暲華
修士2年	田中 智也 入倉 大輔 梶間 廉 神本 晋作 小谷 悠太 坪口 椎那
修士1年	大島 怜 澤田 祐衣 古川 佳弥 山口 峻介 古殿 大育 中本 万智
学部4年 (特別研究生)	砂川 恵児 安倍 海翔 中村 啓人



教員プロフィール



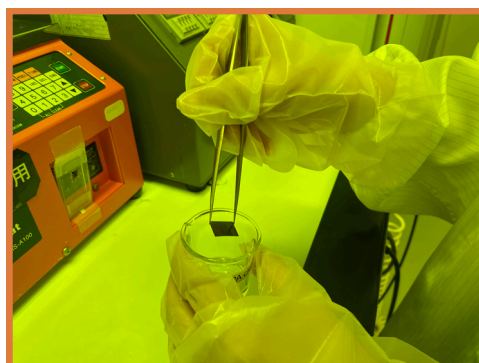
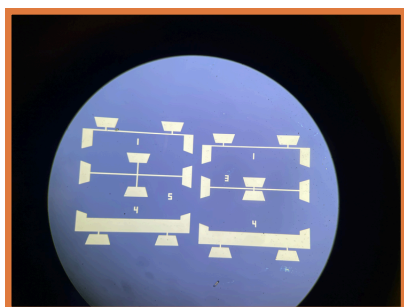
木村 崇 教授

物理学科に着任してから10年以上が経過し、私は現在、物理学科に在籍する最も古い教員の一人となりました。研究室も発足から10年以上が経過し、多くの学生が卒業していきました。私自身、もうすぐ50歳を迎え、人生の折り返し地点を強く意識するようになりましたが、研究においては常に新たな課題や発見が現れ、やるべきことはまだまだ多く残されていると感じています。

当研究室では、強磁性体、反強磁性体、超伝導体、半導体、強誘電体などの機能性物質をナノ構造で組み合わせ、電子が生み出す多彩な物性に基づく新奇物理現象を引き出し、それらを実験的に評価する研究を行っています。これらの研究は次世代エレクトロニクスへの応用が大いに期待されており、その可能性が示されれば、政府から開発資金が提供され、研究開発が加速します。さらに応用の可能性が広がれば、工学部にも同様の研究室が設立されるでしょう。そのため、理学部の物性実験研究室として、これらの研究を先駆的に進める意義は非常に大きいと考えています。

物性実験研究室の最大の魅力は、個人が主体的に研究を進められることです。物質の合成、薄膜化、微細化、デバイス化、結晶や形状の評価、そして期待される現象や機能の測定まで、自らの意志で一貫して取り組むことができます。当研究室では、そのための研究インフラを整えています。特に重視しているのは、市販の装置をただ使うのではなく、自分たちで部品を組み合わせ、装置の原理を深く理解したうえで最大限の性能を引き出すことです。これにより、独創的な実験を行い、世界と競争することが可能になります。また、装置の原理を熟知する経験は、将来どのような分野で活躍する際にも非常に役立つと考えています。

研究は料理に似ています。皆さんはシェフとして、研究という料理を作るのです。いくら最新鋭の調理器具を揃えていても、それを使いこなして素晴らしい料理を作らなければ、世に出すことはできません。さらに重要なのが「盛り付け」です。どんなに素晴らしい料理を作っても、美しく、かつ適切に盛り付け、お客様に提供しなければ、その価値を正しく伝えることはできません。研究においては、この「盛り付け」が論文執筆と発表に相当します。査読を経て論文が正式に発表されることで、初めて研究が一段落するのです。当研究室では、早い段階で論文を書く力を身につけることを目標に、皆さんを指導していきたいと考えています。





アピールポイント

実験装置が豊富

とにかく実験の装置の数と種類が多いです。微細加工や薄膜作成の装置は他大学に引けを取らない充実具合です。他施設に行かなくとも自分の研究室内で、実験の構想、装置の組み立て、素子の作成、測定、解析までを完結させることができます。研究の過程で壁にぶつかった際に原因を探ったり、別の方法を試したりすることも容易にできるので、研究にスピード感を感じられるのがとても良いところだと感じています。

先輩が頼りになる

実験装置の使い方については頼りとなる先輩方、先生方が丁寧に教えてくださいます。実験では装置の組み立てや改修をする過程で、装置の仕組みや原理に関する知識も身に付きます。そのためエラーが発生したときの対処法や勘所が鋭く、とても頼もしいです。また、過去に卒業された先輩方の実験結果やデータなどにも容易にアクセスできるようになっているので、先輩方の叡智をフルに活用することができます。

柔軟なスケジュール

スケジュール調整が簡単です。講義や教育実習、就活など予定に合わせて研究時間を調整することができます。また、昼休憩や空いている時間で研究室のメンバーや、他研究室メンバーとサッカーやキャッチボールをしたりもしています。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
3・9月	物理学会/追い出しコンパ
5月	磁気学会
3月	応用物理学会/国際学会

定例イベント

毎週木曜日	ゼミ
毎週水曜日	論文紹介



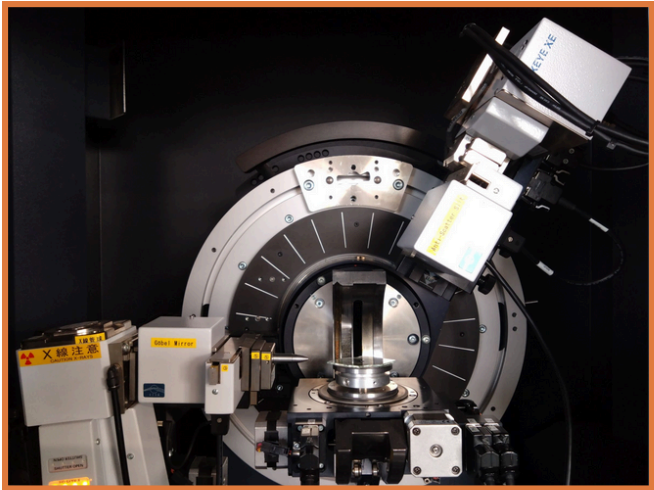
Message

- ・小学校のとき理科の実験でワクワクしていた人なら、この研究室ぴったり！
- ・顕微鏡を覗いたり、白衣と手袋をつけて薬品を扱ったり、液体窒素で冷やしたり、ピンセットで作業をしたり、みんなの“THE実験”がつまった研究室！
- ・超伝導転移は何回みてもオシャレ
- ・新しい現象が見つかるのは、宝くじが当たるみたいな感じ！！（1等当てるより簡単！）
- ・手を動かせば動かすほど結果がでる！データは命！データの量でねじ伏せろ！！（と私の先輩は言っていました。）
- ・装置に愛情が湧いてくる！いつもありがとう！
- ・ナノメートルの世界と友達！もちろんマイクロメートルも！
- ・研究室が気になった人は、右のQRコードから



