



KYUSHU UNIVERSITY

2027 Booklet

Department of Physics
Graduate School of Science

九大物理の概要

物理学部門には現在約50名の教員が在籍し、16の研究グループに分かれて、素粒子物理、原子核物理、宇宙物理などの基礎粒子系分野から、電子などの量子系、及び柔らかい物質群を対象とした複雑系物性物理、また生物物理などの新領域分野まで、物理学全般を網羅した分野の研究と教育を実施しています。各グループは、理学部の理念に基づき「自然の様々な謎へ実験的研究と理論的考察の両面から挑戦」し「人類の知的共有財産を構築する」ことを目指しています。自然に溢れる伊都キャンパスは、勉学に集中し充実した大学生活を送るのに最適な環境です。物理学への強い好奇心と未来への希望をもつ学生の皆さんと一緒に、楽しく研究していきたいと考えています。



2027年度 九州大学大学院理学府物理学専攻 修士課程入試説明会

日時 令和8年5月16日(土)


場所 九州大学伊都キャンパス ウェスト1号館B棟2階 W1-B-211講義室 および Zoom

Program

司会 光田 暁弘 准教授


- 13:30-13:50 物理学部門の紹介および入試に関する説明(部門長 坂口 聡志 教授より)
- 13:50-14:05 粒子宇宙論中講座(津村 浩二 准教授:素粒子理論、理論核物理、量子宇宙物理理論、粒子系理論物理学)
- 14:05-14:20 粒子物理学中講座(東城 順治 教授:素粒子実験、実験核物理、粒子系実験)
- 14:20-14:35 物性基礎論中講座(福田 順一 教授:物性理論、凝縮系理論)
- 14:35-14:50 複雑物性中講座(木村 康之 教授:複雑物性基礎、複雑生命物性)
- 14:50-15:05 量子物性中講座(光田 暁弘 准教授:磁性物理学、創発量子物性、光物性)
- 15:15- 研究室見学(対面参加の外部学生向け)

目次



粒子宇宙論

素粒子理論研究室	5
理論核物理研究室	8
宇宙物理理論研究室	11
粒子系理論物理学研究室	14



粒子物理学

素粒子実験研究室	18
実験核物理研究室	21
粒子系実験研究室	24



物性基礎論

物性理論研究室	27
凝縮系理論研究室	30



量子物性

磁性物理学研究室	34
創発量子物性研究室	36
光物性研究室	39



複雑物性

複雑物性基礎研究室	42
複雑生命物性研究室	45

研究室紹介

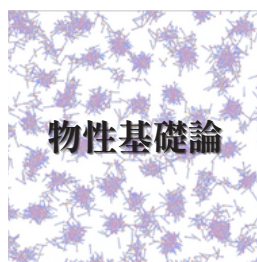


素粒子理論研究室	5
理論核物理研究室	8
宇宙物理理論研究室	11
粒子系理論物理学研究室	14

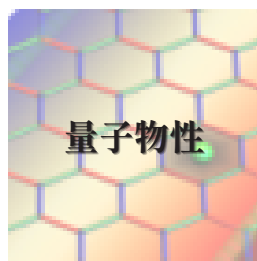
理論の力で宇宙を理解したい



- 素粒子実験研究室 ...
- 実験核物理研究室 ...
- 粒子系実験研究室 ...



- 物性理論研究室
- 凝縮系理論研究室 ...



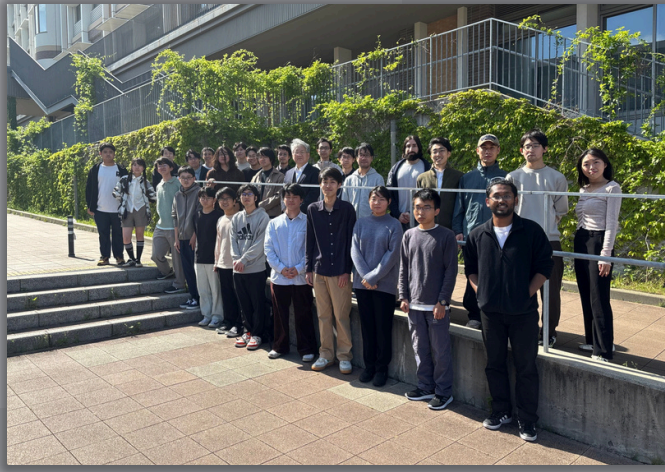
- 磁性物理学研究室 ...
- 創発量子物性研究室
- 光物性研究室



- 複雑物性基礎研究室
- 複雑生命物性研究室

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

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、ヒッグス粒子、ニュートリノ、暗黒物質、標準模型を超えた物理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



教授	鈴木 博
准教授	津村 浩二 藤原 素子 楠亀 裕哉* Justin Kaidi*
助教	大塚 啓
学術研究員	古賀 勇一* Yuefeng Liu* 古田 悠馬* Ying Tang*
名誉教授	井上 研三
博士課程	6 名
修士 2 年	3 名
修士 1 年	5 名
学部 4 年 (特別研究生)	4 名



教員プロフィール

*高等研究院所属



鈴木博 教授

素粒子理論の中でも、場の量子論、特にその摂動論と非摂動論との境界的な領域に興味を持って研究してきました。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、この領域の開拓とその知見の素粒子理論への応用を目指しています。理論計算だけではなく、スーパーコンピュータを利用した数値シミュレーション実験も行っています。



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、未だ謎の多い素粒子であるニュートリノ、存在は確実視されているのに正体不明な暗黒物質などをどうやって検証すれば良いのかを研究しています。



藤原 素子 准教授

素粒子現象には、小さな素粒子の質量から熱い初期宇宙の温度まで、桁違いに異なるエネルギースケールが現れます。私は、こうしたエネルギー階層をもつ理論に対して、量子補正を体系的に計算する手法を研究しています。さらに、その計算技術を応用し、暗黒物質に関する理論予測の高精度化など応用を進めています。



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。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。

研究内容

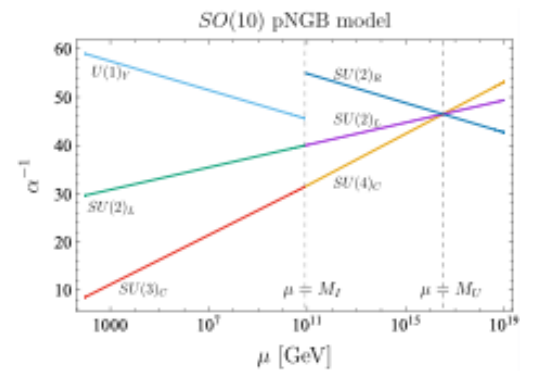
素粒子とは全ての物質を構成するこの世界で最も基本的な存在であり、様々な種類のものが知られています。我々の観察する多種多様な現象は、全てこの素粒子の性質とその間に働く力がもとになって起こっており、従って素粒子物理学は我々が自然をより深く理解するためには欠くことのできない重要な研究分野です。素粒子の世界は我々の直感と相反するような不思議な世界であり、未だによく理解されていない部分が数多く残されています。当研究室ではそれら素粒子に関する謎の解明を目標とし、具体的には以下のようなことを研究しています。

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。

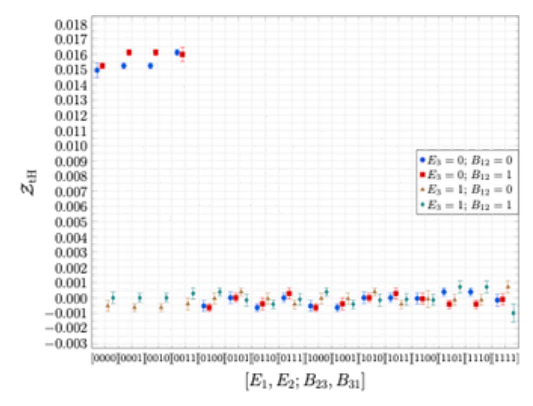
ニュートリノ研究は日本が世界をリードする分野ですが、ニュートリノの質量の起源は未だに明らかとなっていません。大統一理論や暗黒物質との関係を含めてさまざまな可能性が議論されています。また、暗黒物質の検出を目指す実験が多数行われていますが、より強い制限が更新され続けており、これまでに想定していなかった新しいタイプの暗黒物質が注目を集めてきています。右記のグラフは、そのような暗黒物質を予言する大統一理論の予言を示したもののひとつです。ここ数年は新しい実験結果や観測データが続々と発表されることが期待されており、活気に満ちた研究分野となりつつあります。



2. 場の量子論の非摂動的な研究

場の量子論の方程式は、無限大の変数を含む非線形方程式であり、物理的に興味のある系に対してその厳密解を求めることは通常不可能です。場の量子論の系統的近似法としては、場をさざ波の重ね合わせで近似する「**摂動論**」が代表的なもので、場の量子論の摂動論的定式化はよく理解されています。また、この摂動論的量子化の立場からは、素粒子の存在が自然に導かれます。一方、強い相互作用におけるカイラル対称性の自発的破れやトンネル効果など、自然界にはこの「**摂動論**」では、理解できない現象が確かに存在することも知られています。こうした「**非摂動論**」的な現象を第一原理から研究するには、場の量子論の**非摂動論的定式化**とそれに基づいた解析が必要です。

実は、驚くべきことに、素粒子標準模型自身、その非摂動論的定式化は知られておらず、標準模型の非摂動論的定式化を見出すことは素粒子理論の大きな課題になっています。この問題は、量子効果によって古典力学の対称性が破れる**アノマリー**という現象と深く関連しています。また、従来の素粒子模型は、摂動論的な描像に基づくものが主でしたが、今後は場の量子論の非摂動論的ダイナミクスを本質的に用いた素粒子模型が重要になる可能性も大いにあります。こうした、場の量子論の新しい可能性、未踏の地を切り開くような理論的・数値的研究を精力的に行っています。こうした研究には大学院生の方にも全面的に参加してもらっており、多数の共著論文を発表しています。右のプロットは、ゲージ場理論の相構造を示すトホーフト分配関数の数値計算です。

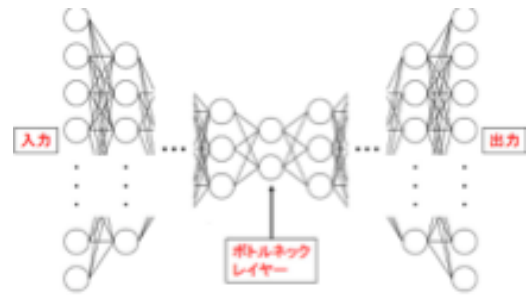


3. 超弦理論に基づく素粒子現象論

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予言します。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

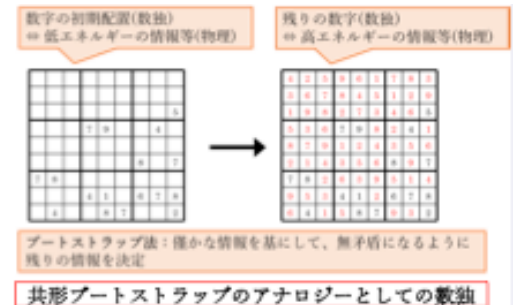
だコンパクト化のルール全般は不明であり、素粒子標準模型の導出には至っていません。6次元CY多様体は少なくとも約1億個存在し、CY空間毎に電場や磁場、様々な次元を持ったブレーン（膜）等の新たな力学的自由度が導入可能なことが明らかになってきました。そのため、この超弦理論が示唆する「ビッグデータ」の中から、一つ一つ我々の住む真空（宇宙）を探し尽くすことは困難であると思われています。ビッグデータの中から有意な情報の抽出や数値計算のコスト削減といった、**機械学習**の超弦理論への応用研究が発展しています。我々も超弦理論に現れる6次元コンパクト空間とその真空構造の探索手法として、近年発展が著しい機械学習・深層学習を用いた研究も行っています。（左記のグラフは、オートエンコーダと呼ばれるニューラルネットワークになります。）

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。



4. 量子重力・量子多体系・量子情報の融合領域における理論的技術の開発・応用

現代の素粒子論へのアプローチの一つに**AdS/CFT対応**（あるいはホログラフィー原理）があります。AdS/CFT対応とは、AdS時空上の**量子重力理論**と共形場理論（臨界点上の量子多体系）の対応関係です。この対応関係を用いて量子重力の問題を量子多体系の問題に翻訳することで、量子重力単体を眺めているだけでは得られなかった様々な知見を得ることができます。特に、量子多体系の問題に翻訳する恩恵として「共形ブートストラップ（図参照）」と呼ばれる強力な非摂動的解析手法が使える事が挙げられます。実際この共形ブートストラップによって、我々は量子重力理論上の物質の性質を明らかにする事に成功しています。逆に、量子多体系の性質を重力理論の技術を用いて解析するという方向性も考えられます。一般には、共形対称性を用いることで臨界系上の解析計算を簡単化できるため、AdS/CFT対応に頼らなければならない場面は少ないように思えます。しかし、界面や境界などの広がった物体が存在する場合、既存の強力な手法が使えなくなり、解析手法の変更・改善が求められます。こうした場面においてAdS/CFT対応は強力なツールとなり得ます。実際、我々はこの分野横断的手法により、臨界系に関する重要な知見を得ることに成功しています。また近年では、このAdS/CFT対応に量子情報論の視点を持ち込む分野横断的研究が発展しています。この理由は、量子多体系上の**量子情報量**が重力理論の幾何と密接に関係しているためです。特に「エンタングルメント・エントロピー」と呼ばれる情報量に関しては重力側の幾何学的量との関係が良くわかっており、**ブラックホール情報喪失問題**やホログラフィー原理そのものの理解に大きく貢献しています。本研究室では、こうした量子情報と幾何の関係の更なる理解、特にエンタングルメント・エントロピーを超えた新たな関係の発見・応用を目的とした研究を行っています。



5. 一般化された対称性

我々の日常生活に馴染みのある**対称性**といえば、例えば図形の対称性です。図形に特定の操作を施してできる新しい図形が元の図形に一致する場合、図形には対称性があると言います。正方形は九十度回転に対して不変であるので九十度の回転対称性があり、円形は任意の回転に対して不変であるので連続的な回転対称性があります。このような通常の対称性には数えきれないほど多様な種類があるものの、その中には重要な共通点があります。それは、いずれも「群」をなすことです。数学において「群」というものは、「元」と呼ばれる要素の集合と、その集合の上の「合成」と呼ばれる二項演算です。対称性の言葉に訳すと、群の元が一つ一つ対称変換（回転、平行移動など）を表し、そして合成が逐次実行という意味になります。例えば円形の回転の場合、任意の角度 θ の回転に対応する元 g_θ があります。角度 θ_1 で回転して、それから角度 θ_2 で回転すると、結果は角度 $\theta_1 + \theta_2$ の回転と等しい、つまり g_{θ_1} と g_{θ_2} の合成は $g_{\theta_1 + \theta_2}$ になります。ここまでの話は至って直感的なものでしたが、量子力学の世界に迷い込むと、この常識が一変されます。量子力学の一つの重要な特徴は、**重ね合わせ**と言うものです。重ね合わせというのは、二つの異なる状態が同時に存在する現象です。生きている状態と死んだ状態が重なり合って存在しているシュレディンガーの猫は有名な一例でしょう。この奇妙な現象を先の話に導入すると、次のような状況が考えられます。角度 θ_1 で回転してから角度 θ_2 で回転すると、結果は $\theta_1 + \theta_2$ の回転だけではなく、例えば $\theta_1 + \theta_2$ の回転と $\theta_1 - \theta_2$ の回転の重ね合わせとなります。この量子力学独特の状況が、前述の群の枠組みにはまりません。数学の言葉で言うと、この対称性が群ではなく、「環」もしくは「圏」をなします。このような**圏論的対称性**をより深く理解することは現代物理の大きな目標の一つです。

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

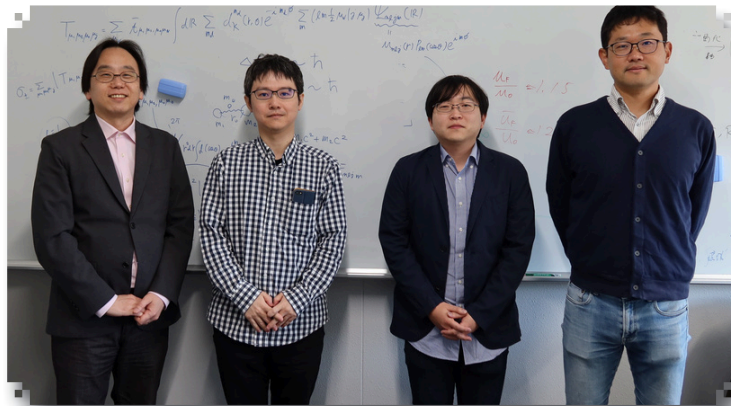
研究キーワード： 量子多体系の構造と反応, ノックアウト反応, 3体核力, 宇宙元素合成, 核変換, ミューオン捕獲



