編集・発行：　京都大学大学院理学研究科　物理学・宇宙物理学専攻
URL：　https://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/
http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/index-j.html
連絡先：　〒606-8502　京都市左京区北白川追分町

2024.4

2024年度版

京都大学大学院理学研究科
物理学・宇宙物理学専攻

分科紹介
2025年度大学院入学試験案内
ローレンツ祭プログラム

目次

目次 …… 1
ご挨拶 …… 2
分科紹介
物理学第一分野 …… 3
E1: 固体量子物性 …… 4
E1: 量子凝縮物性 …… 5
E1: 低温物理学 …… 6
E2: 量子光学・レーザー分光学 …… 7
E2: 光物性 …… 8
E2: 光駆動固体物性（化研）…… 9
E3: 時空間秩序・生命物理学 …… 10
E3: ソフトマター物理学 …… 11
E3: 生体分子構造（複合研）…… 12
T1: 凝縮系理論 …… 13-14
T1: 物性基礎論：凝縮系物理 (基礎研) …… 15
T2: 物性基礎論：量子情報（基礎研）…… 16
T2: 統計物理・動力学 …… 17-18
T2: 物性基礎論：統計動力学（基礎研）…… 19
物理学第二分野
原子核・ハドロン物理学 …… 21-22
素粒子物理学 …… 23-24
宇宙線物理学 …… 25-26
核放射物理学（複合研）…… 27
核ビーム物性学（複合研）…… 28
素粒子論：物理学第二教室・素粒子論研究室 …… 29-30
素粒子論：基礎物理学研究所・素粒子論グループ …… 31-32
原子核論：物理学第二教室・原子核理論研究室 …… 33-34
原子核論：基礎物理学研究所・原子核理論グループ …… 35
天体核物理学：基礎物理学研究所・宇宙グループ …… 36
天体核物理学：物理学第二教室・天体核物理学研究室 …… 37-38
ビーム物理学（化研）レーザー物質科学 …… 39
ビーム物理学（化研）粒子ビーム科学 …… 40
宇宙物理学分野
太陽物理学 …… 42
太陽・宇宙プラズマ物理学 …… 43
恒星物理学 …… 44
銀河物理学 …… 45
理論宇宙物理学 …… 46
大学院入試案内 …… 47
ローレンツ祭 …… 48-50

ご挨拶

本専攻は、物理学第一分野、物理学第二分野、および宇宙物理学分野の三分野からなっており、それぞれの分野で独自の研究を深めるとともに、境界・融合領域の開拓や新しい研究領域の創生にも力を注いでいます。湯川・朝永・小林・益川の 4 人のノーベル物理学賞受賞が物語るように、本専攻は偉大な物理学的業績を数多く輩出しています。また、それらに追いつき・追い越せと、多くの教員・若手研究者・院生が勉学と研究に励んでいます。

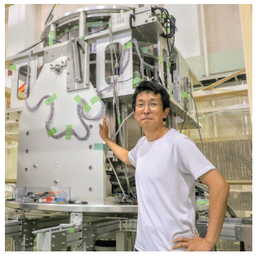
本専攻の理念および教育目標は、以下の通りです。

1）未開拓の分野の探究や学問的創造を何よりも大切にする自由な学風の継承と発展、
2）国内外に広く開かれた教育・研究活動、
3）創造性豊かで、高い問題発見・解決能力を持つ人材の養成、
4）国際的舞台で活躍できる研究者の養成、

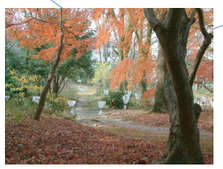
このように、本専攻では最先端の研究を発信していくとともに、次世代の科学を担える独創的な研究者と幅広く社会に貢献する人材の育成を目指して教育・研究に取り組んでいます。

本専攻の研究・教育の内容を、次ページ以降に、各分科ごとに詳細に紹介しています。
是非ご覧の上、ご意見・ご質問があれば大学院入試説明会やローレンツ祭の折や、あるいは直接にでも、どうぞお気軽にお寄せ下さい。

2024 年　4 月
京都大学大学院理学研究科
物理学・宇宙物理学専攻長
田島　治



Kyoto University
Graduate School of Science



物理学第一分野

E1分科群：凝縮系物理学実験
固体量子物性 …… 4
量子凝縮物性 …… 5
低温物理学 …… 6
E2分科群：光量子物性実験
量子光学・レーザー分光学 …… 7
光物性 …… 8
光駆動固体物性 …… 9
E3分科群：複雑系実験
時空間秩序・生命物理学 …… 10
ソフトマター物理学 …… 11
生体分子構造（複合研） …… 12
T1分科群：量子物性理論
凝縮系理論 …… 13-14
物性基礎論：凝縮系物理(基礎研) …… 15
T2分科群：統計物理・ダイナミクス
物性基礎論：量子情報 （基礎研） …… 16
統計物理・動力学 …… 17-18
物性基礎論：統計動力学（基礎研） …… 19

教授：石田 憲二 / 准教授：北川 俊作

E1: 固体量子物性 研究室

プロフィール：過去 10 年間の実績

修士課程入学者 (2015-2024)：38 名　うち他大学出身者：4 名　（神戸大、琉球大、広島大）
修士学位取得者 (2014-2023)：36 名　うち進学 :12 名　(別研究室進学 3 名含む)、就職：24 名 (過去 2 年：日立製作所、キオクシア、TDI 情報技術開発、特許庁)
博士学位取得者 (2014-2023)：11 名　うち大学等研究機関 9 名　(助教 1 名、PD7 名、学振 PD 1 名)、企業：2 名 (IT システムコンサル、半導体メーカーなど)

私たちは、固体中の電子が強く相互作用している強相関電子系を舞台とした多様な物性現象を研究しています。室温よりはるかに低い温度では物質は量子統計力学的効果に支配され、超伝導に代表される日常感覚とはかけ離れた現象が起こります。このような現象の発見や理解を目指して私たちは日々研究に励んでいます。

スタッフ: 石田憲二 教授　北川俊作 准教授

Research

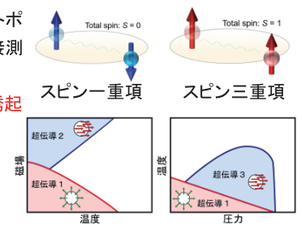
私たちは核磁気共鳴法（NMR）を用いて微視的な立場から“ヘンな”超伝導体、“ヘンな”磁性体の性質を調べています。以下に主に取り組んでいるテーマを紹介します。

スピン三重項超伝導/トポロジカル超伝導

スピン三重項超伝導は、スピンの自由度を活かした面白い超伝導特性を示すだけでなく、トポロジカル超伝導としても注目されています。NMR測定は、超伝導状態のスピン磁化率を直接測れるほぼ唯一の測定手法であり、スピン三重項超伝導研究にとって非常に重要です。

私たちは強磁性超伝導体UCoGeで、強磁性ゆらぎによってスピン三重項超伝導状態が誘起される新たな発現機構を初めて実証しました。

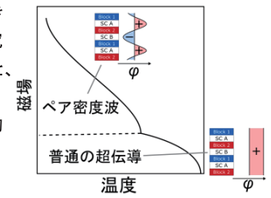
また、最近発見されたUTe_2は左図のように磁場や圧力で超伝導多重相が観測されます。私たちは各相のスピン状態をNMR測定から調べています。



新しい自由度によって拡張される超伝導状態

これまで超伝導状態は、スピンの自由度と軌道の自由度の組み合わせによって理解されてきました。しかし最近、それ以外の自由度を考慮することで新たな超伝導状態を考える理論研究が盛んにおこなわれています。例えば、柳瀬教授らのグループは、副格子の自由度を加えると、従来禁止されていた奇パリティスピン一重項(ペア密度波)状態が実現すると予言していました。

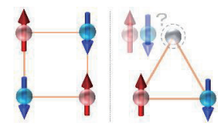
私たちは$CeRh_2As_2$はおいてこの奇パリティスピン一重項超伝導状態が実現している実験的証拠を示しました。



フラストレーション磁性体で現れる新奇な中性準粒子

超伝導以外でも興味深い現象はたくさんあります。例えば、三角形やジグザグ構造をもつ磁性体では絶対零度でもスピンが量子力学的にゆらいだ新奇な状態が実現することが期待されます。そのような状態では、普通の電子と異なる準粒子が現れる可能性があります。

私たちはジグザグ構造をもつ$YbCuS_2$において通常の磁性体には存在しない特異な準粒子が存在することを発見しました。



Education

ゼミナールでは、教科書の輪講を行います。担当者は文献に導出の示されていない式を解説したり、式の内容を噛み砕いて説明したりします。また、文章の内容を自分で図にしたり、簡単にしか触れられていない内容を参考論文等を読んで掘り下げたりするなど、自分なりに教科書の内容を発展させて説明します。

コロキウムでは、興味ある題材について担当者が発表します。発表・議論は英語で行います。最新の研究内容が取り上げられることが多く、研究会さながらの激しい議論を交わすことも少なくありません。この経験は国際学会等の発表の場で活かされています。

ゼミナール

コロキウム

教授：松田 祐司、幸坂 祐生 / 特定准教授：浅場 智也 / 助教：末次 祥大

E1: 量子凝縮物性 研究室

プロフィール：過去 20 年の実績

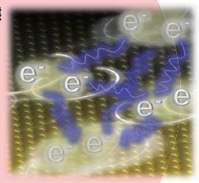
修士 9 名
修士課程入学者 75 名　うち他大学出身者 12 名 (北大、広大 3 名、立命館、同志社、青山学院、東工大 2 名、西安交通大学、香港科技大、カンビナス州立大)
修士修了者の就職先　東芝、三菱電機、日立系列、キャノン、リコー、ケイオプティコム、島津製作所、旭化成、ボストンコンサルティンググループ、ダイキン工業、Rohm、NTT、キーエンス、日本 IBM、富士通、NEC、JFE、新日鉄、村田製作所、日本電産、他
博士課程入学者 19 名　うち他大学出身者 5 名 (東大 3 名、東工大、南京大)
博士修了者の就職先　東大助教 4 名、東北大助教、名大助教、理研特別研究員 2 名、住友電工、高校教諭、昭和電工、東陽テクニカ、テルモ、他

電子は素粒子の一つで、量子力学の授業で取り扱われているように、その性質はよく知られています。一方で、固体中の電子集団(10^{23}個)は、磁性や超伝導など、電子一つの性質からは想像もつかない様々な状態を示します。当研究室では、とくに電子間の相互作用が強い物質において、不思議な電子状態をいくつも発見・解明してきました。固体物理学は多くの実験的発見によって発展してきた分野です。皆さんも私たちと一緒に新現象を見つけませんか？

最近の主な研究テーマ

超伝導

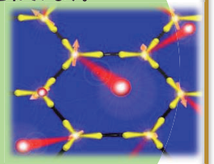
超伝導の現象として、電気抵抗ゼロやマイスナー効果がよく知られています。微視的には、相互作用により2つの電子が束縛状態を作っている状態です。電子間の相互作用に応じて様々な種類の超伝導状態があり、発現機構が解明されていない超伝導状態も多いです。
本研究室では、トポロジカル超伝導やヘリカル超伝導などの非従来型超伝導を研究しています



Keyword
非従来型超伝導体　スピン三重項超伝導
トポロジカル超伝導　ヘリカル超伝導　重い電子系

量子スピン液体

一般的な磁性体では絶対零度で、強磁性や反強磁性などの秩序状態をとることが知られています。しかしながら、特殊な結晶構造やスピン間相互作用が存在する系では、絶対零度でもスピンが揺らぎ秩序が存在しない「量子スピン液体」状態となることが知られています。
その励起は、スピノンやマヨラナなど様々な準粒子で記述され、あたかもそれらの粒子が物質中を動き回っているように見えます。

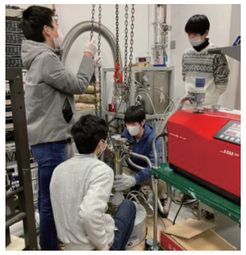


Keyword
カゴメ格子　キタエフ模型
マヨラナ粒子　トポロジカル絶縁体

以前は鉄系・銅酸化物系高温超電導やトポロジカル近藤絶縁体等も

低温熱測定

超伝導状態では電気抵抗がゼロになってしまうため、電気伝導からは電子状態を調べることができません。また、量子スピン液体や本研究室で研究を進めている超伝導で現れる粒子は電荷を持たないため、電気伝導測定では観測できません。本研究室では、これらの粒子の熱を運ぶ性質に着目して研究を行っています。独自に組み上げた装置と長年蓄積されたノウハウによって、極低温や高磁場など難しい条件下での熱伝導・比熱測定を行っています。

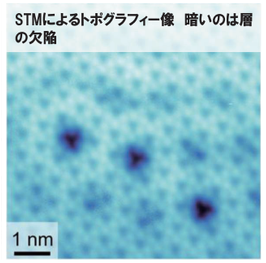


^{3}He, ^{4}Heを用いた希釈冷凍機を用いた測定の準備

薄膜作製・STM測定

結晶を原子数層分まで薄くすると、三次元物質とは異なる様々な興味深い現象が現れます。本研究室では分子線エピタキシー(MBE)法によって重い電子系化合物の薄膜試料を作製し、さらに原子レベルの分解能を持つ走査型トンネル顕微鏡(STM)による試料のその場観察に世界で初めて成功しました。現在ではパルスレーザー蒸着(PLD)や物理的剥離等様々な手法を駆使して薄膜・デバイスの作製に取り組んでいます。

PLDで薄膜の蒸着を行っている様子



STMによるトポグラフィー像　暗いのは層の欠陥

研究室ホームページ：「kotai2」で検索！　　見学・相談など研究室訪問も大歓迎です！

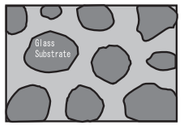
教授：佐々木 豊 / 准教授：松原 明

E1: 低温物理学 研究室

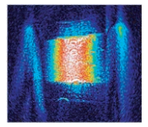
プロフィール：過去 20 年の実績

修士入学者 39 人中、他大学者は 8 人（神大、立命、東工大、阪市大、吉林大、関学、中山大）
修士の学位取得者 37 人のうち 7 人が博士課程進学
博士の学位取得者 5 人のうち 2 人が大学等の研究機関に就職

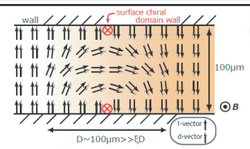
低温物理学研究室では、マイクロケルビン領域までマクロな物質を冷却する超低温度生成技術を得意とし、絶対零度近傍において量子多体系が示す多彩な量子凝縮状態を実現し、量子多体現象についての本質的な知見の取得を目標とする研究を行っています。そのため個々の物質の詳細な特性を探求することよりも、シンプルな構成要素からなる物質を舞台として普遍的な物理現象を理解することに重きをおきます。その舞台としては液体・固体ヘリウムを主として使用しています。
ヘリウムにはフェルミオンのヘリウム３とボソンのヘリウム４とがあり、他の多くの物質で見られるように電子状態が物性の主役を果たすのではなく、原子そのものの量子統計性が主役を果たすという類い稀な物理系です。そのため通常は混ざり合ってしまう同位体のヘリウム３、４が絶対零度近傍では量子効果によって相分離したり、全く性質の異なる超流動相を形成する等の面白い現象の宝庫です。このシンプルな理想的物質系を舞台として、液体の超流動や固体の核磁気秩序などの巨視的波動関数で記述されるユニークな現象が研究の対象となりますが、近年では特に特殊形状空間（低次元空間など）に閉じ込めることで引き起こされる巨視的波動関数の変化や境界面近傍で発現するユニークな素励起などが興味を集めています。



多重連結空間の中では超流動 ^{3}He はどうなるのか？？



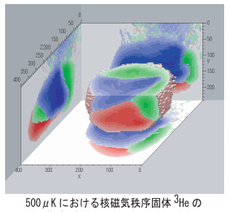
異方的空間の中では超流動 ^{3}He はどうなるのか？？



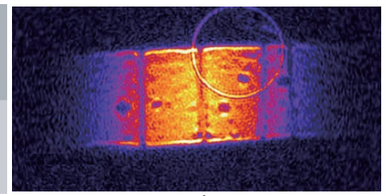
超流動 ^{3}He 中でトポロジカルな拘束により安定化されるトポロジカル欠陥が示す新現象

このようにユニークな物質系を対象として研究を進めるためには、オリジナルな実験技術を創造開発する力が鍵となります。核磁気共鳴 (NMR) やそれを発展させた磁気共鳴映像法 (MRI, MRSI)、低温電子回路や SQUID を用いた超高感度信号計測技術、high-Q 微小振動子測定など、他所ではマネの出来ないオリジナルな測定手段を自主開発することで、オンリーワン研究の道を邁進しています。

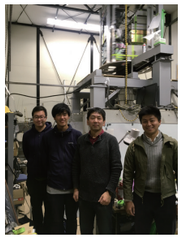
世界一クールな MRI 画像



500 μK における核磁気秩序固体 ^{3}He の磁区構造 赤青緑に色分けされた独立の磁区が隣り合って存在する様子を MRI 撮影した図と各面への投影図



100 μm 厚の平板状の超流動 ^{3}He (2mK) の中に発生したトポロジカル欠陥の実空間像を MRI 撮影
(カイラルドメイン実空間観測　Kasai *et al. Phys. Rev. Lett.* 2018)



μK の世界のトポロジカル欠陥や量子渦を探索する回転超低温冷凍機

壁を登って逃げ出す超流動

研究室訪問　随時　歓迎
連絡先：佐々木　豊　教授
sasaki@scphys.kyoto-u.ac.jp
本部構内　今出川門のすぐ東
総合研究 5 号館 307 号室

研究室では日頃からメンバー間の交流を大切にしています。一緒に食事に行ったり飲んだり、お花見や遠足に出かけたり、たまには一緒に徹夜実験したりする中で築かれる人間関係は研究室の宝です。ゼミやコロキウムに加え研究ミーティングでも日々積極的に議論し合います。個性的かつ話しやすいメンバーに恵まれた環境で世界に類を見ない研究を楽しみましょう。

世界唯一の超低温 MRI 装置

教授：高橋 義朗 / 准教授：高須 洋介 / 特定准教授：柴田 康介 、高野 哲至 / 助教：田家 慎太郎 / 特定助教：小野 滉貴

E2: 量子光学・レーザー分光学 研究室

プロフィール：
修士入学者 (H10-R6)：89 名（京都大学工学部 2 名、他大学 10 名）
修士学位取得者 (H12-R5)：80 名
博士課程進学者 (H13-R5)：29 名
メーカー等の企業へ就職 (H13-R5)：51 名
博士の学位取得者 (H14-R5)：23 名、(特定含む）准教授 8 名（京大 3、富山 1、農工大 1、静岡 1、北大 1、東大 1)、(特定含む）助教 6 名（京大 2、東大 2、岡山大 1、分子研 1)、博士研究員 9 名（うち 5 名は企業)、など。

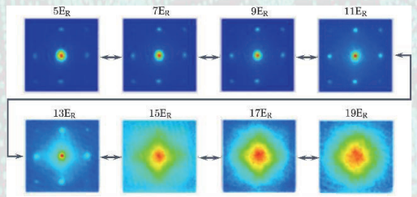
究極の量子制御を目指して

近年レーザー光を用いた中性原子の冷却・操作技術は飛躍的に進歩し、原子系の極めて高度な制御が可能になり、その対象はいまや量子多体系、特に強相関系にまでおよんでいます。本研究室では、新しいアプローチによる量子物性物理学の研究として、希薄原子気体のボース・アインシュタイン凝縮(BEC)やフェルミ原子のフェルミ縮退などの量子縮退状態を用いた実験的研究を行っています。

現在進行中の具体的な研究テーマは、以下の通りです。いずれも現在、活発に研究されている分野における、ユニークで新規性の高いものです。また、各テーマについて国内外の理論家と密接な共同研究を展開しています。

Quantum Simulation

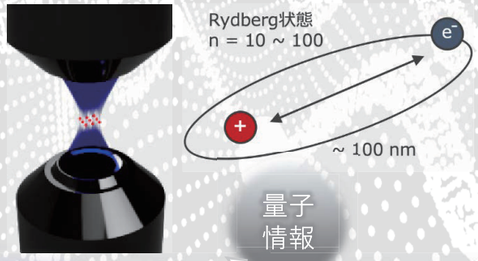
光格子中ハバードハミルトニアンの量子シミュレーションによる凝縮系物理の研究を行っています。特に高いスピン自由度SU(6)を有するフェルミオン系の量子磁性の研究、孤立量子多体系の非平衡量子ダイナミクスの研究、光格子中のフェルミオンを用いた2軌道系の量子輸送の研究、などを行っています。

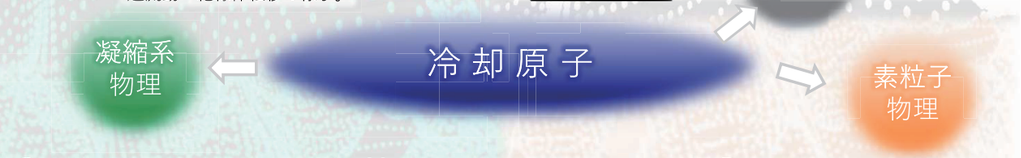


超流動・絶縁体転移の様子。

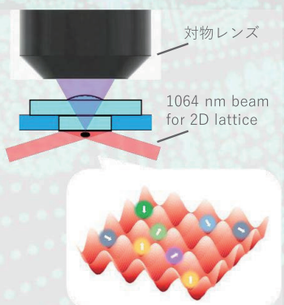
Quantum Computation

リドベルグ状態と呼ばれる、電子が原子核から遠く離れた軌道に励起された状態を利用して数μmに及ぶ相互作用を作り出します。このような系を用いた量子計算機の開発を目指しています。





Quantum Gas Microscope

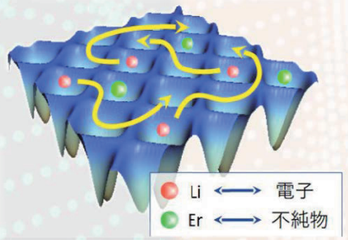


光格子中の単一格子点観測および制御を可能にする原子イメージング・操作法を開発します。
特に、SU(N) フェルミハバード模型の特異なスピン相関の直接検出を目指しています。

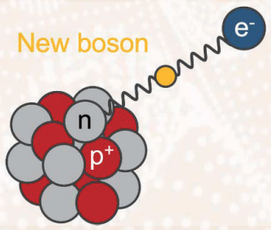
Ultracold Atomic Mixture

特異なエフィモフ3量体の実現に向けエルビウム・リチウムの超低温原子混合系を研究しています。

光格子中のErとLiの混合系は、不純物系の量子シミュレーションを実現するのに理想的な系です。



Precision Measurement



複数の光学遷移の同位体シフトを精密に測定することにより、中性子と電子の間の力を媒介する、標準模型を超えた新粒子の探索が可能になります。特に、イッテルビウム原子は7種類の安定同位体が存在していて、この目的に最適です。現在、光格子を用いた超精密な測定を行っています。

教授：田中 耕一郎、中 暢子 / 助教：内田 健人 / 連携准教授 (白眉)：蓑輪 陽介

E2: 光物性 研究室

プロフィール：院生　博士 4 名、修士 8 名
過去 12 年間の実績
修士課程入学者 48 名　うち他大学出身者 2 名（北大、岡山大）
修士学位取得者 47 名　うち博士課程進学者 20 名（他研究室への進学 2 名を含む)、一般企業就職 27 名
博士課程入学者 21 名　うち他大学出身者 2 名（東大、アイルランド）
博士学位取得者 15 名　うち助教 5 名、研究員 4 名、一般企業就職 4 名、その他 2 名

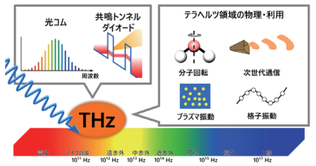
光物性研究室では、最先端の光技術を用いて、光と物質の相互作用により発現する新しい現象の探索や 物質中の励起状態の素過程の解明に精力的に取り組んでいます。最近の研究テーマをいくつか紹介します。

詳しく知りたい方はコチラ →

Lorentz祭特設サイト　研究室HP

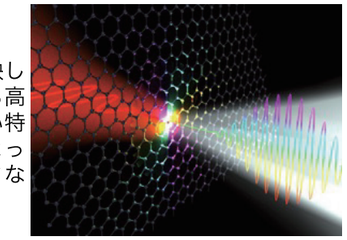
■高精度テラヘルツ分光

電波と光の中間に位置するテラヘルツ光(10^{11}~10^{13} Hz)を用いた研究を行っています。この周波数帯では気体分子の回転や格子振動など様々な現象が観測されます。我々は、光周波数の物差しである光コム技術を基盤とした世界トップレベルの超狭帯域テラヘルツ光を用いて気体・固体の精密分光研究を進めるとともに、次世代通信技術(beyond 5G・6G)において重要な小型半導体デバイスである共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振器を用いた研究を進めています。