実績

研究	日本学術振興会特別研究員採択 (DC1, DC2) 2024 年度日本物理学会参加 2023 年度応用物理学会参加 2023 年度日本磁気学会参加
表彰	令和 6 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞研究部門
発表論文 (2023年 ~2024年)	Tomoyasu Taniyama, Yoshihiro Gohda, Kohei Hamaya and Takashi Kimura: "Artificial multiferroic heterostructures—electric field effects and their perspectives." <u>Sci. Technol. Adv. Mater.25, 2412970(2024).</u> Riku Iimori, Shaojie Hu, Akihiro Mitsuda, Takashi Kimura: "Substantial enhancement of perpendicular magnetic anisotropy in van der Waals ferromagnetic Fe ₃ GaTe ₂ film due to pressure application." <u>Commun. Mater.5, 235(2024).</u> Sora Obinata, Troy Dion, Riku Iimori, Takashi Kimura: "Thickness dependence on dynamical spin injection driven by thermal effects in CoFeB/Pt bilayer." <u>Sci. Rep.14, 24573(2024).</u> Xiaomin Cui, Shaojie Hu, Yohei Hidaka, Satoshi Yakata, and Takashi Kimura: "Magnetic vortex polarity reversal induced gyrotropic motion spectrum splitting in a ferromagnetic disk." <u>J. Phys. D: Appl. Phys.57, 395002(2024).</u> Satoru Egawa, Kai Sakurai, Yoko Takeo, Kyota Yoshinaga, Masashi Takei, Shigeki Owada, Gota Yamaguchi, Shunya Yokomae, Hidekazu Mimura, Yutaka Yamagata, Makina Yabashi, Mari Shimura, and Takashi Kimura: "Observation of mammalian living cells with femtosecond single pulse illumination generated by a soft X-ray free electron laser." <u>Optical11, 736(2024).</u> Fupeng Gao, Shaojie Hu, Dawei Wang, Takashi Kimura: "Optimization of thermo-spin voltage in vertical nanostructures by geometrical means." <u>J. Phys. D: Appl. Phys.57, 305001(2024).</u> Troy Dion, Kilian D Stenning, Alex Vanstone, Holly H Holder, Rawnak Sultana, Ghanem Alatteili, Victoria Martinez, Mojtaba Taghipour Kaffash, Takashi Kimura, Rupert F Oulton, Will R Branford, Hidekazu Kurebayashi, Ezio Iacocca, M Benjamin Jungfleisch, and Jack C Gartside: "Ultrastrong magnon-magnon coupling and chiral spin-texture control in a dipolar 3D multilayered artificial spin-vortex ice." <u>Nat Commun 15, 4077(2024).</u> Shuhan Liu, Shaojie Hu, Xiaomin Cui, and Takashi Kimura: "Efficient Thermo-Spin Conversion in van der Waals Ferromagnet FeGaTe." <u>Adv. Mater. 36, 2309776(2024).</u> R. Kato, T. Yoshida, R. Iimori, Tai Zizhou, M. Shiga, Y. Inagaki, T. Kimura, and T. Kawae: "Resistivity Measurements in Palladium-Hydride Film Prepared by Low-Temperature Hydrogen Absorption Method." <u>J. Phys. Soc. Jpn. 93, 024703(2024).</u> T.Chen, Y.Jinnno, I.Atsuta, A.Tsuchiya, S.Obinata, R.Iimori, T.Kimura, Y.Ayukawa: "Synergistic Effect of Nano Strontium Titanate Coating and Ultraviolet C Photofunctionalization on Osteogenic Performance and Soft Tissue Sealing of poly(ether-ether-ketone)." <u>ACS Biomater. Sci. Eng.10, 825-837(2024).</u>
進路 (特研究生・ 修士課程)	他大学院、就職
就職先 (博士課程)	大阪大学特任研究員



今年、木村先生が文部科学大臣表彰を受賞されました！



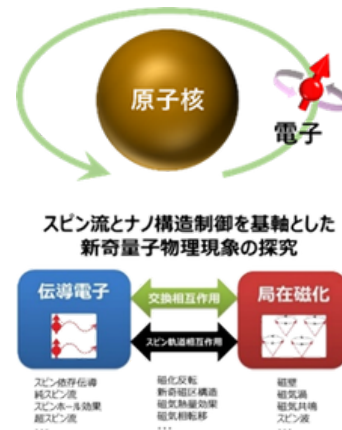
研究内容

当研究室では、強磁性体、超伝導体、半導体、強誘電体などにおける、固体中の電子が織りなす多彩な物性や新奇的な物理現象を引き出し、それらを実験的に評価する研究を行っています。特に、各種の固体物質をナノスケールのサイズに微細加工することで、量子力学的な性質を顕在化させ、それらの物性応用の可能性を探索することに興味を持っています。

◆注目する物理現象

○スピン(spin)と軌道(orbit)

電子の運動については古典的によく惑星の自転と公転に例えられ、スピンと軌道の二つの角運動量を持ちます。この二つのうち、スピンの性質の活用を目指す分野をスピントロニクスといいます。これは、スピンとエレクトロニクスを掛け合わせた造語です。同様に、軌道の性質の活用を目指す分野は、オービトロニクスと呼ばれています。オービトロニクスは、近年立ち上がった分野でまだまだ歴史が浅いです。どちらの分野も近年のナノテクノロジーの進歩により、急速に進展してきています。従って、これらの分野において未解明な現象や未開拓な研究領域などが数多く残されており、基礎物理学的に大変興味深い研究分野です。当研究室でも、スピントロニクスに関する研究に長年力を入れてきました。更に、近年のエネルギー・環境政策に則った省エネルギー・エレクトロニクスとしても大きな応用の可能性を備えているため、産業界からも大いに注目されています。



○超伝導(superconductivity)

超伝導とはある温度以下で電気抵抗が0の状態のことです。超伝導状態では、マイスナー効果により、電流や磁場はごく表面にしか存在しません。そこで、測定する超伝導素子サイズを小さくすることで、表面の効果を見やすくすることができます。また、結晶構造によって超伝導が発現したり、しなかったりする場合もあります。薄い膜(数nm～数百nm程度)で観察することによって、結晶構造による依存性を見やすくすることもできます。

実は、物質によっては、よく知られたオームの法則 ($V=IR$) が成り立たず、右辺におまけの項がつかことがあります。基本的にはその効果は非常に小さいため、実験的に観測することは困難なのですが、超伝導状態ではその効果が比較的大きく見えると言われており、近年盛んに研究されています。



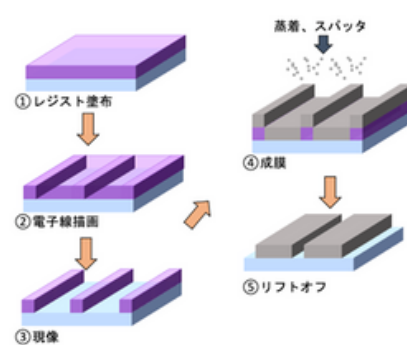
◆試料作製の紹介

○ナノスケールサイズの細線を作成する方法(電子線リソグラフィ)