教授	緒方 一介
准教授	湊 太志
特プロ助教	小川 翔也 茶園 亮樹
博士課程	1 名
修士 2 年	4 名
修士 1 年	3 名
学部4年 (特別研究生)	3 名



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、2022年4月、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なので、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。

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 崩壊やミューオン・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。趣味はボルダリングです。昨年の冬は「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。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。2022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階の居室か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。最近は紙の本の積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（ちゃその 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ドクをさせていただき、縁あって2024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。



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)を説明することです。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つています。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

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。

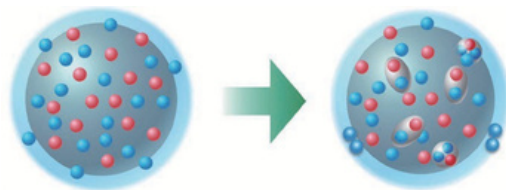


図1: 原子核は「核子の一様な集団」ではなく、核子の海の中で、粒状のミニ原子核が浮かんで消えているのではないか? この新しい仮説の検証が進められています。



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。

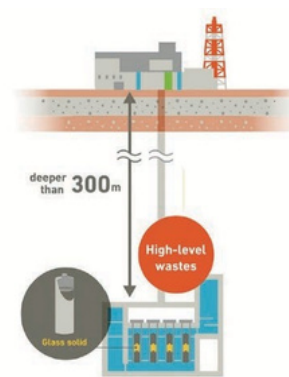


図4: 現時点での核廃棄物の処理法は「地中深く埋める」です。その実行可能性については未だ議論中です。

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、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、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ないでしょう。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。

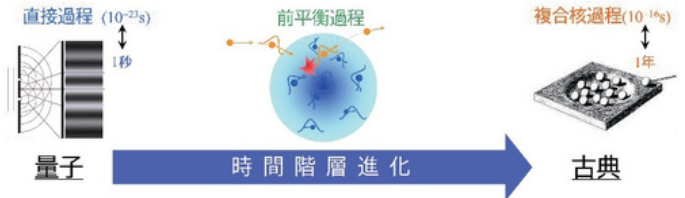


図6：原子核反応の進行度に応じて、系の量子性は大きく変化すると考えられています。

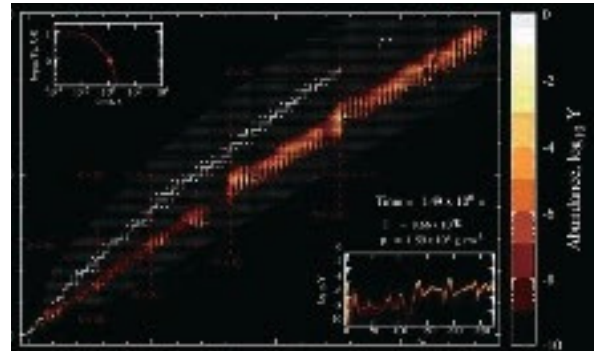


図7：星の中の元素合成(r-process)を示した核図表。縦軸が原子番号で横軸が中性子数となっている。星の爆発的変化の1.49秒後にどのような原子核ができたかを示している。

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¹³²Snという原子核は約40秒でβ崩壊して¹³²Sb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オンを原子核が捕獲する反応があります。このミュオンは、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。

HP : <https://sites.google.com/view/cosmologykyushu/home>

研究キーワード：一般相対論 宇宙論 原始重力波 相対論的量子情報 開放量子系 オプトメカ 曲がった時空上の場の量子論



教授	山本 一博
准教授	菅野 優美 Joshua Foo*
助教	松村 央 平良 敬乃**
博士課程	6 名
修士 2 年	1 名
修士 1 年	3 名
学部4年 (特別研究生)	5 名

*高等研究院所属

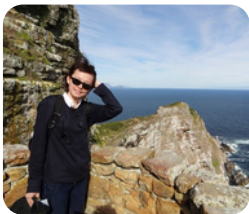
**令和 8 年 6 月より理研へ異動

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

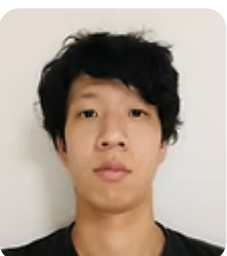
私たちの宇宙は量子揺らぎから始まったと考えられています。しかし宇宙の起源が確かに量子揺らぎだったという証拠は未だに見つかっていません。私は、初期の宇宙が本当に量子揺らぎから始まったのかを検証する方法を研究しています。最近では、原始重力波やアクシオンを使って、量子揺らぎの痕跡を探ろうとしています。また、理論から導いた予言を、どのように観測や実験に結びつけるかの研究も行っています。



Joshua Foo 准教授

In my research, I study the foundations of quantum theory and gravity using the tools of atomic physics and quantum optics. Some recent topics of interest include:

- Probing foundations of relativistic quantum mechanics with quantum optics
- Testing the interplay of relativistic and quantum effects in atomic platforms
- Understanding quantum gravity phenomenology with low-energy systems



松村央 助教

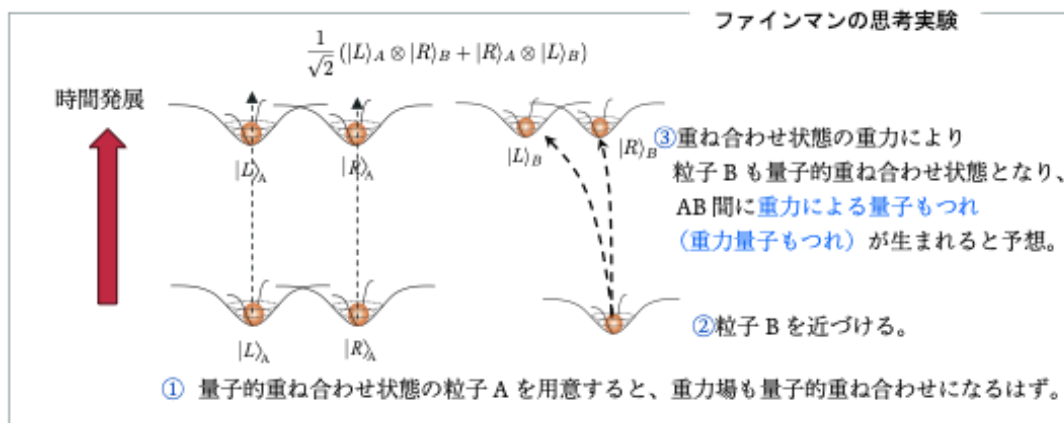
量子宇宙物理理論研究室に所属している助教の松村です。私は重力・宇宙・量子の3つのキーワードに興味を持って研究しています。最近では量子情報理論を応用して、重力の量子現象やそれを記述する理論について調べています。私が携わっている分野は比較的新しく、理論と実験の両面で発展してきています。重力理論や宇宙論だけでなく、量子論にも興味がある元気な学生たちと研究していきたいと思っています。



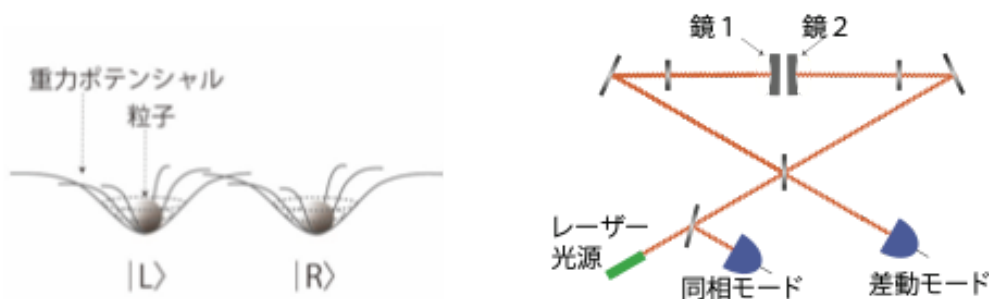
研究内容

量子情報科学と宇宙・重力

量子もつれを利用して量子状態を伝達する量子テレポーテーションが衛星を用いた地球規模の実験で成功するなど、量子情報科学分野は、次世代の量子通信や量子計算への応用を目指して急速に発展しています。この分野の急速な発展は、ブラックホールの情報喪失パラドクスや量子開放系のダイナミクスといった理論物理学の原理的問題に対しても非常に大きな影響を与えています。実は、重力が量子力学に従うのかどうかまだ誰も検証していませんが、量子もつれを使うと検証が可能になるかもしれません。ノーベル物理学賞を受賞したファインマンは、1957年に重力の量子性を検証するための思考実験を提案しました。これまで単なる思考実験でしたが、最近の量子制御技術の発展は、それを量子重力のテーブルトップ実験として可能にしつつあります。この問題は、宇宙論にも重要です。重力場は、一般相対性論では空間の歪みなので、重力が量子力学に従うならば、空間の歪みの量子力学的な重ね合わせ状態ができることになります。

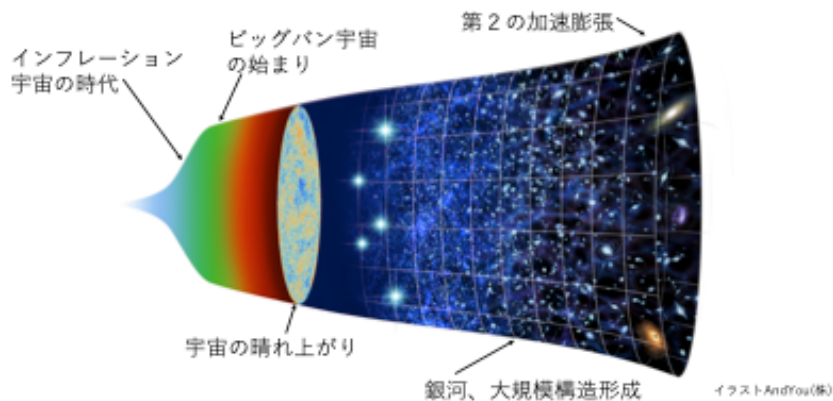


下の図（左）は、粒子の量子重ね合わせ状態が作る重力ポテンシャルの重ね合わせ状態を表しています。量子もつれは、量子相互作用によってのみ生まれるので、重力相互作用によってもし量子もつれが発生することを検出すれば、重力が量子力学に従うことが検証できるのです。下の図（右）のようなオプトメカを利用したその検証可能性や重力場の量子論への示唆など理論的に広く研究しています。



宇宙論

宇宙の始まりには、インフレーション期とよばれる加速膨張の時代があり、現在の宇宙の大域的構造を決定し、さらに宇宙の大規模構造はインフレーション期の量子揺らぎによって生み出されるというシナリオが標準模型となっています。Ia型超新星や大規模構造等の観測により、現在の宇宙は新たな第2の加速膨張の時代にあることもわかっています。下の図は、そのような宇宙進化を模式的に表現した図です。宇宙の加速膨張の起源、暗黒物質の起源は何か。宇宙の構造の起源は本当にインフレーション期の時空の量子ゆらぎなのか。観測的宇宙論を通した宇宙模型と重力理論の検証、曲がった時空上の場の量子論や量子情報科学を応用した宇宙と重力の根源的な問題について研究を進めています。



宇宙の進化の模式図：横軸は宇宙の時間（横軸）、縦軸は宇宙の大きさ（縦軸）

曲がった時空上の場の量子論

インフレーション期に量子揺らぎは引き伸ばされて、宇宙の構造の起源や原始重力波を作り出すと考えられていますが、この他にも真空の量子揺らぎは多様な物理現象を予言します。例えば、加速運動する観測者から真空状態を見ると、加速度に比例する温度で熱的励起した状態に見えるという理論予言はウンルー効果とよばれています。この予言は、ブラックホールの蒸発を予言するホーキング放射と対応関係があります。これらの予言は、真空が時空の部分的領域に構成される量子状態の量子もつれ状態として記述されるという真空の持つ非局所相関と深く結びついているので、その構造や検証可能性を調べています。

宇宙の加速膨張の起源

アインシュタインが導入した宇宙項は、現在の加速膨張宇宙を説明する標準模型となっていますが、究極理論である超弦理論からは、負の圧力を持つダイナミカルなエネルギー成分であるスカラー場が起源である可能性が示唆されています。加速膨張を引き起こすこのようなエネルギー成分が観測可能な宇宙のスケールより大きなスケールで空間的に非一様な新しい理論模型の観測的帰結を調べ、加速膨張宇宙の起源を探求しています。

インフレーション宇宙

プランク衛星の観測から、宇宙背景放射の温度揺らぎに統計的非等方性が存在することが示唆されています。この統計的非等方性を説明するインフレーションモデルの研究を行っています。また、インフレーション理論によると、宇宙の大規模構造や宇宙背景放射の温度揺らぎは量子揺らぎが起源です。しかし、本当に量子揺らぎが起源だったのかは証明されていません。原始重力波は、この量子揺らぎから直接生成されます。そこで原始重力波の量子性の検証を行うことでインフレーション理論の証明を目指しています。

最近の論文等

- 量子系が作る重力とその検証への歩み, 松村央, 南部保貞, 山本一博, 日本物理学会誌 第 79 巻第 5 号 224-229 (2024)
- Quantum signature of gravity in optomechanical systems with conditional measurement, D.Miki, A. Matsumura, and K. Yamamoto, Physical Review D 109, 064090 (2024)
- Violation of the two-time Leggett-Garg inequalities for a coarse-grained quantum field, M. Tani, K. Hatakeyama, D. Miki, Y. Yamasaki, K. Yamamoto, Physical Review A 109 032213 (2024)
- Classical gravitational effect on the standard quantum limit of finite-size optical lattice clocks in estimating gravitational potential, F. Nishimura, Y. Kuramochi, K. Yamamoto, Physical Review A 108 063112 (2023)
- Quantum uncertainty of gravitational field and entanglement in superposed massive particles, Y. Sugiyama, A. Matsumura, and K. Yamamoto, Phys. Rev. D 108, 105019 (2023)
- Enhancement of quantum gravity signal in an optomechanical experiment, Y. Kachu, T. Fujita, A. Matsumura, Phys. Rev. D 108, 106014 (2023)

HP : <https://sites.google.com/view/physicsthkyushu/>

研究キーワード： 標準模型, 大統一理論, 超弦理論, 素粒子論的宇宙論, 超弦理論的宇宙論, 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



教授	大河内 豊
准教授	小島 健太郎 中里 健一郎
助教	福井 徳朗
博士課程	3名
修士2年	2名
修士1年	2名

教員プロフィール



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

素粒子理論に関する研究を行なっています。近年は、余剰次元をもつ高次元時空上のゲージ理論における力学や対称性の破れの機構を、素粒子の標準模型や大統一模型、宇宙論へ応用する研究に取り組んできました。大学院生と一緒に新しい研究テーマを開拓しながら、素粒子標準模型の背後にある、より基本的な理論を明らかにすることを目指します。



中里 健一郎 准教授

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多様な物理が顔を出します。なので、常に興味の幅を広く持ち、今までの自分の研究経験や知識も活かしながら、積極的に新しいテーマにも切り込んでいきたいと考えています。



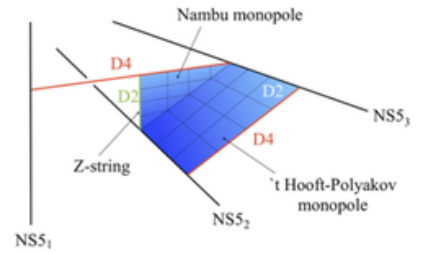
福井 徳朗 助教

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。物理学科メインの昼サッカーにも参加しています。

研究内容

超弦理論

超弦理論はアインシュタインの一般相対性理論と量子力学を両立させる量子重力理論です。この2つの要請を4次元時空の理論で実現することはまだできておらず、時空を10次元に拡張した超弦理論が唯一の候補と言われています。この理論の時空は10次元であることから余剰な6次元が存在しますが、この6次元を十分小さなスケールにコンパクト化することで、実際の観測結果と矛盾することのない理論が得られます。また、この余剰次元の振る舞いに応じて、4次元に生じる理論が異なり、その自由度を利用することで、標準模型を弦理論の枠内で構成することも可能となっています。量子化された重力理論が必要になってくるのは、極めて重力の作用が強くなる、ブラックホールの特異点付近や、宇宙の創生の時期です。こうした物理現象を真に理解するためには、量子化できる重力理論が必要です。