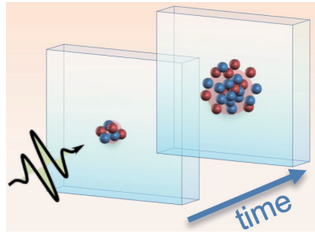
■固体の高強度場物理

固体に対して強い光電場を印可すると、固体中の電子はその特性を反映した複雑な加速度運動を示します。この加速度運動によって、入力光よりも高い周波数を持つ光が放射される高次高調波発生など、弱い光では生じない特異な光学現象が引き起こされます。我々はこのような高強度な光照射によって引き起こされる非線形光学現象を通じて、物質それぞれのもつユニークな特性や超高速のダイナミクスを解明することを目指しています。



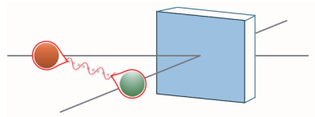
■次世代半導体物質の光物性

ダイヤモンドをはじめとする超ワイドギャップ半導体は、従来エレクトロニクスを支えるシリコンデバイスの性能を大きく凌駕するパワーデバイス、量子センサー、量子光源の材料として注目されています。我々は、これらの物質中に光で作り出される電荷キャリア、電子と正孔が結合した励起子、高次の励起状態であるリュードベリ励起子の輸送、発光、量子現象などを精密な光学手法により研究しています。



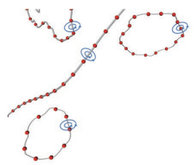
■量子もつれ光生成と量子分光

古典力学では記述できないような量子的にもつれた光子対を固体に照射すると、レーザーのようなコヒーレント光では難しい、複雑な電子状態の選択的かつ高効率な生成が可能になります。我々は、周波数と偏光の両方に相関をもつ量子もつれ光子対を同時に発生させることに成功しました。それらを用いて新たな時間分解分光法を開発し、固体分子系のダイナミクスを明らかにすることを目指しています。



■量子渦のダイナミクス

ボース・アインシュタイン凝縮では、渦も量子化されることが知られています。我々は、光技術を活用することで、液体ヘリウム中の量子渦のダイナミクスを可視化し、自由自在に操作する研究に取り組んでいます。



■極低温浮遊量子センサーの開発

ナノ・マイクロ微粒子を真空中に浮遊させ、その運動状態を観察・制御する研究に取り組んでいます。古典と量子の境界に迫る巨視的な量子センサーを開発すべく、光技術・極低温技術を駆使します。

准教授：廣理 英基

E2：光駆動固体物性 研究室

プロフィール：過去 19 年の実績

修士課程入学者32名　現在2名在学中、うち他大学出身者7名（筑波大、東工大、名大、阪大、UESTC）
修士学位取得者28名（博士課程進学者10名、他は一般企業などへ就職）
博士課程入学者11名、現在4名在学中、学位取得者6名（うち4名は大学など研究機関に就職）

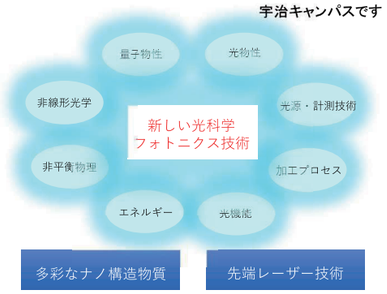
“光”で探る･操るナノと量子の世界

宇治キャンパスです

半導体ナノ物質や特異な電子状態を持つ新規固体結晶と精緻な先端レーザー技術を融合することにより、光物質科学の深化と新しいフォトニクス技術の開発を目指しています。

研究テーマの紹介

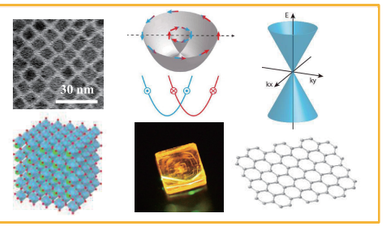
1. テラヘルツ（THz）や中赤外光領域のレーザー強電場による固体中の電子状態の操作と高次高調波発生などの非線形光学現象の制御
2. メタマテリアル構造で増大したテラヘルツ電場・磁場による電子・スピン物性制御
3. 固体のキャリア多体効果を利用した光エネルギー変換過程
4. 単一顕微分光による単一光子源・量子光物性の研究
5. ハロゲン化金属ペロブスカイト半導体などの新しい高効率太陽電池材料・デバイスの研究
6. 時間分解THz-STM技術などの新規測定装置の開発



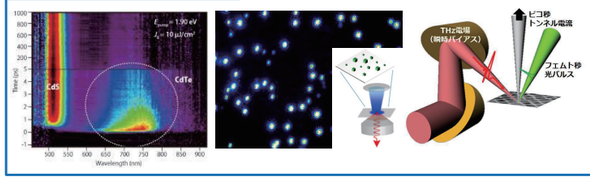
見学の希望や質問があれば
お気軽にご連絡ください。
廣理英基　准教授
hirori[at]scl.kyoto-u.ac.jp

光駆動固体物性

高強度レーザー光が駆動する固体の動的量子光物性などを空間分解分光法および超高速時間分解分光法を用いて実験的に研究を行っています。超高速レーザー分光や単一顕微分光を駆使することで、新しい光機能を有するナノ材料・太陽電池材料の物性解明や新しい光源（量子光源・レーザーパルス光源）につながるフォトニクス技術の開発を目指しています。

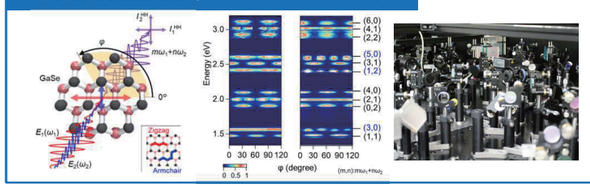


超高速ナノ分光



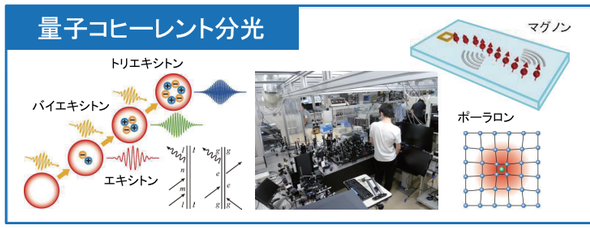
超高速レーザー分光（時間分解分光）と単一ナノ粒子顕微分光（空間分解分光）を合わせることで、ナノマテリアルの光物性や単一光子源などの量子光源に向けた量子物性を調べています。最先端のレーザーを駆使した光源開発や分光技術(THz-STMなど)の開発も行っています。

高強度極限非線形レーザー光学



高強度テラヘルツや中赤外パルス光を用いて、固体結晶からの高次高調波発生を調べています。入射光電場の整数倍の周波数をもった光が発生するため、赤外線からX線に至る幅広い波長の光源やアト秒（10^{-18} 秒）パルス光源といった新たなフォトニクス技術開発も見据えて非線形な光と物質の相互作用の研究を行っています。

量子コヒーレント分光



物質中の素励起（エキシトン、ポーラロン、マグノンなど）について精密観測を行っています。レーザー光によって強く励起することで相転移を引き起こしたり、位相のそろった量子状態（コヒーレント状態）を形成することで、新規な量子光機能を探索しています。

教授: 角五 彰 / 准教授: 川又 生吹 / 講師: 市川 正敏 / 助教: 谷 茉莉

E3: 時空間秩序・生命物理 研究室

プロフィール：過去 11 年間の進路状況

修士課程入学18名
修士課程修了13名（内部進学2名、外部進学1名、企業就職10名）
博士課程入学10 名
博士課程修了６名（博士５名）（大学・研究機関６名）

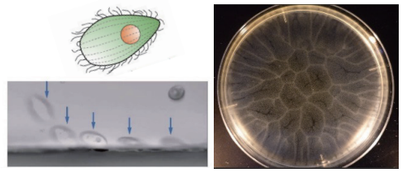
アクティブマターの時空間ダイナミクス

この研究室はアクティブマターや非線形･非平衡の物理、生命現象の物理を研究しています。一言で言うと、「生き物らしさはどこから来るか?」を研究しているラボです。何をもって生き物らしいと感じるか、思うのかは、人によって見方が異なるでしょう。 その切り口の数だけ研究テーマがあります。生き物そのものを対象としたり、 生き物らしさを抽出したモデル実験系で研究を行ったり、 分子や相の物理化学的挙動から生命現象を説明しても良いでしょう。 生き物から離れてアクティブマターや非平衡系の課題に取り組むのもありです。
　１０年、２０年後に新しい物理領域となるような研究分野を一緒に作って行こう、あるいは「自分が創る!」という方々を歓迎します。

自己駆動粒子の群れ

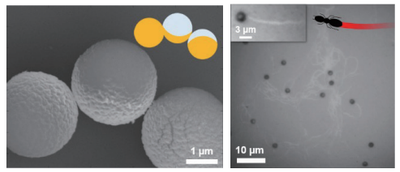
遊泳微生物群

遊泳微生物の群れは、通常の粒子にはない魅力的な集団運動を見せます。


遊泳微生物と、その群れが作る対流パターン

人工粒子群

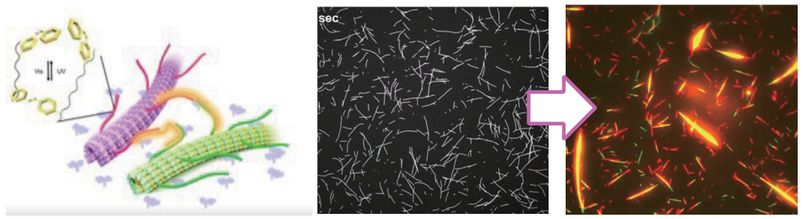
自己駆動するよう設計された人工粒子を用いて、場を活用する生き物の挙動解明に迫る方法もあります。



自己駆動する人工粒子とその群れ

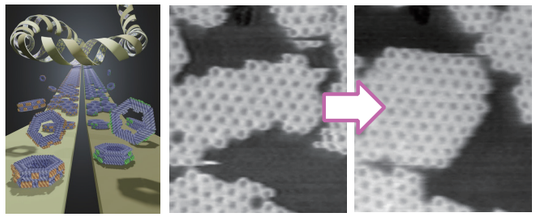
分子モーター群

自己駆動粒子に制御性を持たせると物質輸送や計算能力などの機能を付与することができます。

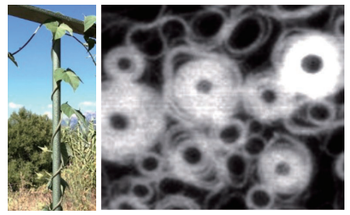


分子モーターとその群れ

ナノスケールのダイナミックなブラウン運動をアクティブマター研究に活用する方法もあります。


DNA六角形のアセンブリ

自己駆動するひもをアクティブマターとして、その形や動きを力学的に考える方法もあります。


自己駆動するひもの巻き付き

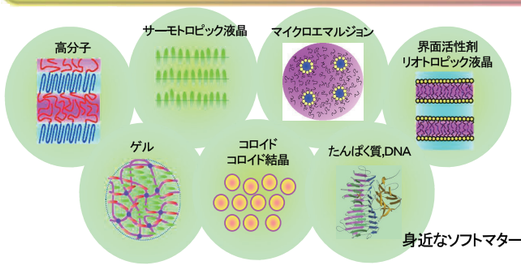
教授：山本 潤 / 助教：柳島 大輝

E3: ソフトマター物理学 研究室

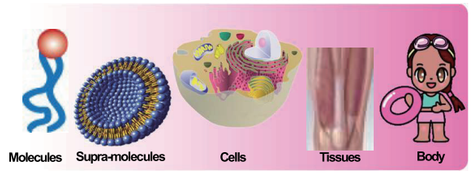
プロフィール：研究室創設以来 18 年の実績

修士課程：入学者 60 名 (他大学出身者 3 名)、在学者 7 名、修了者 51 名 (博士課程進学者 9 名、一般企業へ就職 42 名)
博士課程：入学者 13 名 (他大学出身者 3 名)、在学者 1 名、修了者 10 名 (大学等研究機関へ就職 3 名、一般企業へ就職 7 名)
PD：受け入れ計 4 名 (大学等研究機関へ就職 3 名、一般企業などへ就職 1 名)、在籍者 0 名

ソフトマターとは液晶や高分子、ゲル、コロイドや界面活性剤といったやわらかい物質の総称です。ソフトマターでは多数の異種分子が物質内部で自発的に秩序を形成し、さらにその秩序構造が階層的に積み重なって高次構造を作ります。やわらかいために外場に対する応答が大きく、階層構造内の自由度が複雑に交差結合した協同的運動モードを持ちます。液晶ディスプレイから生体構造まで多くの物質がソフトマターに属しています。



生物の体もソフトマターの仲間
自己組織的階層構造

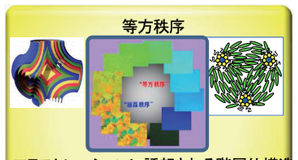


https://softmatter.scphys.kyoto-u.ac.jp/

偏光・蛍光・位相差顕微鏡からX線回折装置、レーザー、放射光施設のμビームX線など最先端の量子ビームを駆使し、ソフトマター内部のナノ構造を解明し、その物理的起源を研究しています。また、揺らぎ顕微鏡の開発を行い、対称性の高い等方相やランダム混合系、ガラス・ゲルに内在する内部自由度の運動の空間不均一性を、動的不均一性の時空間像として観察可能とし、これまで不可視だった物質のナノ時空構造を明らかにする。

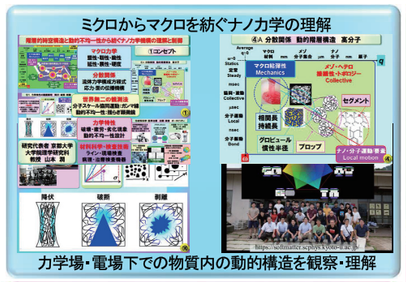
空間と時間の階層構造スペクトロスコピー　2022.MAY

等方秩序



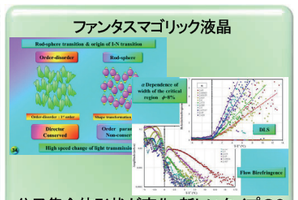
フラストレーションに誘起される階層的構造
局所的構造形成に伴う対称性の破れが
大域的に高い対称性を回復➪"等方秩序"

ミクロからマクロを紡ぐナノ力学の理解



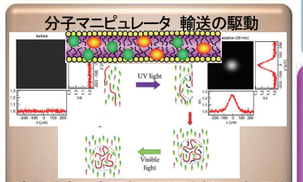
力学場・電場下での物質内の動的構造を観察・理解

ファンタスマゴリック液晶



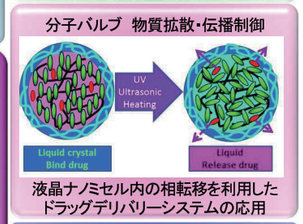
分子集合体形状が変化 新しいタイプの2次I-N相転移を発見 臨界揺らぎの測定

分子マニピュレータ 輸送の駆動



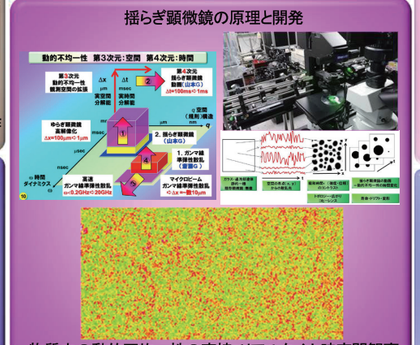
液晶秩序の空間勾配利用を新しい相互作用の発見 分子マニピュレーション実現

分子バルブ 物質拡散・伝播制御



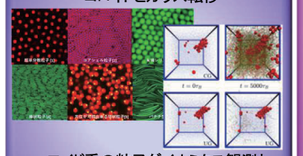
液晶ナノミセル内の相転移を利用した
ドラッグデリバリーシステムの応用

揺らぎ顕微鏡の原理と開発



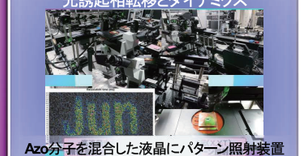
物質内の動的不均一性の直接・リアルタイム時空間観察

コロイドとガラス転移



コロイド系の粒子ダイナミクス観測と
ガラス転移・「完璧」なガラスの創生

光誘起相転移とダイナミクス



Azo分子を混合した液晶にパターン照射装置で励起光を照射し粘弾性・物性を空間制御

教授：杉山 正明 / 准教授：井上 倫太郎 / 助教：川口 昭夫、喜田 昭子、守島 健、清水 将裕

E3: 生体分子構造研究室（複合原子力科学研究所）

プロフィール：

修士課程入学者 : 10 名　うち他大学から 4 名（神戸大、慶応大、立命館大、他）
修士課程在籍者 : 3 名
修士の学位取得者 : 7 名　うち 1 名博士進学後単位認定退学、1 名海外大学院進学

粒子線物性学研究分野

生体高分子は溶液の熱揺らぎを利用して構造を形成し機能する。
では「何故その構造を作るのか」「何故その動きをするのか」
我々は物理の目で観測し、物理の手で解析することで
この基本原理の解明を目指しています！

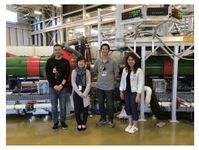
物理の目：量子ビーム散乱法

SAXS@熊取

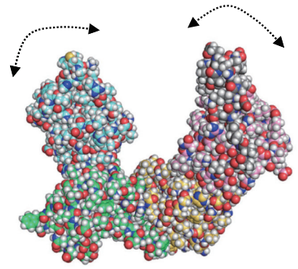
QENS@J-PARC

SANS@ILL（フランス）

NSE@NIST（米国）



物理の手：分子動力学計算による動態解析

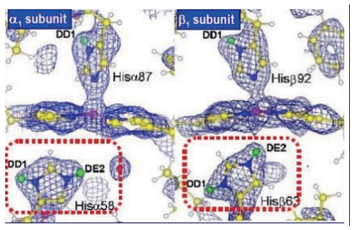


機能を生み出す運動
の解明に成功！

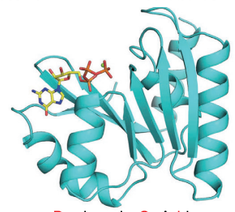
生体分子構造研究分野

タンパク質分子はアミノ酸が重合した一本の鎖では機能せず，立体構造をとってはじめて機能を発揮します．
我々のグループでは，ツールとして放射光や中性子線を利用し，タンパク質の機能や性質を結晶構造の特徴に関連付けて議論する「生体高分子の構造物性学研究」をすすめ，反応機構や分子の性質を明らかにします．

ヒトヘモグロビン分子内で
見られた重水素原子（緑）

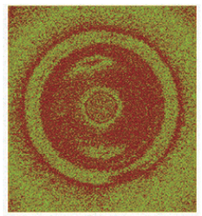


アーキア由来
酵素DPCKの結晶構造



DephosphoCoA kinase
京大工学研究科・跡見教授との共同研究

無配向高分子フィルムの自発配向



ゲスト分子の配位によって
起こる

教授：柳瀬 陽一 / 准教授：池田 隆介、吉田 恒也 / 講師：Robert Peters /
助教：手塚 真樹、大同 暁人

T1: 凝縮系理論 研究室

プロフィール：（2024 年度現在）修士 11 名、博士 12 名

過去 16 年間の実績

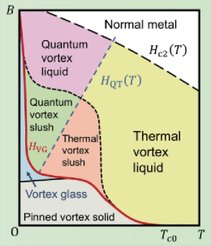
修士入学者 79 人中　他大学者 19 人（東大、阪大、東北大、北大、東工大、...）
博士学位取得者 32 名の進路は、25 名が物理関係の研究機関、7 名が一般企業就職
修士・博士卒生の就職先企業：web エンジニア、金融系、通信系、メーカー、...

凝縮系理論グループでは、量子力学効果が巨視的スケールで現れる「凝縮系」の理論研究を行っています。特に新奇な超伝導・超流動、非平衡量子現象、量子磁性といった現象を示す、強相関電子系、重い電子系、冷却原子気体、液体ヘリウム、ナノスケール量子系など様々な系を研究対象としています。以下に、最近の研究テーマをいくつか紹介します。

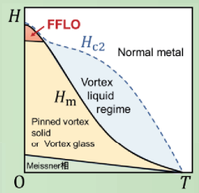
超伝導・超流動

磁場下の超伝導状態

超伝導体は、温度の低下に伴い電気抵抗ゼロの超伝導状態（マイスナー相）に相転移します。Bardeen-Cooper-Schrieffer（BCS）理論により、超伝導は２電子の重心運動量ゼロの束縛状態のボーズ凝縮と表現され、その結果このマイスナー相は空間的に一様な状態となります。磁場中の超伝導体では、量子渦というトポロジカル励起が超伝導性を支配し、空間的に不均一な Vortex Matter という状態になります。1990 年代には 銅酸化物超伝導体 を舞台にして、このVortex Matter とその原因となる超伝導揺らぎの物理（右上図）が盛んに研究されました。一方、十分高磁場では Fermi面のトポロジーに起因する別のタイプの不均一状態（FFLO状態）が生じる可能性があります。今世紀に入り、重い電子系や鉄（Fe）系超伝導体を舞台に、FFLO状態とVortex Matter のハイブリッドともいうべき磁場下の超伝導現象（右下図）が実現しており、我々はその理論の構築に取り組んでいます。

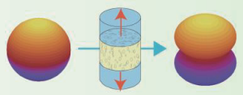


Bi系高温超伝導体の
磁場-温度相図



平行磁場下のFeSeの
磁場-温度相図
- Pauli常磁性が強い系の例 -

ヘリウムにおける新奇超流動

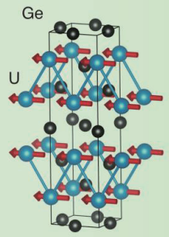


異方的媒質中での
^{3}Heポーラー超流動

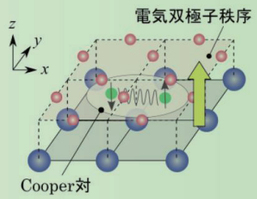
極低温下で、液体^{3}He が p波のスピン３重項Fermi超流動を示すことは以前から知られています。我々は、異方的な多孔質媒質中の液体^{3}HeではPolar相という第３の超流動相が起こることを予言し、2015年にロシアで行われた核磁気共鳴の実験においてこの超流動相の実現が確認されました。この相は、半整数量子渦 という理論的には古くから予言されていたトポロジカル励起が自然に生じるなど、新たな超流動現象が生まれる舞台となっていることが我々の研究から明らかになってきています。

磁気秩序・多極子秩序と超伝導

強磁性と超伝導が共存するのか、というテーマは凝縮系物理学において長く議論されてきました。強磁性は電子スピンの向きが揃って自発磁化を生む状態ですが、超伝導は内部磁化がゼロの完全反磁性という性質を持ちます。したがって強磁性と超伝導は相反する秩序状態と考えられてきましたが、この常識を覆す「強磁性超伝導体」UGe_2 が 2000 年に発見され、超伝導研究者に大きな衝撃を与えました。このような例をはじめとして、近年ではより概念を広げた「磁気多極子秩序と共存する超伝導」の研究が精力的に行われています。さらに、ネマティック秩序などの「電気多極子秩序」も注目を集めるテーマの１つです。我々はこれら多極子秩序と超伝導の関係や起源、あるいは共存状態の性質を調査する理論研究に取り組んでいます。