本研究室のもう一つのキーワードである、微細加工についてももう少し具体的にご紹介したいと思います。微細加工とは、本研究室では主にナノスケールのサイズに加工することを指すことが多いです。このサイズ感だと人の手で作成することは不可能です。そこで、我々は電子線と薬品の力を借りて作成しています。以下は、その手順です。この方法を使用することで、狙ったサイズの素子を作成することが可能となっています。

- ①特殊な薬品(紫)を基板(水色)に塗ります。
- ②塗った薬品に電子のビームを当てるとその部分だけ性質が変わります。
- ③性質が変わっていない部分は、ある液体につけるとなくなります。
- ④基板全体にAlやCuなどを薄くつけます。
- ⑤さらに別の液体につけると、残っていた紫の部分が上にあった物質ごと基板(水色)から剥がれます。

この一連の技術によりAlやCuなど物質を細線に加工することができます。

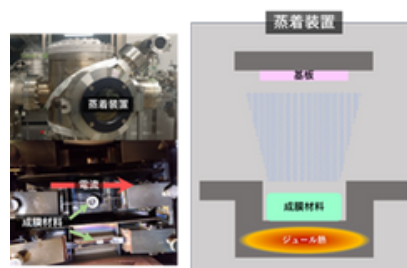


○薄膜の作成方法(マグネットスパッタリング法、抵抗加熱蒸着法)

上の手順④にある成膜という工程は頻繁に使用する装置の一つです。当研究室にも大小様々な種類の成膜装置が設置されています。成膜では主に数nm～数百nmの厚さの物質の膜を基板の上に付けます。以下に当研究室で使用される抵抗加熱蒸着法とマグネトロンスパッタリング法の2つの手法を紹介します。成膜材料や装置が無ければ、自分で作成、組み立てを行うことも多々あります。

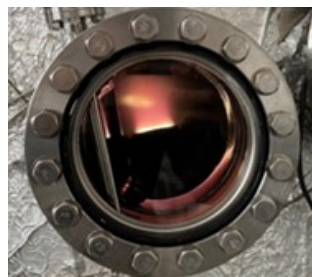
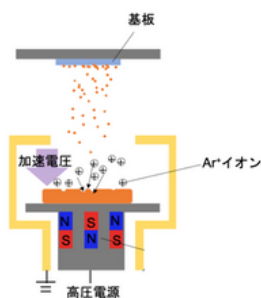
◎抵抗加熱蒸着法

超高真空下で薄膜にしたい成膜材料をのせた抵抗板に電流を印加し、ジュール熱によって蒸発させることで成膜します。蒸発した物質を基板に当てることで成膜します。当てる時間を変化させることで、膜の厚さを変えることができます。成膜材料によってはこれまでの学生実験では印加しなかった大電流を流すこともあります。



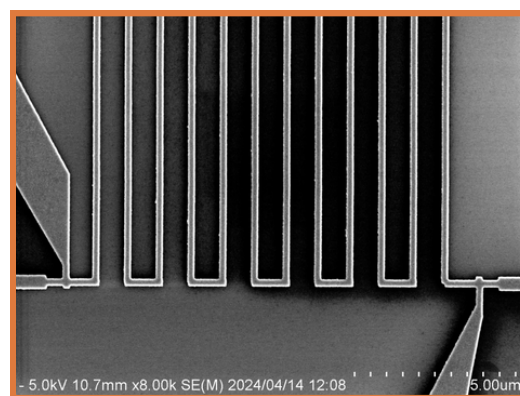
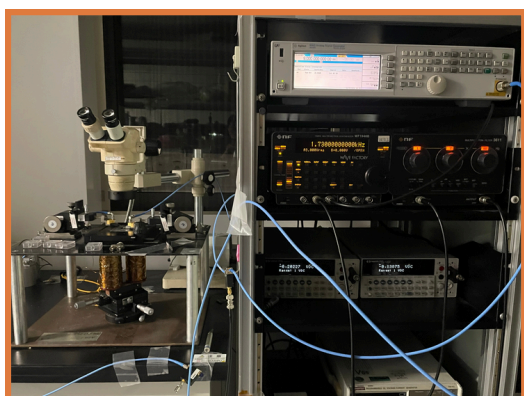
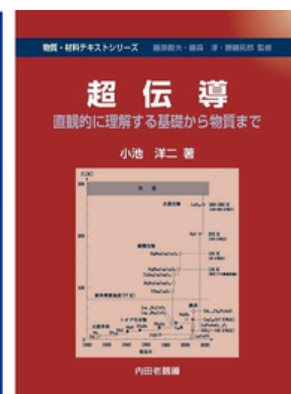
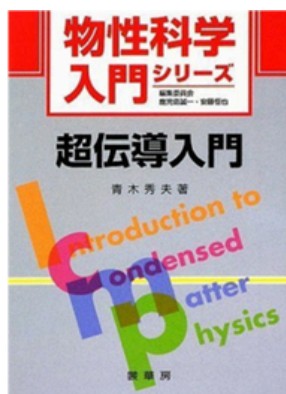
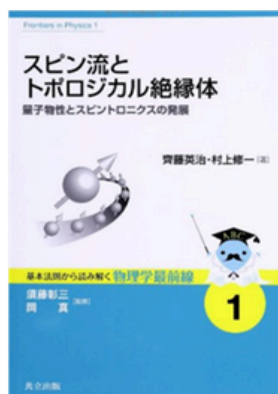
◎マグネツトスパッタリング法

真空装置内において、イオン化した不活性ガス(Ar)をターゲットに衝突させることで原子、分子を叩き出し、その飛び出た材料を堆積させることで薄膜を形成する技術です。加速されたArイオンがターゲットに衝突し、たたき出されたターゲット材料が基板上に付着することにより薄膜を形成します。この方法でも、基板に当てる時間を変化させることで、膜の厚さを変えることができます。



◆参考書の例

研究テーマや扱う物質によって必要となる詳細な専門知識は異なりますが、以下によく参考にする本を紹介しています。授業とは異なり、自分に合った教科書や参考文献を見つけることも研究の楽しさの一つです。



研究室紹介



複雑物性

複雑物性基礎研究室		57
複雑生命物性研究室		61



複雑系と生命の物理学



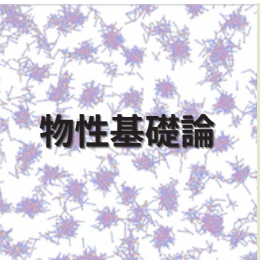
粒子宇宙論

素粒子理論研究室	...
粒子系理論物理学研究	...
理論核物理研究室	...
宇宙物理理論研究室	...