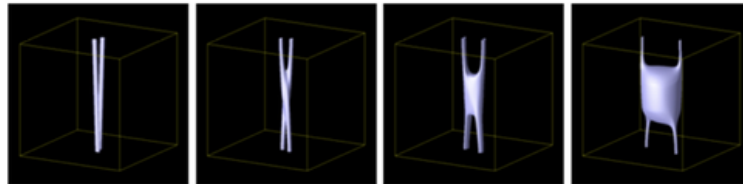
超弦理論には紐の他にDブレーンと呼ばれる高次元の物体が存在します。それを用いたゲージ理論の閉じ込め問題へアプローチ。Phys.Rev. D87 (2013) no.4, 045006 より引用

余剰次元模型

超弦理論が10次元の時空の存在を示唆するように、この自然界には、4次元目以上の空間次元である「余剰次元」が隠されているかもしれません。余剰次元を持つ場の理論は興味深い性質を持ちます。例えば、局所的なローレンツ対称性が拡大することで、フェルミオンやゲージ場などの性質が4次元時空の場合から変化します。また、余剰次元の幾何学と低エネルギーに生じる粒子スペクトルには関係があります。こうした性質を通じて、余剰次元が素粒子物理学や宇宙論における未解決の問題を解く鍵を与える可能性があるため、さまざまな余剰次元模型を構築し、その性質や予言や検証可能性を調べることが重要となります。

素粒子論的宇宙論

観測から宇宙は過去に遡るほど高温・高密度で小さかったことが分かっています。誕生直後の宇宙は量子論的なスケールにあり、インフレーションによって急激に膨張したと考えられています。この過程やその後の進化は素粒子論と密接に関係しており、粒子の性質や相互作用が宇宙の発展を左右します。物質・反物質非対称の起源やダークマターの正体も重要な未解決問題です。さらに、弦理論に基づくひもやブレーンの描像や、真空の構造・崩壊といった視点からも、宇宙の起源と進化の理解が進められています。



宇宙紐と呼ばれる物体同士の衝突により、別の宇宙が内部に生成されている様子。JHEP 1401 (2014) 165より引用

超対称ゲージ理論と双対性

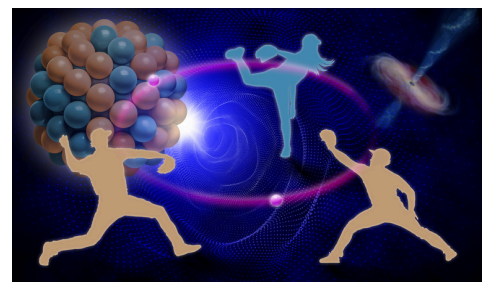
双対性は、90年代に大きく進展した理論間の対応関係です。2つの異なる理論の間に対応関係が見つかったとすると、その関係を用いて、ひとつの理論である問題が解けなくても、もうひとつの理論でその問題を解くことが可能となります。このように、双対性は極めて強力な手法です。一般に、双対な理論を見つけることは非常に難しい問題です。超対称性を保つ理論では、この双対関係を調べやすく、その結果として、ゲージ理論の強結合領域におけるダイナミクスや真空の相構造の理解ができるようになりました。これらの結果から強結合領域では閉じ込め現象に限らず多くの興味深い相が現れることが理解されました。

有効場理論

場の量子論は、素粒子の記述にだけ使われるわけではありません。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。

三体核力

3つの核子にはたらく力は、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となっています。



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い難いのが現状です。重力崩壊した星の中心部で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します。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の観測とともに、粒子系物理学に基づく理論研究が不可欠です。



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。

MESSAGE

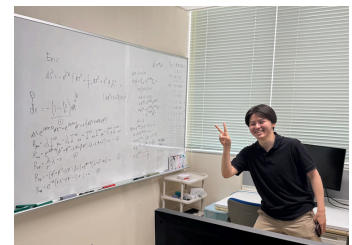
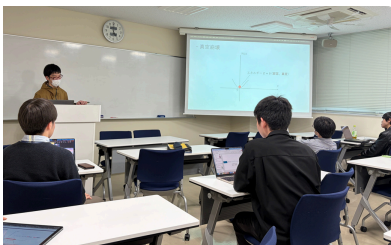
当研究室では、素粒子・原子核・天体宇宙といった多角的視点から理論物理学の研究を進めています。研究分野の自由度の高さを活かし、学生の主体性を尊重しながら、研究室で進めているテーマに取り組むことも、自ら見出したテーマに挑戦することもサポートしています。また、広い視野は物理を専門としない人への情報発信にも必要ですので、**ティーチング・アシスタント**や**アウトリーチ活動**への積極的な参加も歓迎しています。興味を持たれた方は、直接、研究室（センター3号館2階）に訪問してみるか、ホームページ (<https://sites.google.com/view/physicsthkyushu/>) のフォームから連絡してみてください。他大学の方も大歓迎です。



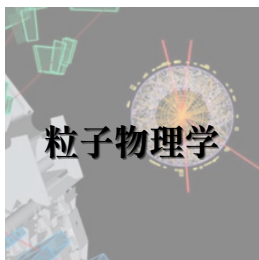
アウトリーチ活動の様子

修士論文の研究テーマ例

- 鉱物試料に残されたニュートリノの痕跡による銀河系内超新星発生史の探索可能性
- 拡張された標準模型におけるドメインウォールによる電弱相転移の促進
- ヒッグスインフレーションにおけるツリーユニタリティの破れに着目した重力理論の拡張による模型構築
- 一様背景場中のトポロジカルソリトンの生成とその超対称性理論への応用
- 特異点を含むバウンス解による5次元真空崩壊の解析
- 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
- 弦理論における準安定状態の崩壊と触媒効果
- 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
- 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
- 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
- 真空崩壊におけるバブル時空の形成と触媒効果による宇宙定数



研究室紹介

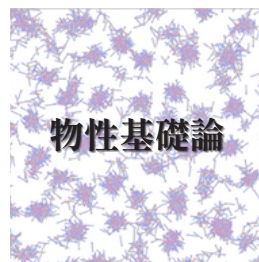


素粒子実験研究室	18
実験核物理研究室	21
粒子系実験研究室	24

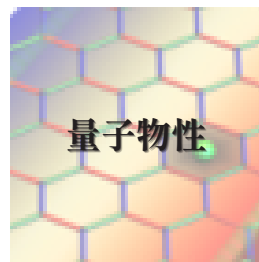
113番「ニホニウム」の先へ



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



物性理論研究室
凝縮系理論研究室 ...



磁性物理学研究室 ...
創発量子物性研究室
光物性研究室



複雑物性基礎研究室
複雑生命物性研究室



教授	東城 順治
准教授	音野 瑛俊
助教	調 翔平 稲田 知広*
博士課程	7 名
修士 2 年	6 名
修士 1 年	5 名
学部 4 年 (特別研究生)	5 名

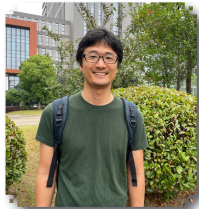
*先端素粒子物理研究センター

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。研究室メンバー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。



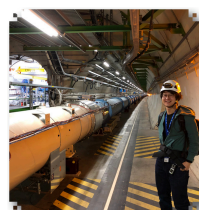
音野瑛俊 准教授

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。



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-PARCのミュ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。



稲田知広 助教

2024年12月に先端素粒子物理研究センターに着任しました。これまで、東京大学宇宙線研究所、清華大学、CERNで研究に従事してきました。現在はATLAS実験とFASER実験に取り組み、エネルギーフロンティアにおける暗黒物質・新粒子探索及びニュートリノ研究を行っています。素粒子という「極小」の世界の研究は、宇宙という「極大」スケールの理解にもつながる重要な手がかりを与えてくれます。みなさんと一緒に、こうしたフロンティアの研究に取り組めるのを楽しみにしています！



研究内容

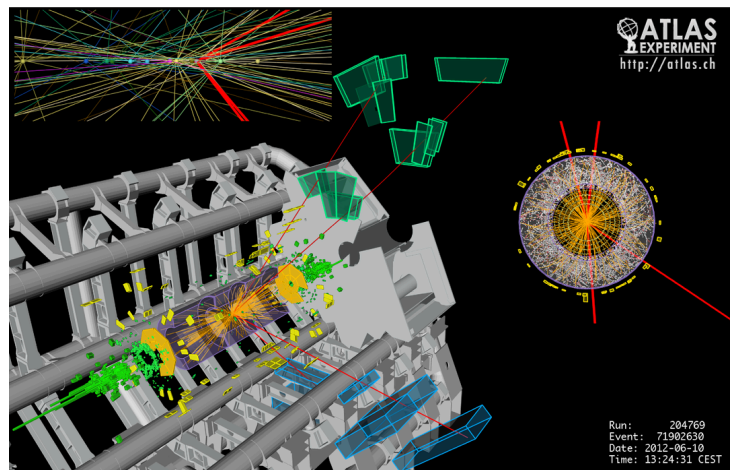
素粒子実験研究室は、最先端加速器を用いた素粒子と宇宙に関する実験的研究を行っています。

- 素粒子の標準模型で物質を構成するクォーク・レプトン、相互作用を媒介するゲージボソン、質量起源のヒッグス粒子を研究し、標準模型を超える新しい物理の発見を目指します。
- 素粒子の世代構造、新しい対称性、相互作用の統一、ヒッグス粒子の性質等に焦点を当てて、新物理を探索します。
- 高エネルギー衝突実験で宇宙初期を再現し、宇宙の暗黒物質や真空・時空構造を研究します。また、先進的な大強度ビームを用いた実験で、多角的に新物理に迫ります。

本研究室は、以下の実験・プロジェクトに取り組んでいます。

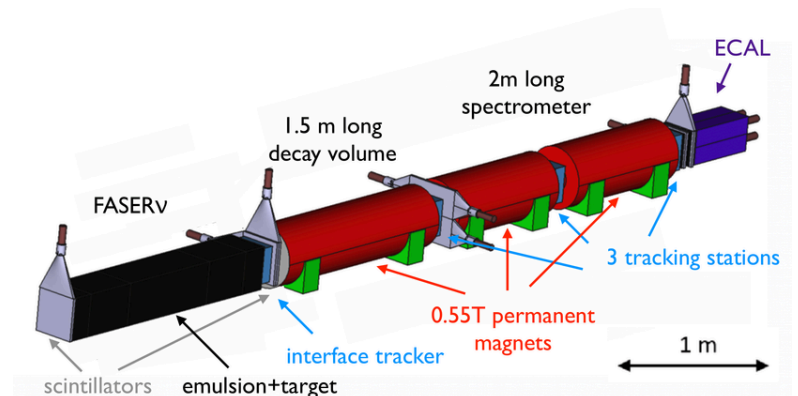
1. ATLAS実験

欧州合同原子核研究機構(CERN)の LHC 加速器は、周長約 27 km の世界最大の**衝突型加速器**で、陽子同士を**史上最高の重心エネルギー**で衝突させます。ATLAS 実験は LHC 加速器で進行中の 2 大実験の 1 つで、42 カ国・185 研究機関から約 1,000 名の大学院生を含む約 3,000 名の研究者が国際共同研究で推進しています。2010 年 3 月に本格的な運転を開始し、2012 年 7 月にはヒッグス粒子を発見し、全世界で大ニュースとなりました(右下図)。現在では、1) 質量の起源である**ヒッグス粒子**の研究、2) 宇宙の**暗黒物質**の候補にもなる**超対称性粒子**の探索、3) 4 次元時空を超える**余剰次元**の探索、などノーベル賞級の大発見に向けた研究を展開しています。現行計画は最終段階にあり、その後は加速器・検出器をアップグレードして、2030 年代後半まで発展的に継続していきます。当研究室は、検出器全体の中核であるシリコン半導体を用いた内部飛跡検出器とアップグレードに寄与しており、新物理の発見を中心テーマとして活動しています。研究テーマの幅は広く、興味重視で活動に参加し、**素粒子物理学の最前線**で活躍できるチャンスがあります。



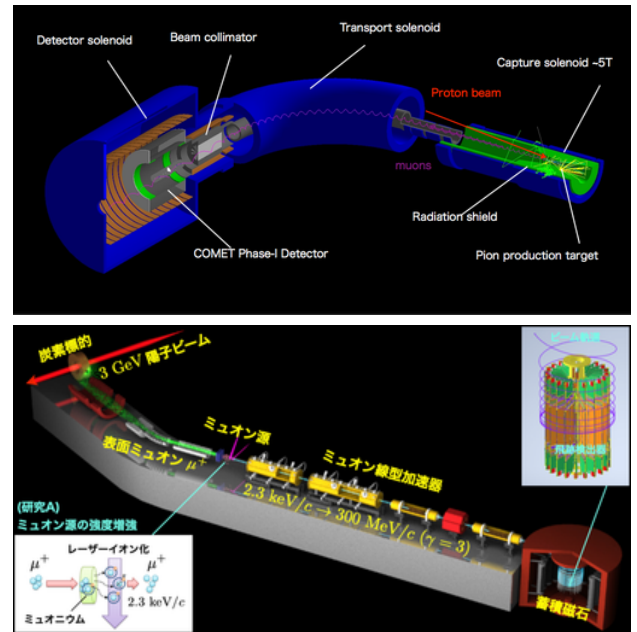
2. FASER実験

新物理の発見に向けて、LHC 加速器を新たな切り口で活用した FASER 実験を立ち上げました。FASER 実験は、LHC 加速器の衝突点に対して接線方向 480m 地点に検出器を設置して、1) 標準模型粒子と弱く結合する**新粒子の探索**、2) 衝突型加速器が生成する**史上最高エネルギーのニュートリノ(コライダーニュートリノ)**研究、を推進しています。FASER 実験は 2017 年の理論研究者らによる提案に実験研究者が加わることで検出器の具体化と設計・製作を迅速に進め、2022 年からデータ取得を開始しました。既に初期データを用いた新粒子探索(残念ながら新粒子は未発見)やコライダーニュートリノの世界初測定を実現しています。現在では 10 カ国・26 研究機関から約 100 名の研究者が加わる国際共同研究に成長しました。当研究室は、主要検出器となる**ストリップ型シリコン半導体飛跡検出器**(ATLAS実験で運用中の検出器のスペアを活用)を担当し、新物理のさらなる探索能力を向上させるために 2025 年に導入を予定している**最先端のピクセル型シリコン半導体検出器**の実機製作に取り組んでいます。



3. ミューオン素粒子実験

茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 J-PARC で**先進的なミューオンビーム**を用いて、**アイデアを駆使した素粒子実験**を行なっています。現在では、1) ミューオン-電子転換過程探索実験、2) ミューオン異常磁気能率・電気双極子能率精密測定実験、などを進めており、比較的少人数で行う中小規模の実験です。大きな特色として、他に例のない特殊な性能(強度、時間・空間・運動量構造、スピンなど)を持つビームや独創的な検出器・計測技術を用いて、**衝突型加速器実験とは異なるアプローチで新物理を探索**します。本研究室は、これらの実験で主要な役割を果たしています。



4. 最先端検出器開発

現代的な素粒子実験では、検出器の技術が鍵となります。現在遂行中の実験や将来の実験に向けて、**最先端検出器の開発・製作**を行っています。検出器の開発は、各実験で中心的なテーマであり、本研究室で横断的に取り組んでいます。特に**シリコン半導体を用いた検出器技術**を得意としています。検出器を独自に開発・製作する設備「次世代シリコン半導体検出器開発システム」を保有しており、継続的に増設・増強を行っています。**世界トップクラスの設備と技術**を用いて、高実装度・微細化・放射線耐性・高速応答・低物質質量などの優れた特徴をもつ新しい検出器の開発を行っています。これからも新しいアイデアの検出器を開発し、新次世代シリコン半導体検出器開発システムしい素粒子実験に挑みます。



MESSAGE :

みなさんの先輩たちは国内外の大学・研究機関や企業・公官庁・教育機関で活躍しています。素粒子実験分野では、多様な得意とすることや興味をもつ人が活躍できる機会があります。

- ものづくり・機械いじり・電子回路・コンピューターの(どれでも)好きな人
- 体力に自信のある人、語学に興味のある人、どこでも生きていける人、いろんな所に行きたい人、海外で活躍したい人、いろんな人と交流したい人
- そして何より、**意欲があって、物理が好きな人、知的好奇心が旺盛な人**

素粒子実験研究室と一緒に活動するメンバーとして、どれでも当てはまる方は大歓迎です。

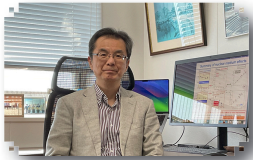
HP : <https://ne.phys.kyushu-u.ac.jp/>

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



教授	若狭 智嗣 坂口 聡志
准教授	寺西 高 市川 雄一 新准教授(予定)
助教	新助教(予定)
技官	岩村 龍典
学術研究員 (高等研究院・特別主幹教授)	森田 浩介
博士課程	4 名
修士 2 年	6 名
修士 1 年	10 名
学部4年 (特別研究生)	7 名

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

二ホニウムに続く新元素の合成の研究を行なっています。大きな二つの原子核が衝突し、形を変えて一体となっていくダイナミックな反応過程と一緒に解き明かしていけたらと思います。埼玉県和光市の理化学研究所や九州大学の加速器を使った実験や、検出器や標的などの装置開発など。共に元素周期表を書き換えましょう！



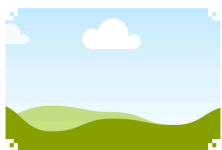
寺西高 准教授

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7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。世界最先端の研究施設で国内外の研究者たちと触れ合ったり、独自の研究装置を試行錯誤しながら自らの手で開発したい方は、ぜひ一緒に研究しましょう。



新准教授（予定）

Coming soon...