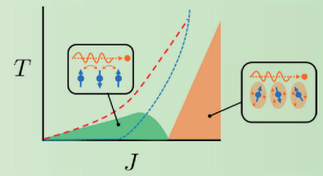
超伝導体UGe_2 の
結晶・磁気構造



電気双極子秩序と超伝導の共存

強相関電子系

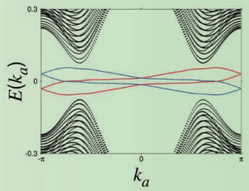
我々の身の周りにある物質は膨大な数の電子による多体系ですが、Blochのバンド理論は電子の波の重ね合わせによって多体系を記述し、金属物性等の説明に成功しました。一方で、電子間の相互作用を無視できないケースも存在し、特に遷移金属酸化物や希土類を含む化合物系などの局在的な性質を持った電子系において多く報告されています。これら電子相関効果の顕著な系の解明こそが「強相関電子系」の物理であり、そこには多体系ならではの豊かな物理が潜んでいます。例えば、近藤効果、多極子秩序、よりシンプルには磁性の発現など強相関電子系に特徴的な物理現象は無数に存在します。電子相関効果は、物質の結晶構造や電子の軌道自由度などに応じて変化するため、様々なモノを相手にする物性物理学においては、挑戦的かつ魅力的な分野の一つです。例えば、超伝導やトポロジカル相などは弱相関側の立場からアプローチされることの多いトピックですが、電子相関効果を通じたより多様な相の発現が近年の研究により明らかとなっています。また、強相関電子系において研究されるモデルに対しては、数理物理や素粒子物理の解析手法が適用可能であることから、物性物理のみならず他分野に共通するアイデアが秘められていることも興味深い点といえます。



Doniach 相図
局在電子と伝導電子との結合の大きさ
Jによって、磁性相や重い電子系が実現する

トポロジカル絶縁体・超伝導体

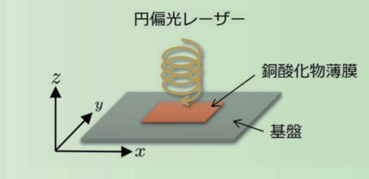
物質中の電子が持つトポロジーは、輸送現象や電磁気学を理解する上で極めて重要です。例えば、量子Hall 効果は、単位電場が印加されたときに垂直方向に流れる電流（Hall係数）が絶縁体中で e^2/h ×（整数値）に量子化する現象です。この整数値は Chern 数と呼ばれ、物質中の電子のトポロジーを反映する量の一つです。このような整数値の量、すなわちトポロジカル数が有限の値を持つ絶縁体や超伝導体はトポロジカル絶縁体・トポロジカル超伝導体と呼ばれ、試料の表面付近にギャップレス励起を持つことが知られています。物質中の非自明なトポロジーは、電気磁気分極率や熱 Hall 伝導率といった輸送量にも直接現れます。このようなトポロジカルな側面からの物質の理解は未完成であり、新たなトポロジカル相の提案・候補物質の探求などが重要な課題です。また、電気分極をはじめとした「物質中の電磁気学」における基本的な量を計算する上で、トポロジカル相の研究で用いられる概念が非常に有効であることがわかっています。特に、電気四極子・磁気四極子といった高次の多極子モーメントを物質中で計算する手法は近年になってようやく開発され、今なお研究が続く分野です。我々の研究グループでは、エキゾチックなトポロジカル絶縁相・超伝導相の提案や、磁気多極子の計算手法の提案などの研究を行っています。



メビウス型トポロジカル超伝導の
表面状態

非平衡量子現象

近年の実験技術の向上と理論手法の進歩に支えられ、物性物理学における非平衡現象の重要性が増しています。平衡系での転移温度以上でも超伝導に類似した振る舞いが見られる「光誘起超伝導」や、平衡系には存在しない非平衡系特有の物質相である「フロッケ・トポロジカル相」や「離散時間結晶」など興味深い非平衡現象が多数報告されています。また、非平衡状態を積極的に活用して物性をコントロールすることを目指した研究も盛んに行われています。例えば、レーザー光などによる周期駆動を用いて望みの系を作り出す手法は「フロッケ・エンジニアリング」と呼ばれ、冷却原子気体においては標準的な手法として確立されつつあります。しかし、急速に理解が発展している一方で、全く新しい現象が発見されたり、理論的な未解決問題が多数残されていたりと、非平衡物理は物性物理学のフロンティアであり続けています。我々の研究グループでは、光を照射した固体物質系や冷却原子気体などの人工量子系を舞台に、量子多体系における非平衡現象の理解、及び、新たな物性制御の方法提案を目指して研究を行っています。近年では、銅酸化物薄膜におけるレーザー誘起トポロジカル超伝導、冷却原子気体におけるレーザー誘起近藤効果などの新しい現象を見出しました。



レーザー誘起トポロジカル超伝導の模式図

教授：佐藤 昌利 / 准教授：戸塚 圭介 / 助教授：塩崎 謙、田財 里奈

T1: 物性基礎論：凝縮系物理グループ

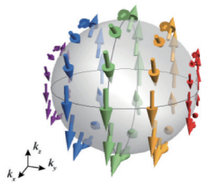
プロフィール：過去 15 年の実績

修士課程入学者 29 名 うち他大学出身者 14 名 (大阪大, 東北大, 北海道大, 慶応大, 千葉大, 岡山大, 兵庫県立大, 東大, 茨城大)
修士学位取得者 20 名 うち博士課程進学者 11 名 他は一般企業に就職
博士学位取得者 7 名 うち国立の研究機 4 名 他は一般企業に就職

凝縮系物理の研究対象は、粒子の量子性が顕著な低温における物質の示す性質である。スピンを持つ電子の間に働く電磁相互作用と純粋な量子効果であるフェルミ統計性などが組合わさることで、物質は金属や絶縁体、磁石や超伝導体になったりと様々な表情を見せる。本研究室では、強相関電子系の量子輸送現象や励起ダイナミクス、低次元磁性体やフラストレーションを持つ系の量子現象、トポロジカル絶縁体・超伝導体における新奇なトポロジカル量子現象などについて、場の理論や大規模数値計算等の手法を駆使して研究を行っている。

Topological Matter

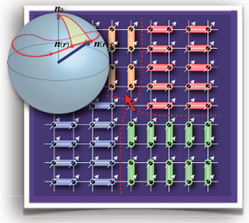
トポロジカル絶縁体・超伝導体など波動関数のトポロジーで特徴づけされる物質群は、ディラック励起やマヨラナ励起など従来の物質群には存在しない励起状態を有する。我々は、トポロジカル場の理論やK理論などの数理的手法を用いて、可能なトポロジカル物質の分類、および新奇なトポロジカル量子現象の予言を行っている。



Frustrated Spin

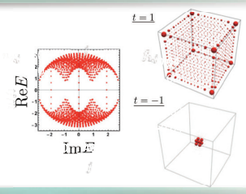
フラストレートした低次元量子スピン系はトポロジカル秩序など、創発的自由度が活躍する特異な量子相の宝庫である。

場の理論や数値計算を駆使しながら、スピン液体状態・ダイマー状態などの基底状態の解明や磁場中でのボーズ・アインシュタイン凝縮、新奇な秩序状態などの研究を行っている。



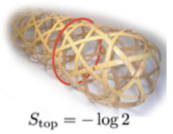
Non-Hermitian Physics

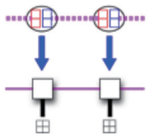
凝縮系理論の最も基本的な考察対象であるハミルトニアンは、従来エルミート演算子 (行列)として扱われてきた。一方、近年注目される開放量子系の分野では、実効的なハミルトニアンが非エルミート性を持つ事に起因し、従来の枠組みでは捉えられない新奇物理現象を示す例が次々に報告されている。我々は、非エルミート演算子のスペクトル理論の持つトポロジカルな性質に着目する事で、既知の非エルミート現象の再解釈や新奇非エルミート現象の提案を行っている。



Entanglement

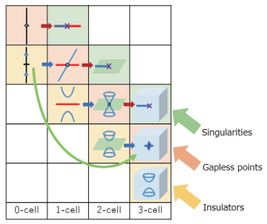
エンタングルメントは量子情報や物性物理学、場の理論等の分野にわたる重要な概念である。密度行列繰り込み群 (DMRG) やtime-evolving block decimation (TEBD) などのテンソルネットワークに基づく数値計算手法はエンタングルメントを利用しており、またトポロジカル秩序においてもエンタングルメントは本質的な役割を果たしている。我々は、数値計算と解析的手法の両面から低次元量子スピン系・電子系の理論研究を行っている。





Topological band theory

固体中の自由電子の量子力学的な状態は、波数空間上の波動関数として記述される。物質表面に金属状態を持つようなトポロジカル絶縁体・超伝導体や、ワイル半金属のような新奇な金属状態は波数空間のトポロジーにより特徴付けられる。空間群の存在下におけるバンド・トポロジーを系統的に調べるための強力なツールとして，代数トポロジーにおけるスペクトル系列がある。スペクトル系列に基づいた物質探索手法の提案などを行っている。



准教授：森前 智行

T2: 物性基礎論：量子情報（基礎研）

プロフィール：

修士課程在籍者　3 名
博士課程在籍者　2 名

本研究室では、量子計算理論・量子暗号理論の研究を行っています。特に、

(1)量子計算理論：量子計算はどのくらい古典計算より高速なのか、量子計算は何ができて何ができないのか、といった量子計算の原理的な問題に量子計算量理論と量子アルゴリズム理論からアプローチする。

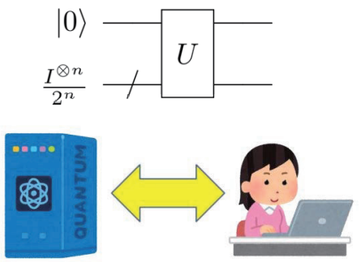
(2)量子暗号理論：量子を使うことによりこれまでにない新しい様々な暗号的タスクを実現する。特にブラインド量子計算や量子計算の検証、量子ゼロ知識証明、耐量子暗号のハイブリッドなど。

◆ 量子計算量理論（量子スプレマシー理論）

量子計算は古典計算よりも本当に高速なのでしょうか？実は計算量理論の標準的な定義ではまだ量子計算が古典計算より高速であるかどうかは分かっていません。本研究室では、古典計算量理論の仮定に基づいて量子計算が古典計算より高速であることを理論的に示す研究（量子スプレマシー理論）を行ってきました。量子スプレマシーはユニバーサルな量子計算機を作らなくても実現できることが理論的に示されているため、超伝導や光などを使って実際に実現しようとしている実験も最近多くあります。また、ユニバーサル量子計算機をどんどん弱めていったときに、どこまで行ったら古典計算になるのかを調べることは、量子と古典の境界はどこにあるのかという、理論物理学者たちが長年にわたり興味を持つテーマに計算機科学の視点からアプローチするという基礎物理としても重要な研究 ともいえます。

◆ 量子暗号プロトコル

暗号というと、秘密にメッセージを送ることを思い浮かべる人も多いと思いますが、実はそれだけでなく暗号には様々なタスクがあります。（例えば、電子署名は、これが自分の書いたメッセージであることを証明できますがメッセージ自体は秘密にはなっていません。）量子には不確定性原理やNo-cloningといった不思議な性質がありますが、それらをうまく使って様々な新しい暗号タスクを実現するのが量子暗号プロトコルの研究です。例えば、偽造できないお金を作るという量子マネーや、クラウド量子計算のセキュリティを守る暗号プロトコル（ブラインド量子計算、量子計算の検証）、計算結果が正しいこと以外は何も情報を漏らさないという量子ゼロ知識証明などがあります。本研究室では、計算内容を秘密にしたまま量子計算を委託するブラインド量子計算や、局所ハミルトニアンの手法に基づく量子計算の検証プロトコルについて研究を行ってきました。最近では、量子計算でも解けない古典暗号（耐量子暗号）ももちいたハイブリッド量子暗号プロトコルの構築も行ってきています。



◆ 量子アルゴリズム

量子の性質を用いて、古典計算では効率的に解く方法が知られていないような問題を効率的に解く方法について研究しています。有名な量子アルゴリズムとしてはショアーの素因数分解のアルゴリズムやグローバーの探索アルゴリズム、連立一次方程式を解くアルゴリズムがあります。また、物理系のハミルトニアンの時間発展や、ハミルトニアンの基底状態に関する量子アルゴリズムも重要なものと言えます。これまでに様々な量子アルゴリズムが提案されていますが、量子特異値変換という枠組みを用いると、別々の文脈で研究されてきた量子アルゴリズムを統一的に記述できるということも近年わかってきました。大規模データの解析に対して量子計算を応用する上では、そもそもデータをどのように量子計算機で取り扱うかということも重要な研究テーマとなっています。例えば、量子の指数的な優位性を期待できるような機械学習の枠組みとして、データの位相的な構造を解析する量子アルゴリズム(Quantum Topological Data Analysis)についても研究を行っています。

教授：佐々 真一、齊藤 圭司 / 准教授：荒木 武昭、金澤 輝代士 /
講師：Andreas Dechant / 助教：北村 光、松本 剛

T2：統計物理・動力学

佐々・Dechant グループ (2012-2023 の集計)
修士入学　20 名 (京大 10、東大 3、九大 2、阪大 1、名大 1、東北大 1、北大 1、大阪市大 1)
修士学位　21 名 (進学 11、日本経済新聞、予備校講師、ソフト会社等)
博士進学　11 名 (内部 11)
博士学位　10 名 (大学 9、保険会社 1)

荒木・北村グループ (2012-2024 の集計)
修士入学　12 名（京大 7、東工大 1、神戸大 1、東京理科大 1、名工大 1、京大理地物 1）
修士学位　11 名（進学 5、就職 6）
博士進学　6 名（内部 5、ブラジルサンタカタリーナ大 1）
博士学位　3 名（大学・研究所 2、企業 1）

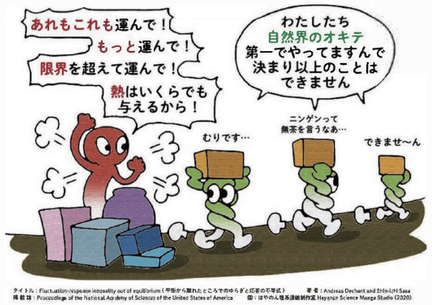
齊藤グループ (2013-2024 の集計；前任校の慶應大を含む)
修士入学　6 名 (大阪公立大 1、内部 5)
修士学位　4 名 (前任校)
博士　2 名 (慶應大 2)

松本グループ (2012-2024 の集計)
修士入学　21 名 (京大 14、阪大 2、浙江大 (中国) 1、甲南大 1、九大 1、愛媛大 1、早大 1)
修士学位　19 名 (進学 4、企業 15)
博士進学　2 名 (内部 2)
博士学位　2 名 (大学 1、企業 1)

金澤グループ (2019-2024 の集計；前任校の筑波大を含む)
修士入学　5 名 (内部 2、筑波大 2、ICU 1)
修士学位　3 名 (前任校：進学 1、KDDI 1、オージス総研 1)
博士進学　1 名 (筑波大 1)

非平衡によるゆらぎ、創発、制御：佐々・Dechant グループ（旧非線形動力学）

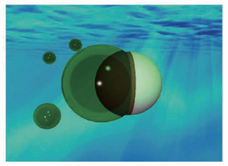
原子分子の集まりが生物を構成しているのは紛れもない事実である。生物が示す機能が物質科学の概念とどのように関わっているのだろうか。そのためには、微視的な構成要素がたくさん集まって巨視的なシステムをつくるとき、微視的な記述にはない概念や量がマクロなレベルで創発する機構を探索する必要がある。平衡系の場合には、一般的枠組みとして統計力学が確立しているので、創発の理解は統計力学の中の問題になる。ところが、非平衡系の場合には、現象の解明と同時に新しい理論的枠組みの構築が必要になる。例えば、非平衡条件下相共存など、非平衡ゆらぎがもたらす特異な現象をゆらぎの理論、熱力学の拡張理論、数値実験などを使って理論的解析を進めている。また、ゆらぎの世界の解析に情報論的解析が深く関わってきていることが明らかになってきており、様々なタイプの基本的限界を定式化することも近年のテーマのひとつである。



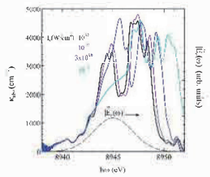
タイトル：Fluctuation-response inequality out of equilibrium（平衡から離れたところでのゆらぎと応答の不等式）　著者：Andreas Dechant and Shin-Ichi Sasa
掲載誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America　図：はやのん電系連載解釈集 Heyoyo! Science Manga Studio (2020)

相転移ダイナミクス・ソフトマター・複雑液体：荒木・北村グループ（旧相転移動力学）

相転移・相分離の動力学、ソフトマター、複雑流体の物性について理論解析や数値シミュレーションを用いて研究を行っている。ソフトマターは高分子・液晶・コロイドなどの外場に対しソフトな応答を示す系の総称で、物理学・化学・生物学・材料科学の分野にまたがる重要な物質群である。未解明の現象も多く、非線形・非平衡物理の研究の宝庫となっている。電子系の関与する量子非平衡現象や構造不規則物質の数値解析も行っている。実験グループとの共同研究も積極的に進めていきたい。



二成分流体中のヤヌス粒子のイメージ図。局所的に加熱することで、相分離を起こし、マランゴニ効果によって粒子を駆動する。



外場下における非平衡現象：高強度X線レーザーパルスを照射した銅におけるK殻吸収スペクトルの非線形シフト。

熱・情報・量子の非平衡物理：齊藤グループ

有限時間の熱力学：自然界には、達成しようとしても出来ないことが多く存在する。熱力学第２法則は、自然界での熱的操作で多くのことを禁止する。本グループでは、ゆらぐ系の熱力学の体系を使い有限時間の熱力学を発展させ、自然界における出来ることと出来ないことの境界を緻密化している。最近では特に、熱力学的速度限界を拡張し緻密化する試みを行っている。

輸送現象と非平衡統計力学：低次元系の熱拡散現象やメゾスコピック系での電子輸送現象を統計力学的な視点で普遍的な構造を探っている。最近では、カーボンナノチューブやグラフェンなど低次元物質を念頭に入れて、ゆらぐ流体力学を熱伝導現象に適用し、輸送現象における統計力学的な考察を行っている。

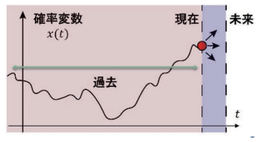
量子情報論と量子ダイナミクス：孤立した量子多体系において、熱化現象など統計力学の基礎に関連する諸現象や量子ダイナミクスなどを研究している。また、量子多体系において量子エンタングルメントなどの情報伝播の一般的性質などや測定誘起相転移など、量子系ならではの新規な現象の研究も行っている。

流体物理学：流体が示すダイナミックスと統計：松本グループ (旧流体物理学)

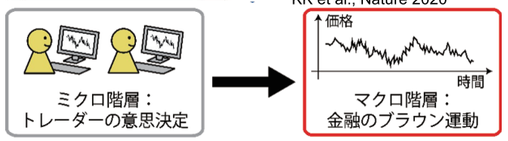
連続体近似の結果、得られる方程式は多くの場合に非線形の偏微分方程式である。古典力学に従う流体(液体や気体)の方程式であるNavier-Stokes方程式を代表例として、こうした非線形な系の時間的、空間的な変動はとても激しいものになりうる。このため、個々の解の振る舞いには不明な点が多い。天気予報の難しさを思い浮かべてもらえば良い。また、こうした解をたくさん集めて、その統計を考えることも古くから行われているが、激しい変動に起因してガウス分布のような平衡系で見られるものとは全く異なる分布が得られる。現状ではその分布の正確な記述にすら困難がある。このような問題に対して、理論的に新たな突破口を得るべく数値シミュレーションを用いて研究を行っている。

確率過程の統計物理学・経済物理学・データ解析：金澤グループ

金澤グループでは確率過程論をベースとした広い意味での統計物理学の研究を行っています。テーマの例は**(1)非マルコフ過程の統計物理学**や、**(2)金融市場のミクロデータ解析・理論解析（経済物理学）**などです。生物物理系を扱ったこともあります。興味の対象は多様ですが、全部に共通することは、**現実の様々な現象に対して確率過程論を駆使し統計物理の手法でミクロから理解**することを試みることです。例えば金融市場モデリングでは、個々のトレーダーアカウントレベルの行動データ解析を行い、個々人の行動レベルのミクロモデルをたて、そこを出発点にマクロな性質を統計物理学として理解することを目指しています。



過去の履歴に依存する確率過程（＝非マルコフ過程）の理論研究
- ホークス過程：KK and D. Sornette, PRL 2020, 2021
- 生物物理系（Lévy flight）：KK et al., Nature 2020



金融市場のミクロデータを解析し，個々人のトレーダーの取引行動をモデル化．マクロな市場ダイナミクスを理解（KK et al., PRL 2018; Y. Sato and KK, PRL 2023）

教授：早川 尚男 / 准教授：Tan Van Vu / 助教：花井 亮

T2：物性基礎論：統計動力学（基礎研）

プロフィール：

修士入学者 (2008 年以降) 14 名（うち外部 11 名：東大 2、東工大 2、京大工、九大、阪大、名大、千葉大、立命館、バンドン工科大）
修士学位取得者 12 名：うち博士後期課程進学 9 名（他大学、他研究室 2 名を含む）、就職 3 名
博士後期課程在籍者 15 名：編入 3 名 (含エディンバラ大他) + 1 年の長期滞在 1 名
学位取得者 13 名：PD へは 6 名 (現在：うち 3 名は准教授、1 名は専任講師等), 就職 7 名
PD11 名（現東大教授等）

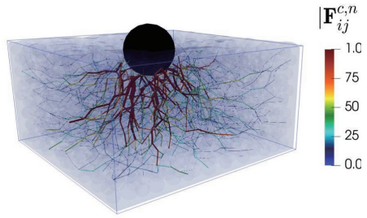
研究内容

当研究室では基礎物理学研究所において非平衡系の統計力学の諸問題を研究している。具体的な研究テーマは、マクロな系のダイナミックス（コロイド、ジャミング転移、レオロジー等）及び異常緩和、量子熱力学、ゆらぎ熱力学、非相反相転移等である。

多体系のダイナミックス

懸濁液上でのボールの反発

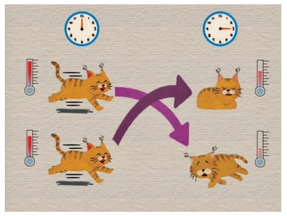
粒子が高密度懸濁液に衝突する際の跳ね返りと沈み込みを数値的に研究している。粒子から底部境界まで粒子間接触が発達した際に跳ね返りが生じる。



粒子(黒球)と球からの力の伝搬を表す応力鎖(線)。

Mpemba効果

Mpemba効果とは熱い水が冷たい水よりも速く凍る現象である。我々はそのような従来の熱力学的直観に反する現象を古典系、量子系双方を理論的に研究している。



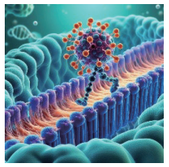
高温状態の量子ドットは低温の系よりも迅速に低温状態へ緩和する。

非平衡開放系

ゆらぎ・量子熱力学

微小な古典的および量子的系は常に環境の影響を受け、熱的なゆらぎにさらされる。我々はこれらの系に潜む普遍的な原理と数理的な構造を研究している。

熱機関

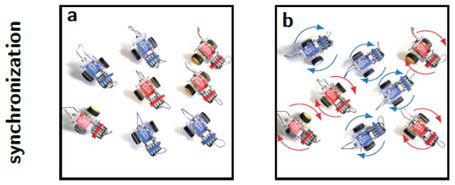


分子モーター

非平衡系では、パワーと効率、散逸と精度など、普遍的なトレードオフ関係が存在する。

非相反相転移

非平衡系では相反定理が満たされる必要がなく、非相反状態が現れる。その非相反相転移の物理の研究を行っている。



カイラル状態へ状態がシンクロするのも一種の非相反相転移である。

物理学第二分野

原子核・ハドロン物理学 ---- 21-22
素粒子物理学 ---- 23-24
宇宙線物理学 ---- 25-26
核放射物理学（複合研）---- 27
核ビーム物性学（複合研）---- 28
素粒子論：物理学第二教室・素粒子論研究室 ---- 29-30
素粒子論：基礎物理学研究所・素粒子論グループ ---- 31-32
原子核論：物理学第二教室・原子核理論研究室 ---- 33-34
原子核論：基礎物理学研究所・原子核理論グループ ---- 35
天体核物理学：基礎物理学研究所・宇宙グループ ---- 36
天体核物理学：物理学第二教室・天体核物理学研究室 ---- 37-38
ビーム物理学（化研）レーザー物質科学 ---- 39
ビーム物理学（化研）粒子ビーム科学 ---- 40

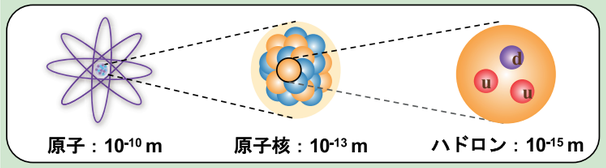
教授：成木 恵 / 准教授：銭廣 十三 / 助教：後神 利志、堂園 昌伯、冨田 夏希