粒子物理学

素粒子実験研究室	...
実験核物理研究室	...



物性基礎論

物性理論研究室	
凝縮系理論研究室	...



量子物性

磁性物理学研究室	...
光物性研究室	
創発量子物性研究室	...
固体電子物性研究室	...

複雑物性

複雑物性基礎研究室

Physics of Complex System

HP : <http://sm.phys.kyushu-u.ac.jp>

コアタイム：なし

研究キーワード： ソフトマター物理学・非平衡非線形物理学・実験物理学・非平衡散逸系物理学・粉粒体物理学



Member

教授	木村康之
准教授	稲垣紫緒
助教	小林史明
博士2年	Negi Archit
修士2年	村上亮太 河野龍之介 松田朝之 湯浅康雄 鍋島馨
修士1年	貞松知里 河野太一 大谷僚平 久保凛音 海田萌々子 尾中裕紀
学部4年 (特別研究生)	田中僚 池上広征 宮内良門 権藤太成



教員プロフィール

木村康之 教授



神奈川県鎌倉市生まれ。県立湘南高校卒。東京大学工学部、工学系研究科修士修了。博士（工学）。東京大学工学系研究科助手、講師を経て、2004年から九州大学理学研究院教授。専門：ソフトマター物理、実験物理学。共著に「非平衡系のダイナミクス入門」、「光散乱法の基礎と応用」などがある。趣味：旅行、読書。

大学時代には物性物理と計測工学に興味を持ったために、理学部進学は考えなかったが、研究を進めるうちに社会問題解決のための学問より基礎研究が精にあうことに気づき、理学部で勤務することになりました。研究の学生さんには、小さなことでよいので研究で「自分のオリジナルなこと」を成し遂げて卒業してもらいたいと思い、指導を行っています。

稲垣紫緒 准教授



東京生まれ千葉育ち。県立千葉高校卒。東京工業大学理、茨城大学理工学研究科（博士）、東京大学総合文化研究科（博士）修了。オーストラリア・フランス・京都などでポスドクをしたのち、2015年に九州大学に着任専門：粉粒体物理、非平衡散逸系。趣味：バイオリン。

卒業研究の時に、砂時計の七不思議（中公新書）を読んだのがきっかけで、粉粒体の研究を始めました。私たちの身の回りには、当たり前そうに見えて理解できていない自然現象がたくさんあります。その普遍的な原理を探究することを目指して、主に粉粒体の実験・数値計算を行っています。粉粒体に限らず、非平衡散逸系一般でやりたいテーマがあれば、一緒に取り組みたいと思います。

小林史明 助教



北海道札幌市生まれ、江別市育ち。（1990/09/12(32歳)）北海道大学工学部卒、同大学院工学院応用物理学専攻修了。博士（工学）。

2022年10月1日に着任いたしました、助教の小林史明（こばやし ふみあき）です。専門はソフトマター物理学（実験）です。趣味は特にありませんが、出不精で基本的にモニターの前に座っています。学生時代は動画サイトやまとめサイトをよく見ていました。あとパソコンやその周辺機器に興味があります。出身地は北海道で、博士課程で北大を卒業するまでずっと北海道に住んでいました。その後、大分大学、東京大学で研究をしてきました。なので九州に赴任するのは2回目になります。研究室配属で皆さんにお会いできるのを楽しみに待っています。

アピールポイント

研究内容が多種多様！

ソフトマター複雑物性グループ（木村研）、粉粒体物理グループ（稲垣研）ともに一人一つのテーマに沿って研究を行うので、自分の興味にある内容が研究できます。また、テーマの自由度だけでなく理論も実験もできることも魅力の一つです。

様々な学会に参加できる！

12月初旬に開催される日本物理学会九州支部例会をはじめ、その他にも多くの学会に参加可能です。その分発表練習などをしっかりと行い、サポートも充実しています。ただし、参加は強制ではなく、研究ペースに合わせることもできます。

教員からの手厚いサポート

先生方が優しく、研究に行き詰まっても一緒に考えてくださいます。ソフトマターグループでは、先生との距離感が近く、雑談ベースで相談できます。粉粒体グループでは週に1回お茶を飲みながら進捗報告を行い、困ったときは相談し合える環境です。

イベント

年間スケジュール

4月	歓迎コンパ
6月	就職内定祝い
7月	夏BBQ
8月	院試壮行会
9月	院試お疲れ様会
12月	物理学科九州支部例会 / 忘年会
3月	追い出しコンパ
適宜	物理学会

定例イベント

毎週火曜日	定例ゼミ
不定期開催	研究報告

コロナウイルスの影響でできていなかった研究室での飲み会も復活しています！

Message

基本的に学生それぞれが独自の研究テーマを持ち、互いに刺激しあい、協力しあいながら研究を進めています。プライベートで一緒に趣味を楽しんだり、飲み会をすることもあります。過ごし方はひとそれぞれ、研究室訪問はいつでも大歓迎ですので、具体的な環境や雰囲気を知りたい方はぜひ訪問して、院生や特研生から話を聞いてください！

実績

研究実績

原著論文
Optically driven liquid crystal rotator
Keita Saito and Yasuyuki Kimura,
Scientific Reports, 12, 16623 (2022).

Ostwald ripening of aqueous microbubble solution
Sota Inoue, Yasuyuki Kimura, and Yuki Uematsu,
The Journal of Chemical Physics, 157, 244704 (2022).

Segregation patterns in rotating cylinders determined by the size difference, density ratio, and cylinder diameter
Kurumi Kondo, Hiroyuki Ebata and Shio Inagaki
Scientific Reports, 13, 13495 (2023) .

Convection of monodisperse particles in a highly filled rotating cylinder
Shoichi Yoneta, Hiroyuki Ebata, and Shio Inagaki,
Physical Review E 109, L022901 (2024).

Slip of a liquid crystal droplet rotation in viscous fluids,
Keita Saito and Yasuyuki Kimura,
Soft matter, 20, 3066-3072 (2024).