新助教（予定）

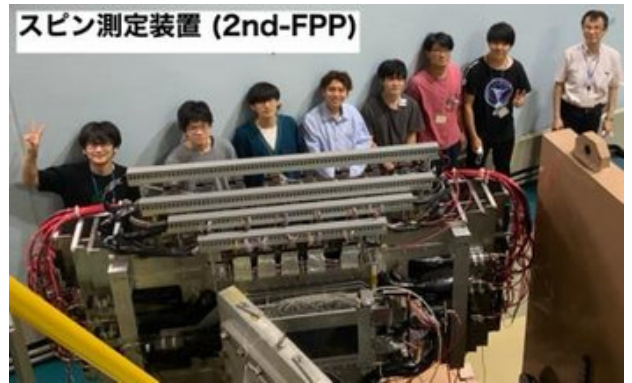
Coming soon...

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）

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）

原子核は比較的には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）

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世紀に入ってからの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）

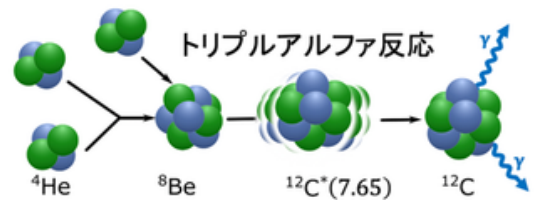
ニホニウムなど非常に重い原子核は一瞬で崩壊してしましますが、既知核より中性子が数個多い同位体は寿命が桁違いに長くなり安定的に存在できると予想されています。この**「安定の島」という人類未到領域**への到達は核物理学者の夢ですが、これらの原子核は性質解明はおろか合成手法すら未知です。新しい原子核の合成手法、共に探しませんか？

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。

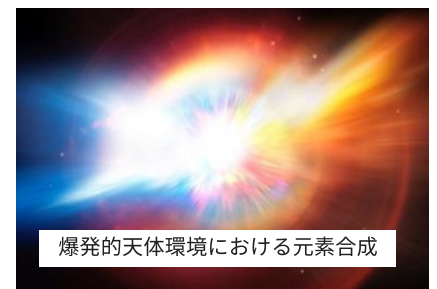
安定核領域の元素合成過程（寺西）

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）

恒星進化の末期の爆発的環境(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。例えば、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。



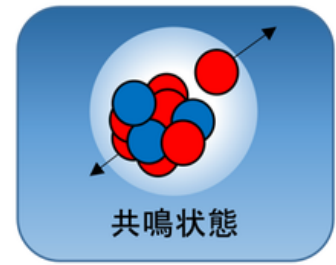
4. エキゾチック核の構造「陽子と中性子の数がアンバランスな原子核の性質は？」

共鳴状態の研究（寺西）

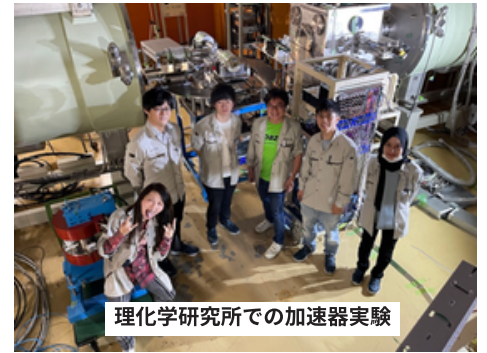
ドリップライン近くのエキゾチック核は、中性子ハロー構造等の特異な構造を持つことが次第に明らかになっています。これらの原子核のエネルギー準位の多くが粒子放出に対して不安定な「共鳴状態」として現れます。構造、崩壊様式、天体核反応への寄与等を理解するために、RIビーム施設およびタンデム加速器施設において共鳴反応・散乱の実験を行い、**未知の共鳴状態**の探索を行っています。

スピン操作を利用した核分光研究（市川）

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。原子核反応やレーザー励起を使って**スピンの向きを揃えるユニークな手法**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、国際コラボレーションを築いて行っています。



共鳴状態



理化学研究所での加速器実験

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・標準理論を超える新粒子探索（市川）

宇宙初期でどのようにして物質が創成されたのか？その謎を解き明かすためには、素粒子の標準理論に組み込まれているよりも各段に大きなCP対称性の破れが必要です。原子や原子核の電気双極子モーメント（Electric Dipole Moment, EDM）は、**標準理論を超えるCP対称性の破れ**が現れうる有力な候補です。わずかなEDMを大きく増幅す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。また、アクシオン的粒子など、標準理論を超える別の対称性の破れに伴って出現する新粒子候補の探索も行います。これらの実験ではテーブルトップの装置を相手に日々トライ＆エラーしながら研究を進めていきます。



核スピンメーザーの実験装置

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）

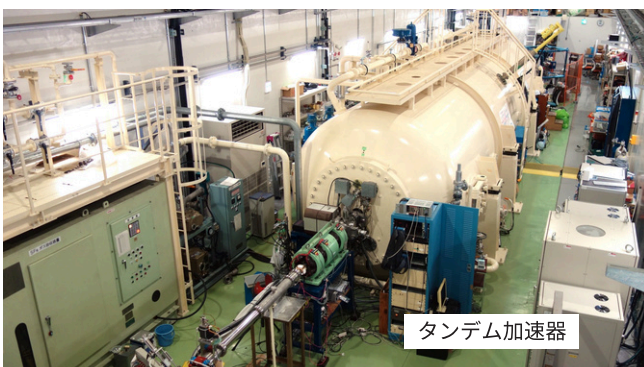
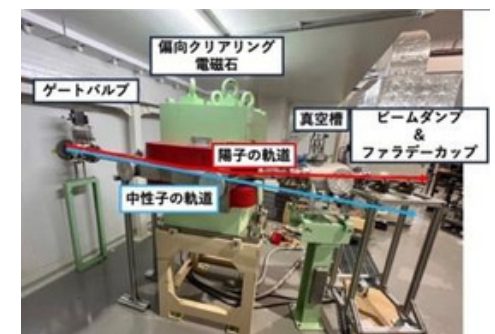
九州大学のタンデム加速器において、高度な核反応測定等を精密に効率よく行うために、イオン源、本体、ビームライン、コンピューター制御系等の開発を進めています。RIビーム生成法の開発や外部施設の大規模実験で用いる検出器系の開発試験も行っています。加速器系のすべての構成要素の原理を部品レベルから把握して改善を行っています。タンデム加速器実験には、研究の全過程（実験企画・装置開発・ビーム生成・反応測定・データ解析・成果発表）にすべて深く関わることができるという醍醐味があります。



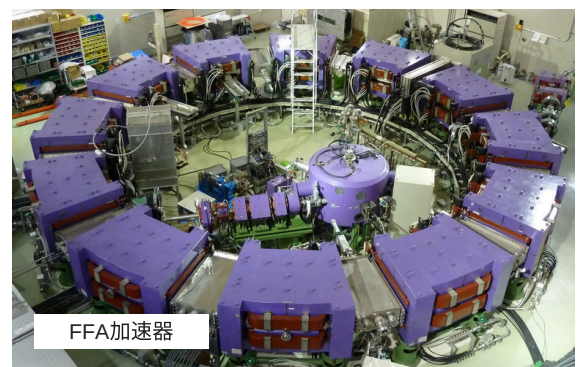
タンデム加速器の内部

FFA加速器関連装置・技術（全員）

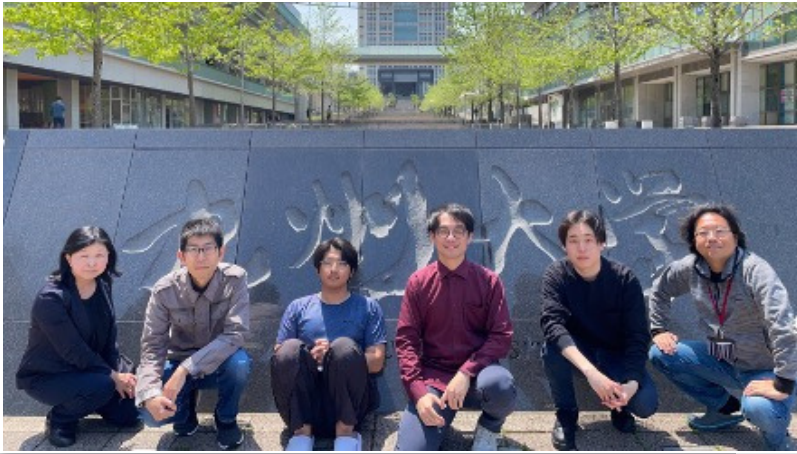
FFA加速器からの100 MeV級の陽子や(p, n)反応からの中性子を用いた原子核の反応断面積測定や中性子照射による半導体の放射線耐性の測定、核融合反応による「安定の島」への到達等を目指して、新ビームラインや実験装置の整備、新原子核合成のシミュレーションを進めています。ビームラインから院生が携わることができるのは、加速器施設を有する九大・実験核の大きな利点です。



タンデム加速器



FFA加速器



教授	吉岡 瑞樹
准教授	有賀 智子
助教	山中 隆志
スタッフ	六條 宏紀
博士課程	1名
修士2年	1名
修士1年	1名

 教員プロフィール



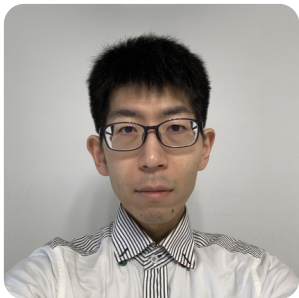
吉岡 瑞樹 教授

2011年に九州大学に着任し、その後、2025年に基幹教育院に異動して粒子系実験研究室で研究活動を行っています。福岡生活も早14年になりますが、博多弁はまだしゃべれません。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オン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。



有賀 智子 准教授

主にCERNの加速器を用いた3世代のニュートリノの実験的研究を実施しています。大規模な共同研究が多い素粒子実験分野において比較的小規模の新しいコラボレーションにより特色ある実験を推進しており、若手研究者が個性を活かして活躍できる場になればと考えています。



山中 隆志 助教

国際リニアコライダーに関する研究、LHC-ATLAS実験を経て、現在は主に大強度陽子加速器施設で行われるミュオン粒子を用いた実験のための半導体検出器開発を行っています。近年は新型半導体検出器の開発にも着手しています。機械や電子工作が好きですが、必要に応じてプログラミングもやってきました。

MESSAGE :

2023年に立ち上がった新しい研究室です。学生大募集です。みなさんと一緒に新しい研究室の歴史を作っていきましょう。ものづくりが好きな方、海外で研究してみたい方、大歓迎です。テーマとして比較的小規模な実験が多いので、みなさんと一緒にワイワイ研究できることを楽しみにしています。

研究内容

低エネルギー中性子を用いた基礎物理実験

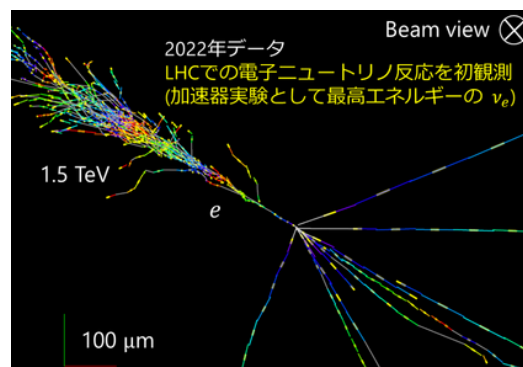
我々のグループでは、非常にエネルギーの低い（数百 neV ~ 数 meV）中性子を用いて、様々な基礎物理実験を行っています。

- 1、中性子は最も単純な原子核の一つであり、およそ900秒で電子、陽子、反ニュートリノに崩壊します。その崩壊寿命は素粒子標準理論およびビッグバン元素合成理論の精密検証において不可欠なパラメータですが、測定手法間に有意な乖離が見られており、「中性子寿命問題」と呼ばれています。我々は従来とは異なる手法で中性子の崩壊寿命を精密に測定する実験を行っています。
- 2、ビッグバン直後の宇宙では粒子・反粒子が対で生成され、その数は常に等しいと考えられます。しかし、現在の宇宙は反粒子に比べ粒子の数が圧倒的に多く存在しており、これは粒子と反粒子の性質の間に僅かな違い（CP対称性の破れ）があるためだと考えられています。我々は中性子を用いて未発見のCP対称性の破れを探索する実験に取り組んでいます。
- 3、自然界に存在する4つの力の内、重力相互作用は極端に小さく、他の相互作用に比べて検証が進んでいません。中性子は電荷を持たず、分子間力の影響を受けにくいなど、重力以外の相互作用を大きく抑制することが可能です。この特徴を活かして、重力相互作用の研究を行っています。



LHC 超前方における 3 世代ニュートリノの測定および未知粒子探索 (FASER 実験)

FASER (フェイザー) 国際共同実験は、当初、欧州原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロンコライダー (LHC) を用いた未知粒子探索を目的として提案されました。その後、有賀准教授らは同実験地点において高エネルギーニュートリノ研究が可能であることを見出し、LHC でのニュートリノ実験を初めて立ち上げました。現在の加速器による最高エネルギーのニュートリノを研究し、未知の高エネルギー領域において3種類のフレーバーのニュートリノに素粒子標準理論を超えた物理の影響があるかを検証することを目指しています。2018年のFASER_vパイロットランでは、世界で初めて衝突型加速器からのニュートリノ反応候補を直接観測し、2022年から本格的なデータ取得・解析を進めています。有賀准教授はFASER_vのプロジェクトリーダーを務めるとともに、加速器実験として最高エネルギーの電子ニュートリノ反応・ミューニュートリノ反応の検出や、500GeVから数TeVエネルギー領域で世界初となるニュートリノ反応断面積測定論文を主導しました。今後も、TeV領域でのタウニュートリノ初測定や反タウニュートリノ初観測、レプトンフレーバー普遍性の検証、宇宙線物理への応用など、大学院生・共同研究者とともに様々な物理解析や将来計画を進めていきます。

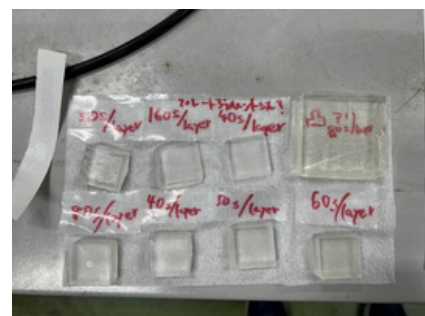


Forward Physics Facility 構想

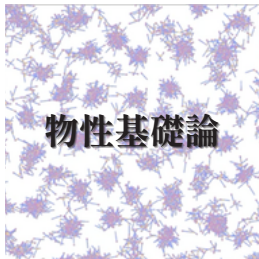
FASER 実験を基に、その後の高輝度 LHC において高統計でタウニュートリノ測定を目指す FASER_{vv2} 実験のセットアップ・検出器のデザインに取り組んでいます。FASER2 実験、FASER_{v2} 実験等を含む超前方研究のためのプラットフォーム Forward Physics Facility (FPF) 構想に参画し、プロポーザルに向けた活動を行っています。FPF は未知粒子探索・ニュートリノ研究・ハドロン研究、宇宙物理にまたがる研究計画です。有賀准教授は FASER_{v2} 実験提案の共同代表を務めており、FPF におけるニュートリノ実験を主導し、コライダーを用いたニュートリノ実験を推進していきます。

3Dプリンタを用いたシンチレータ開発

3Dプリンタ技術を活用し、従来の成形手法では実現が難しかった複雑形状のプラスチックシンチレータの開発に取り組んでいます。造形条件や材料配合を最適化することで、発光特性や透明性を維持しつつ、用途に応じた自由な設計を可能とします。これにより、放射線検出器の高性能化や小型化、さらには新たな測定手法の実現を目指します。さらに、造形プロセスと検出特性の関係を体系的に明らかにすることで、設計から製造までを一体化した新しい検出器開発の枠組みを構築します。



研究室紹介



物性理論研究室 27
凝縮系理論研究室 30

more
is
different

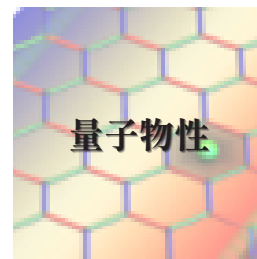
P. W. Anderson



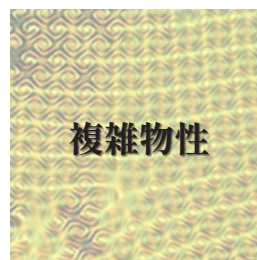
素粒子理論研究室 ...
理論核物理研究室 ...
宇宙物理理論研究室
粒子系理論物理学研究



素粒子実験研究室 ...
実験核物理研究室 ...
粒子系実験研究室 ...