原子核・ハドロン物理学 研究室

プロフィール：過去 12 年の実績

修士入学者数：60 名 (男性 52 名・女性 8 名 / 内他大学出身者 3 名：立命館大、神戸大、佐賀大), 博士課程入学者は 34 名。
卒業後の進路：住重、トヨタ、ローム、三菱 UFJ 銀行、関電、イノベーションなど

フェムトスケール（10^{-15} m）の世界の探索



私たちは物質の基本要素である、
・原子核
・ハドロン
（強い相互作用で結びついた複合粒子）
を通じて「**強い相互作用**」の基本的な性質の**実験的研究**を行っています。

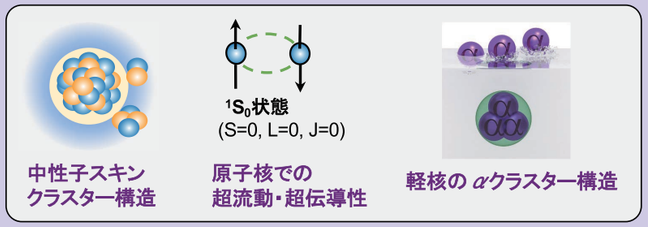
原子核・ハドロン物理に関する多様なテーマを、様々な**大型加速器施設**を用いて研究する特色ある研究室です。
・世界最高クラスの大強度陽子ビームを誇る、J-PARC
・世界最高分解能の検出器と最高品質のビームで核構造研究を行う、RCNP
・世界最大強度のRI（Radio Isotope；放射性同位元素）ビームを生成できる、RIBF　などなど…

GSI（ドイツ）, JLab（アメリカ）
など国外の施設でも

原子核　~核物質の起源に迫る ~

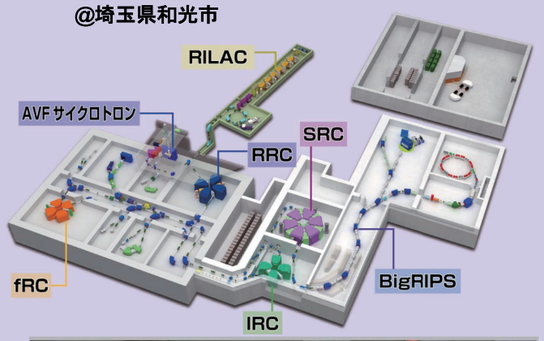
- 理化学研究所 RIBF、日本
- 阪大 RCNP、日本

原子核を形作る陽子・中性子などの核子や、核子を形成するクォーク間に働く強い力は、量子色力学による説明が進んでいます。様々な原子核の構造を調べることで、有限量子多体系である原子核のダイナミクスの解明や、核物質の基本的性質の解明を目指しています。



理研RIBFでは、陽子弾性散乱を用いて**不安定核の核子密度分布**を測定し、核子多体系での核子間相互作用を記述することを目的として活動しています(**ESPRI実験**)。例えば、中性子過剰核の中性子スキンの情報から、状態方程式にアプローチしています。また、不安定核という天然には存在しない原子核の実験のための、固体水素標的や重粒子検出器などの新しい装置の開発も進めています。

理化学研究所 RIBF
@埼玉県和光市

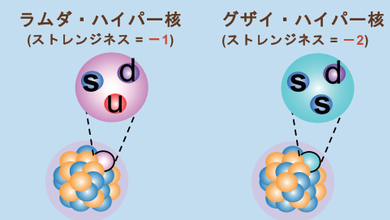


核物質には、強い相互作用(核力)の複雑な性質を反映し、多彩な相構造が予言されています。例えば、核子がクーパー対を形成しボーズ粒子として振舞う**対凝縮(超流動)相**や、仮想パイ中間子が実在化する**パイ中間子凝縮相**などです。我々はこのような相の性質を調べるために、原子核に核反応による刺激を与え、その応答を観るという手法を取っています。核反応の種類により刺激の仕方を変えることができ、調べたい相の種類を選ぶことができます。SHARAQスペクトロメータ(右下図)のような世界最先端の装置に独自の技術を組み込むことで、新反応の実現と凝縮相の性質解明を目指しています。

詳細はこちら、研究室HPまで → https://www-nh.scphys.kyoto-u.ac.jp/

ストレンジネス核物理 ~ハイパー核から強い相互作用を解明する ~

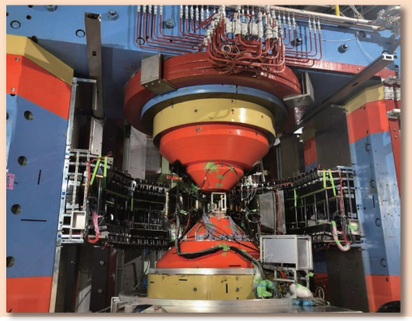
- 大強度陽子加速器施設（J-PARC）、日本
- ジェファーソン研究所（JLab）、アメリカ



地球上にある原子核は、素粒子であるアップ（u）、ダウンクォーク（d）が「**強い相互作用**」で結合した核子（陽子・中性子）で構成されます。
しかし、自然界にはその他のクォークを含む物質も存在します。例えば、超高密度状態の中性子星の内部では u、d クォークよりもわずかに重い「**ストレンジ（奇妙）クォーク** s」を含む粒子・ハイペロンが安定的に存在していると考えられています。私たちは世界最先端の粒子加速器によって数10 億電子ボルトに及ぶエネルギーに加速された中間子線や電子線を用いて、ハイペロンを含んだ原子核・「**ハイパー核**」を地上で人工的に一瞬作り出し、ハイパー核特有の未知の性質を解明します。その測定結果から、核子のみならずハイペロンにも適応可能な、より一般化された「強い力」の理解を目指しています。
J-PARC は、世界最高強度を誇る日本国内の陽子加速器施設です。私たちは、陽子線を用いて生成する大強度　K 中間子を二次ビームとして使用することで、**グザイ（Ξ）ハイパー核**を生成し、その性質を調べます。Ξ 粒子は s クォークを2つ含む重粒子です。私たちが新設した大型磁気分光器　S-2S（右写真）によって、これまで極めて困難であった Ξ ハイパー核の系統的な分光測定の実現を目指しています。現在、2024 年の物理データ取得に向けて準備を鋭意進めています。データがほとんどない s クォークを2つ含んだ原子核の精密研究が、私たちの手によって今始まろうとしています。
また、新たにΞ粒子そのものを系統的に調べる分光研究も提案されました。クォークからハドロンが出来る仕組みそのものも解明しようとしています。

京大の学生が主要メンバーとして世界最先端のストレンジネス核物理研究を遂行しています
(2022年11月、J-PARC K1.8 ビームラインにおける新設分光器 S-2Sにて)。

ハドロン物理　~ハドロン質量の起源に迫る ~

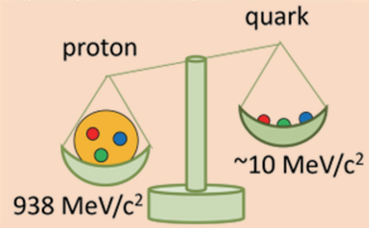


質量の起源の解明に迫るために使用する磁気スペクトロメータ (J-PARC)

- 大強度陽子加速器施設（J-PARC）、日本

原子核中におけるハドロン質量の精密測定から、**物質の質量獲得機構**に迫る実験を行っています(**J-PARC E16 実験**)。この実験では、J-PARC における大強度陽子線を用いてφ(ファイ) 中間子を生成し、その電子対崩壊を利用して質量測定を行います。原子核中で崩壊したφ中間子は、**有限密度媒質効果**により質量が軽くなることが期待されます。電子はレプトンであり強い相互作用をしないので、終状態が相互作用の影響を受けないという利点があります。一方で、φ中間子の電子対崩壊の分岐比は10^{-4}と非常に小さいという欠点もあります。J-PARCの大強度陽子ビームラインを活用し、さらに大立体角をおおうスペクトロメータを開発することで、先行研究の100倍の統計量のデータ取得を目指しています。2024年現在、ほとんどの検出器の開発とインストールを終え、物理データ取得に向けて今まさに動き出そうとしています。

陽子の質量938 MeV/c^2のうち、ヒッグス機構で説明されるクォークの質量は10 MeV/c^2程度であり、残りは強い相互作用のダイナミクスによるものです。残りの質量起源は実験的に解明されておらず、その解明には陽子内部のクォーク・グルーオンの運動量や位置の分布を知る事が重要です。陽子内のクォークの3次元分布を記述する「**一般化パートン分布関数**」をJ-PARC高運動量ビームラインで測定する実験を計画しています。



教授：中家 剛、田島 治 / 准教授：Roger Wendell、陳 詩遠 / 客員准教授：長野 邦浩 /
助教：木河 達也、鈴木 淳也、桂川 美穂 / 連携助教：安達 俊介

素粒子物理学 研究室

プロフィール：過去 10 年の実績

修士入学者：58 名（他大出身者：6 名）
修士の学位取得者：44 名（当研究室博士過程進学：30 名 / 外部へ進学または就職：14 名）、修士在学中：14 名
博士の学位取得者：26 名（研究機関就職：20 名 / 一般企業就職：6 名）、博士在学中：16 名

高エネルギー物理学研究室（素粒子物理学研究室）は、実験を通して
物質の構成要素である素粒子や時空の性質、起源を解明することを目指しています。

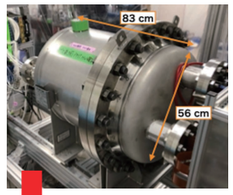
質量の起源？
大統一理論？
超対称性？
ニュートリノはCPを破るか？
宇宙におけるCPの破れの起源は？ etc...

高エネルギーフロンティア → LHC(ヨーロッパ) :**ATLAS実験**
強度フロンティア(稀な事象の探索)→ J-PARC(茨城県) :**T2K実験, NINJA実験**
コズミックフロンティア→**スーパーカミオカンデ実験、 CMB偏光観測実験**
その他、**ハイパーカミオカンデ**や**超高分解能高圧キセノンガス検出器**など将来計画のための研究やダークマター探索実験**DOSUE-RR実験**も行っています。

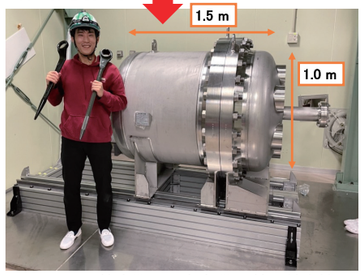
いずれの実験も今後数年以内に結果が期待されており、
新しい物理の発見に立ち会えるチャンス！

AXEL実験

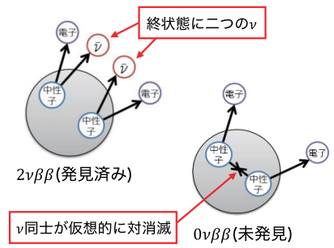
ニュートリノは粒子と反粒子が同一のマヨラナ粒子である可能性があり、その場合にはニュートリノの質量が不自然なほど小さい理由や宇宙の物質-反物質非対称性を説明できる可能性があります。AXEL実験では、ニュートリノがマヨラナ粒子である場合にのみ発生し得る**ニュートリノレス二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)**を発見するために、**高圧キセノンガスTime Projection Chamber (TPC)**の開発を進めています。現在まで京都大学にある180L試作機を用いて検出器の原理実証を進め、キセノンガスTPCとしては**世界最高レベルのエネルギー分解能**を達成しました。また、背景事象削減のために重要となる**飛跡の再構成**にも成功しています。今後は神岡鉱山地下で1000L検出器を製作し$0\nu\beta\beta$探索を行う計画であり、そのための準備を進めています。

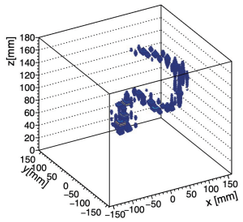


180L試作機 @京都大学



1000L検出器の圧力容器 @神岡鉱山地下



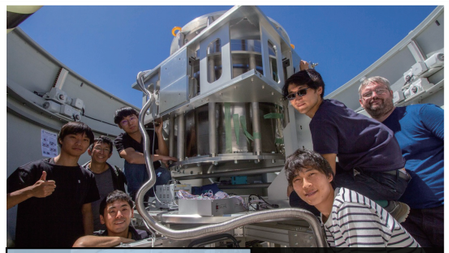


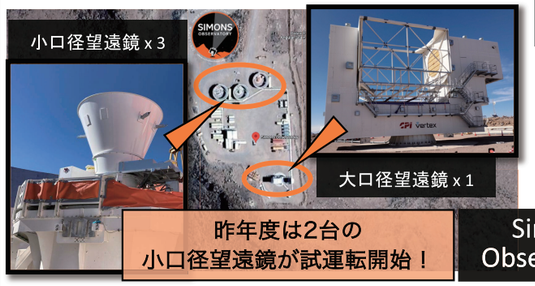
再構成された電子飛跡の例

宇宙背景放射観測実験

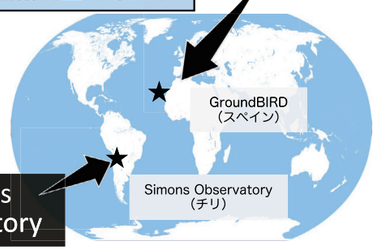
宇宙最古の光「宇宙背景放射」（CMB）の精密観測によって、宇宙創成を支配した物理法則の解明を目指しています！原始重力波をCMB偏光の特殊なパターンとして検出した暁には、宇宙インフレーション仮説と重力の量子化の決定的証拠となります。

またCMBの精密観測により宇宙背景ニュートリノの絶対質量・世代数、ダークマターの研究も可能です。GroundBIRD、Simons Observatory Collaborationという国内外の望遠鏡実験において装置開発とデータ解析で活躍しています。


昨年度に
検出器を全て導入！
GroundBIRD

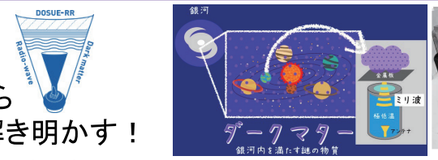


昨年度は2台の
小口径望遠鏡が試運転開始！
Simons
Observatory

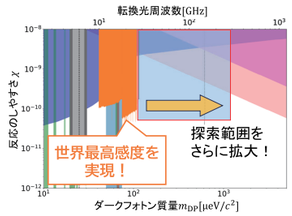


DOSUE-RR 実験

ダークマターの探索から
宇宙の謎を解き明かす！

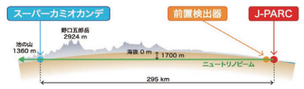


宇宙に存在する物質の大部分（84%）は、未知の物質ダークマターから構成されると考えられています。
私たちDOSUE-RRグループは、ミリ波の電波観測技術を用いてその候補のダークフォトン（DP）を探索しています。本研究では金属板表面で生じるDPの“超微弱な転換光”をアンテナで集光して周波数スペクトルを測定し、その中からDP由来の信号を探しています。もしDP由来の信号が観測されれば、その周波数と信号強度からDPの質量や電磁場との相互作用の大きさを測定することができます。今年1月に最新の探索結果が論文誌に掲載され、さらに探索範囲を拡大させることも計画しています。

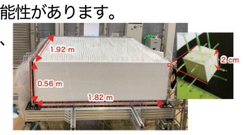


T2K・NINJA/SK・HK（ニュートリノ）グループ

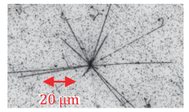
T2K実験は、茨城県東海村の大強度陽子加速器J-PARCで生成したニュートリノを、280 m離れた前置検出器と、295 km離れた岐阜県神岡町にあるSuper Kamiokande (SK)で観測し、ニュートリノ振動のパラメータを測定する実験です。粒子(ニュートリノ)と反粒子(反ニュートリノ)の違いをニュートリノ振動を用いて測定することでレプトンでのCP対称性の破れを探索しており、発見されればこの宇宙に反物質より物質が多い理由を解明できる可能性があります。
NINJA実験では、原子核乾板を用いてニュートリノ反応の精密測定を行い、T2K実験における系統誤差削減を目指します。



京大での研究
- 加速器の増強に向けたビームモニタやフィードバックシステムの開発
- 系統誤差削減に向けた前置検出器のアップグレード (Super-FGD)
- ニュートリノ振動やニュートリノ反応断面積の解析
- NINJA実験で用いる飛跡接続用の検出器の開発



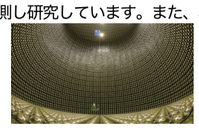
約200万個のシンチレータキューブからなる新検出器Super-FGD

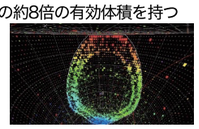


原子核乾板中でのニュートリノ反応

Super Kamiokande (SK)は、陽子崩壊の観測やニュートリノの性質の解明を目的として作られた水チェレンコフ検出器です。陽子崩壊を観測できれば素粒子に働く4つの力のうち3つを統合した大統一理論の大きな証拠となります。また、大気ニュートリノや超新星背景ニュートリノ、T2K実験での加速器ニュートリノなど様々なニュートリノを観測し研究しています。また、SKの約8倍の有効体積を持つHyper Kamiokande (HK)の建設が現在進行中で、2027年に稼働予定です。

京大での研究
- 超新星爆発の到来を事前に知るためのシステムの検証
- 陽子崩壊の背景事象を分離する解析手法の開発
- HK実験のための前置検出器の開発

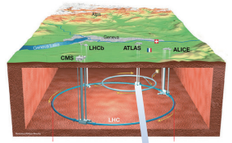

水5万トンを用いた超大型検出器SK


SKで観測されたチェレンコフ光

ATLAS実験

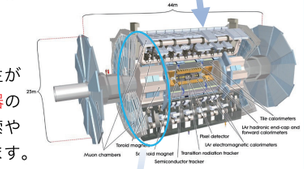
世界最高のエネルギーで新物理を探索する！

ATLAS実験は、スイスとフランスの国境にある LHC加速器を用いて陽子同士を衝突させ、衝突地点の１つに設置された大型汎用検出器 ATLAS を用いて物理現象を観測する実験です。2012年にはヒッグス粒子を発見し、その成果に対してノーベル物理学賞が与えられました。標準模型の基本粒子は全て発見されましたが、その後も標準模型を超える物理を見つけるためにヒッグス粒子の精密測定や超対称性粒子の探索などを行なっています。

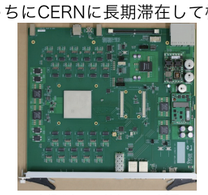


エネルギーフロンティアにおける学生の活躍

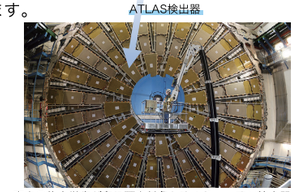
ATLAS実験は博士学生を含めて5000人以上からなる国際共同実験で、たくさんの学生が多様なテーマを持って参加しています。例えば、京大の修士学生は主にミューオン検出器のデータ取得に関して研究しており、博士学生には機械学習を用いた超対称性粒子の探索や高エネルギー領域におけるベル不等式の破れの検証など興味に応じた研究を行なっています。これらと並行して学生のうちにCERNに長期滞在して検出器の運用に携わることもあります。



CERNで活躍する学生


大規模なハードウェアの活用

ポスター発表の様子


京大の修士学生が主に研究対象とするミューオン検出器

教授 : 鶴 剛 / 准教授 : 榎戸 輝揚、高田 淳史 / 助教 : 内田 裕之 / 特定助教 : 行方 宏介（白眉）

宇宙線 研究室

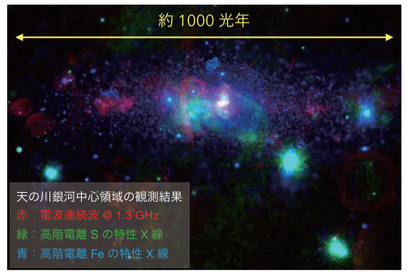
プロフィール：過去 12 年の実績

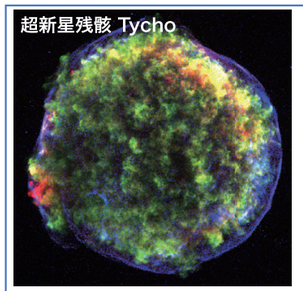
修士課程入学者) 64 名
修士学位取得者) X 線 :23 名 / ガンマ線 :29 名（うち博士進学 23 名、一般企業等に就職 29 名）
博士学位取得者) X 線 :8 名 / ガンマ線 :3 名（うち研究機関に 7 名、一般企業等に就職 4 名）

X線観測衛星の開発とそれを用いた観測研究

超新星残骸や**銀河団**、**ブラックホールの降着円盤**など、宇宙にある天体の多くはX線を放出しています。それらの正体は、宇宙の極限環境でしか実現し得ない高エネルギー現象の物理によるものです。

我々のグループは、**自ら人工衛星搭載の検出器を開発し、それを用いて自ら天体を観測することで、宇宙の高エネルギー現象を解明**しています。





X線観測衛星を用いた観測的研究

星が一生を終える際に起こす**超新星爆発の後に残った天体を超新星残骸**と呼びます。我々のグループは超新星残骸の X線観測によって**星の内部における重元素合成**や、**衝撃波における宇宙線加速**などの物理を明らかにしてきました。左図に示したChandra衛星による超新星残骸Tychoの観測から、膨張運動の急激な減速を発見しました。このことから、Ia型超新星の親星と爆発のメカニズムを解明する上で重要なヒントを得ました。

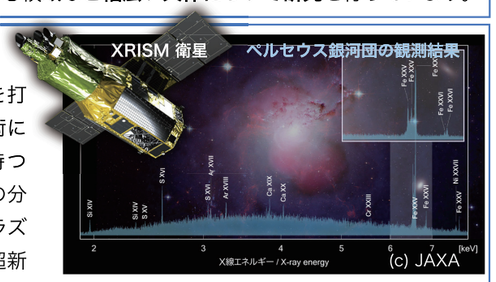
さらに恒星フレアや中性子星、X 線パルサー、銀河中心領域など**幅広い天体について研究**を行っています。

XRISM 衛星がもたらす「新時代」

私達日本のＸ線グループは2023年度にXRISM衛星を打ち上げました。これにはマイクロカロリメーター技術により、**従来の観測装置の30倍もの波長分解能**を持つ**Resolve**を搭載しています。**Resolve**の持つ桁違いの分解能は、例えば上に示した超新星残骸では、高温プラズマの運動や組成、温度等の精密測定が可能になり、超新星爆発のメカニズムの解明できると期待しています。

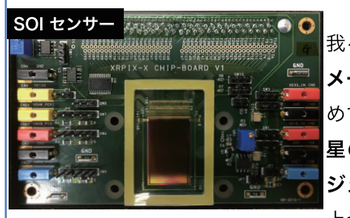
XRISM衛星にはもう一つ、**我々のグループが20年掛けて開発してきた**X線CCDカメラ**Xtend**を搭載しています。これは**満月全体が収まる広大な観測視野**を持ち、銀河・銀河団といった大規模構造の観測に適します。

XRISM衛星がもたらす「天文学の新時代」はすぐそこまで来ているのです。



←Xtend起動時の写真
検出器開発から衛星運用試験まで、X線グループのメンバーやOBが最前線で活躍しました。

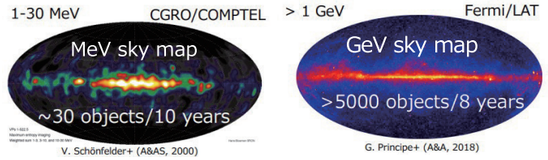
次世代X線天文衛星へ向けた検出器開発



我々は、2030年代の次世代X線天文衛星の搭載を目指して**X線SOIイメージセンサー「XRPIX」の開発を主導**し、様々な機関と共同開発を進めています。これまでに開発した素子は**アクシオン探査実験、月や小惑星の資源探索、核医学イメージング、地球の大気観測**など**幅広いプロジェクト**で実用されつつあります。これに加え、素子自身の性能機能向上や、衛星搭載品にするためにシステム化の開発を進めています。

SMILE：宇宙MeVガンマ線観測気球実験

MeVガンマ線天文学とその現状

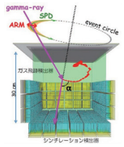


サイエンスターゲット

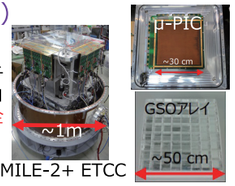
- ✓ 元素合成 — 超新星爆発：放射性同位体 銀河面：^{26}Al・電子陽電子対消滅線
- ✓ 粒子加速 — ジェット (活動銀河核・GRB)：シンクロトロン + 逆コンプトン
- ✓ 強い重力場 — Black hole：降着円盤, n^0
- ✓ Etc. — ガンマ線パルサー, 太陽フレア