学生の表彰
2023.4 齋藤圭太：The OMC Best Student Award , “Slipping liquid crystal rotator in viscous fluids”
2023.9 齋藤圭太：Best oral presentation by a young researcher, “Self-propelled motion of electrically driven Janus particles in complex fluids”
2023.9 井出健一郎：第74回コロイドおよび界面化学討論会ポスター賞, 「電場駆動アクティブ粒子分散系の粘性測定」
2023.9 齋藤圭太：第74回コロイドおよび界面化学討論会若手口頭講演賞, 「複雑流体中における電場駆動ヤヌス粒子の自走運動」
2024.10 貞松知里：日本物理学会学生優秀発表賞 「運動性の異なる自己駆動粒子混合系の集団運動」

主な就職先

修士課程修了後、技術系、情報系の企業、国や地方自治体の公務員、高等学校をはじめとする教育機関などへ就職しています。
最近の例：キャノン、ニコン、オリンパス、レーザーテック、京セラ、ブリジストン、テルモ、富士通、日立製作所、三菱電機、ソニーセミコンダクター、日本電産、NTTデータ、NTTドコモ、パナソニックコネクト、日鉄日立システム、シンプレックス、凸版、藤倉電線、NTT研究所、住友化学、信越化学、大塚化学、ライオン、トヨタ自動車、ヤマハ、ニトリ、日本航空、かんば生命、JCB、高校教員、福岡市役所、経済産業省、理化学研究所、九州大学など



研究内容

生物を構成する重要な構成要素であり、われわれの日常生活の中で偏在しているソフトマターと呼ばれる物質の物性を物理学的視点から研究を行っています。さらに得られた情報をもとに、生物および生命現象を物理的に理解することを目指した研究を行っています。

(1) 光でマイクロなソフトマターを"操る"、"測る"

回折限界程度のサイズまで急速に絞ったレーザー光を用いて周囲の媒質より屈折率の高いミクロンサイズの物体を3次元的に捕捉し、自由に操作することができます（**光ピンセット**と呼ばれています）。我々は、ミクロの指である光ピンセットを用いてミクロンサイズのソフトマターを変形させたり、動かしたり、構造を作成するなどの**マイクロ操作**を実現しています。また、光ピンセットをマイクロなバネとして用いることで、ミクロンスケールの物体の間に働く**相互作用を直接測定**しています。例えば、液晶中に微粒子を分散させると、水などの液体の場合とは異なり、液晶が方向の秩序を持っているために、微粒子間に異方的かつ長距離の巨大な力が働きます。我々はこれを利用して液晶中で粒子をさまざまな形で接着させることで、例えば図1のような複雑な配列を作成するにも成功しています。さらに現在は、**ホログラフィー**を用いて1つのレーザーからさまざまな空間パターンを作り出し、例えば多数の粒子の操作（図2）とこれを用いた多粒子間相互作用の研究を行っています。特に（微生物のモデルとして）ミクロンスケールの粒子が外部から絶えずエネルギーを注入された非平衡状態（動的平衡状態とも言える）での集団運動やパターン形成に関心を持って研究を進めています

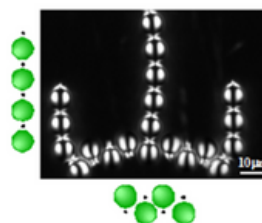


図1：液晶中で作成した構造体

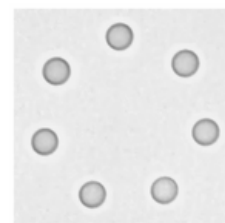


図2：円環上に捕捉された粒子

(2) ヤマスコロイドの自己組織化

直径数10nm~μmの微粒子はコロイド粒子と呼ばれ、我々の身の回りの食品、化粧品、インクなどから、自然界のタンパク質、鉱物微粒子等まで、様々な場面で重要な役割を果たしています。従来は"等方的"なコロイドの研究が主でしたが、近年はより実態に近い"異方的"なコロイドへの注目が高まっています。我々は異なる2つの半球からなる異方的微粒子(**ヤマスコ粒子**)を用い、従来のコロイドにはない興味深い構造への**自己組織化**現象の発見や、その物理の解明に成功しました。これからも先駆的な成果を目指し、様々な異方的コロイド系の研究に取り組んでいます。

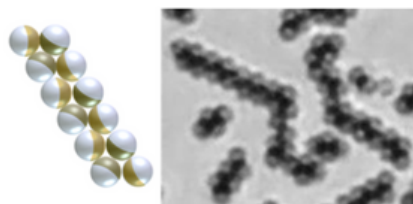


図3：金-ガラス半球面を持つヤマスコ粒子とその凝集構造

(3) ソフトマターの非平衡構造の解明とその普遍原理の探索

ソフトマターは、原子・分子系よりも大きな単位構造が小さな力で結合しているために、小さな刺激で大きく応答し、かつその応答が緩やかであるために、非線形・非平衡系を容易に実現可能な系です。例えば、液晶系に交流電場を印加すると定常的な電流の流れの発生に伴って、図4のような規則的なパターンが発生します。電圧（非平衡度）を変化させると様々なパターンが発生する相転移が観測されますが、これらは平衡系の構造と異なりエネルギーの注入と散逸の**動的平衡**によって形成される非平衡構造です。**非線形非平衡系の物理**には未だにその原理となる法則が発見されておらず、未知の研究領域です。我々はソフトマターを用い、このような普遍原理を探索する研究も行っています。

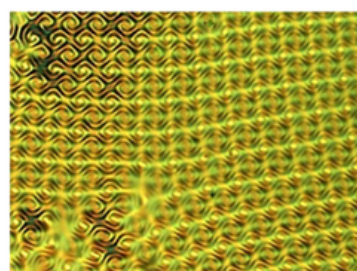


図4：液晶の電場下での非平衡構造

(4) 粉粒体の離散媒質特有の巨視的な振る舞いを理解する

私たちの身の回りには、公園の砂山から、調味料、粉末薬など各種の**粉粒体**が存在しています。また、自動車の交通流や歩行者の流れ、砂漠での砂丘の形成ダイナミクス、更には土星のリングを形成する粒子の集団運動など、幅広いスケールにおいて粉粒体の運動と見なすことのできる現象が多々知られています。各々の粒子に対しての運動方程式や力のつり合いをもとめるには要素の数が多すぎ、粒子の離散性の故に連続体としての近似が破綻する傾向があります。粉粒体を一般的に離散媒質とみなすと、通常の液体や固体とは全く異なる扱いをする必要があり、物理学的にも未開拓であると言えます。我々は**離散媒質の巨視的な振る舞いの一般的な理解**を目指して、理論・実験・数値計算を用いた総合的な研究しています。粉粒体は粒子同士が非弾性衝突を起こし、エネルギーを散逸します。回転や振動といった力学的擾乱を受けると、与えられた駆動と散逸がバランスして、自発的に時空間構造を形成することがあります。例えば、種類の異なる粒子を混ぜて揺らすと、同種の粒子が集まり分離現象を起こすことがよく知られています。我々は、水平に置いた円筒容器の内部に種類の異なる2種類の粒子を入れて、回転させたときに観察される粒子の相分離現象について実験を行っています。