磁性物理学研究室 ...
創発量子物性研究室
光物性研究室



複雑物性基礎研究室
複雑生命物性研究室

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

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・水の物理



教授	福田 順一
准教授	樋口祐次 (情報基盤研究開発センター)
講師	松井 淳
助教	多羅間 充輔
博士課程	3名
修士2年	2名
学部4年 (特別研究生)	3名



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(「研究内容」を参照)。大学院生の時には、高分子の統計力学に関する研究を行っていました。

趣味は基本インドア系で、近現代アート鑑賞(居室のドアでわかるといいます)、クラシックを中心とした音楽鑑賞(話に付き合ってくれる人がなかなかいないので、工藤先生をよく巻き込んでいます)などです。

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



非平衡現象に興味を持ち、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研究をしています。特に、生物学の研究者と協力して実際の生き物で見られる具体的で複雑な現象を対象に、生命現象を物理学の視点から理解することを試みています。また、人間の営みの結果現れる社会現象を対象とした研究にも挑戦しています。統計力学で培われてきた粗視化の概念や計算機シミュレーションを駆使して学際領域の「新しい」物理学の研究を進め、自然に学ぶ科学の発展を目指しています。

樋口 祐次 准教授

新しい材料設計や生体機能の理解へ向けて、高分子、ゲル、両親媒性分子、水などの構造と物性に関する研究を分子シミュレーションにより行っています。分子シミュレーションは分子集合構造やそれらが起こす現象を目で見ることができるところが魅力です。趣味はテニス、サッカー、読書です。





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、水といった幅広い主題の理論的研究に取り組んでいます。日本ではソフトマター物理の研究室はそれほど多くありませんが、世界ではソフトマターは基礎物理学の重要な一分野として認識されています。また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。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、近年液晶の分野で注目を集めている、強誘電性を示す層状の液晶の構造の研究も行なっています（図3）。

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4）、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ことなどが代表的な成果として挙げられます。

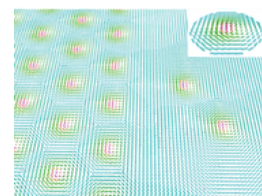


図1: ブルー相のスカーミオン構造

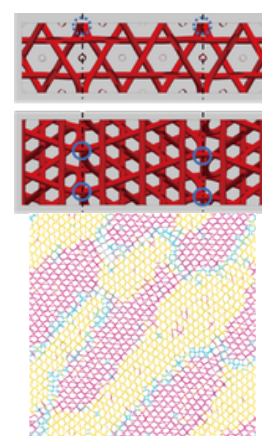


図2: ブルー相が示す双晶構造

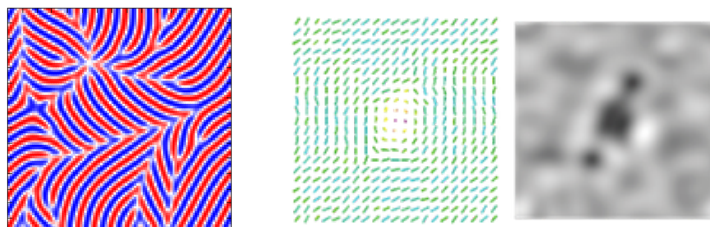


図3: 強誘電性を示す層状の液晶のシミュレーション
図4: 左は液晶の秩序構造 右はその光学顕微鏡像 (いずれも数値計算で得られたもの)

出典:

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

図2: [Phys. Rev. E 105, 044707 \(2022\)](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.105.044707); 修士論文 (山下晃弘) [PNAS 121, e2412476121 \(2024\)](https://doi.org/10.1073/pnas.2112121121).

<https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/1180>

図3: [Phys. Rev. E 112, 025408 \(2025\)](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.112.025408); 修士論文 (小田響己)

図4: [Nature Phys. 13, 1215 \(2017\)](https://doi.org/10.1038/nature20115)

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、0K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。

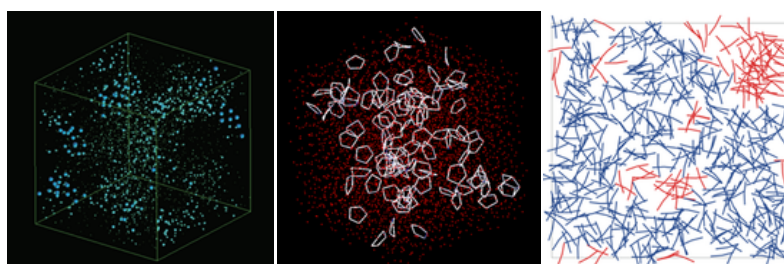


図5: 計算機シミュレーションを用いた分子運動の解析;分子運動を可視化して、時間的あるいは空間的な不均一さを数値化します。

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6)。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7)。

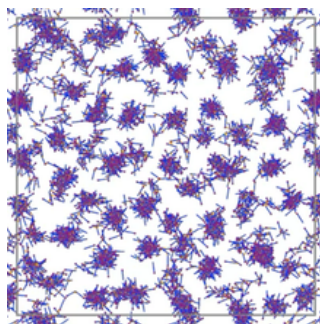


図6: アクチン細胞骨格が自己組織化するクラスター構造の再現 [Nat Commun (2024) 15:464]

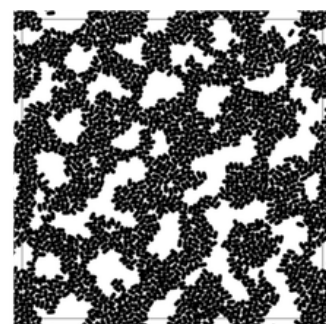


図7: 細胞運動の力学モデルを用いて再現された中胚葉細胞が自己組織化するネットワーク構造

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。また、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8)、巨視的な渦の形成メカニズム(図9)などの研究も行っています。

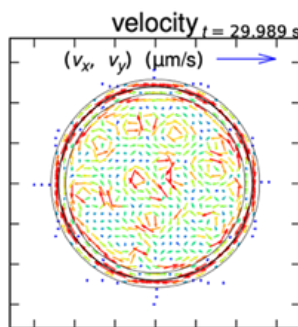


図8: 連続体シミュレーションを用いた、円形容器に閉じ込めたバクテリア集団が示すエッジカレントの研究

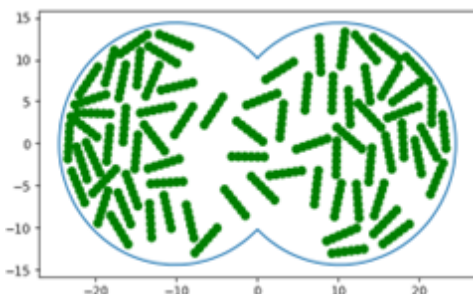


図9: 粒子シミュレーションを用いた、狭い領域中のバクテリア集団の安定した自発的渦形成の研究

水のダイナミクス

水の構造とダイナミクスは、物理学と化学において興味深い研究対象です。とくに、ソフトマター周囲の水分子のダイナミクスは、ソフトマターの自己組織化構造、生体材料の生体適合性、そして生物学的機能に影響を与えるため、重要な研究テーマとなっています。ソフトマター周囲の水のダイナミクスは簡単には理解できない複雑な挙動を示しますが、分子シミュレーションを用いて現象解明に取り組んでいます。

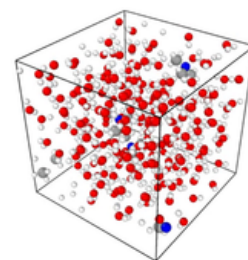


図10: 水とソフトマター分子のシミュレーション

高分子の構造と物性

高分子はプラスチックやゲルなど身の回りにある物質です。非常に巨大な分子である高分子は、多数の分子が集合し、階層構造やネットワーク構造など、複雑な構造を形成します。そのため、構造と物性の相関関係を解明することは困難ですが、重要で興味深い課題です。分子シミュレーションを用いて、結晶性高分子、ゲル、ゴムの変形および破壊過程を分子論的立場から研究しています。

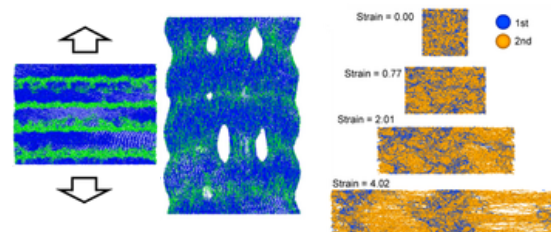


図11: 分子シミュレーションによる結晶性高分子とダブルネットワークゲルの変形・破壊プロセス

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
- ・生体組織の左右非対称性に対するキラルな細胞運動モデル

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

研究キーワード：物性物理・凝縮系理論・量子多体系・トポロジカル物質・量子ホール効果



教授	野村 健太郎
准教授	磯部 大樹
助教	工藤 耕司 大橋 良伊 Eslam Ahmed
博士課程	2名
修士2年	3名
修士1年	3名
学部4年 (特別研究生)	3名



教員プロフィール



野村健太郎 教授

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．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えます．海外の研究者と議論をしたり，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エキサイティングな分野です．



磯部大樹 准教授

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。研究対象は身近に存在し目で見えて触れる、あらゆる物質です。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。最近は量子伝導、超伝導、非平衡現象に特に興味を持っています。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

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して、多数の電子が集団として振る舞う系でエニオンは突如現れます。私はこのようなエニオンを伴う物質相を理論的及び数値的に研究しています。趣味は音楽です。ピアノとオーガンを演奏できます！音楽好きな人、今度お話ししましょう！



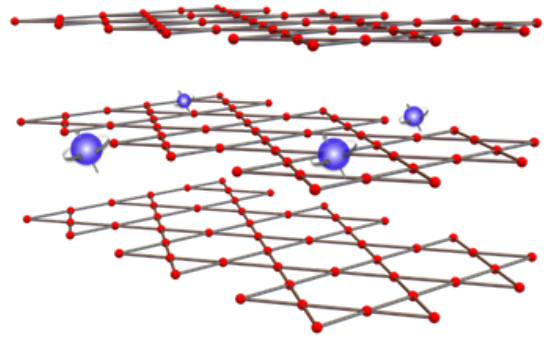
大橋良伊 助教

名古屋大学で博士号を取得した後、約2年間、大阪大学で研究員として勤務し、2025年2月から九州大学に着任しました。趣味はバイク、麻雀、サックスです。九州はバイクで走るのに気持ちのいい土地が多く、これからの生活がとても楽しみです。研究については、これまでトポロジカル超伝導体や、分数量子ホール効果といった系において、「エッジ状態」に着目した理論研究を進めてきました。私が凝縮系理論に強く惹かれる理由の一つは、数式や理論という抽象的な言語が、実験を通じて「見える」かたちで現実に結びつくことです。未解明な実験結果に理論的な筋道に加えられたり、理論から予測した現象が実際に観測されたりする場面では、言葉では表現しきれないような喜びと興奮があります。こうした研究の面白さや感動を、ぜひ皆さんとも共有できればと思っています。

研究内容

凝縮系物理学

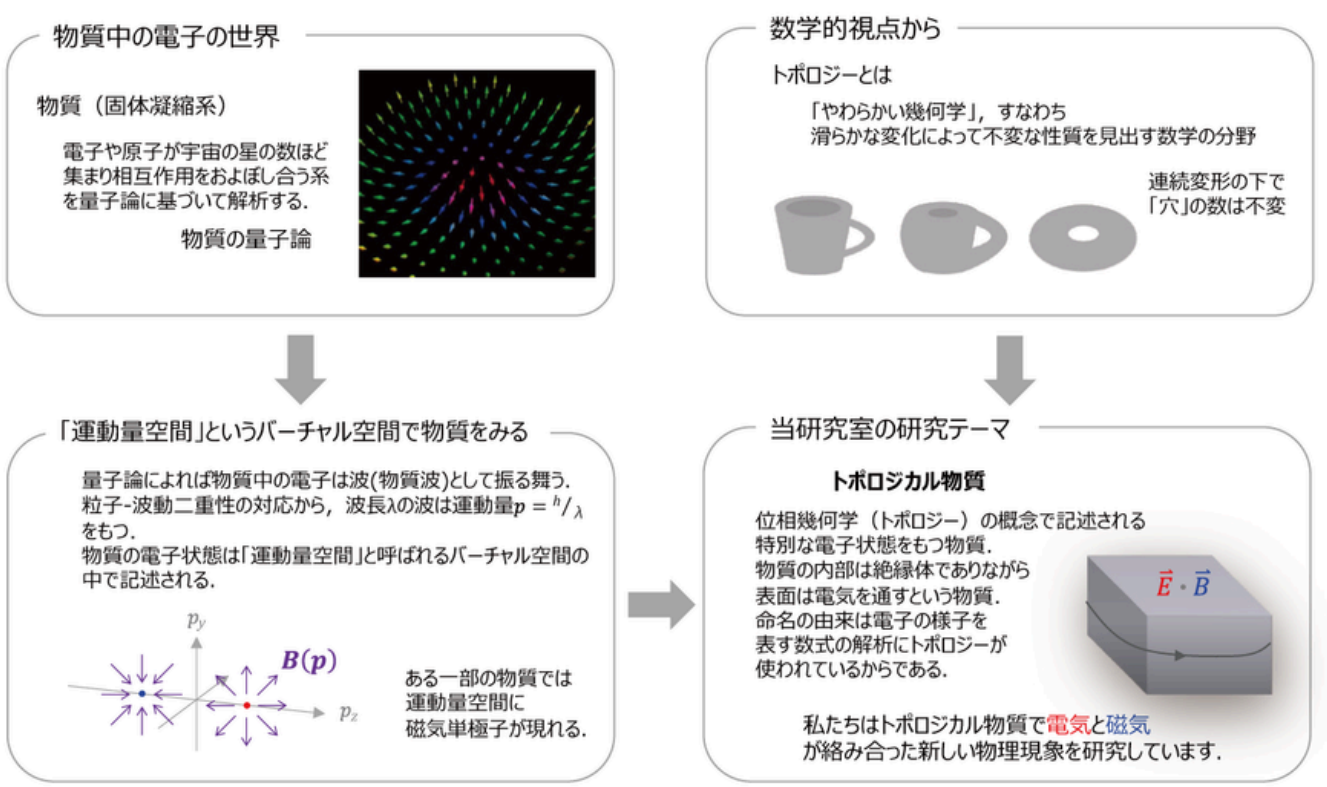
凝縮系とは膨大な数の電子や原子が集まって相互作用を及ぼし合う系で、個々の構成要素が持っていた性質とは著しく異なる、全く新しい物理現象が生じることが知られています。スピンの集団的に振る舞う磁性体や膨大な電子がペアを組んで凝縮する超伝導体などはよく知られています。これらは量子論的な枠組みで理解されることから凝縮系や量子多体系とよばれます。我々の研究室では、トポロジーや幾何学的な側面に着目することで新現象の探索やその背後に存在する普遍的法則を見出す研究を行なっています。