数百keVから数十MeVまでのMeV領域は核ガンマ線が直接観測できるエネルギー帯域であり、元素合成過程や星間での物質循環についての情報を得られる。だが、MeVガンマ線は散乱優位で集光による観測が難しく、**天文学最後の未開拓分野**である。

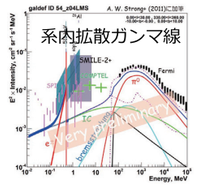
SMILE-2+ (気球実験 2018年)

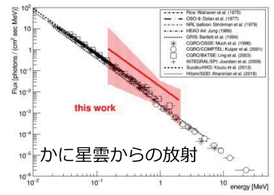


ETCC
ガス飛跡検出器とシンチレーション検出器で、コンプトン散乱事象を完全に再構成



SMILE-2+ ETCC



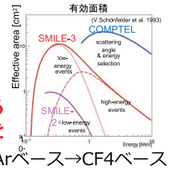


豪州アリススプリングスにて我々が独自に開発したガンマ線望遠鏡：ETCCの撮像能力実証を目的とした気球観測を行った。
銀河中心領域とかに星雲からのガンマ線強度は他観測と無矛盾。明るい天体のイメージングに成功し、その手法を確立した。

SMILE-3 (次期計画)

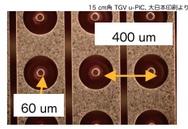
次期長期気球実験SMILE-3に向けて装置開発中。
COMPTELを超える感度での科学観測を目指す！

充填ガス



Arベース→CF4ベース
有効面積5~10倍

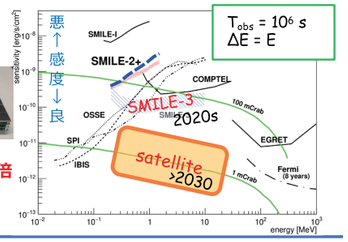
Through Glass Via μ-PIC
(ガス検出器の読み出し)



ポリイミド→ガラス基板
高電圧でも放電の危険性少

光読み出し

PMT→MPPC
散乱角決定精度~2倍



宇宙線を使って「雷の謎」と「月の水資源探査」に挑む！

高エネルギー大気物理学の創成

手作りの放射線測定器を毎年の冬に金沢に持っていく観測で、雷や雷雲の高エネルギー物理学の実験を自分で考えて構築！

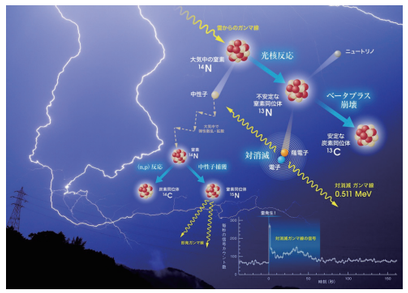
身近な雷に潜む高エネルギー物理と雷トリガーの謎

日本海沿岸の冬季雷雲では、宇宙線の空気シャワーと雷雲内の強電場の相互作用で発生するガンマ線が地上に降り注ぐ。冬季雷では、強力なガンマ線フラッシュも発生している。これらを解明していくのが新分野「高エネルギー大気物理学」だ！

市民と科学の共創型サイエンス

「雷雲プロジェクト」では、シチズンサイエンスの枠組みにより、市民サポーターと一緒に金沢の市街地で雷雲からのガンマ線を観測する。雷のトリガーに宇宙線が関わるかを調べると同時に、科学を文化として市民と一緒に楽しむ新しい試みだ。

2017年に私達は、雷からのガンマ線により、大気中で光核反応が起きることを発見した。雷にはまだ多くの謎が残されてる。

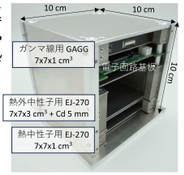


月探査時代に宇宙中性子の物理実験

アルテミス計画やゲートウェイ宇宙ステーションで人類が月へ進出する宇宙時代に、月周辺での放射線物測定に挑戦！

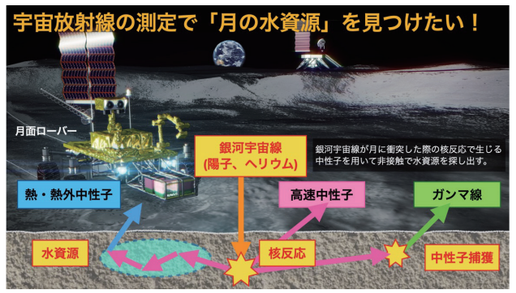
中性子で月の水資源探査

銀河宇宙線が月に衝突して発生する高速中性子は、月面下に水が存在すると散乱して効率よくエネルギーを失い、熱・熱外中性子として漏出する。月面ローバー搭載の中性子モニタ Moon Moisture Targeting Observatory(MoMoTarO)で、水資源を見つけ出す！



素粒子の未解決問題に宇宙で挑む

中性子寿命は、異なる2つの測定法の間で9秒の差が残る未解決問題だ。MoMoTarO は月周回衛星で中性子を測定する第3の手法を開拓する。さらに、ガンマ線バーストを観測し、ガンマ線バーストの位置決定、重力波宇宙論への貢献を目指す。



物理学第二分野　教授：瀬戸 誠 / 准教授：北尾 真司 / 助教：小林 康浩

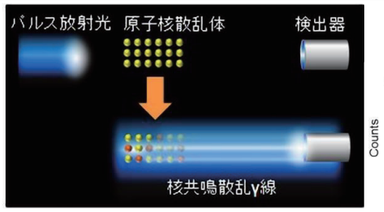
核放射物理学 研究室

プロフィール：2002 年度以降の実績
修士過程入学者　15 名　うち他大学出身者　4 名
修士学位取得者　15 名　進路：博士課程進学者　6 名、一般企業 9 名
博士過程進学者　6 名　うち他大学院出身者　1 名
博士学位取得者　4 名　進路：研究機関 3 名、一般企業 1 名

原子核から放射されるγ線や放射光X線による原子核励起・散乱過程の応用研究

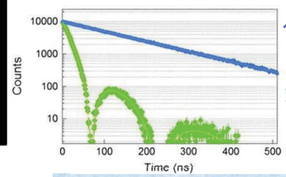
核放射物理学研究室では、原子核の優れた特徴を応用して、これまでに不可能であった測定を可能にする新たな研究手法の開発に取り組んでいます。これまでの既存の手法にとらわれず、新たな分野を開拓していく意欲のある学生を募集しています。

核共鳴散乱の基礎物理とその応用研究



放射光核共鳴散乱

SPring-8などの大型放射光施設による高輝度・高指向性の放射光により原子核を励起する実験は、核共鳴散乱と呼ばれており、核共鳴散乱を用いて、従来できなかった全く新しい分光法の開発を行っています。

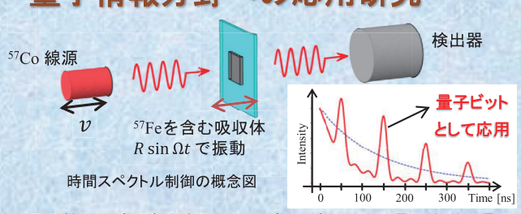


ふつうのγ崩壊
指数関数型の崩壊

変調したγ崩壊（核共鳴前方散乱）
複数の原子核からの散乱の干渉によりγ崩壊過程のスピードアップや、ビートパターンが観測されます

放射光実験の様子

量子情報分野への応用研究



時間スペクトル制御の概念図

原子核の共鳴現象を応用した、X線・γ線領域での量子光学や量子情報科学分野に関する研究はほとんど行われていません。核共鳴吸収体の位置制御によるγ線時間スペクトルを制御することで量子ビットの機能を持つ状態を作成するなど、γ線の量子光学や量子情報科学分野への応用を目指した研究を行っています。

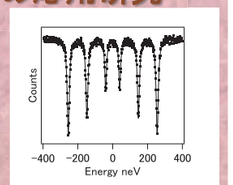
原子核環境の変調を観測する超高分解能エネルギー分光

京都大学複合原子力科学研究所

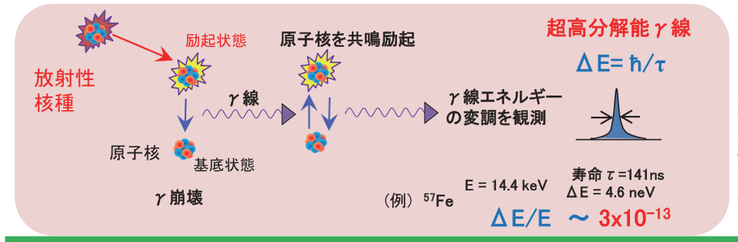
京大原子炉（KUR）の中性子照射や、線型加速器を用いて様々な放射性核種を生成することができます。複合原子力科学研究所は多様な核種の線源を生成して、取り扱うことができる世界的にも稀有な研究環境です。

印加電磁場や原子核環境による γ線エネルギー変調の応用研究

原子核を用いた超高分解能のエネルギー分光により、原子核への電磁場の印加や、原子核周囲の電子などの原子核環境によるγ線エネルギーの、ごくわずかな変調を検出することができます。これを応用した様々な分野への応用研究の展開を目指しています。



γ崩壊のエネルギー準位の微細な変調を観測



超高分解能γ線

原子核から放出されるγ線のエネルギー幅は崩壊の寿命で決まるため、非常に狭いエネルギー幅を持つものがあります。この超高分解能γ線を利用して、新しい分光法の開発とその応用研究を行っています。

複合原子力科学研究所の研究室の見学や、研究内容に関する質問についても随時受け付けています。
詳細は研究室ホームページ、または北尾(kitao@rri.kyoto-u.ac.jp)までお問い合わせください。

物理学第二分野　准教授：谷口 秋洋 / 助教：谷垣 実

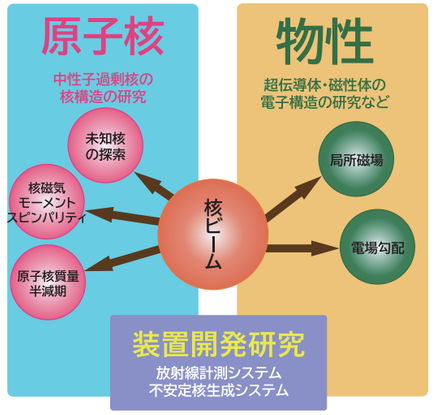
核ビーム物性学 研究室

プロフィール：過去約 20 年の実績
修士入学者　13 名　うち他大学から 7 名　（九大、阪大、明治大、神戸大、関西学院大、茨城大）
修士の学位取得者　10 名　うち博士課程進学 5 名、一般企業に就職 4 名、独立法人研究機関に就職 1 名
他大学からの博士課程編入者　2 名（新潟大、阪大）
博士の学位取得者　3 名（大学、独立法人研究機関、一般企業に就職）

不安定核ビームの生成と、それを使った
原子核物理と物性物理分野にまたがる学際研究

核ビーム物性学とは

『核ビーム物性学』とは、放射性イオンビームを用いて行う原子核物理と物性物理にまたがった学際領域の研究分野です。我々の研究室では、京都大学研究用原子炉に附設されたオンライン同位体分離装置(KUR-ISOL)やKEK和光原子核科学センター(KEK WNSC)が保有する同様な装置(KISS)で放射性イオンビームを生成し、いろいろな研究を行っています。
原子核の研究では、励起状態の原子核から放出される放射線を計測し、スピン・パリティや磁気モーメント、電気モーメントなどを測定して原子核の構造を調べるとともに、不安定核ビームの強度の増強や利用核種の領域拡大のための装置開発や放射線検出器(計測システム)の開発を行っています。
また、不安定原子核の磁気モーメント、電気モーメントとの相互作用を通して物質内部の磁気的・電気的性質を知ることができるので、物性物理の研究に用いることもできます。このように不安定核ビームを武器として原子核・物性という枠を超えた研究を進めようというのが核ビーム物性学です。



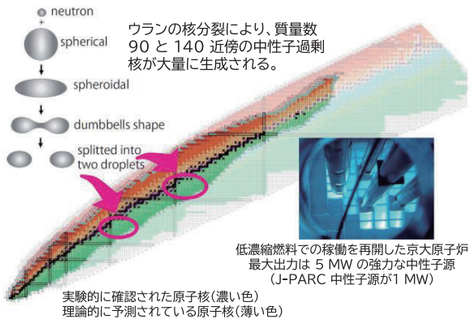
核ビーム物性学の世界。不安定核ビームを軸に原子核・物性の両分野にまたがる研究を行うと共に、研究に用られる装置などの開発をしている

最近の研究室の仕事

原子核構造の研究　KUR-ISOLで得られる^{140}Ceについて、その第三励起準位の磁気モーメントの測定に成功しました。そしてKEK WNSCとの共同研究では質量数195近傍やアクチニド領域核の生成法やそれらの核構造の研究に参画しており、例えば、中性子過剰なウランの同位体としては40年ぶりとなる^{241}Uを新たに発見しました。また、ミュオンを利用した研究として、不安定核ミュオン原子の実現に向けたKEKグループとの基礎研究や、新たな非破壊元素分析法について阪大学等との共同研究を行っており、最近ではJ-PARCにおいて小惑星リュウグウの試料の元素分析が行われました。

物性研究　放射性原子核をプローブとして主に摂動角相関による物性研究をしています。不純物により興味ある物性を示す半導体 ZnO中の第13属の元素(Al、Inなど)不純物の存在状態や^{140}Ce を用いた鉄中でのCeとHeの相互作用に関する研究のほか、最近はウルトラファインバブル(直径1μm未満の微細な気泡)の基礎特性の研究をしています。ウルトラファインバブル内に中性子照射で生成した放射性原子核の摂動角相関測定により内部圧力の測定に初めて成功したほか、バブルの周囲に導入した放射性原子核の摂動角相関から界面の持つ特性を調べる試みも始めています。

その他　実験で必要になる加速器や計測器の制御に関する研究開発を進めています。その技術をもとに東電原発事故対応のために開発したKURAMA(Kyoto University RAdiation MApping System)は、原子力防災のための放射線モニタリングシステムとして社会実装が進んでいます。



核図表と核分裂による不安定核の生成

京都大学複合原子力科学研究所のおもしろさ

京都大学複合原子力科学研究所は関西空港の近く、大阪府泉南郡熊取町にあります。原子炉を研究・利用する医学・生物学・工学・物理学・化学・材料物性・建築・地震学他様々な分野の研究者が集まっており、さながら小さな理系総合大学です。そこで分野を超えて協力しながら原子炉を維持・運用して自分たちの研究を進めることで、思いもよらなかった新たな研究が生まれています。そんな既存の物理の枠にとらわれない場所で研究してみたい人にはお勧めの環境です。
東電福島第一原発の事故では、京都大学複合原子力科学研究所の様々な分野の研究者が協力して事故対応に貢献しています。KURAMAも我々の計測・制御技術を基に、様々な研究者の専門知識が活かされています。

詳細は研究室Webページをご覧下さい

核ビームを作り出すオンライン同位体分離装置(KUR-ISOL)

教授：橋本 幸士、杉本 茂樹 / 准教授：福間 将文、吉岡 興一 / 助教：杉山 勝之、杉下 宗太郎 /
特定准教授：三内 顕義、棚橋 典大 / 特定助教：世田 拓也、畠山 洸太、桑原 孝明

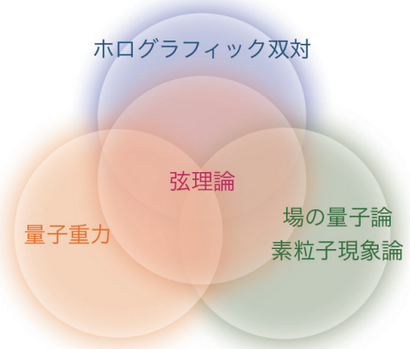
素粒子論 研究室

プロフィール：過去 7 年間の実績

修士課程入学者：23 名　うち大阪市大 1、慶應大 2 名、静岡大 1 名、東北大 1 名、信州大 1 名
博士入学者：1 名
修士学位取得者：25 名
修士課程入学者の進路：博士進学者 20 名、企業就職 5 名
博士学位取得者：15 名
博士課程入学者の進路：研究機関へ 9 名、企業就職 8 名

私たちは日々、新しい理論を探究しています

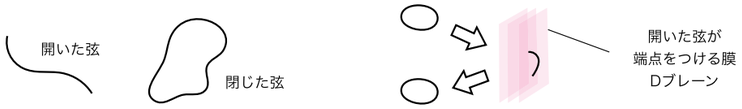
素粒子論は、歴史的には「この世のあらゆるものは最小構成要素である素粒子からなる」という思想に基づき、最も基本的な物理法則を解明することを試みる学問でした。しかし、そのような究極理論を探求する中で提案された様々な模型や理論は、数学や物性物理など、様々な分野と深い関わりを持つことがわかってきました。「素粒子論」の範囲は今や「素粒子」には留まらないのです。私たちの研究室でも各々が独自の思想と興味と強みを持って究極理論の追求や、分野に捉われない幅広い研究を行っています。また学生はスタッフとの研究はもちろん、学生間、あるいは外部の研究者と自由に研究活動・議論を行っています。



以下では、私たちの研究室で現在行われている研究の一部を紹介します。気になるキーワードがあればぜひ研究室に来て質問してみてください。

弦理論の概要

元々ハドロン物理の分野で提案された弦理論は現在、究極理論の候補として幅広く研究されています。弦理論は究極理論の候補として研究されてきました。弦理論では万物の最小構成単位が1次元に広がった弦であると仮定します。弦は閉じた状態や開いた状態があり振動します。それによって質量やスピンが異なる多様な状態が出現し、現在知られている素粒子として観測されていると考えられています。特に、閉じた弦の中に重力子と見なせるモードが含まれるため、素粒子標準模型と重力の量子論を統一する究極理論の候補とされています。

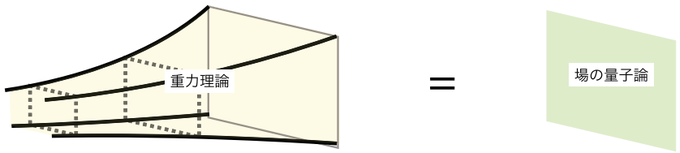


しかし、弦理論はまだ仮説にとどまります。例えば、この世が4次元である必然性は弦理論からは理解されていませんし、実験で確かめられた素粒子現象を説明するシナリオも完成していません。

一方で、弦理論の魅力は究極理論の候補であることに留まりません。弦理論では扱えない非摂動効果を見るために提案された元の場の理論や行列模型等の発見はその1つです。更に、弦理論の豊かな数理構造は、場の量子論や重力理論へ新たな知見をもたらしました。特に私たちの研究室では、弦理論が開拓した「ホログラフィック双対」に着目して活発に研究が行われています。

ホログラフィック双対・量子重力

ホログラフィック双対の主張は「d 次元の重力相互作用がない場の量子論が、ある d 次元より大きい時空での量子重力理論に等価である」という予想です。超弦理論から具体的なペアが見つかったことを発端に、この主張を支持する例がだんだんと見つかってきました。例えば、スケールを持たない場の量子論である共形場理論(CFT)が、反ド・ジッター時空(AdS)上の重力理論と等価であるというAdS/CFT対応や、重力理論によって強い相互作用を記述するホログラフィックQCDなどがあり、これらは私たちの研究室でも中心的なテーマになっています。ホログラフィック双対はさまざまな場の量子論と重力の間の関係性を扱うため、量子重力と場の量子論の双方へ新たな視点をもたらすことが期待されています。しかし、ホログラフィック双対が正しいという証明はなく、一般にどのような量子論がどのような重力理論に等価であるかは解明されていません。



私たちの研究室では、ホログラフィック双対に基づき、場の量子論によって量子重力を理解しようと試みたり、現実の量子物性から量子重力理論のヒントを見つけようとしたりしています。

また、ホログラフィック双対の対象は、これまで歴史的に素粒子論が扱ってきた範囲を大きくを超えていて、様々な観点から研究されています。例えば、カオス性や可積分性、機械学習の応用などが挙げられます。

更には、ホログラフィック双対に拘らずとも、ブラックホールそのものを解明することを通して量子重力理論を理解する取り組みもあります。例えば「ブラックホールは最大にカオス的である」や「ブラックホールは弦の集まりである」といった仮説にまつわる研究が行われています。

場の量子論・素粒子現象論

場の量子論は、場の局所励起として基本粒子を取り扱う量子論で、素粒子論を含むあらゆる物理学における基礎となっています。但し、場の量子論には殆どの場合には厳密に解けないという普遍的な問題があります。そのため普段は摂動的に取り扱われることが多いですが、その代わりに時空を格子に分割して計算する方法があります。これが格子上の場の理論です。私たちの研究室でも、符号問題などの計算上の困難を解決すべく、従来のモンテカルロ法を超える手法が開発されており、場の量子論、素粒子論以外への応用も期待されています。

他にも場の量子論そのものの理解を目的として、アノマリー、くりこみ群、ソリトン、高次対称性などの場の量子論の理論的・数理的構造の研究も行われています。

最も有名な場の量子論の模型の1つとして「標準理論」が挙げられます。この模型は重力以外の基本相互作用を精度良く説明します。一方で、インフレーション、暗黒物質、物質･反物質非対称性、ニュートリノ振動、階層性問題、真空の不安定性等、標準模型では説明し切れない様々な現象や予想は枚挙に暇がありません。

私たちの研究室でもこれらの解決に向けて、高エネルギー実験や宇宙観測と比較しながら、標準模型を超えた場の量子論の模型が考案されています。このような研究分野は現象論と呼ばれています。

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F^a_{\mu\nu}F^{a\mu\nu} + \bar{\psi}^f i\not{D}\psi^f + y_{ij}\Phi\bar{\psi}^i\psi^j + \mathrm{h.c.} + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)$$

標準理論のラグランジアン

研究室の様子や進路

全員が集まる活動は、学期中の水曜日の午後にまとまっています。そこでは事務的な情報共有や議論を行う研究室会議、持ち回りで最近発表された興味のある論文を紹介する論文速報、外部の研究者を招待して研究発表を聞くセミナーがあります。その他の時間の使い方は個人の自由で、議論・計算・勉強・コーヒーなど様々です。

修士1回生の間は、講義やゼミを通して基礎知識を身につけることがメインです。自主ゼミも他研究室の学生と交流しながら活発に行われています。もちろん研究を行うことも可能で、修士1回生の途中から論文執筆に向けて動き出す学生もいます。これには正解はなく、人それぞれ自分の考えに基づいて活動しています。修士2回生の4月には初めての論文速報の発表を担当し、その後は修士論文に向けて本格的に動き出します。

修士号を取得した後に博士課程へ進学する割合は年度によって異なり、就職して活躍している方も多いです。博士課程では研究活動が本格化し、論文執筆・研究会・国内外への出張等研究者としての世界が広がっていきます。

論文速報

議論の様子

教授:青木 慎也、高柳 匡、中山 優 / 准教授:伊藤 悦子、國友 浩、笹倉 直樹、高山 史宏
助教:寺嶋 靖治、宮地 真路 / 特定准教授:疋田 泰章

基礎物理学研究所　素粒子論グループ

プロフィール：2019 年度以降の学生のデータ

修士課程入学者　22 名　修士課程在学中 7 名、他大学出身者 13 名
(九州大、東大、大阪市立大、東工大、Cambridge 大、早稲田大、慶応大、立教大)
修士学位取得者　18 名　うち博士課程進学者 14 名、他は一般企業へ就職
博士課程入学者　17 名　博士課程在学中 11 名
博士学位取得者　8 名　研究機関などへ 5 名、他は一般企業へ就職

湯川秀樹博士（1949）

基礎物理学研究所　素粒子論研究室とは

基礎物理学研究所は、湯川秀樹博士の日本人初のノーベル物理学賞受賞を記念して設立され、湯川博士は初代所長を務めました。以降も、2008年にノーベル賞を受賞した益川敏英博士（第７代 所長）をはじめとする著名な物理学者が歴代の所長に就任しています。

本研究所では、年に複数回の国内・国際研究会が開催されるため、国内外から集まる参加者たちと議論・交流する機会も数多くあります。 また、数日から数ヶ月間の滞在者を受け入れる制度があり、所外の研究者との共同研究も盛んです。

さらに本研究室の魅力として、様々な分野の研究者およびポスドク研究員、学生が多数在籍しており、大変活気に満ちています。

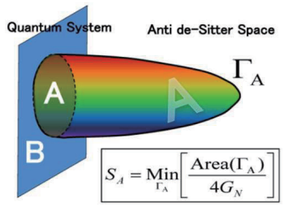
素粒子物理学の目的は、物質の最小構成要素とそれを支配する自然法則の解明にあります。標準模型は、現在確立している最も基本的な素粒子の理論ですが、万物の究極理論と考えるには重力との統合が難しいこと、強結合領域での非摂動的な解析が不十分であることなど様々な問題があります。本研究グループでは、標準模型を超えた自然界の統一的な基本法則の解明を目指しています。