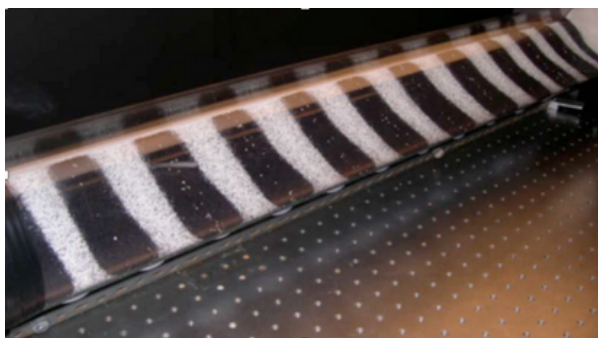


図5：実験設定

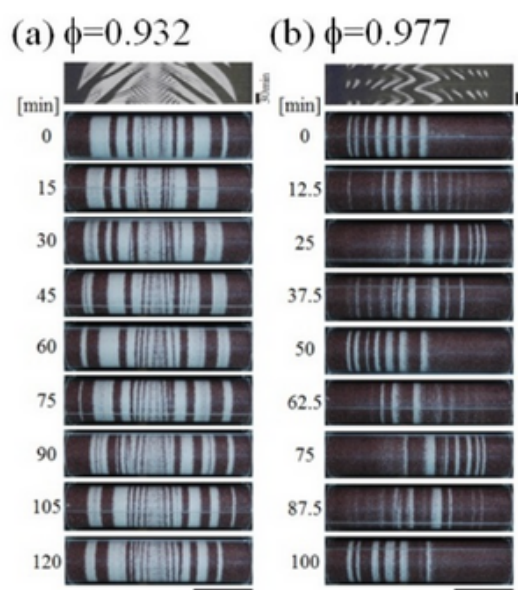


図6：相分離パターンの時間発展



複雑物性

複雑生命物性研究室

Biological Soft Matter Laboratory

HP : <http://bio2.phys.kyushu-u.ac.jp/index.html>

コアタイム：なし

研究キーワード： ソフトマター・マイクロロロジー・細胞・非線形・非平衡



Member

教授	水野大介
助教	江端宏之
修士2年	新垣亮宗 田尾優樹 濱田啓聖
修士1年	上村泰生 本間奏宇 菊元洸希 浜勇二郎 富山尊清
学部4年 (特別研究生)	岩崎優人 前田哲志 園田幸大 田代大次郎



教員プロフィール

水野大介 教授

複雑生命物性研究室の水野大介（専門：ソフトマター・生物物理学）です。

「物質に生命が宿る」メカニズムの物性物理学に興味があります。これはソフトマターからなる複雑系に特有の非線形・非平衡現象であり、生命の創発と呼ばれます。この現象を、細胞内部の微細領域の非平衡力学を観測することで、物性物理学の観点から調べています。

学部学生時代は漕艇部で年間300日を超える合宿生活を送りました。現在では体育会系の面影は失われて久しく、学生さんに腕力でもかきませんが、飲み会で酔いも深まるとx xな話題に当時の名残・片鱗が出てしまいます。特別研究で研究室に所属してからは、基本的に研究室で寝泊まりして実験に打ち込みました。合宿生活が好きなのです。学位取得後は、オランダのフライ（自由）大学と、ドイツのゲッティンゲン大学に3年半留学し、現在の研究の礎を築き、それ以降九州大学でお世話になっております。

多くの学生さんにとって、研究室に在籍する期間は僅か数年です。最初は勉強と研究のギャップに悩むと思います。真剣に打ち込むことで、必ず新発見の喜びや興奮に触れて人間としても成長できるので、研究生生活の醍醐味に期待してください。

江端宏之 助教

静岡生まれ、静岡と埼玉を行ったり来たり。中学からは埼玉育ち。開成高校卒。東京大学理学部、東京大学理学系研究科（修士・博士）修了。博士課程の途中で京都大学に2年間、指導委託。千葉大、九大でポスドクをしたのち、2021年に着任。

専門：アクティブマター物理、非平衡散逸系。

趣味：今はあまり出来てないですがゲーム。PS5が欲しい……。

学部1年生の時に定員3人の微小重力実験の授業を取っていました。放物線運動をする飛行機の中で毛細管現象の実験をしたのですが、半年かけて準備した実験は全然うまくいかず大失敗でした。内容が単純なので、実験なんてしてもどうせ自明な結果が得られると（こっそり）思っていたのですが、上手くいかなかった理由もよくわからず、大変ショックを受けました。それ以来、実際に実験をする大切さを痛感し、実験の道に進みました。これまで非平衡散逸系のパターン形成を研究していましたが、近年は細胞のように自分で動き回るアクティブマターに関する研究をしています。今は、アクティブマターが集まったときに、「自分で動く」ことが全体の物性に与える影響を明らかにすることを目指しています。



アピールポイント

生物物理学

水野研究室では生き物を物理の観点から理解する「生物物理学」分野の研究を行っています。物理学に馴染みのない生物学ですが、事前に知識が無くても問題ありません。興味があるという事の方がよっぽど重要です。研究室の勉強会で、要点を絞った集中講義が行われますので、そこで勉強することができます。

個々人での研究

研究テーマは基本的に1人1テーマで行います。テーマはまずは個人で希望の研究を選択します。決まらなければ、先生と相談のうえでいくつかのテーマの中から決めてもらいます。特研究生にも机・椅子そして個人用のPCが支給され、物理計測や解析を行うために必須である各種のソフトウェアの使用とプログラミング方法を学び、研究を進めていくので比較的個々人のスケジュールで行動することができます。

独自開発の装置

水野研究室では、細胞内部のようなミクロな環境や1分子の非平衡特性を調べるための世界でも他に類を見ない装置（光トラップやAFMの原理を用いた自作機器）を開発してきました。これらを利用しつつお互いにアイデアを出し合い、ソフトマターの非平衡特性を解明する最先端の実験的研究に取り組みましょう。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
6月	バーベキュー
8月	院試壮行会、お疲れ様会
12月	忘年会
1月	新年会
3月	お別れ会
不定期	出張のお土産で飲み会

定例イベント

毎週火曜日	進捗報告会
毎週金曜日	研究発表・ジャーナルリーディング
12月上旬	物理学会九州支部会
3月・9月	物理学会
その他	各種研究会・学会



実績

研究	New Journal of Physics誌、Physical Review Letters誌等掲載
表彰	各種研究会でポスター賞受賞等
進学先 (特研究生)	九州大学大学院修士課程
進学先 (修士卒)	九州大学大学院博士課程
就職先 (修士卒)	光学系、生物系、化学物質系
就職先 (博士卒)	ポスドク、生物系

私たちは生き物の中に潜む物理法則の解明にも取り組んでおり、生き物を物性物理学の観点から理解しようとしています。必要な予備知識や経験が比較的少ないために、「最先端の研究に触れるには博士まで進学して勉強し続けなければならない」といったことはありません。特別研究で得られた発見をもとに、複数の学生が国際学会での口頭発表や、学術論文の出版、学会での受賞をしてきました。物理学専攻ですが、光学系、生物系、化学物質系を扱っていて研究は多岐にわたっています。その為、就職先も多岐にわたります。近年は医療系、電気系、材料系などの研究職や営業職に就職したOBの方もいます。また、技術、研究職以外にも、公務員や学校教師を目指すメンバーもいます。