トポ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。そのようなトポジカル物質の電子状態や輸送現象、幾何学的量子現象を、**場の理論などの解析的手法**や**計算機を用いた数値的手法**を用いて、理論的に研究しています。具体的には磁気輸送現象や新規磁気秩序、電気と磁気の非自明な結合、超伝導体との接合系で実現する新しい量子状態などを研究し、**スピントロニクス**や**トポジカル量子計算**などへの応用も視野に入れています。研究の大部分は、未知の現象の探索や未解明の現象の解析といった理論的研究ですが、実験グループとの共同研究も行なっています。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。

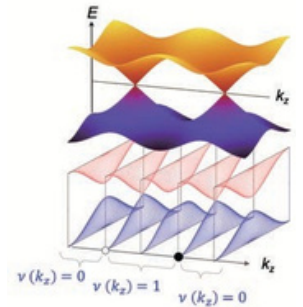
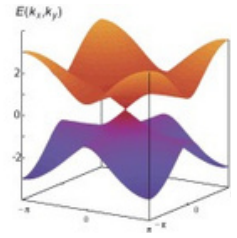
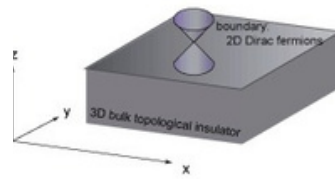
トポジカル物質

量子ホール絶縁体、トポジカル絶縁体・超伝導体、トポジカル半金属などは、基本的性質が数学のトポロジーの概念を用いて特徴づけられることから、トポジカル物質とよばれています。トポロジーとは形あるいは空間の連続変形に対する不変な性質を記述する数学理論で、ドーナツとマグカップや、メビウスの帯などは非自明なトポロジーとしてよく知られた例です。トポジカル物質とよばれる系は、量子状態が非自明なトポロジーによって特徴づけられます。これらのトポジカル物質では、これまでよく知られている物質では起こらないような、興味深い物理現象が数多く発見されています。特にホール伝導率が普遍定数の整数倍に量子化する量子ホール効果や、外部磁場を必要とせず、内因的な電子構造に起因する異常ホール効果などは、トポロジーや幾何学的な側面が本質を担うことから**幾何学的量子現象**とよばれます。



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

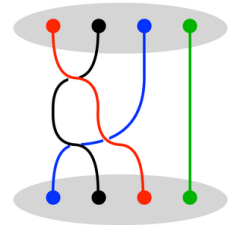
物質内部に三次元の線形なエネルギースペクトルが存在する物質です。スピン縮退したものは**ディラック半金属**、対称性が破れてスピン縮退がとけたものは**ワイル半金属**と呼ばれています。特にワイル半金属においては、その物性は**ワイル粒子**が担い、量子異常に起因した特殊な電磁応答が現れます。我々のグループでは、近年発見されたカゴメ層状の強磁性ワイル半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ に注目し、有効モデルの構築、輸送特性の解析を行い、ワイルバンドに起因した新規物性を明らかにしました。

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、**量子コンピューター**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研究を行っています。

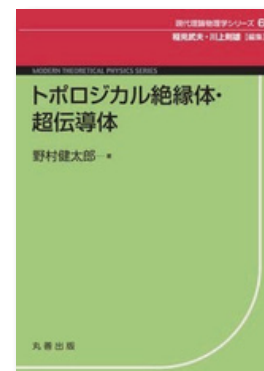
分数量子ホール絶縁体

分数量子ホール絶縁体は、強磁場下で電子が2次元系に閉じ込められたときに現れるトポロジカルな量子状態です。この状態の準粒子は**分数電荷**を持ち、フェルミ統計やボース統計とは異なる奇妙な統計性(**エニオン統計**)に従います。ある分数量子ホール絶縁体では、こうした準粒子の中にマヨラナ粒子などの**非可換エニオン**が含まれ、**トポロジカル量子計算**への応用が期待されています。さらに特定の条件下では、**フィボナッチエニオン**という非可換エニオンが現れ、これは量子計算の基本操作を全て安定して実現できる性質を持ちます。我々のグループでは、トポロジカル量子計算を念頭に分数量子ホール絶縁体の基礎的な性質を研究しています。



野村健太郎 教授 著「トポロジカル絶縁体・超伝導体」

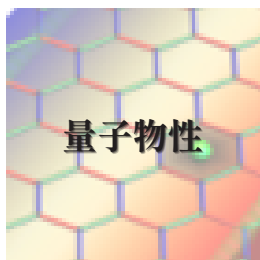
トポロジカル物質の詳しい解説に関してはこちらの文献をご参照ください。トポロジカル物質の理論が詳しく書かれています。Aharonov-Bohm効果から始まり、量子ホール効果、トポロジカル絶縁体・超伝導体といったトポロジカル物質に関する様々なトピックが学べます。量子力学、固体物理学を学習した方でしたら楽しめます。我々のグループに興味がありましたら是非ご一読ください。



研究の方針

凝縮系理論研究室では固体凝縮系の輸送現象、磁性、多体効果、スピントロニクス現象、超伝導近接効果、量子ホール系、トポロジカル量子物質などを研究しています。上記のテーマに興味のある方を広く受け入れます。テーマの選定に関しては学生とよく議論して、いくつかのアイデアの中から絞っていくことが多いです。基本方針として各自の自主性を尊重します。積極的に手を動かし試行錯誤して研究を進めることを期待します。多体量子論に興味のある方はもちろん、トポロジーや微分位相幾何学などの量子論の数学的側面に興味のある方、計算機シミュレーションで量子伝導などの非平衡現象の研究に興味のある方、あるいはスピントロニクスや量子コンピューターなどの基礎と応用に興味のある方は、是非当研究室を訪問してみてください。

研究室紹介



磁性物理学研究室	34
創発量子物性研究室	36
光物性研究室	39

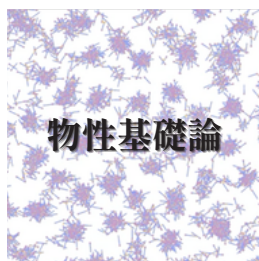
新 奇 な 量 子 現 象



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



素粒子実験研究室 ...
実験核物理研究室 ...
粒子系実験研究室 ...



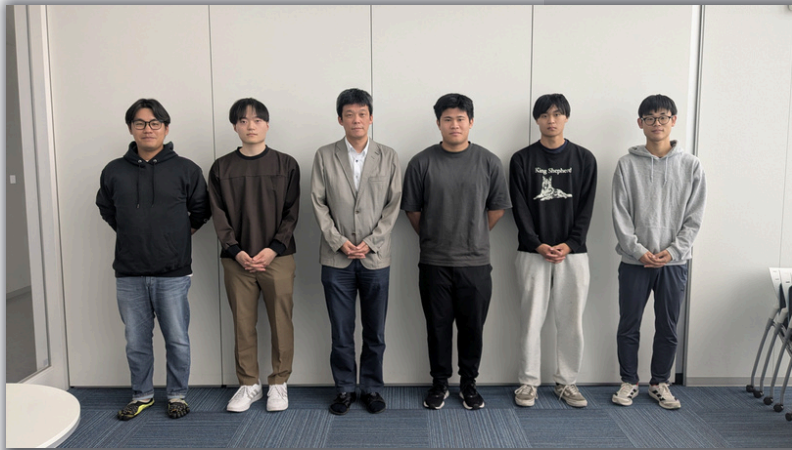
物性理論研究室
凝縮系理論研究室 ...



複雑物性基礎研究室
複雑生命物性研究室

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

研究キーワード： 磁性 固体物性 希土類元素 実験 試料作製 高圧 低温 強磁場



准教授	光田 暁弘
修士2年	2名
修士1年	2名
学部4年 (特別研究生)	2名



教員プロフィール



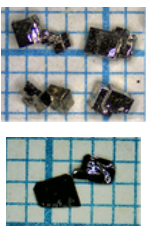
光田 暁弘 准教授

愛知県出身ですが、親の仕事などの都合で大阪、静岡でも育ちました。小学生ぐらいから天文、電子工作、無線、コンピュータなどに興味を持つ典型的な理系人間でした。大学は、身の回りにある家電製品やPC等に使われるデバイスや材料について勉強しようと思い工学部に進学しました。私の所属学科には工学部でありながら珍しく金属の磁氣的・電氣的性質の基礎研究をする理学部的な雰囲気の研究室があり、教養部でお世話になった物理の先生の勧めもあって所属することにしました。当初の興味とは少しずれていましたが、物質の性質を電子の振舞に着目して研究するという意味では繋がっていると思っています。学位取得後、理学部系の研究室でPD研究員、助手を務めて九大物理に着任しました。



研究内容

希土類元素(4f電子)や遷移金属元素(3d電子)が発現する磁性に興味を持って研究している。特に希土類元素の4f電子は5s,5p閉殻の内側に存在するため、結晶中でも周りの原子の影響を受けにくく安定に局在すると考えられてきたが、一部の化合物中で不安定になることがあり、4f電子数が揺らいだり、磁性が消失したりする。更にそれに伴って伝導電子の有効質量が増大したり、非BCS超伝導を引き起こしたり、通常の金属中の電子とは似ても似つかない振舞を示すことがある。我々は、このような振舞を示す物質を探索して純良試料を作製し、高圧・極低温・強磁場などの極限環境下に置くことで振舞の特徴を詳しく調べている。更に高度な測定技術をもつ世界中の研究者に試料提供したり、大型研究施設を利用した最先端の研究を行っている。



当研究室で作製した単結晶試料。上はYbPd、下はEuNi₂P₂、1マスは1mm。



試料に圧力をかける装置。上下のネジで圧力を閉じ込めて保持できる。測定手法によって使い分ける。長さは6cm、外径は1~2.5cm。中央の装置で3GPaの圧力を発生することができる。



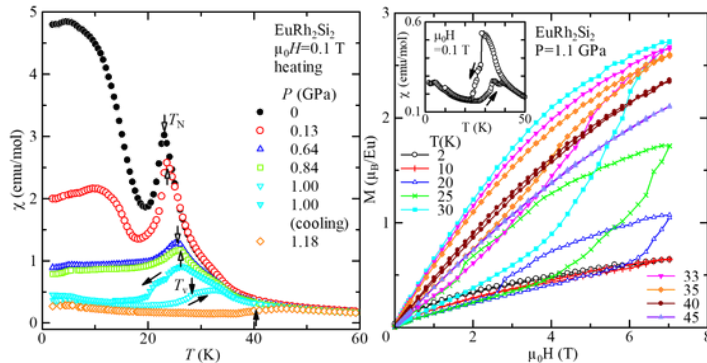
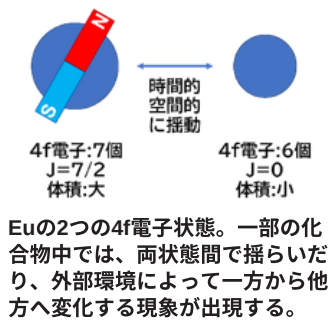
大型放射光施設Spring-8。蓄積リング(写真右、1周1400m)内で電子を光速に近い速度で運動させ、発生するX線を使って物質の性質を調べることができる。我々は物質の構造や価数を調べる測定を行ってきた。



日本原子力開発機構のJRR-3内のT1-1ビームライン。原子炉から出てくる中性子を利用してYbの磁気モーメントの配列の仕方を調べている。冷凍機(右側の水色の装置)で試料を0.3Kまで冷やして実験をしている。

1. 価数揺動・価数転移

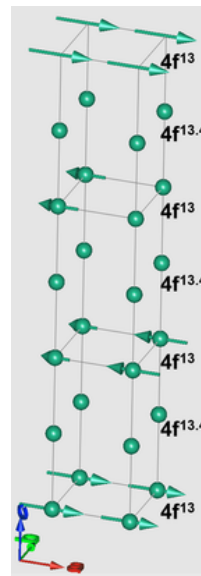
希土類元素の1つのEuは、化合物中で2つの4f電子状態(4f⁷と4f⁶)を取ることが知られている。通常はどちらか一方の状態安定であるが、ごく一部の化合物では2つの電子状態がエネルギー的に拮抗して不安定になり、時間的・空間的に揺らいたり、外部環境(温度、圧力、磁場)によって電子状態を大きく変化させることがある。このような現象をそれぞれ価数揺動、価数転移と呼んでいる。これら2つの電子状態は、4f⁷のとき大きな磁気モーメントを持ち、体積が大きいのにに対し、4f⁶のとき磁気モーメントを持たず体積が小さいという対照的な性質を持つことから、価数転移に伴い大きな物性変化が期待される。また、絶対零度付近で価数揺動が臨界発散的に増大する場合に新奇な超伝導が出現することが理論的に指摘されており、この点からも興味を持たれている。我々はEuの価数転移現象を探索することを目的として4f⁷状態が安定な反強磁性体EuRh₂Si₂に圧力を加えたところ、1GPaの圧力で価数転移を示し反強磁性が消失することを見いだした。このときEuは非磁性の4f⁶状態に近い状態となっている。更にこの状態に磁場を印加すると4f⁷状態へと変化し、再び磁気モーメントが出現することも見いだした。従来、このような現象を引き起こすのに非常に高い圧力、強い磁場が必要であったが、大学の研究室で容易に発生可能な圧力、磁場で価数転移現象を引き起こすことが可能になり、価数転移についてより多くの実験手法で研究することができるようになった。



左図はEuRh₂Si₂に圧力を加えていくと反強磁性(TN)が抑制され、1GPa以上で価数転移(Tv)が出現する様子を示す。右図は1.1GPaの圧力を加えた状態で磁場をかけると、磁化Mに跳びが出現する様子を示す。これは磁場によって4f⁶→4f⁷状態への変化(価数転移)を示している。

2. 価数秩序

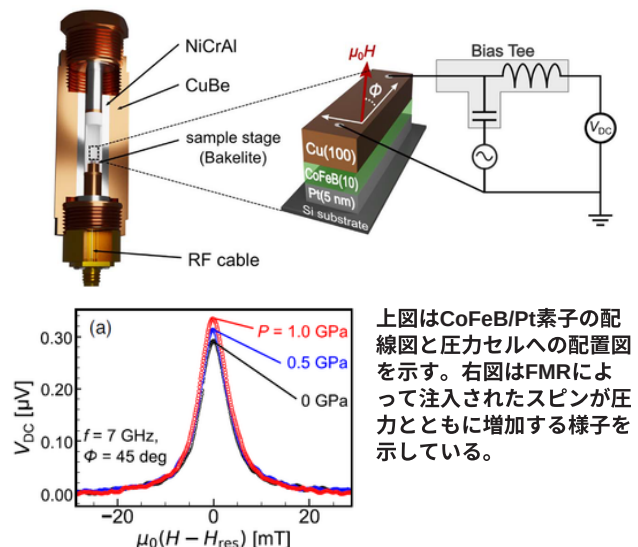
4f電子の不安定性に起因する現象として価数秩序にも注目している。YbPdは立方晶CsCl型のシンプルな構造を持つ化合物であり、Ybは4f電子を平均13.2個持つ価数揺動状態にあること、T=125K, 105Kで原因不明の相転移を示すことが報告されていた。我々はT=125Kで立方晶→正方晶への構造相転移し、T=105KでYbの2つの4f電子状態(4f¹³と4f^{13.4})がc軸方向に規則配列(これを価数秩序と呼ぶ)することを示した。またYbの4f¹³状態は磁気モーメントを持つことから低温で磁気秩序の出現が予想される。我々は日本原子力開発機構のJRR-3とJ-PARCのMLFにおいて中性子回折実験を行い、Ybは4f¹³状態のみ磁気モーメントを持ち、これが非整合サイン波構造という複雑な磁気構造を持つことを示した。これらの研究過程で、純良な粉末試料を得る必要があったが、従来の方法では原子配列を乱してしまう等の問題点があり、精密な中性子実験が困難であった。我々は出発原料や反応の手順を工夫することによって純良な粉末試料を得ることに成功し、この実験を実現できた。