超弦理論　Superstring Theory

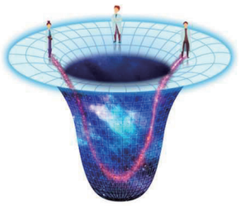
現在のところ、自然界は大きさのない点粒子である素粒子によって記述されると考えられていますが、重力の量子論（量子重力理論）を矛盾なく説明できないなどの理論的な困難があることが知られています。この問題を解決しうる理論として最も有望視されているのが、超弦理論と呼ばれる理論です。これは素粒子が点ではなくひも状をしているという仮説に基づく理論で、重力を矛盾なく含み、あらゆる物質とその間に働く力を統一的に記述する大変美しい理論です。 本研究グループでは、超弦理論を解析することで、量子重力理論が持つべき性質の理解を深め、宇宙誕生の謎の解明を目指す研究、超弦理論の第二量子化に相当する弦の場の理論を構築することで超弦理論の非摂動的定式化を目指す研究、また超弦理論の知見を用いて、ゲージ理論など場の量子論の非摂動的な性質を解明する研究、など、様々な研究がなされています。

ゲージ重力対応　Gauge/Gravity Correspondence

ブラックホールは非常に高密度な天体で、その強い重力によって光でさえも外に抜け出せません。ブラックホール内部に隠れている情報量をブラックホールのエントロピーと呼びます。これがブラックホールの体積ではなく面積に比例していることから、重力理論の自由度は実は宇宙の端に局在していると考えられ、ホログラフィー原理と呼ばれます。その代表例が超弦理論から発見されたゲージ重力対応(AdS/CFT対応)です。ゲージ重力対応はブラックホールや量子宇宙をミクロな視点で解析する貴重な手法であると同時に、QCDや物性物理に現れるような強結合物質を解析する強力な手法ともなります。また、量子もつれの大きさが宇宙の断面積に対応することから、量子情報から重力理論の宇宙が創発するという考え方も盛んに議論されています。本研究グループでは、これらのテーマに関して盛んに研究が行われてます。



ゲージ重力対応において、量子もつれの量を表すエンタングルメント・エントロピーの幾何学公式と概念図



加速膨張宇宙(ドジッター宇宙)のホログラフィー原理の概念図

離散的時空に基づく量子重力　Lattice Quantum Gravity

このアプローチでは、時空を何らかの基本構成要素のランダムな集合体と考え、そのダイナミクスを調べることにより時空の量子論的性質を研究します。一つの目標として、現実に合致するような時空をそのようなランダムな離散理論から導くダイナミクスを理解することがあります。つまり、巨視的に滑らかな3＋1次元の古典的時空の生成やその低エネルギー有効理論として一般相対論を導くことが目標となります。様々な離散理論が試されながら研究が進められています。当研究所ではテンソルを基本変数とするテンソル模型による研究が行われています。

非摂動的な場の理論　Non-perturbative Field Theories

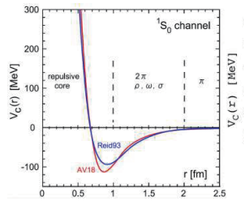
クォークとグルーオンの力学を記述するQCDに代表される強結合の理論の解析には新しい解析手法が必要になります。

本研究グループでは、共形対称性などの数理的な構造に基づく場の量子論の解析、 格子空間に理論を定義する格子上の場の理論を用いた数値計算など非摂動的な場の量子論の研究を進めています。

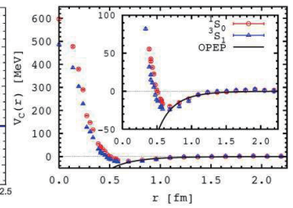
モンテカルロシミュレーションを用いた格子QCD では、クォークの束縛状態であるハドロンの質量などを非摂動的に計算する事が可能です。最近では、陽子や中性子の間に働く核力（湯川博士はこれを説明するために π 中間子を導入した）などのハドロン間相互作用が第一原理的に計算できるようになっています。(図1、2)

一方で、最近では、量子計算やテンソルネットワーク法などの新しい計算法も注目されています。モンテカルロ法(重点サンプリング法)は、少数のクォークの存在する系には適用可能で高い精度の計算ができるようになりました。しかし、高密度の系については「符号問題」があり未だ計算法すらが確立していません。これら量子計算やテンソルネットワーク法を用いて、従来法では符号問題が生じる理論の解析も始まっています(図3)。

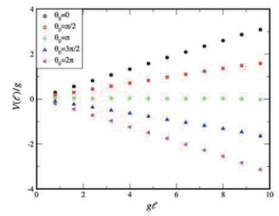
近年大きな進展を迎えた非摂動的な解析手法に、共形対称性と数値計算を組み合わせた共形ブートストラップと呼ばれる方法があります。この新しい手法によって、場の量子論の普遍的な性質である臨界指数などを精密に求めることができるようになりました。ブートストラップの考え方は、量子重力理論における有効理論への制限や、ブラックホールの性質の解明など理論物理学の様々な場面でも応用されています。本研究グループでは、このように数値的な計算と数理的な理解を組み合わせて、場の量子論の非摂動的な解明を目指しています。



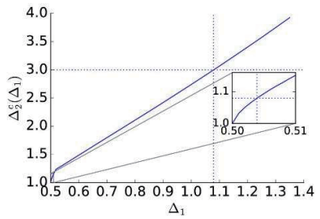
(図1)現象論的核力ポテンシャルの例



(図2)格子QCDを用いて計算した核力ポテンシャル



(図3)charge-q Schwinger 模型のポテンシャル: 従来法ではθの大きいところでは計算できなかった模型を量子計算のアルゴリズムで計算した結果。傾きが負になるデータは反対の電荷を持つ２つの粒子の間に斥力が働くことを示す。



共形ブートストラップによる臨界指数の制限

現象論　Phenomenology

素粒子論は現在、大きな転換期を迎えつつあります。ヒッグス粒子を発見したＬＨＣ実験は、再稼働して標準模型を超える新たな物理現象への手がかりを得ることが期待されています。また高エネルギー宇宙線の観測、ダークマター探索、宇宙マイクロ波背景輻射の精密測定なども含め、標準模型を超える物理を探るアプローチは多岐にわたっています。現象論は、標準模型とそれを超える物理法則を解明するために、実験や観測から得られる事実に基づき、ボトムアップ的な視点を主軸として具体的な理論を構成・解析し、研究を行う分野です。例えば、超対称性や余剰次元を用いた理論について、実験・観測をうまく説明する模型の構築、及び既存の模型の内容と観測データとの詳しい照合などが行われています。

(左)LHC　(右)ATLAS実験
写真提供: CERN ATLAS実験グループ
http://atlas.kek.jp/

目次・分科一覧
ご挨拶
分科紹介 物理学第一分野
分科紹介 物理学第二分野
分科紹介 宇宙物理学分野
大学院入試案内
ローレンツ祭

教授：萩野 浩一 / 准教授：菅沼 秀夫、金田 佳子 / 助教：土居 孝寛

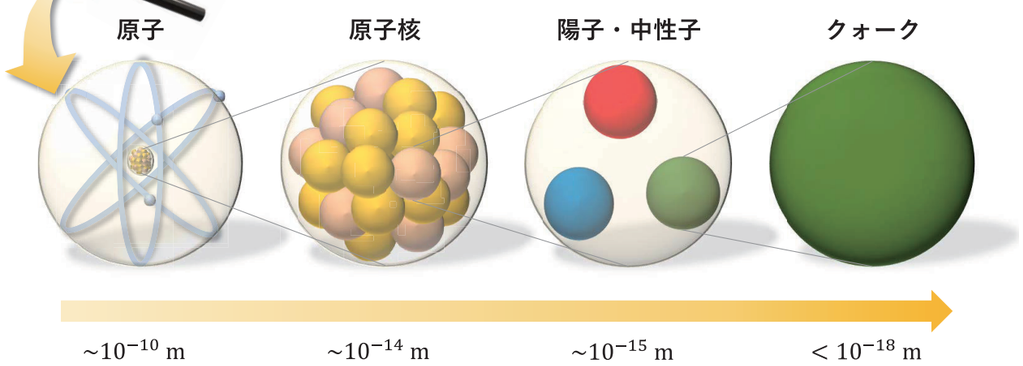
原子核理論：物理学第二教室・原子核理論研究室

プロフィール：過去 10 年の実績

修士課程入学者 29 名
修士学位取得者 27 名　うち博士課程進学者 19 名、他は一般企業に就職
博士学位取得者 20 名　うち大学などの研究機関 6 名、他は一般企業に就職

この研究室に関係するワードを抽出しました。何か気になるものはありますか？

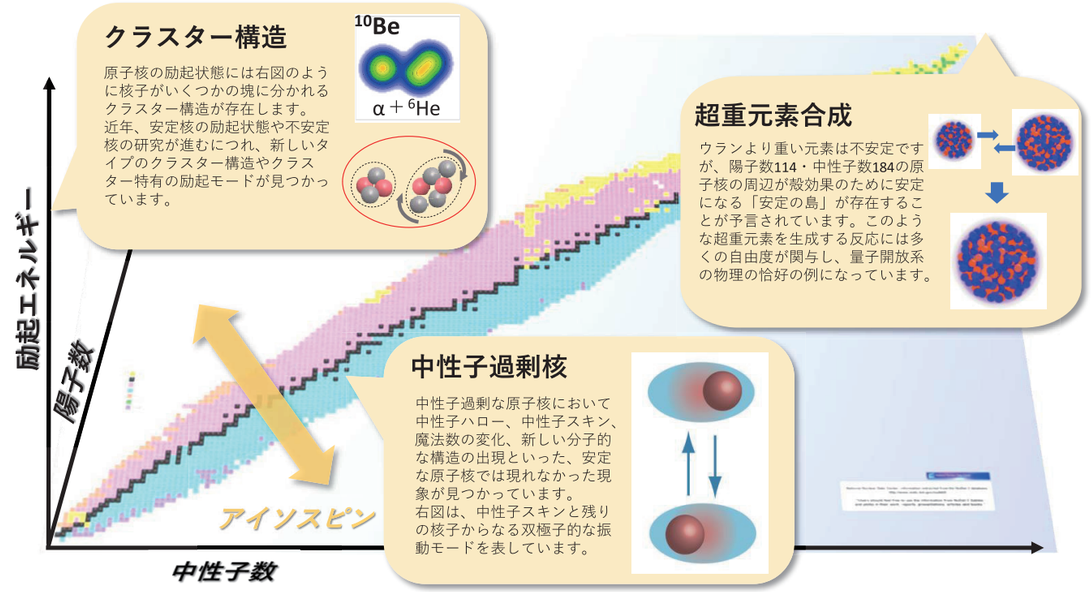
あらゆる物質は原子により構成されています。原子の中心に存在するものが原子核で、その周りを電子が覆っています。原子核は陽子や中性子（核子）から構成され、核子はさらにクォークによって構成されていると考えられています。これらクォークから構成される粒子は**強い相互作用**をし、ハドロンと呼ばれます。原子核はハドロンから構成される**有限量子多体系**であり、そこでは様々な物理現象が姿を見せます。



- ✓ 私たちの研究室では原子核・ハドロンの構造や動力学、高温高密度でのクォーク・ハドロン物質の諸性質など、「強い相互作用」に基づく物理現象の理論的研究を２つのグループ（核多体、クォーク・ハドロン）に分かれて行なっています。
- ✓ 核多体系グループでは、フェルミオンである核子の集合体としての原子核に現れる様々な現象を研究することで、**有限量子多体系**の不思議を解明しています。
- ✓ クォーク・ハドロングループでは、**強い相互作用**の基礎理論である量子色力学(QCD)に基づいてハドロンの性質や極限状態の物質の性質を理論的に研究しています。

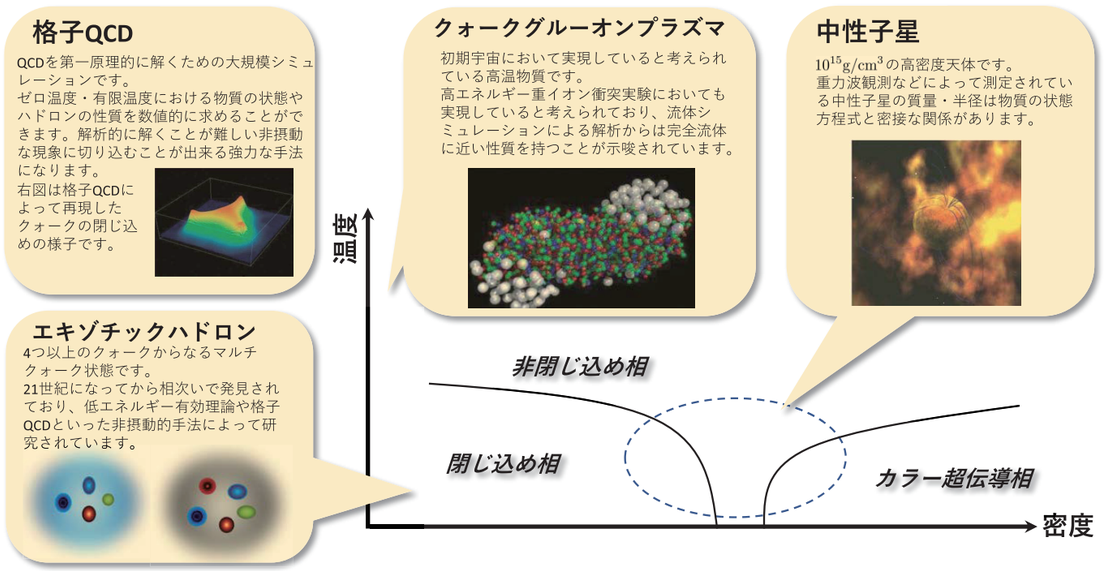
核多体系グループ

核多体系グループでは、強い相互作用をする有限量子多体系に現れる多様な現象を研究しています。近年の実験技術の進歩に伴い、研究対象が安定核の基底状態や低励起状態に留まらず、高励起状態、中性子過剰核やハイパー核へと飛躍的に広がっています。



クォーク・ハドロングループ

クォーク・ハドロングループでは、物質の極限状態であるクォーク・グルーオンプラズマ（高温極限）や中性子星（高密度極限）の系統的な研究を行ったり、「強い相互作用」の基礎理論である量子色力学 （QCD）に基づいた第一原理計算（格子QCD）などを用いて、ハドロンの構造や動力学を下部構造であるクォークとグルーオンのレベルから理解しようとしています。



物理学第二分野

教授 : 日高 義将 / 講師 : 北沢 正清 / 助教 : 谷崎 佑弥

原子核理論：基礎物理学研究所 原子核理論グループ

プロフィール：過去 8 年間の実績 (2015-2024 年度)

修士入学者 11 名 (他大学より 5 名)
修士学位取得者 7 名 (進学 6 名、企業就職 1 名)
博士学位取得者 5 名 (PD3 名、企業就職 2 名)

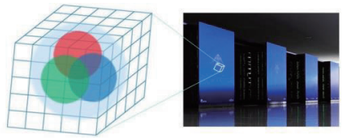
「原子を甲子園球場とすると原子核はその中央に置かれた１円玉だ」というたとえ話は原子核の大きさをわかりやすく伝えるためによく使われます。スタンドにいる私たちの目にはそれは取るに足らない小さな点ですが、マウンドに紛れ込んだアリから見ればそれは不思議な模様をした大きな円盤です。同じように、原子核は私たちには想像もつかないくらい小さいけれど有限の大きさをもっています。

私たちは、主に３つのテーマに沿った研究を進めています

- **格子QCDシミュレーションによるQCD真空の第一原理計算**
- **一般化対称性を用いた、場の量子論 (QFT) の非摂動的側面の解析**
- **量子色力学 (QCD) に基づく高温・高密度核物質とクォーク・グルーオン・プラズマ**

格子QCD大規模数値シミュレーション

QCDは極度に非摂動的な理論であるため、その解析的取り扱いは容易ではない。格子場の理論に基づく大規模数値計算によって、ハドロンの性質やクォーク閉じ込め相転移の性質を定量的に探る。

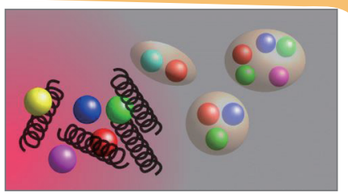


一般化対称性

近年、対称性を拡張した、一般化対称性という概念が現れ、今まで理解できなかったQFTの非摂動的側面に新たな制限を課したり、理論と別の理論の等価性を表す双対性について新たな視点を提供したりする研究。

高密度核物質と クォーク・グルーオン・プラズマ

実験的に生成が可能になった、クォークとグルーオンからなるQCD物質の性質や、通常のハドロン物質との間の相転移を、QCD有効模型や輸送理論等を用いて研究。



クォーク・グルーオンからハドロンへ

各人がこれらの研究テーマに沿ってそれぞれ研究を行っていますが、それらはアリの巣のように互いに密接に関連し、クォーク・グルーオンのような小さな世界から、中性子星のような大きな世界にまで広がっています。

基礎物理学研究所では、日ごろから国内・国外で活動している研究者を招へいし、最先端の研究活動の様子を聞くことができます。彼ら彼女らと議論を行い、理解を深め、さらにそこから共同研究がはじまることもあります。もちろん私たち自身も、世界各国にある研究所や大学などの研究機関へ出かけ、国内・国外を問わず世界で活躍しています。このように、世界の最先端で活躍している研究者と接する機会が多くあります。

また、大学院教育は物理学第二教室の原子核理論研究室と協力して行っています。

物理学第二分野

教授 : 柴田 大、向山 信治、井岡 邦仁 / 准教授：Antonio De Felice、樽家 篤史 /
講師 : 大屋 瑶子 / 特定助教 : 成子 篤、青木 勝輝 / 特定助教 (白眉): 大下 翔誉

天体核物理学：基礎物理学研究所　宇宙グループ

プロフィール：過去 10 年間の実績

修士課程入学者：19 名　うち他大学出身者 4 名（東大、阪大、東邦大）
修士学位取得者：17 名　うち博士課程進学者 15 名（他専攻 1 名）、一般企業就職 2 名、
博士学位取得者：12 名　うち研究分野 10 名、一般企業就職 2 名

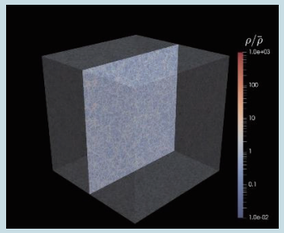
宇宙は幅広いスケールに渡って、極めて豊かな構造を持っています。本研究グループでは、宇宙や素粒子の世界に見られる極限的な構造を、一般相対論と素粒子論を両輪に、天文観測データ、素粒子実験データ、計算機シミュレーション等を駆使して解明し、現代的な宇宙観・物質観・天体形成構造論の確立を目指して多種多様な研究を行っています。

理論的宇宙論・重力 (向山、De Felice、青木、成子、大下)

現在の宇宙の大部分を占めるとされるダークエネルギーやダークマターの正体、そして宇宙誕生直後の急激な加速膨張であるインフレーションの源となる真空のエネルギーの起源は未解明である。本分野では、私たちの宇宙を理解するために、一般相対論、統計物理学、素粒子物理学、超弦理論など、あらゆる手段を用いてこれらの謎に挑戦している。さらに、ダークエネルギーの問題に対するアプローチの一つとして、もしくは重力と量子論の整合的な統一を目指して、一般相対論を超える新たな重力理論についても探求している。

観測的宇宙論 (樽家)

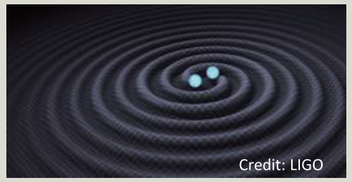
宇宙の標準モデルが確立されてもなお、最近の宇宙における加速膨張の起源、もしくはダークエネルギーの性質といった謎や、ハッブル定数の観測の不一致など、様々な解明すべき問題が残されている。こうした謎に迫るため、銀河サーベイや宇宙マイクロ波背景放射などの宇宙論観測データをもとに、方法論の探究や数値シミュレーションの開発等を行い、標準宇宙モデルを超える新しい物理の探究を目指している。



スーパーコンピュータにより創られた宇宙の大規模構造。色はダークマターを主成分とする物質密度に対応しており、赤いほど高密度、青いほど低密度な領域を表している。

重力波宇宙物理学・数値相対論 (柴田)

2015年Advanced LIGOにより重力波が検出され、重力波を用いた新しい天文学が始まった。ブラックホールや中性子星などの相対論的天体同士の衝突のような、強重力場のもとでの複雑な現象を理解するためのアプローチに、一般相対論と数値シミュレーションを組み合わせた、数値相対論がある。本研究所では、数値的一般相対論の手法を用いてアインシュタイン方程式を解き、重力波源の運動状態の解明および重力波の波形の導出すること等を研究対象としている。

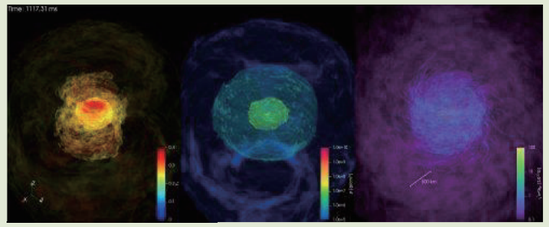


Credit: LIGO

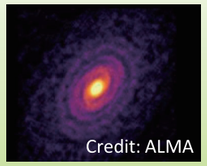
高エネルギー天体物理 (井岡)

宇宙では地上実験を遥かに超える高エネルギー、強重力、高密度、強磁場が実現されており、そこでは日常的に高エネルギー天体物理現象が繰り広げられている。近年、光子に加え重力波・ニュートリノ・宇宙線で宇宙を探る多粒子（マルチメッセンジャー）の時代が到来し、物理理論を駆使して、高エネルギー天体現象全般に渡る新しくて面白い謎に挑戦している。

中性子星合体後約1秒の様子。左図は物質が放出されていく様子、中央は密度場、右は磁場強度を表している。



星・惑星系形成 (大屋)



Credit: ALMA

恒星やその周囲の惑星系の形成は、宇宙の構造形成における基本的なプロセスであり、太陽系の起源に関連している。本研究所では、電波観測に基づき、星・惑星系形成とそこでの物質進化の一般性と多様性を支配する要因を観測・モデル化の両側面から明らかにするとともに、太陽系と地球の起源の理解に迫るべく研究を進めている。

京都大学基礎物理学研究所は、日本国内外の優れた研究者が集まる世界的な研究拠点です。研究所では様々なプログラムを通じて日本人や外国人の研究者を招聘し、ノーベル賞クラスの世界的な研究者も訪れます。また、外国人研究者や留学生との交流の機会が豊富であり、国際性を育むことができます。興味を持たれた方は、基研HP(http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/)をご覧になり、各教員に直接ご連絡ください。

YITP YUKAWA INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS

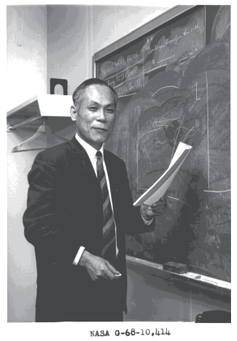
教授：田中 貴浩 / 准教授：細川 隆史 / 助教：瀬戸 直樹、山田 良透

天体核物理学：物理学第二教室　天体核物理学研究室

プロフィール：過去 8 年間の実績

修士課程入学者 16 名中、他大学からの進学は 6 名（名大、東大、立教大、慶應大、学芸大）
修士学位取得者 15 名　うち 14 名が博士課程進学、1 名が企業等へ就職
博士学位取得者 12 名　うち 9 名が研究機関へ、3 名が企業等へ就職

1.天体核研究室の概要

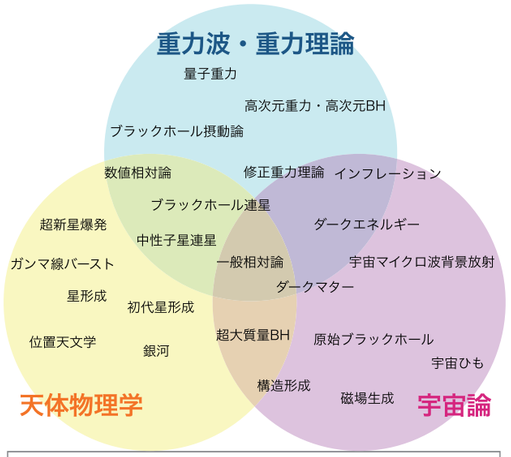


林忠四郎先生(1968年, NASAにて)