同じ実験グループである木村グループと合同で行うことが多いです。また、最近では複雑流体研究室と合同で行ったりもしています。また、各出張、学会などの発表会終わりにメンバーのお土産のお酒を持ち寄って、小規模の飲み会を開催しています。ニュートン祭の球技も、運動好きなメンバーが多いため、よく参加します。その他も研究室メンバー各自で運動を行ったり、居酒屋、バーなどに行ったりしています。
4年生でも研究を頑張っていれば物理学会や各種研究会で発表する機会があります。研究室の新入生は12月上旬にある物理学会九州支部会で研究発表します。



研究内容

私たち人間が作る機械は、主に金属やプラスチック、半導体等の硬い物質からなります。これらの硬い物質は外部環境の変化によりその性質や働きを変えることが殆どないために、個々の部品の特性から集団としての機械の働きを予測して設計することができます（要素還元主義）。他方で私たちの体は、柔らかく形も定まらない物質（ゲルやコロイド、脂質膜等のソフトマター）からなり、その性状は僅かな外場の印加やエネルギーの注入により多彩に変化します。そのために、個々の部品の特性を理解しただけでは、システム全体の振る舞いを理解することは困難です。他方で、柔らかい物質からなる生命システムが、しばしば人間が作る機械よりもはるかに高度な機能を発揮します。

ソフトマターは、細胞の内外で繰り広げられる多彩な生命の営みを担っていますが、その振る舞いに関する物質科学的研究は始まったばかりであり、まだ殆ど明らかになっていません。私たちは、生体ソフトマターに多彩な非平衡挙動が生み出される物理法則を探索するための実験を行うことで、生命現象の物理的理解を深めることを目指しています。

当研究室では、生体の構成要素を力学的に操作してその運動性を調べるメソスケール技術（光捕捉やAFM、レーザー干渉法）を用いて、

1)実際に生きている培養細胞や生体組織

2)現実の生体システムよりも簡略でかつ制御しやすいモデルシステム（コロイドガラス、細胞抽出物など）

において、**ソフトマター（物質）の非平衡挙動が“生き物らしさ”を生み出すメカニズム**を研究しています。

混雑環境下における生体分子機械の振る舞いを理解する

生命の最小単位である細胞内部の微細な空間には、ソフトマターからなる様々な小器官（タンパク質、核酸など）が目一杯に詰め込まれて、押し合いへし合いしています。細胞内のタンパク質の濃度はあまりにも高いので、細胞の代謝活動（エネルギーの生産）を止めてしまうと、細胞内部は固まって流れなくなってしまいます。生きている細胞は代謝により積極的に細胞内部を流動化させていると考えられますが（図1）、流動化を起こす実体はまだ分かっていません。

このような混雑した中で、例えばモータータンパク質と呼ばれる分子が私たちと同じようにレールの上を2足歩行して、細胞の運動や物質輸送を行うための力を生み出しています（図2）。このモーター蛋白質の機能や性質は、試験管内の水以外何も無い実験環境で主に調べられてきました。ところが、この一見理想的に思われる環境よりも、生きている細胞の内部でモーター分子はもっとずっと速く、効率的に働くことができます（図3）。言わば、周りで誰も邪魔しない陸上競技場の中よりも、満員電車の中でより速く走れるわけです。一体何故このようなことが可能なのでしょうか？

私たちは、細胞内部の“揺らぎ”と“非平衡力学”（この場合は代謝活動にともなう流動化）が、この謎を解く鍵であると考えて研究を進めています。そこで、私たちは細胞から取り出した細胞質（細胞抽出液）に対して、栄養（生理活性物質）を外部から供給することで、長時間代謝活性を維持した細胞内部モデル（人工細胞質）を作成しています（図4）。この系を用いることで、1)細胞内で非熱的揺らぎや組み合わせを生み出している分子集合体を同定し、2)非熱揺らぎの動力学（周波数スペクトル）や統計分布の実態を明らかにすることを試みています。人工細胞質と微視的な力学応答測定装置を使って、**細胞内の機械である生体分子が、試験管内の環境よりも混雑した細胞内でなぜうまく働けるのか？**を明らかにすることを目指しています。

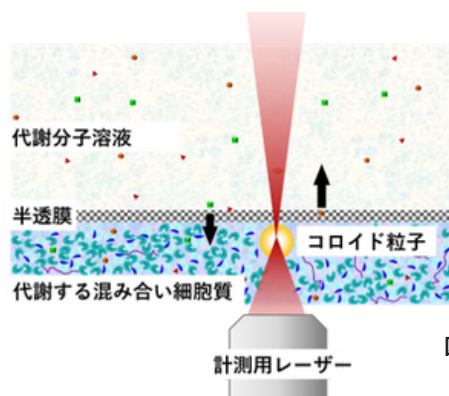


図4:代謝活動を維持した細胞抽出液の力学計測

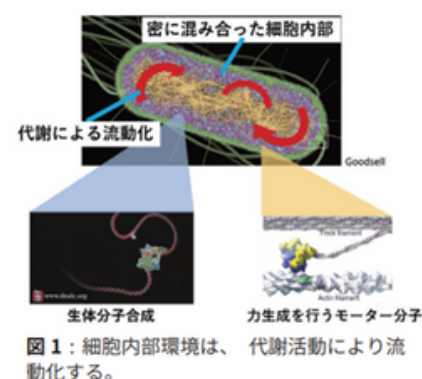


図1:細胞内部環境は、代謝活動により流動化する。

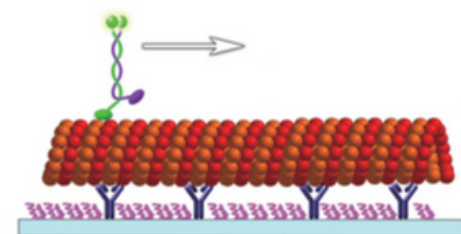


図2:細胞骨格上を歩くキネシンモーター (Sozanski et al. PRL. 2015)

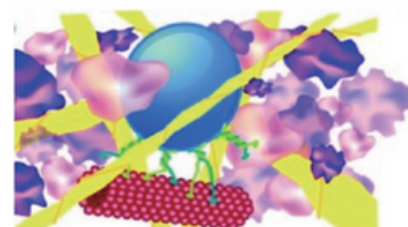


図3:巨大な非平衡揺らぎが存在する、混み合った細胞内部の方がキネシンモーターの移動速度は速い。(S. Granick)

遊走バクテリア懸濁液を用いた細胞質モデル

人工細胞質と同様に、栄養を常に交換する装置を用いることで、遊走するバクテリア集団の非平衡力学の計測を行っています（図5）。高濃度に濃縮したバクテリア懸濁液では、バクテリアが互いに押し合いへし合いしながら自ら動き回っています（図6）。細胞内でも、ぎゅうぎゅうに詰まった生体高分子が代謝に伴って自発的に動くことでミクロな流動が生み出されており、物理的にはよく似た非平衡現象が起こります。そのために細胞質とは一見全く異なるこのようなモデル系（遊走バクテリア懸濁液）を調べることで、細胞内の力学特性を決定する機構を調べることができます。