T=0.59KにおけるYbPdの磁気構造。ここではPdは省略されている。矢印は4f¹³の磁気モーメントを示しており、4f^{13.4}は磁気モーメントを持たない。磁気モーメントはa軸方向を向き、波数ベクトル $k = [0.080 \ 0 \ 0.32]$ を持つ。磁気モーメントの大きさがサイン波的に変化するの熱揺らぎのためと考えられる。非常に複雑な構造であるが、磁気モーメントを持つ4f¹³は二次元正方格子を組んでいることから磁気的不安定性の強い状態と考えられている。T=0.5Kに機構不明な相転移が報告されているが、熱揺らぎが抑えられることによる別の磁気構造(よりシンプルな磁気構造)が予測されている。

3. スピントロニクス素子の圧力効果

固体電子物性研究室と共同で、スピントロニクス現象の圧力効果研究を行っている。スピントロニクスはスピン自由度に着目したデバイス応用とその基礎研究を行う新しい分野であるが、圧力を利用した研究は僅かであった(九大物理の巨海玄道先生によるFe/Cr人工格子の巨大磁気抵抗効果の圧力効果研究が有名)。圧力は物質の状態を系統的に変化させるのに適しており、試料作製条件が物性に強く影響されるスピントロニクス素子の研究に適用できれば強力なツールとなる。我々は、強磁性/重金属素子を用いて強磁性共鳴(FMR)によるスピン注入現象を高圧セル内で観測することに初めて成功し、CoFeB/Pt膜において圧力とともにスピン注入が増大することを明らかにした。



上図はCoFeB/Pt素子の配線図と圧力セルへの配置図を示す。右図はFMRによって注入されたスピンの圧力とともに増加する様子を示している。

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



教授	笠原 裕一
助教	村山 陽奈子
博士1年	1名
修士2年	3名
修士1年	6名
学部4年 (特別研究生)	3名



教員からのメッセージ



笠原 裕一 教授

本研究室は2024年4月に発足した新しい研究室です。

私自身はこれまで九州とは縁がほとんど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。九州大学で研究室メンバーとともに実験室やムードを作り上げている最中ですが、すぐに研究を軌道にのせて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、幅広い対応できるほうかと僭越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ら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、ご連絡ください。研究室見学はいつでも大歓迎です。



村山 陽奈子 助教

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、2024年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！新しい研究室なので、輪読やセミナーなども適宜みんなで相談しながら行っています。新入生の方にもたくさん意見を出してもらい、研究室をより良いコミュニティにしてほしいと思っています。



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。

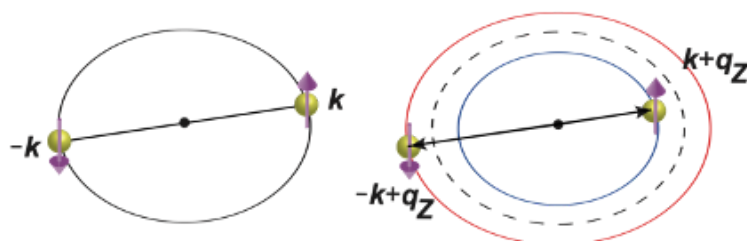


図1：(左) 通常のクーパーペア、(右) 重心運動量を持つクーパーペア

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**キタエフ量子スピ液体**と呼ばれる特殊な量子スピ液体状態です。この量子スピ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。

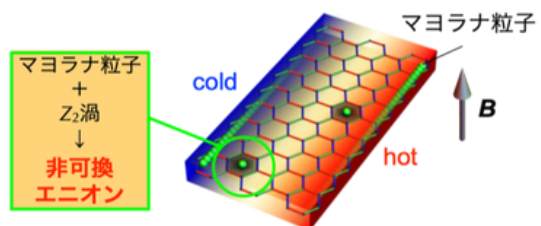
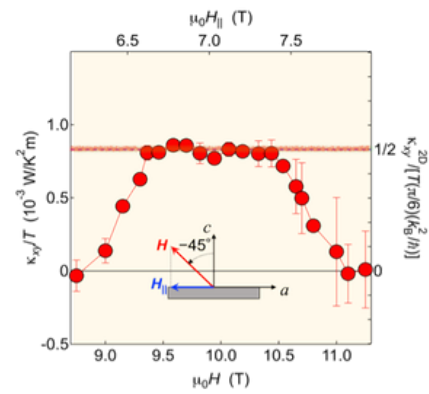


図2：キタエフ量子スピ液体候補物質において観測された半整数熱量子ホール効果とその模式図

PLD装置

MBE装置

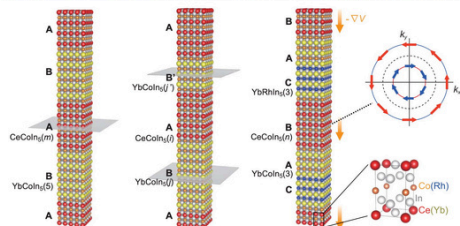
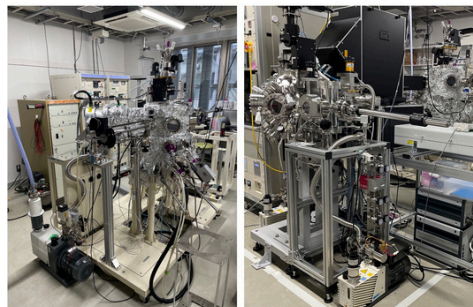
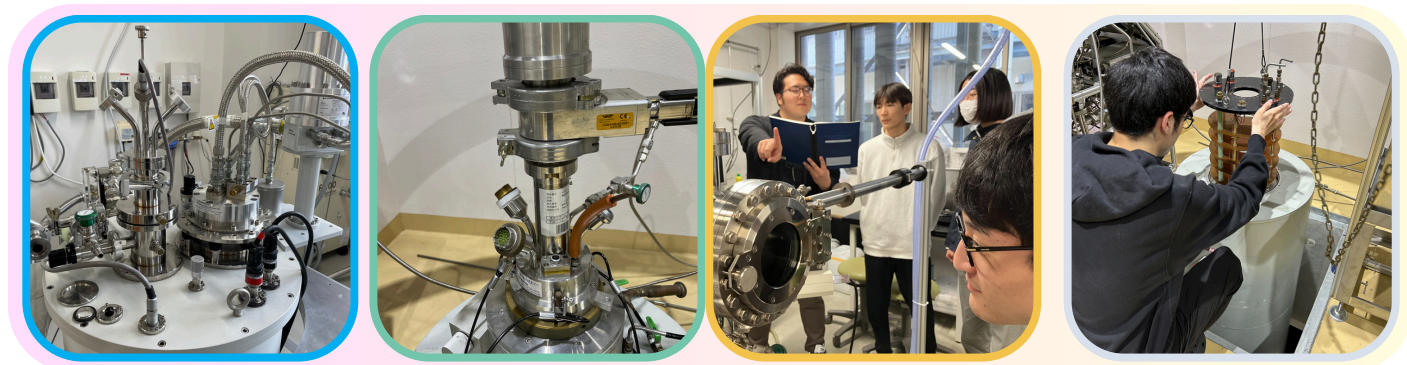


図3：MBE, PLD装置と人工超格子の例

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(図3)。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。



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

研究キーワード： テラヘルツ、超伝導、極低温、超高速



准教授	中村 祥子
修士2年	2名
修士1年	2名
学部4年 (特別研究生)	2名



教員プロフィール



中村祥子 准教授

福岡出身です。高校から上京し、東京大学理学部物理学科、同・大学院理学系研究科物理学専攻を超低温物性(ヘリウム)の研究室で修了した後、博士研究員を経て光物性の研究室に移り、テラヘルツ波を用いた超伝導体の研究を行ってきました。2022年11月に九大物理に着任し、光物性研究室を開きました。

九州大学では、これまでに培ってきた低温と光学の技術をさらに磨いて融合し、学生さんたちと一緒に、新しい超伝導物性科学を切り拓くことを目指しています。

電波のように透過しやすく

次世代高速通信(6G)の周波数帯で

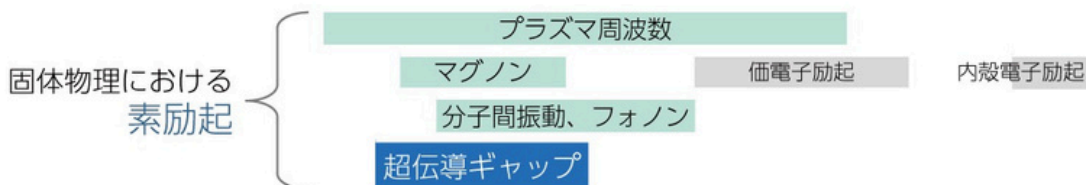
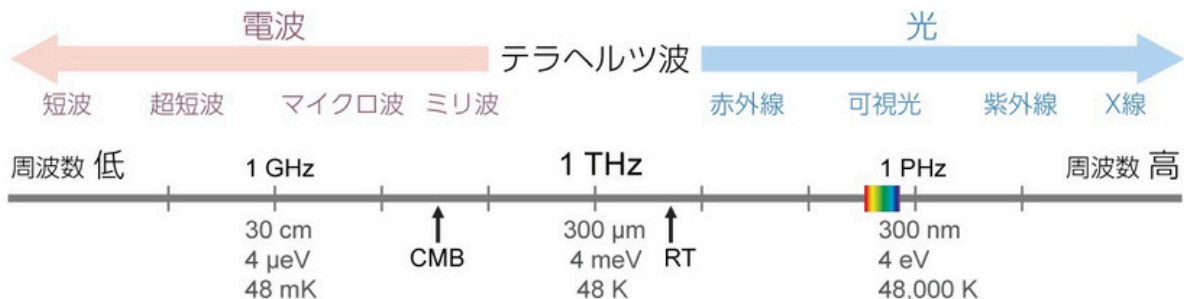
テラヘルツ波は



光のように直進する

超高速の現象を顕わにする

未来の光！



研究内容

「光」が得意なことを生かして、超伝導や超高速スピントロニクスといった量子物質・量子現象を研究しています。

対称性の破れ

光は、空間反転対称性や時間反転対称性の破れを見つけることが、とっても得意です！

対称性の破れた物質に光を当てると、あら不思議、2倍の周波数つまり別の色の光（SHG）が出てきます。

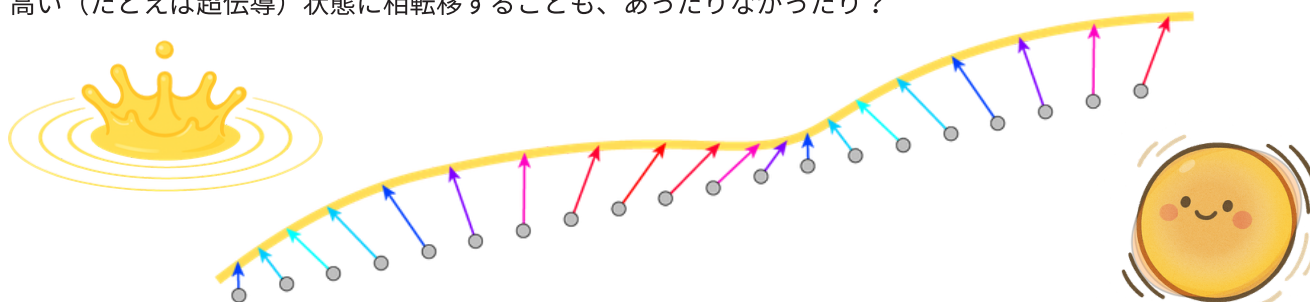
対称性の破れとトポロジー、超伝導の関係は、いま注目されているトピックです。たとえば超伝導って、電気抵抗がゼロなので、すごく対称性の高い状態だと思いますよね。でも実は最近、対称性が破れると超伝導が安定化するっぽい物質が見つかって、境界がざわついているのです...！



素励起や「ゆらぎ」

光は、特定のエネルギー ($h\nu$) をもつ「何か」を見つけたり増やしたりすることが、とっても得意です！

「何か」は、集団の現象、たとえば（超伝導）電子の密度やスピンの向きや原子核の位置が、ゆらゆら揺らいだり、時間的・空間的に変化して「波」を起こすような現象かもしれないし、ペアになっていた電子がバラバラになるとか、低い準位にいた電子が高い準位に昇るとか、個別の現象かもしれません。そういう「何か」が増えると、なぜか秩序が高い（たとえば超伝導）状態に相転移することも、あたりなったり？

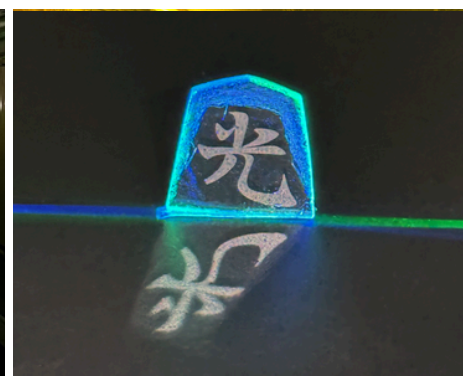
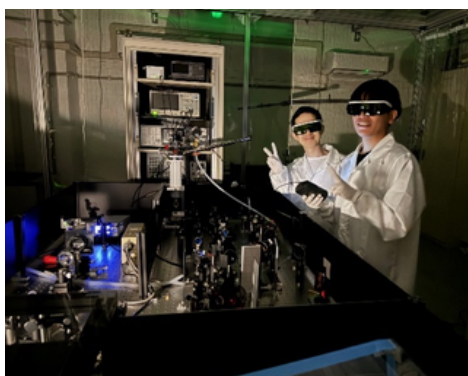
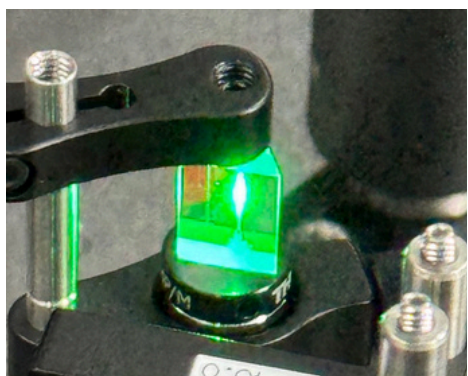


超高速現象

光は、短い時間で起きるできごとを観察するのが、とっても得意です！

物質中の、フェムト (10^{-15}) 秒からピコ (10^{-12}) 秒で起きる現象を、カメラのフラッシュのように記録できます。

この特長を使うと、短い距離で消えてしまうもの（たとえばスピンの流れとか）が、時間軸上で、どういうふうにとどこで消えていくのかわかるかにできるはず。そして将来は、消えずに遠くまで伝わるようにできるかも？！



目に見えない近赤外光が緑色の光になる第2高調波発生と同時に、テラヘルツ波も発生中！

光学実験の様子。保護メガネで目を守りつつ、レーザー光はモニタ付きカメラで確認します。

微細加工の練習で、ガラスにマスクレス露光して銀を蒸着して作った将棋のコマです！

研究室紹介

複雑物性

複雑物性基礎研究室	42
複雑生命物性研究室	45

複雑系と生命の物理学

粒子宇宙論

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

粒子物理学

素粒子実験研究室
実験核物理研究室
粒子系実験研究室

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
創発量子物性研究室
光物性研究室

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

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



教授	木村 康之
助教	小林 史明
修士 2年	5名
修士 1年	3名



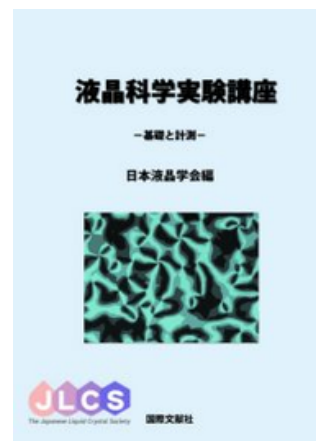
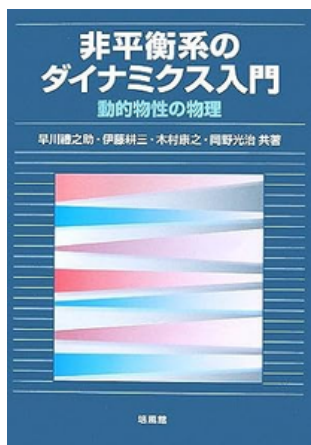
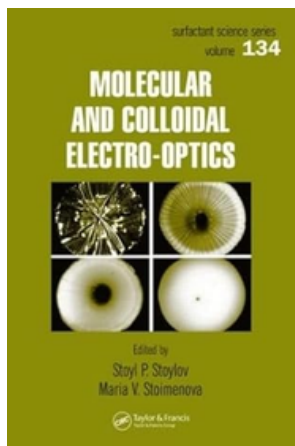
教員プロフィール