田中教授

天体核研究室は1957年に林忠四郎先生によって設立された、宇宙物理学の理論的研究を行う研究室です。その設立以降優秀な研究者を輩出し続け、今も日本中の研究機関に天体核の卒業生が所属しています。研究対象は宇宙に関連のあるすべての物理過程であり、宇宙の大規模構造から星の形成過程まで多岐に渡ります。

天体核研究室の構成員は自分の研究対象を狭めることなく幅広く研究を行うことが奨励され、日本国内および海外の研究者とも協力的に研究を進めています。とりわけ、基礎物理学研究所の宇宙グループとは教育・研究の両面で密接に協力しています。



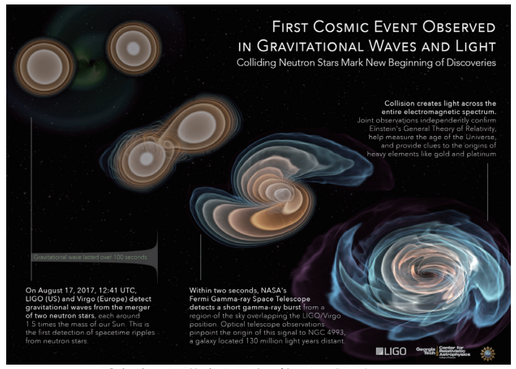
天体核研究室で研究できること
天体核では重力波・重力理論、宇宙論、天体物理学を柱として各分野にまたがる横断的な研究を行っています。

2.研究紹介

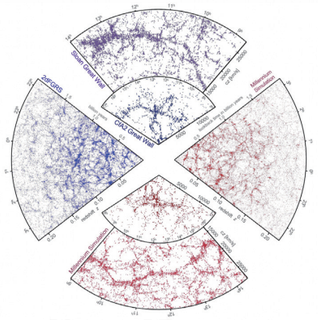
重力波

重力波は2015年9月、米国のLIGOによって初めて直接検出されました。有力な重力波源となるのは、ブラックホールや中性子星を筆頭とするコンパクト天体同士の合体や進化です。本研究室ではこのような現象からの重力波波形を、ブラックホール摂動論を中心とした解析的研究・数値相対論を中心とした数値研究の両面から理論的に予測しています。2024年3月現在、81例の重力波が観測されており、これらの理論予測に基づいた波源天体の性質の解明が活発に進められています。

波形の計算だけでなく、重力波の観測によってどのような新しい宇宙物理学の研究が可能になり、天体物理や宇宙論への理解を深められうかを探ることも重要な課題の一つです。連星ブラックホール合体の初検出に関連して、本研究室のメンバーが所属するグループが行った原始ブラックホールの研究は注目を集めました。他にも、宇宙論起源の重力波や、重力波による一般相対性理論の破れの検出についての研究が行われています。



重力波と電磁波の両方が初めて観測された
中性子星連星の合体(GW170817)の模式図
Credit: Karan Jani/Georgia Tech



観測された銀河の分布(青)と
数値シミュレーション(赤)の比較
Credit:Volker Springel,
Carlos S.Frenk, Simon D. M. White

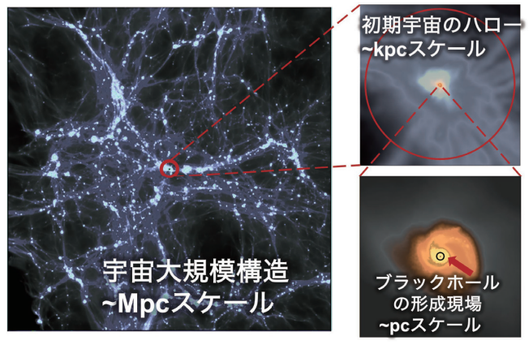
宇宙論

宇宙論は、物理学を用いて宇宙初期から現在に至る宇宙の歴史を明らかにしようという学問です。現在の宇宙論は、インフレーションからビッグバンへと繋がる標準モデルが観測的に検証され始め、精密科学としての立場を確立しつつあります。しかし、ダークマターやダークエネルギー、バリオン数生成などの問題が大きな謎として残されています。インフレーションも実証済みのシナリオであるかのように思われていますが、初期宇宙のシナリオは、わずかな観測事実を頼りに理論的考察による外挿によりモデルを構築しているため、その基礎には疑問を投げかける余地が残されています。また、標準的な宇宙モデルでの宇宙の大規模構造の数値計算では、銀河スケール以下の構造が観測事実を説明できないことが知られており、「標準宇宙モデル」の綻びが見え始めているという指摘も存在します。このように、宇宙論には基本的な謎がまだまだたくさんあり、本研究室では日毎活発な議論が行われています。

天体物理学

我々の研究姿勢の特徴は、観測結果に基づく経験則等に依存するというよりも、むしろ基礎物理学から演繹的に理論を構築するという姿勢を貫いて研究を進めることです。このやり方は時間が経過しても価値を失わない、首尾一貫した理論的な研究成果を残すためには必須であると考えます。天体物理学は宇宙における極端な環境下(超高密度、超高温、超強度の電磁場など)での物理を扱う分野であり、地球では実現困難な系の素過程からの理解によって、物理学において新しい領域を開拓するという重要な役割を担っています。

現在の標準的な宇宙論では、ビッグバンから数億年後に太陽の100倍程度の質量を持つ大質量星として、宇宙の最初の星「初代星」が誕生すると言われています。初代星は、銀河中心に存在する超大質量ブラックホールの始祖であると考えられており、本研究室では未だ不明点の多い初代星の形成過程を、数値シミュレーションを用いて解明しようと試みています。その他にも、重力波と関係の深いブラックホールや中性子星連星の形成と合体現象、宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストは本研究室でも大きな関心が持たれています。



超大質量ブラックホール形成の様子(数値シミュレーション)
Credit:喜友名正樹/天体核研究室 D3

3.日々の様子

天体核研究室の構成員は日々自らの物理的興味からテーマを選び研究しており、その広範な研究分野をカバーする優秀なスタッフやPDが大勢在籍しています。みなさんもぜひ天体核研究室で一緒に研究しましょう！

議論の様子

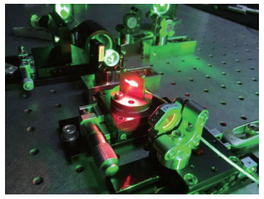
2023年 花見

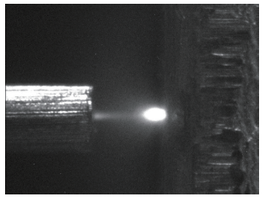
物理学第二分野　教授：時田 茂樹 / 助教：岡崎 大樹

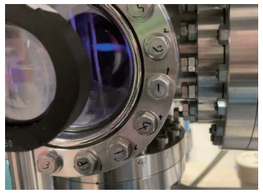
ビーム物理（化研）レーザー物質科学 研究室

プロフィール：過去 19 年間の実績
修士課程入学者：29 名
修士学位取得者：26 名
博士学位取得者：5 名

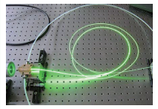
高強度レーザーの探究を通じて光科学の未来を開拓する

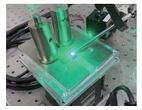

先端レーザー光源

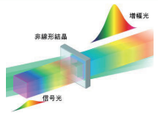

レーザープラズマ物理


素粒子物理

超高強度レーザー光源


ファイバーレーザー


固体レーザー



非線形光学

レーザー等の光源技術はあらゆる科学分野を支える基盤技術の一つです．先端光源の提供により多分野の発展に貢献したいと考えています．当研究室では、波長3～5 μmの超短パルス中赤外レーザー技術を開発しています．ファイバーレーザー、光パラメトリック増幅、固体レーザーといった技術を駆使し、テラワット級の中赤外パルスの発生を目指しています．また、民間企業との共同研究により、微細加工に適した小型・高出力フェムト秒レーザーの開発を行っています．

コヒーレントX線発生

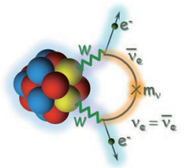
超高強度レーザー装置

プラズマミラー装置

X線領域の高強度レーザー光源を実現することは、レーザー科学者の夢です．当研究室では、超高強度レーザーと固体表面との相互作用を利用したコヒーレントX線発生の研究を行っています．発生した高強度X線パルスを用い、X線非線形光学、ナノ微細加工、素粒子物理学などへ展開する新たな光科学分野の開拓を目指しています．

二重ベータ崩壊の探索

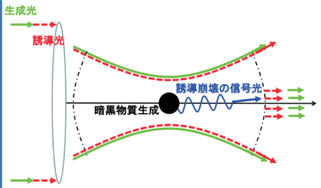
CANDLES検出器



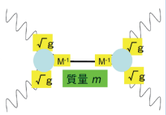
ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊

^{48}Caの二重ベータ崩壊の観測を目指し、大阪大学、福井大学等と共同で研究を行っています．高出力レーザーを用いて^{48}Ca同位体を濃縮することにより飛躍的な感度の向上が期待されています。当研究室では、^{48}Ca同位体を濃縮するための423 nmの狭線幅・高出力レーザーの開発を行っています。

アクシオンの探索



真空内四光波混合による
アクシオン等の未知粒子の探索



低質量の共鳴場介
在による光光散乱

高強度レーザーを用いたアクシオン等の未知の粒子の探索を広島大学等と共同で行っています。真空内四光波混合と呼ぶ新たな手法により、光子を用いた低質量粒子の発見を目指しています。

物理学第二分野　教授：若杉 昌徳 / 准教授：塚田 暁 / 技術職員：頓宮 拓

ビーム物理（化研）粒子ビーム科学 研究室

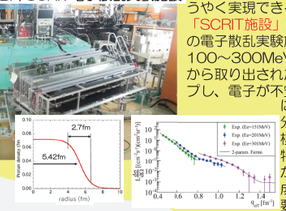
プロフィール：過去 19 年間の実績
修士入学者 :25 名中他大学 9 名 (千葉大、東京理科大、神戸大、立命大、茨城大、広島大)
修士学位取得者 :20 名 (博士進学者 8 名、一般企業就職 12 名)
博士学位取得者 :12 名 (研究機関 8 名、一般企業就職 4 名)

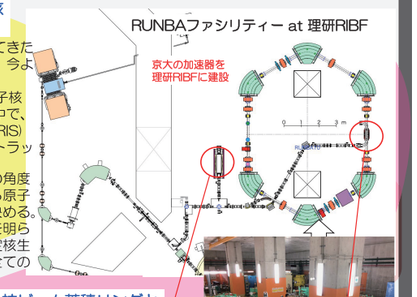
加速器と加速器を用いた不安定原子核研究装置の要素技術開発を行うとともに、それを用いた不安定核物理研究を行う。扱う量子ビームは、電子ビーム（100～300MeV）、重イオンビーム（keV/u～200MeV/u）。理化学研究所・仁科加速器科学研究センターとの連携により、これらのビームの生成、加速、蓄積等のビーム取扱い技術を組み合わせて、蓄積リング内で引き起こされる散乱や核反応など通して不安定原子核の構造および反応研究を実施する。

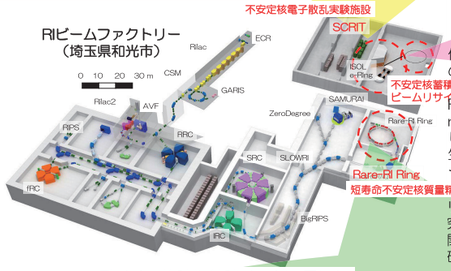
理化学研究所仁科加速器科学研究センターとの共同研究

電子弾性散乱による短寿命不安定原子核の陽子（電荷）密度分布

電子散乱は、原子核の基本構造を明らかにしてきた古典的手法であるが、不安定核の電子散乱は、今ようやく実現できる時代が来た。理研RIBFの「SCRIT施設」は、世界初で唯一の不安定原子核の電子散乱実験施設である。電子蓄積リング中で、100～300MeVの電子ビーム軸上にISOL(ERIS)から取り出された僅かな量の不安定原子核をトラップし、電子が不安定核に衝突して弾性散乱するときの角度分布を測定する。その分布から原子核の陽子（電荷）密度分布を決める。特に原子核の表面付近の構造を明らかにする。加速器から、不安定核生成技術、検出器技術などの、全ての要素技術開発を行う。







不安定原子核ビーム蓄積リングとビームリサイクル技術開発

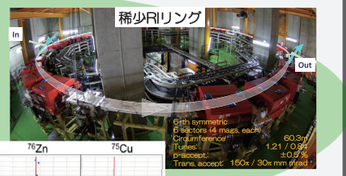
化学研究所が所有する、我が国唯一の研究用重イオン冷却蓄積リング（sr SR）を、理研RIBFへ持込み、RUNBA(Recycled-unstable-nuclear beam accumulator）として再建設する。ISOL型不安定核生成分離器に接続し、不安定核ビームを加速・蓄積する。

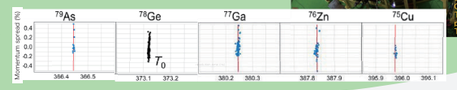
大学院生が開発した共鳴取出型チャージブリーダーとアクティブ標的

リングには内部標的を設置し、ノックアウト反応や核融合反応などの研究を通して、核反応を起こすまで回し続ける「ビームリサイクル」技術開発を行う。これにより不安定核同士の核融合反応などの新しい核反応研究領域を開拓する。これに必要な要素技術開発を化研で実施する。

重イオン等時性蓄積リングを用いた短寿命不安定原子核の質量精密測定

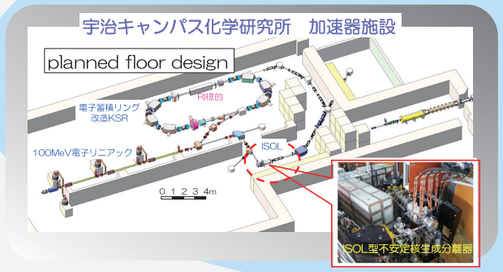
稀少RIリング（R3）は、理研RIBFに建設した質量精密測定のための専用蓄積リングである。元素合成過程（r-プロセス）の解明を目指して、中性子過剰核を中心に、特に生成量の少ない同位体の質量を測定する。R3には、BigRIPS（飛行同位体分離器）で目的のRIが発生した瞬間に入射キッカーを作動させるISSI(Isotope-selectable self-triggered injection)技術が投入され、その１粒子だけを蓄積する。また磁場構造は、サイクロトロンと同様だがしかし超高精度で調整された等時性を持つ。入射1ms後に取り出し、周回周期を1ppmの精度で測定することで、たった１イベントであっても、質量が1ppmで決定される。





宇治キャンパス化学研究所での研究

化学研究所・先端ビームナノ科学センターには、電子、陽子加速器と、それらの蓄積リングがあり、これらの加速器群とその形態を、理研と連携して、不安定核物理学研究の用途に適するよう再編する。



加速器施設の再編

重イオン蓄積リング（sLSR）を理研へ移動させた跡地を利用して、電子ビームドライブのISOL（不安定核生成分離器）を建設し、電子蓄積リング（KSR）を、再設計して改造する。

ISOL型不安定核生成分離器の建設と利用

100MeV電子ビームを標的物質に打ち込み、制動放射光子による（γ, n），（γ, p）反応を用いて、不安定核を生成し、質量を分離する装置。やがて、標的物質をウランにして、光核分裂反応を用いて、不安定核を生成することを目指す。

RI・RI核反応研究のためのRI標的の開発

理研で実施するビームリサイクル技術のための蓄積リング内部標的として、ISOLから取り出した不安定核を高密度でトラップする装置を開発、建設する。

電子蓄積リングとRI標的を組み合わせた光核反応研究

改造したKSRにRI標的を挿入し、蓄積電子ビームを衝突させることによって、超前方非弾性散乱を用いてγ線（光）吸収反応（γ*, n），（γ*, 2n）を起こさせ、不安定核のE1巨大共鳴の研究を行う。

宇宙物理学分野

太陽物理学 …… 42
太陽・宇宙プラズマ物理学 …… 43
恒星物理学 …… 44
銀河物理学 …… 45
理論宇宙物理学 …… 46

准教授：浅井 歩 / 助教：上野 悟、永田 伸一

太陽物理学 研究室

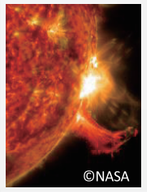
プロフィール：過去 5 年分の実績（学生の進学や就職状況）

修士課程進学者：10 名
修士号取得者：12 名（就職 5 名、博士課程進学者 7 名）
博士号取得者：8 名

附属天文台・太陽観測グループ

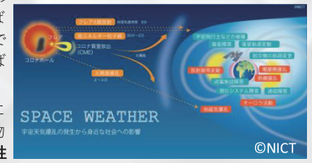
宇宙プラズマを「測る」新しい目を開拓して、太陽活動の謎に挑みませんか？

私たちが普段何気なくその恩恵に預かっている太陽は、宇宙に無数に存在する恒星の最も身近な例であり、その性質を詳細に観測できる唯一の恒星です。太陽が放つ光は、**温度**や**磁場**といった太陽の様々な情報を秘めています。これらの関係性を解明し、**太陽で起こる物理を明らかにする**ことが太陽物理学の目的のひとつです。そしてその関係性を他の多数の恒星の観測と照らし合わせ、**恒星物理の知見を広げる**ことも可能です。さらに、太陽を構成するプラズマは、**地上では再現できない大規模なプラズマ実験室**としての側面を持っています。



また太陽活動は、惑星間空間から地球の高層大気に至る、太陽・地球環境の変動の源です。太陽の突発現象に由来する短期的な変動は「**宇宙天気**」と呼ばれ、航空機や人工衛星を多用し、宇宙へと活動の場を広げる現代社会に無視できない影響を与えます。太陽活動の長期変動による影響は「**宇宙気候**」と呼ばれ、これまでに地球の大きな気候変動に関わってきたことが知られています。

このように、太陽を研究することは、**太陽現象そのものを解明する重要性**に加え、遠くの星を見る天文学から惑星間空間、地球環境、そしてプラズマの物理学に至るまで、**非常に広範な分野との有機的なつながりを知るという重要性**を持ちます。私たちは様々な分野と連携し、研究を進めています。



飛騨天文台の望遠鏡

ドームレス太陽望遠鏡（DST）世界最大級の波長分散を誇る偏光分光観測装置を用いて太陽のスペクトルを得ることにより、太陽表面の磁場や速度場を詳細に診断することができます。

太陽磁場活動望遠鏡（SMART）太陽全面の高時間分解観測により、太陽フレアやフィラメント噴出などの大規模な活動現象をモニターし、それらのメカニズムを研究しています。噴出現象は、惑星間空間や地球磁気圏に多大な影響を与える可能性があります。これらの物理機構の解明や発生予測(宇宙天気予報)は、重要な研究課題です。

飛騨天文台での装置開発

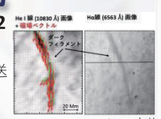
既存の装置を用いた観測だけでなく、新しい装置の開発を通して飛騨天文台が誇る望遠鏡の能力をさらに引き出すことで、世界の太陽研究に貢献しています。

- DST偏光分光観測装置および赤外線観測装置の開発
- ユニバーサルチューナブルフィルター(UTF)の開発と海外展開（上画像1）
- SMART撮像マグネトグラフのキャリブレーション
- 機械学習を用いた太陽イベントの自動検出技術の開発

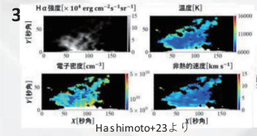
DSTやSMARTを用いた研究

DST
- 太陽紫外線放射の再現
- 多波長分光観測による光球振動のエネルギー輸送
- 近赤外線偏光分光観測によるプロミネンス・ダークフィラメント (画像2)の磁場診断
- 多波長分光観測によるプロミネンスの物理量診断 (画像3)

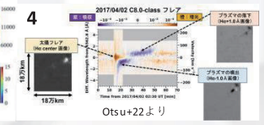
SMART
- “星としての太陽活動現象”とHα線スペクトルの対応 (画像4)
- 彩層プラズマ噴出を伴う小規模フレアの統計解析
- 太陽全面における太陽大気中の波動伝播と磁場の関係の観測的研究



Yamasaki+23より



Hashimoto+23より

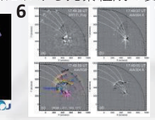


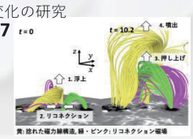
Otsu+22より

幅広い手法を用いたアプローチ

日本の太陽観測衛星「ひので」(画像5)をはじめとする多くの観測装置のデータを用いた研究や、数値計算によるモデリングなど、飛騨天文台の観測装置以外にもあらゆる手段を用いて研究を進めています。

- フレアに伴う衝撃波(モートン波)の解析 (画像6)
- 太陽高エネルギー粒子とコロナ質量放出の統計解析
- データ拘束型磁気流体シミュレーションを用いたフレア研究(画像7)
- non-LTE輻射輸送コードの開発
- 深層学習を用いたフレア発生予測
- 太陽ジェット現象における元素組成の変化の研究

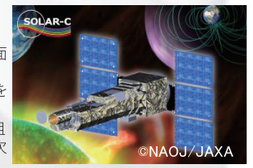




次世代の太陽観測装置

2022年に科学観測を開始した大口径望遠鏡、DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope)、「ひので」後継機として2028年打ち上げ予定のSOLAR-Cなど、次世代の太陽観測を担う大型機器の開発から利用まで、太陽観測グループは様々な場面で最新の太陽観測をサポートしています。

DKISTによるこれまでにない高解像度な観測と、DSTの広視野を生かした観測を組み合わせ、太陽面の現象をマルチスケールで理解することが期待されます。また、SOLAR-Cによる紫外線分光データと、SMARTやDSTによる磁場データとの組み合わせは、太陽大気構造の緻密な理解を可能にするでしょう。飛騨天文台は、次世代の太陽観測にもなくてはならない重要な拠点です。



教授：横山 央明 / 准教授：野上 大作

太陽・宇宙プラズマ物理学 研究室

プロフィール：2018-2023 年度の情報

太陽・宇宙プラズマ理論シミュレーショングループ：修士取得 5 名、博士取得 2 名
恒星スーパーフレア観測グループ：修士取得 3 名、博士取得 3 名

ます。扱う天体現象は多岐にわたり、恒星スーパーフレアや太陽フレアなどの爆発現象、太陽コロナ・太陽風やジェットのような宇宙高温プラズマの生成やダイナミクス、太陽・恒星の磁束生成ダイナモ過程などがあります。さらには、星生成領域や銀河中心核まわりの降着円盤、銀河・銀河団の電磁流体現象もスコープに含まれます。

太陽・宇宙プラズマ理論シミュレーション

研究室ホームページ

宇宙プラズマ現象を、電磁流体力学や輻射輸送・励起過程の方程式を解くことで理論的に解明することを目指します。スーパーコンピュータを用いた大規模計算から、パソコンを用いたコンパクトな1次元シミュレーションまで、問題に応じてさまざまな規模で研究を進めます。これまでの研究室実績では、太陽内部熱対流層（図1、堀田 2014博士）、太陽風加速（図2、庄田 2019博士）、銀河面磁気浮力不安定（図3、那須田2015修士）、太陽コロナ加熱（図4、国吉2022修士）、輻射電磁流体力学計算コードの開発と太陽彩層ジェットの再現（飯島2016博士）、特殊相対論効果を考慮した磁気リコネクション（渡邊2005修士）などを博士研究・修士研究として実施しています。