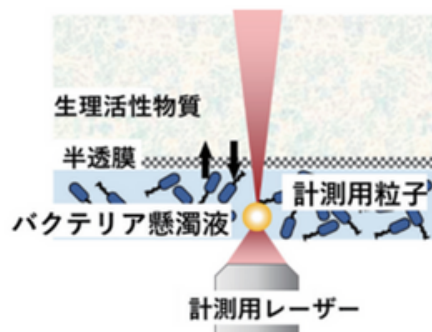


図5：バクテリア懸濁液の非平衡力学計測

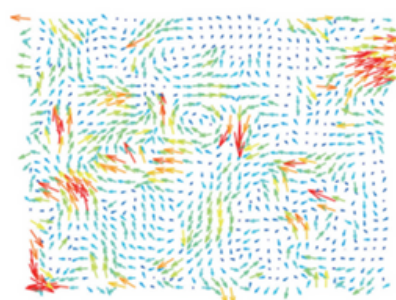


図6：高濃度に調整したバクテリア懸濁液の乱流。バクテリアの遊走速度をベクトルを用いて可視化したもの。バクテリアが渦を巻いて運動する様子が見える。

生きた細胞の非平衡力学測定

泳ぐバクテリアを詰め込んだ懸濁液が、何故細胞の性質が決定される非平衡機構を調べるためのモデル系になるのでしょうか？細胞内部では、代謝活動が生み出す非熱揺らぎが、モーター分子が感じる硬さや摩擦（粘弾性）を制御しています。生きた培養細胞に取り込ませたコロイド粒子（1 μ m程度の大きさの粒子）の運動性（揺らぎ・外力応答）を測定することで、その物理的機構を調べています（図7）。

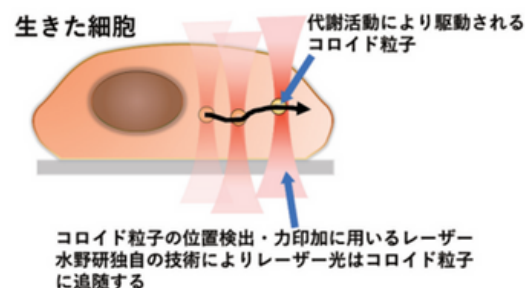


図7：細胞内の非平衡力学計測

コロイドガラスの微視的力学応答測定

液体を急速に冷却すると、融点以下でも結晶化せず、分子の配置がランダムなまま、流動性を失って固化するガラス転移が起こります。一般に、タンパク質などの高分子やコロイドなどの粒子も濃度が非常に高くなると、組み合わせの効果からガラス転移が起こることが知られています。組み合わせに伴うガラス転移現象は、100年以上に亘り非平衡統計科学の主要な問題であり続けていますが、組み合わせ媒質中の個々の構成要素に対して外場や揺らぎを印加した際の系の応答は殆ど調べられていません。私たちは、ガラス転移点付近のコロイド懸濁液中の単独のコロイド粒子に、光捕捉力を加え、粒子の周りの“揺らぎ”や粘弾性の測定を行っています（図8）。

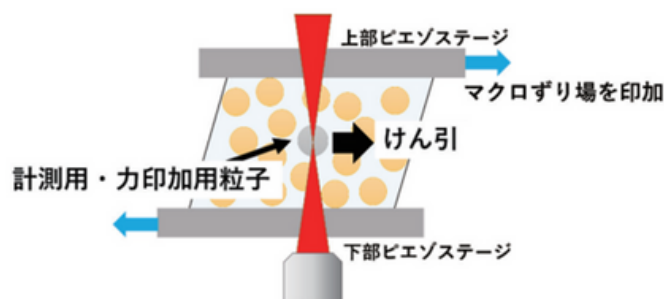


図8：コロイドガラスに巨視的なずり場を印加すると、光捕捉により揺らぎが抑制されていたコロイド粒子が輸送できるようになる。

機械学習を用いた画像・時系列解析

ガラス転移点近傍のコロイド懸濁液や細胞質中では、込み合ったコロイド粒子やタンパク質は自由に移動することが出来ません。粒子が互いの位置を変え（構造緩和）、流動するためには多数の粒子が共同的に運動する必要があります。このような共同運動は空間的に不均一で、構造緩和が起こる場所は時々刻々と変わります。では、込み合い系の流動を決める、構造緩和が起こる場所を予測することが出来るのでしょうか？私たちは非常に複雑な現象から物理学的に有用な情報を得るための手法として機械学習（ディープラーニング）に注目しています。粒子や大腸菌集団の画像を用いた構造緩和の起こる場所の予測や、時系列データから非線形モデルを推定する手法への応用を考えています。

Message

色々な研究室を見に行き自分に合った研究室を見つけてください。
細胞、レーザー、エマルジョンのどれかに興味がある人はぜひ来ててください。

編集後記

ニュートン祭2024パンフレット制作責任者の永光野乃佳です。2年生ながら、ニュートン祭の運営に参加させていただきました。パンフレット制作責任者になり、膨大な量の編集に追われましたが、運営委員の先輩方や同期に手伝っていただき、無事に公開まで辿り着くことができました。私は高校時代文芸部に所属しており編集長を務めていたのですが、かなり小規模な部誌だったので、今回のパンフレット制作は自分にとって初めての本格的なデザイン・編集作業でした。

このパンフレットは、昨年度のパンフレットのレイアウトをもとにして、Canvaというデザインツールで制作しました。昨年度との違いとしては、表紙・目次等のデザインを刷新しております。ニュートン祭2024のパンフレットをより多くの方に読んでもらえるように、うっかりページを捲りたくなるような、よりスタイリッシュなデザインに仕上げました。また研究室紹介につきましては、これから研究室を選ぶ物理学科の学部生のためになる情報を抽出し、見やすいフォント、色彩を用いて編集しました。このパンフレットを読む方は主に物理学科の学部生の方々だと思いますが、学部生の方々に九大物理についてもっと知っていただき、その中から自分の進みたい道を少しでも見つけることができたのなら、編集冥利に尽きる思いです。

最後になりますが、ニュートン祭2024パンフレットにご寄稿くださった物理学部門各研究室の方々、また編集を大いに手伝ってくださり、修正・アドバイスをしてくださったニュートン祭運営委員の方々に深く感謝を申し上げます。

ニュートン祭 2024 制作責任者 永光 野乃佳

九州大学 ニュートン祭 2024 パンフレット
(印刷版)

The Brochure for Newton Fest. 2024,
Kyushu University

発行 2024 年 12 月 6 日
原稿協力 九州大学物理学部門各研究室
制作責任者 永光 野乃佳