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。研究室の学生さんには、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。新しい測定法の開発やシミュレーションをはじめとするモデル解析を用いた研究も行っており、複雑系の理論的な側面に関心のある学生さんも歓迎いたします。

小林史明 助教

北海道札幌市生まれ、江別市育ち。(1990/09/12(35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。





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強く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マイクロサイズの物体を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:2018年ノーベル賞)。我々は、マイクロの指である光ピンセットを用いてマイクロサイズのソフトマターを変形したり、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、マイクロ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。さらに光ホログラフィー技術を用いてさまざまな空間パターンを作り出し(ホログラフィック光ピンセット)、多数の粒子の操作(図2)とこれを用いた粒子間相互作用を研究しています。

最近、顕微鏡を用いて撮影した2次元画像を用いて、ソフトマター複雑流体の3次元構造やダイナミクスの測定、さまざまな物性量の空間分布や時間変化のイメージングに取り組んでいます。例えば、図3のようにホログラフィック顕微鏡を用いると2次元画像(図3の白黒画像)から沈降していく粒子の運動の3次元追跡が可能となりました。この研究では、ソフトマターの構造・ダイナミクスの不均一性をマイクロスケールで可視化、定量測定することでその複雑な巨視的物性の解明を目指しています。

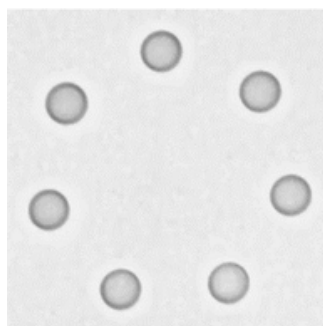


図1: ホログラフィック光ピンセットで同時にトラップされた粒子。

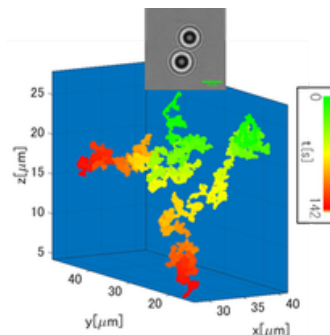


図2: ホログラフィック顕微鏡を用いた粒子運動の3次元追跡。

(2) ミクロアクティブマターの集団運動

近年、鳥、魚、自動車のような巨視サイズの物体から、バクテリアや細胞のようなマイクロサイズの物体まで、様々なサイズで自発運動する要素からなる系が「アクティブマター」として盛んに研究されています。ことに、マイクロスケールでは要素間に単純な相互作用しか存在しないにも関わらず、様々な特徴的な集団運動を示すことが知られています。例えば、図1に示すように魚が自発的に作り出す渦運動と同様の集団運動が電場で並進運動するマイクロ粒子の集団でも発現します。我々は、人工的なマイクロアクティブ粒子系を用いて集団運動を再現し、その動作原理を物理的に解明することを目指した研究を進めています。

また、外部環境に反応してそれ自身の性質を変える物質を「インテリジェントマター」と呼ばれ、注目をされています。例えば、高分子溶液(ソフトマター)中で電場により並進運動する粒子系では、自走速度に依存して「直線運動」から「らせん運動」へと自発的に運動モードが変化することを発見しました。現在は集団運動を外部からあるいは自発的に制御する研究を進めて、集団運動の普遍的原理を探索しています。

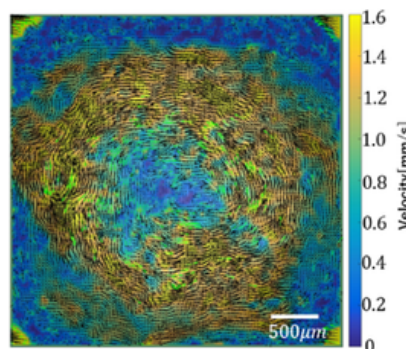


図3: (上)魚の群れ(https://oceana.ne.jp/feature/2013_papuanewguinea/2)と(下)電場駆動アクティブ粒子の示す渦運動。色は速度を表す。

(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規則的なパターンが発生します（図4）。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。また、現在は、自己駆動粒子や液晶乱流のようなアクティブ流体におけるメソスケールのダイナミクスと巨視的な流動との関係を明らかにする研究を進めており、これらの系で見られる“負の粘性”を解明する研究を進めています。負の粘性や負の屈折率のように一見すると物理的原理に反するような性質を材料が開発され、「メタマテリアル」と呼ばれています。我々はソフトマターの非平衡状態を用いた「非平衡メタマテリアル」の分野の開拓を目指して研究を進めています。

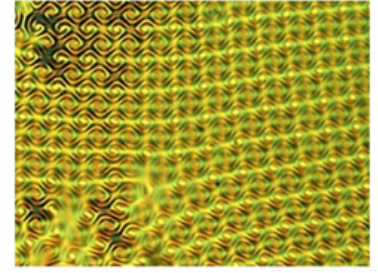


図4：液晶の電場下での非平衡構造。



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

研究キーワード： ソフトマター・マイクロレオロジー・細胞・人工細胞・非線形・非平衡・生命の起源



教授	水野 大介
准教授	趙 松川 (特プロ准教授)
助教	栗栖 実
博士課程	2 名
修士 2 年	4 名
修士 1 年	4 名
学部4年 (特別研究生)	3 名

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。私は、「物質に生命が宿るとはどういうことか」という問いに、物性物理学の立場から取り組んでいます。こうした現象は、ソフトマターからなる複雑系に特有の非線形・非平衡現象として現れ、「生命の創発」と呼ばれています。

この創発現象を理解するために、私は細胞内部の微細領域における非平衡揺らぎや力学特性を観測し、それらがどのように生命的ふるまいへとつながるのかを調べています。特に注目しているのは、細胞質が粘弾性と非平衡ゆらぎの相互作用によって物理的な状態を決定づけられる、典型的な複雑系であるという点です。

細胞質は固-液転移や相分離といった物理相の狭間で自律的に駆動され、多様なメソスケールの動的状態を遷移します。私は、このような環境が生命現象の創発を可能にしているのではないかと考えています。

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、研究生活の醍醐味に期待してください。

栗栖 実 助教

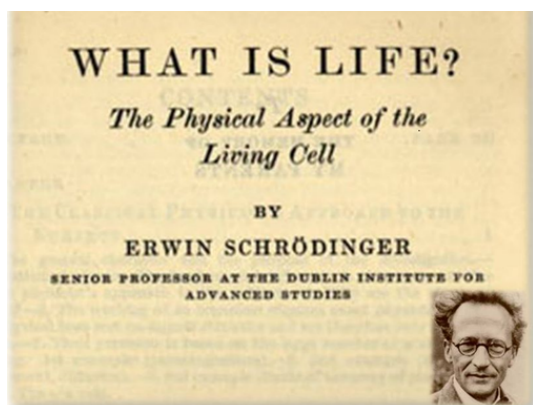


助教の栗栖実 (専門: ソフトマター・生物物理学) です。細胞の“中身”である細胞質の物理の水野先生に対し、私は細胞の“皮”である脂質膜(細胞膜)の物理から生命を探索してきました。

私は生命の本質的特徴の一つである「自己生産して増える」という性質に興味を持ち、物質からこうした生命らしさが如何にして現れてくるのかを研究しています。

特に私は「人工細胞」と呼ばれる、実際に物質や生き物の材料分子を自分の手で組み合わせていき、自己生産などの細胞らしさを再現するモデル実験系を実際に創ってみることで、物質から生命に至る物理的エッセンスを見出そうと挑んでいます。

それ自体は生きていない単純な物質群が、何がどう組み合わせさっていくことで、生きている細胞システムの出現に至るのでしょうか? 「生命とは何か」「生命の起源」といった究極的な問いに対して「物理学の世界観」で答えを与えようとする時、果たしてどんな記述の仕方をすればいいのでしょうか? ぜひ私たちと一緒に、探求しましょう!!!



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。

細胞内環境に適合した生体分子機械

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（**ガラス転移**）。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）、その物理的な実態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人間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）。このモータータンパク質の機能や性質は、試験管内で水と燃料であるATP分子だけが含まれて歩行の障害物となるものが無い実験室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人工環境よりも、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？

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、光補足により**揺らぐ力を印加すると、モータータンパク質が加速**することを発見しました。つまり、細胞内では代謝活動に伴う揺らぎを活用して加速する可能性があります。さらに、細胞内の細胞質は、**代謝活動に伴い液体と固体の間の臨界状態まで流動化**することも明らかになっています。こうした自己組織化的な臨界状態では、わずかな外力の印加により雪崩的に細胞質ガラス中に構造緩和が発生して、モータータンパク質の運動が加速される可能性があります。

こうした機構を解明するために、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、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。

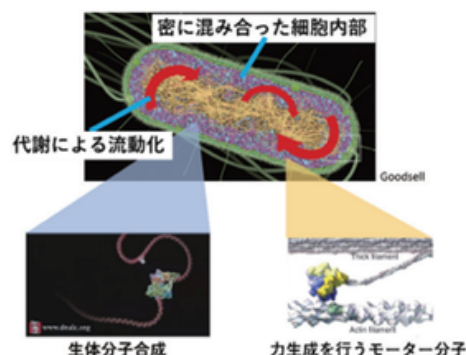


図1：細胞内部環境は、代謝活動により流動化する。

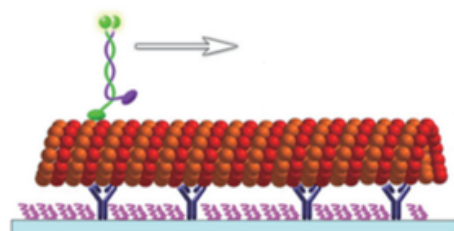


図2：細胞骨格上を歩くキネシンモーター (Sozanski et al. PRL. 2015)

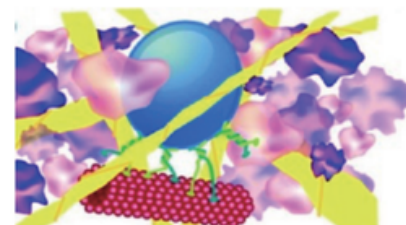


図3：巨大な非平衡揺らぎが存在する、混み合った細胞内部の方がキネシンモーターの移動速度速い。(S. Granick)

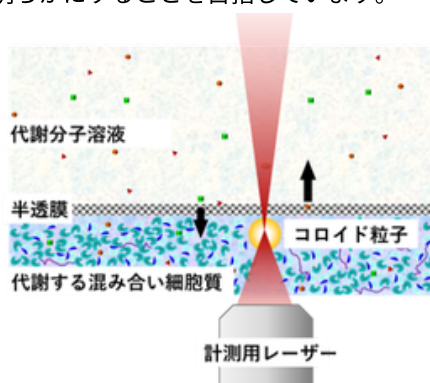


図4:代謝活動を維持した細胞抽出液の力学計測

遊走微生物を用いた細胞質モデル

ガラス性と非平衡性を兼ね備え、かつ、人工細胞質よりもさらに単純化された細胞質のモデル系として、遊走バクテリアを混合させてガラス化した試料を作成して非平衡力学の計測を行っています（図5）。人工細胞質と同様に、栄養と代謝生成物を交換する装置を用いることで、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することで**乱流のような複雑な流動**が発生します（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変形することで流動が生み出されており、物理的にはよく似た状況にあります。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）が、細胞質と極めてよく似た物理的な特性（粘弾性）を示すことがわかりました。

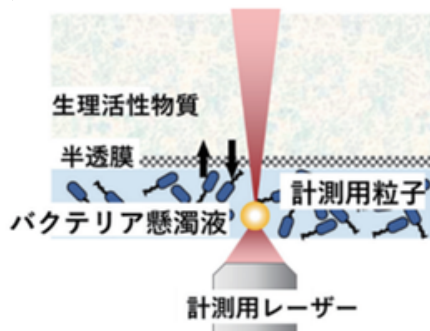


図5: バクテリア懸濁液の非平衡力学計測

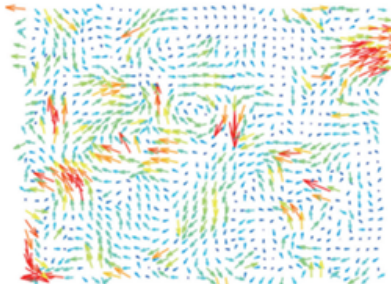


図6: 高濃度に調整したバクテリア懸濁液の乱流。バクテリアの遊走速度をベクトルを用いて可視化したもの。渦を巻いて運動する様子が見える。

生きた細胞の非平衡力学測定

モーター分子は、混み合った細胞内部の硬さや摩擦（粘弾性）に抗って物質を輸送しています。また他の生体分子が生み出した力に強く揺さぶられながら機能を果たしています。私たちは、生きた培養細胞に取り込ませた**コロイド粒子（1μm程度の大きさの粒子）の流動をフィードバックで追跡**しながら、その揺らぎや外力応答を測定する計測技術を開発しました（図7）。その結果、細胞内で働く力や摩擦抵抗は、平衡系とは全く異なるメカニズムで決まることがわかりました。

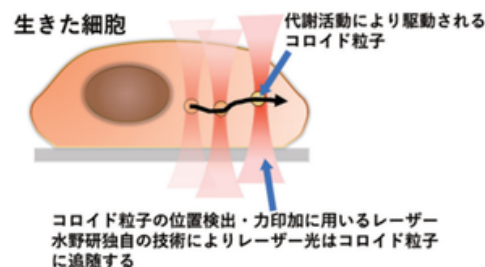


図7: 細胞内の非平衡力学計測

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、混み合いの効果からガラス転移が起こることが知られています。**混み合い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、混み合い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）。

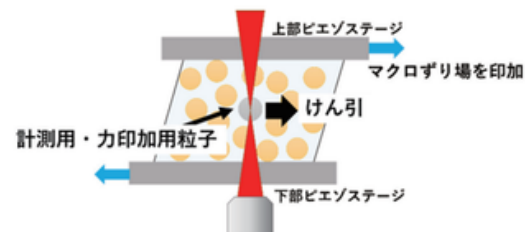


図8: コロイドガラスに巨視的なずり場を印加すると、光捕捉により揺らぎが抑制されていたコロイド粒子が輸送できるようになる。

人工細胞の自己生産

細胞はその名の通り、脂質膜の“小胞”の中に細胞の中身が詰められた構造をしています。細胞が自己生産し増殖する時、この脂質膜が変形することで分裂しますが、ただ膜小胞単体がそこにあるだけで自然に変形することはありません。変形を駆動する物理的な作用が必要です。では物質から生命へ向かう文脈で、脂質膜の小胞に何が備わっていれば、細胞のように自ら増殖するシステムが出現できるのでしょうか？

材料分子の供給、化学反応系の導入、膜弾性の工夫など、ソフトマターの観点から脂質膜小胞の成長・変形に必要な要素をボトムアップに搭載していくことで、**自律的に分裂を繰り返す人工細胞系**を構築しています（図9）。実際の細胞とは機能や安定性はずっと劣りますが、実際の細胞よりも使用する分子や化学反応の種類はずっと少ないため系の全貌を数理的に記述することができ、何がどうなることで自己生産が生じているか、物理的な議論がし易くなります。こうしたモデル実験系を創出し、解析することも、生物物理学研究のアプローチの一つです。

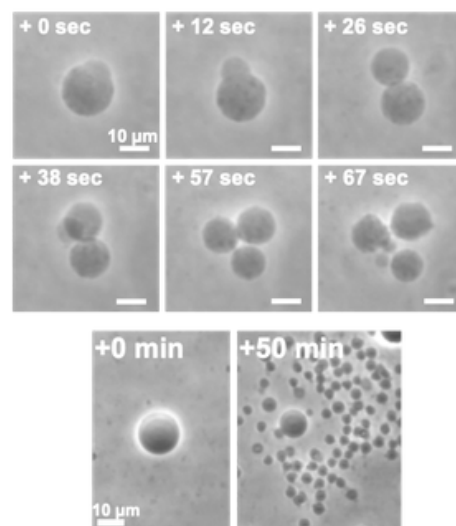


図9: 材料分子を供給し続けると、化学反応系と連携して増殖してゆく人工細胞(上)。等割分裂型とは異なり、出芽型の分裂で増殖する人工細胞(下)。



九州大学大学院理学府物理学専攻
〒819-0395 福岡市西区元岡744番地
Tel (092)802-4101 Fax (092)802-4107
<https://www.phys.kyushu-u.ac.jp/>