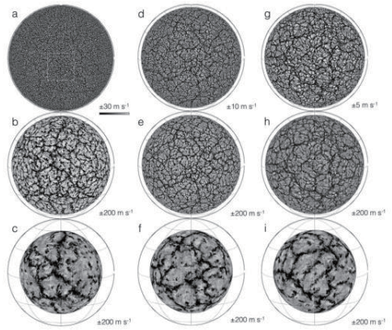


図1 太陽内部熱対流層での、乱流と自転の相互作用（堀田2014、博士論文）

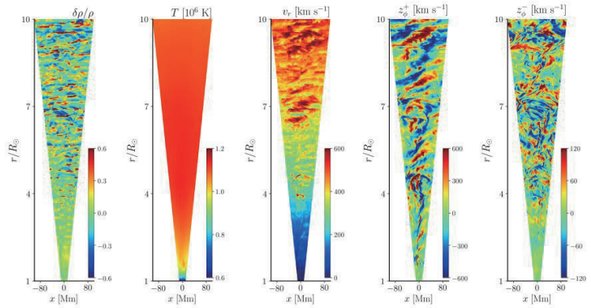


図2 電磁流体波動の乱流化による太陽風加速（庄田2019、博士論文）

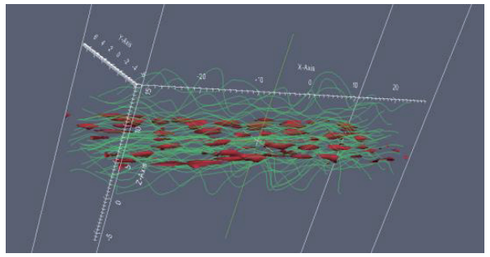


図3 銀河面における宇宙線圧効果を考慮した磁気浮力不安定（那須田2015、修士論文）

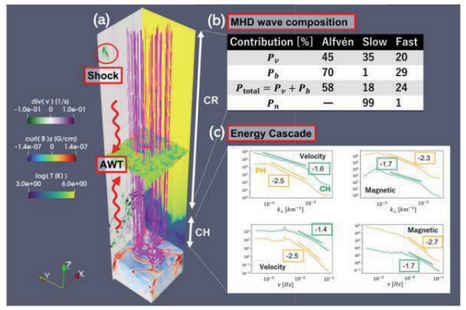


図4 太陽大気中での波動のカスケードとコロナ加熱（国吉2022、修士論文）

恒星スーパーフレア観測

2012年、我々のグループの研究により、太陽でこれまでに観測された最大級のフレアに対して、エネルギー規模で最大1万倍にも及ぶ「スーパーフレア」が太陽型恒星で発見されました（図5）。これはKepler宇宙望遠鏡の測光観測データを解析した結果だったのでその後、TESS宇宙望遠鏡や地上の望遠鏡を使った測光観測や、京大岡山天文台のせいめい望遠鏡などでの測光・分光観測観測、NICER/MAXIなどの観測衛星によるX線観測など多様な観測と理論的な研究を合わせ、スーパーフレアのメカニズムやスーパーフレア時の噴出物、惑星への影響（図6）などを探っています。

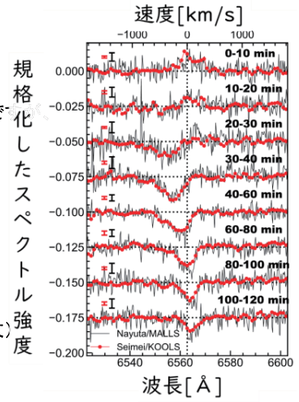


図5 太陽型星EK Draにおけるスーパーフレア時のHα線のプロファイルの変化。フレアそのものによる輝線が最初に観測された後、質量放出による青方変移した吸収線が捉えられた（行方2021、博士論文）

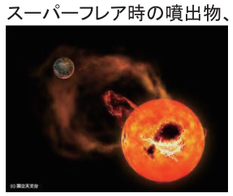


図6 恒星スーパーフレアの噴出物が惑星を襲う概念図

教授：上田 佳宏 / 准教授：野上 大作 / 助教：加藤 太一 / 特定准教授 (附属天文台)：村田 勝寛
特定助教 (附属天文台)：磯貝 桂介

恒星物理学 研究室

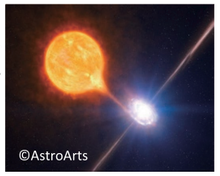
プロフィール：過去 5 年間の実績

修士課程入学者：13 名中　3 名が他大学出身
修士号取得者：14 名中　6 名が博士課程進学、8 名が就職
他大学からの博士課程編入者：1 名 (大教大)
博士号取得者：6 名中　4 名が大学などの研究職、2 名が就職

上田グループ (X 線観測)

このグループでは、ブラックホールの観測的研究を行っています。
恒星質量・超巨大質量ブラックホールがどのように形成され、成長し、宇宙進化に影響を与えてきたのかを明らかにしています。

恒星質量ブラックホール



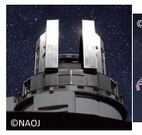
約10太陽質量以上の大質量星は、進化の最終段階に超新星爆発を起こし、恒星質量ブラックホールを形成します。恒星質量ブラックホールは、他の星と連星系をなすことで、強い光を放射します。この光を観測することによって、強重力場における物理に迫ります。

超巨大質量ブラックホール

銀河中心には、太陽質量の約100万-10億倍の超巨大質量ブラックホールが普遍的に存在すると考えられています。この超巨大質量ブラックホールへと、質量が降着することによって、銀河中心が輝く現象が活動銀河核です。活動銀河核の観測により、スケールが約100億倍異なる銀河と巨大ブラックホールが相互作用しながら進化する現象(共進化)等の解明に繋がります。

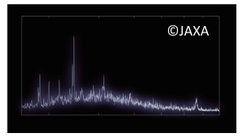
サブミリ波銀河

サブミリ波銀河とは、サブミリ波帯 (~1 mm) で特に明るい銀河の総称であり、銀河が急成長する現場であると考えられています。我々は、アルマ望遠鏡をはじめ、すばる望遠鏡やJWSTなどを総動員して、サブミリ波銀河の性質に挑みます。

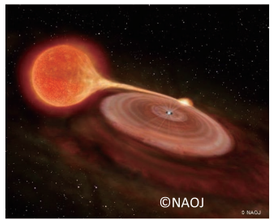


X線分光撮像衛星XRISM

"XRISM"は従来の30倍のエネルギー分解能を誇るX線宇宙望遠鏡であり、2023年9月に打ち上げられました。私達は、この最先端の衛星を用いてブラックホール周囲の物質循環といった極限状態の物理を解き明かします。

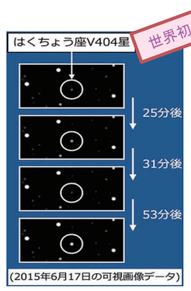


激変星



激変星は、突発的に増光する天体で、白色矮星と晩期型主系列星の連星系です。晩期型星から流れるガスが白色矮星の周りに降着円盤を形成し、この降着円盤上での状態変化が様々な変動を引き起こします。この激変星を観測することによって、降着円盤の物理や星の進化の最終段階の解明に迫っていきます。

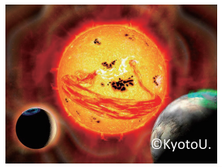
X線新星



2015年6月、ブラックホール連星「はくちょう座V404星」が26年ぶりにアウトバーストを起こしました。今まで、ブラックホール近傍からの規則的な放射エネルギーの変動はX線でのみ観測されていました。しかし、私たちはそのような規則的な変動を**可視光**で捉えることに**世界で初めて**成功しました。研究成果は英国の科学雑誌「Nature」に掲載されました。

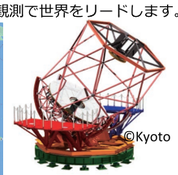
スーパーフレア星

フレアは、星表面で磁気エネルギーが突発的に解放されて起こる爆発現象です。2012年、私たちはKepler衛星を用い、超巨大フレア「スーパーフレア」が太陽とそっくりな星でも起きていることを発見しました。「スーパーフレアが太陽で起こるのか？」という謎に迫るため、Kepler衛星・TESS衛星のデータ解析や地上の大型望遠鏡(すばる望遠鏡・せいめい望遠鏡)での分光観測を進めていきます。



国際協力観測・京大岡山せいめい望遠鏡

私たちは、京都大学屋上40cm望遠鏡での観測に加え、国際協力観測網(VSNET team)を主導しており、各国の望遠鏡を繋ぎ、大規模な連続測光観測を行っています。今後は、京都大学岡山天文台3.8m**せいめい望遠鏡**も用い、突発天体の観測で世界をリードします。



このグループでは、突発天体の可視光・近赤外線観測を行っています。
激変星・X線新星・スーパーフレア星などを観測し、これらの現象の物理に迫ろうとしています。

野上・加藤グループ (可視光・近赤外線観測)

宇宙物理学分野

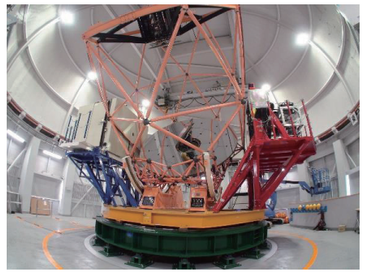
教授：太田 耕司 / 准教授：岩室 史英、栗田 光樹夫 / 助教：木野 勝 /
特定助教：大塚 雅昭、山本 広大

銀河物理学 研究室

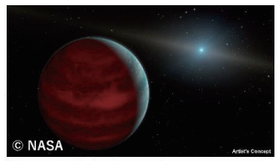
プロフィール：過去 6 年間の実績（2018 年度 -2023 年度入学）
修士課程入学者：22 名中、他大学出身者 0 名
修士号取得者：21 名中、博士後期課程進学者 8 名、民間企業就職者 9 名
博士号取得者：3 名中、研究職就職者 2 名、民間企業就職者 1 名

せいめい3.8m望遠鏡

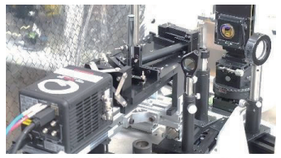
東アジア地域最大となる、主鏡口径3.8mの望遠鏡が2019年2月から観測を開始しました。軽量で高速駆動が可能なトラス構造や、世界的にも新しい分割鏡による主鏡など、自主開発技術が多く盛り込まれたユニークな望遠鏡です。当グループは、この望遠鏡に取り付けるための最先端の観測装置開発と観測的研究を行っています。



極限補償光学装置 SEICA

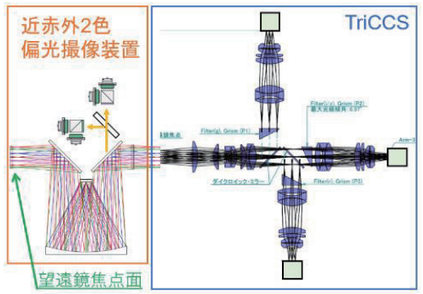


太陽系外の木星型惑星の想像図


実験室内で試験中のSEICAの心臓部

太陽系外にある木星型惑星の直接撮像を目指して、地球大気による像の劣化を**極限まで補正する**装置を開発しています。本装置の技術は、将来の地球型惑星における生命探査への応用も期待されています。

可視3色高速撮像分光装置TriCCS + 近赤外2色偏光撮像装置



観測装置の光路図

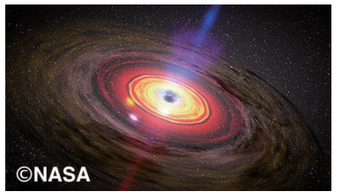
可視光の3波長帯での撮像観測と、近赤外の2波長帯での偏光観測を**同時に行える**装置です。突発天体や星間磁場・原始惑星系円盤などの観測を目的としています。

光学素子と精密計測技術の開発

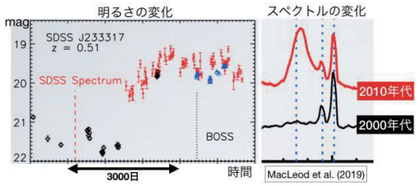
ロボットアームを用いた計測中の大型光学素子

世界最大の望遠鏡ELT用の装置や超広視野光学系などユニークで**最先端の光学素子**を開発しています。また、独自のアルゴリズムで画像データや計測データをステッチング（接続・統合）する技術を開発しています。

クェーサーの時間変動



クェーサー中心部の想像図



クェーサーとは銀河の中心の非常に狭い領域が明るく輝いている天体ですが、その構造は未知のままです。私たちはクェーサーの明るさやスペクトルをモニター観測し、**クェーサー構造の全貌解明**に取り組んでいます。

宇宙物理学分野

教授：前田 啓一 / 講師：Shiu-Hang Lee (Herman) / 助教：佐々木 貴教 /
特定助教 (白眉)：松本 達矢、Lucy McNeill

理論宇宙物理学 研究室

プロフィール：過去 6 年間の実績 (2019-2023 年、2024 年入学)
修士課程入学者：22 名中、他大学出身者 3 名 (明治大、静岡大、山口大)
修士号取得者：21 名中、博士後期課程進学者 12 名、就職者 9 名
博士号取得者：16 名中、10 名が大学など研究機関へ

幅広い視野・柔軟な発想

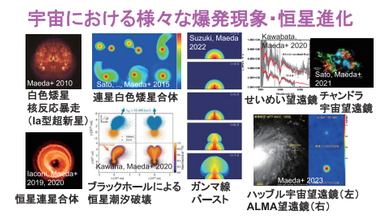
超
新星爆発

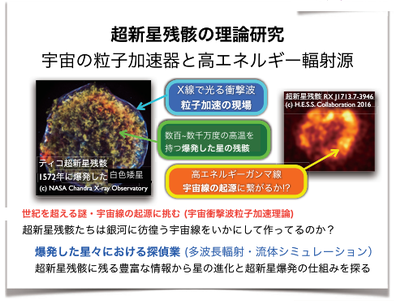
惑
星形成論

高
エネルギー天文学

理
論と観測

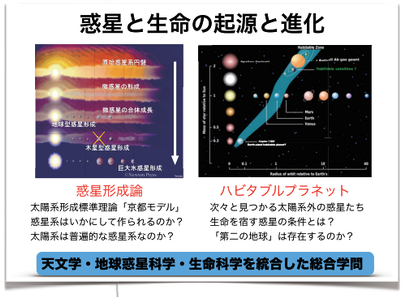
前田啓一 教授

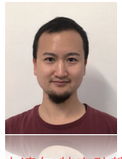




Herman Lee 講師

佐々木貴教 助教




松本達矢 特定助教

宇宙物理学教室理論グループでは、宇宙物理学の様々な問題に対して理論的側面からのアプローチを行っています。研究手法は、アイデアと紙と鉛筆だけのものから、コンピューターシミュレーション、さらに時には観測家と共同して観測計画の立案や、実際に観測を行ったりと様々です。

2025 年度京都大学大学院理学研究科
物理学・宇宙物理学専攻　修士課程大学院入試説明会

■開催日時　2024 年 5 月 11 日（土）09:30-12:20
（午後は Zoom による研究室紹介を行う研究室があります。）

■開催方式　Zoom にて開催します。参加登録方法については下記 URL の院試情報のページをご参照ください。
https://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/education/inshi/index.html

■内容
09:30-09:35 本専攻の概要について （ 専攻長)
09:35-10:05 修士課程入試について (副専攻長)
10:05-10:45 物理学第一分野の各分科の説明
10:45-10:55 休憩
10:55-11:35 物理学第二分野の各分科の説明
11:35-11:50 宇宙物理学分野の各分科の説明
11:50-12:20 Q&A

試験情報

願書受付

2024 年 6 月 24 日（月）～ 6 月 28 日（金）　１７時必着

大学院修士課程入学試験 (2024 年夏実施) における英語外部検定試験 (事前受験) の変更について

物理学・宇宙物理学専攻においては、2024年度大学院修士課程入学試験（2023年夏に実施）より英語外部検定試験スコアレポートの提出で英語の筆答試験に代えています。そのため、出願書類に英語外部検定試験スコアレポートを提出することとしていますが、2025年度入学（2024年度10月入学を含む）に係る学力考査より以下の変更をします。
・対象となる英語外部検定試験
変更前：TOEIC® Listening & Reading TestまたはTOEFL iBT®
変更後：TOEIC® Listening & Reading Testのみ
・英語外部検定試験スコアレポート原本の提出について
変更前：願書提出時、または筆答試問当日に持参
変更後：願書提出時（筆答試問当日の持参は不可）
なお、以下のことに関しての変更はありません。
英語外部検定試験スコアレポートが提出できない場合でも、受験資格を失うわけではありません。スコアレポートは、当該試験実施年の2年前の9月以降に受験したものに限り有効とします。受験日や会場が限られているので、十分に余裕を持ってできるだけ早めに受験しておくことを推奨します。物理の試験等に関する詳細は、募集要項で公表します。詳しくは物理学・宇宙物理学専攻のHPをご覧ください。

募集要項や過去問などさらに詳しい情報は：

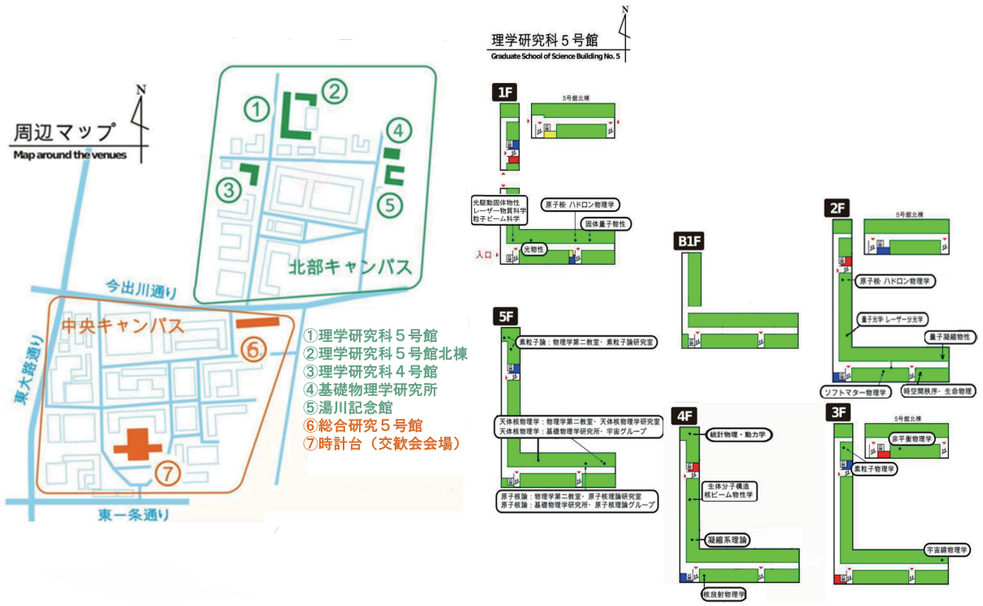
https://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/education/inshi/
https://www.sci.kyoto-u.ac.jp/ja/admissions/ms.html
にて随時更新予定ですので、こちらをご覧ください。

ローレンツ祭へようこそ

6/14(Fri.)
@京都大学北部キャンパス
理学部5号館+Online

詳細→http://www2.scphys.kyoto-u.ac.jp/lorentz/

京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻



ローレンツ祭プログラム詳細

開催スケジュール

2024年6月14日(金)に開催されるローレンツ祭のスケジュールは次の通りです。対面を基本とし、オンライン併用にて開催します。

10:30〜10:40　専攻長挨拶　於 5号館第四講義室（525号室）
10:45〜15:50　オープンラボ (各研究室)
16:15〜17:45　特別講義　於 5号館第四講義室（525号室）
18:30〜20:30　研究交歓会　於 時計台記念館二階国際交流ホール
※オンライン参加の申し込みや質問フォームへの投稿などはすべてウェブサイトから行います。
http://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/lorentz/
※特別講義およびオープンラボの内容は続きをご覧ください。
※京都大学の学内・学外に関わらず参加できます。最新情報は上記ウェブサイトに掲載されますのでご覧ください。

物理学第一分野

[1] 10:45 - 11:30　[2] 11:40 - 12:25　[3] 13:15 - 14:00
[4] 14:10 - 14:55　[5] 15:05 - 15:50

研究室名	研究室紹介の内容	開催時間(対面◎、オンライン○)						場所	ページ
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	随時		
固体量子物性	研究室紹介[随時]、 デモ実験(途中参加可能)[1][3]	◎		◎			◎	135号室	4
量子凝縮物性	研究室と機材の紹介			◎	◎	◎		239号室	5
低温物理学	デモ実験[2][5]と研究室紹介[3]		◎	◎		◎		総合研究5号館 B01号室	6
量子光学・レーザー分光学	対面：研究室見学 オンライン：研究室紹介	◎	◎	◎	◎	 ○		212号室 オンライン	7
光物性	院生との歓談、 研究紹介(研究プレゼン、実験室紹介)	◎	◎	◎	◎	◎		121号室	8
光駆動固体物性（化研）	ポスターによる研究室紹介	◎	◎	◎	◎	◎		115号室	9
時空間秩序・生命物理	群れのキッチンサイエンス	◎		◎		◎		234号室	10
ソフトマター物理学	研究室の概要説明、二種のデモ実験	◎	◎	◎	◎	◎		226号室	11
生体分子構造（複合研）	スタッフによる各グループの研究紹介、 データ解析のデモンストレーション、 Q&A	◎	◎	◎	◎	◎		408号室	12
凝縮系理論	教員による研究紹介と学生による 研究室紹介・質疑応答	◎ ○	◎ ○	◎ ○	◎ ○	◎ ○		413号室 オンライン	13,14
物性基礎論：凝縮系物理（基礎研）	教員と院生による研究室紹介、 ポスターによる研究室紹介			◎ ○	◎	◎		基礎研202号室 オンライン	15
物性基礎論：量子情報 （基礎研）	研究室紹介 （希望者は個別に連絡を取り研究室見学）				◎			基礎研405号室	16
統計物理・動力学	分科の大学院生、 研究員による研究紹介、質疑など	◎	◎	◎	◎	◎		401号室	17,18
物性基礎論：統計動力学（基礎研）	研究室、研究内容についての紹介・ 相談および雑談	◎	◎	◎	◎	◎		[1][2]基礎研412号室 [3][4][5]基礎研410号室	19

特別講義

3名の先生方に30分ずつ講義をしていただきます。場所は5号館第四講義室（525号室）です。
Zoomでのオンライン配信も行います。

齊藤 圭司 氏 (物理学第一分野)	「熱力学第3法則をめぐる歴史と発展」	16:15 - 16:45
杉本 茂樹 氏 (物理学第二分野)	「強い力と弦理論」	16:45 - 17:15
前田 啓一 氏 (宇宙物理学分野)	「突発天体研究の新展開：爆発する天体の素性を探る」	17:15 - 17:45

物理学第二分野

研究室名	研究室紹介の内容	開催時間(対面◎、オンライン○)						場所	ページ
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	随時		
原子核・ハドロン物理学	院生による研究紹介、デモ実験、3Dプリンタの実演 院生の生活について、研究室紹介、質疑応答 (対面) 院生の生活について、研究室紹介、質疑応答 (オンライン)	◎ ○	◎	◎	◎ ○	◎		131号室 131号室 オンライン	21,22
素粒子物理学	院生による研究紹介、実験装置の紹介 (AXEL/CMB/DOSUE-RR)	◎	◎	◎	◎	◎		302号室	23,24
宇宙線物理学	対面: 院生による研究室紹介＋実験室見学 オンライン: 院生による研究室紹介	◎ ○	◎ ○	◎ ○	◎ ○	◎ ○		341号室 オンライン	25,26
核放射物理学（複合研）	教員や院生による研究室紹介と 実験装置の紹介	◎	◎	◎ ○	◎ ○	◎	◎ ○	418号室 オンライン	27
核ビーム物性学（複合研）	パンフレットやポスター展示などによる 研究紹介	◎	◎	◎	◎	◎	◎	408号室	28
素粒子論：物理学第二教室・ 素粒子論研究室	院生による研究室紹介 (15分程度)、 院生や教員による質疑 および雑談	◎		◎				501号室、502号室	29,30
素粒子論：基礎物理学研究所・ 素粒子論グループ	学生による研究室紹介、 教員による研究紹介			◎ ○	◎			基研206号室 オンライン	31,32
原子核論：物理学第二教室・ 原子核理論研究室	院生による研究室紹介、歓談 ※合同で開催	◎			◎			535号室	33,34
原子核論：基礎物理学研究所・ 原子核理論グループ		○			○			オンライン	35
天体核物理学：基礎物理学研究所・ 宇宙グループ	研究室紹介[2][4] 院生やスタッフが待機し、 学部生の質問や雑談に応じる[随時] ※合同で開催		◎		◎			[2][4]525号室	36
天体核物理学：物理学第二教室・ 天体核物理学研究室							◎	[随時]539号室	37,38
ビーム物理学:レーザー物質科学 （化研）	研究室紹介	◎	◎	◎	◎	◎		115号室	39
ビーム物理学:粒子ビーム科学 （化研）	研究室紹介	◎	◎	◎	◎	◎		115号室	40

宇宙物理学分野

研究室名	研究室紹介の内容	開催時間(対面◎、オンライン○)						場所	ページ
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	随時		
太陽物理学	教員による研究室紹介 （328号室、オンライン同時開催 各20分程度×5研究室を午前午後で1セットずつ） ポスターを用いた院生による研究紹介 (504号室、対面のみ　随時) ※全グループ合同で開催								42
太陽・宇宙プラズマ物理学		◎	◎		◎	◎		4号館3F会議室 328号室	43
恒星物理学		○	○		○	○		オンライン	44
銀河物理学		◎	◎	◎	◎	◎	◎	4号館5F会議室 504号室	45
理論宇宙物理学									46