

埼玉大学理学部 物理学科
埼玉大学大学院理工学研究科 物理学 PG
教員紹介

原子核実験

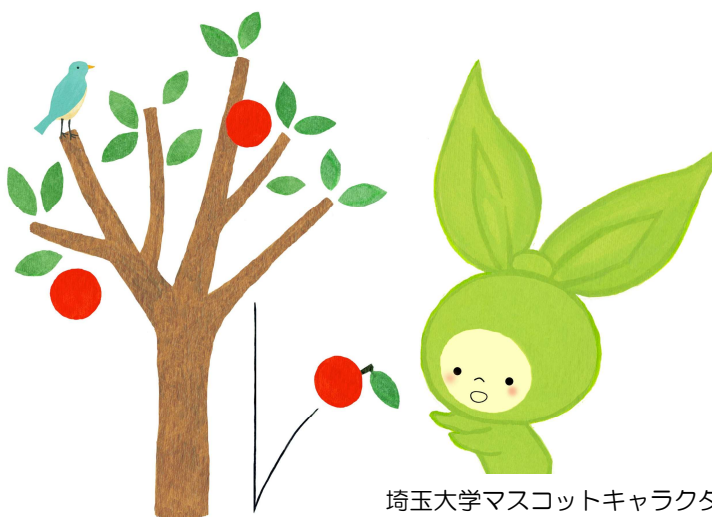
山口 貴之
長江 大輔

宇宙物理実験

田代 信
寺田 幸功
勝田 哲

物性実験

谷口 弘三
小坂 昌史
道村 真司
佐藤 芳樹



埼玉大学マスコットキャラクター
メリンちゃん

原子核理論

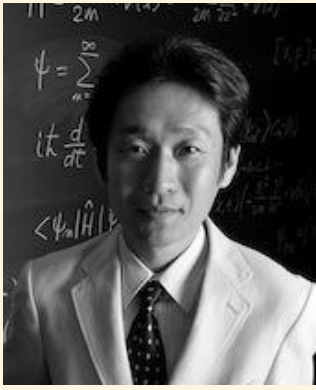
江幡 修一郎

素粒子理論

吉田 健太郎
青木 勝輝

物性理論

品岡 寛
道下 佳寛



山口 貴之 YAMAGUCHI Takayuki

教授 Professor

【専門分野】原子核物理学（実験）

【授業担当】

（学部）物理実験学 I、物理学実験 II、電磁気学基礎、電磁気学 I

（大学院）核物理学特論、放射線計測特論

▶ 研究内容

私のおもな研究は重イオン蓄積リングを用いた原子核物理学の実験です。加速器から提供される相対論的エネルギー（光速の50～80%の速度）の高速イオンビームを核反応によって自然界にない不安定な原子核ビームに変換し、そのまま蓄積リングに入射し貯め込みます。そして原子核の質量や寿命などを測定しています。

蓄積リング内で原子核は多価イオン状態になっているため、ユニークな現象が起こります。たとえば、ベータ崩壊では、放出される電子は通常、自由空間に飛び出しますが、電子をまとっていない原子核だけの状態では、放出電子が原子の軌道に捕らえられます。

このような過程は地球上では決して起きません。しかし、宇宙の星の中では、原子は高温高密度の状態にあるため、イオン化しており、このような過程が起こっていると考えられています。蓄積リングを用いれば、このような不思議な現象を実験室で調べることができます。

右図は理化学研究所に我々の研究グループが建設した新型の蓄積リングです。



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

宇宙の星の中で起こっている現象は、原子核の反応や崩壊です。蓄積リングを使えば、地上の実験室で、星の現象を調べることができます。上で述べた“特殊なベータ崩壊”もそうですが、とても、とても不安定な原子核の質量を超精密に測定すると、宇宙のはるか彼方に存在する『中性子星』のしくみを決定することもできるのです。

原子核物理学はさまざまな技術革命によって新しい時代に入りました。理化学研究所の加速器は世界一の性能を持っています。さらに原子核はいまだ数千個以上の未知のものが存在すると言われています。是非、私たちとっしょに研究しましょう。

また、海外の大型加速器施設を用いて実験すると、その国の人と仲良くなり、世界中に友人ができます。他国の文化を学ぶことはとても良い人生経験になります。

私にとってのサイエンスは、“Playing Field”です。

▶ 高校生の皆さんへ

▶ 私にとってのサイエンス



長江 大輔 NAGAE Daisuke

准教授 Associate Professor

【専門分野】原子核物理（実験）、小型加速器開発

【授業担当】

（学部）物理学実験 I

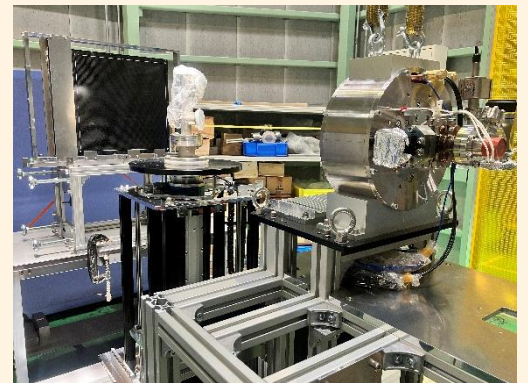
（大学院）核物理学特論、加速器科学特論

▶ 研究内容

原子核の質量を通じて原子核構造や元素合成過程に関する研究を行っています。原子核の質量は個々の陽子と中性子の質量の和よりも小さくなります。この質量の減少度合いが大きいほど陽子と中性子の結びつきが強くなり安定した原子核となります。系統的に質量を測定すると、どの原子核が強く結合していて、安定であるかが分かります。系統的な質量測定からは、ある原子核から陽子や中性子を1つもしくは2つ取り出すのに必要なエネルギーも導き出すことが可能です。また、このエネルギーが負になると原子核として存在できないため、原子核の存在限界を探ることも可能です。質量は、重い元素の合成に関与する中性子捕獲反応、光分解反応、ベータ崩壊といったすべての反応において、反応速度を決める物理量であり、「身の回りにはある元素、特に金や白金などの重い元素がどこでどのようにして合成されたのか？」という謎の解明にも役立ちます。

私が質量測定の主な対象としている原子核は、重い元素の合成に関わっていると考えられている原子核です。これらの寿命は数十ミリ秒以下と非常に短いため、短時間で高精度に質量を測定するために、世界で3番目となる重イオン蓄積リングを開発して、質量測定を開始しました。多くの原子核の質量を測定し、安定性や反応速度を決定することによって、核構造・元素合成の解明に寄与できればと考えています。

また、イオン源や加速器技術の社会実装を目指して、小型の加速器の開発にも取り組んでいます。現在手がけているのは、電子加速器を利用した高エネルギーX線CTシステムの開発（右図）で、企業と共同で開発を進めています。



研究って、なんだか難しそう？と思うかもしれませんが、たしかに計算や実験がうまくいかなかったりして、大変なこともあります。それでも研究って楽しいんです。なぜなら、自分がこれまでに学んできた知識を、ぜんぶ使って挑むから。授業で習った物理、化学、数学、……それらを一つに結びつけて、「なぜ？」に立ち向かう。まさに、知識の総動員。教科書の先にある世界に、一歩足を踏み入れる——そんな瞬間は、本当にワクワクします。

わかると面白い。考えるって意外と楽しいと思わせてくれるもの。

▶ 高校生の皆さんへ

▶ 私にとってのサイエンス



田代 信 TASHIRO Makoto

教授 Professor

【専門分野】宇宙物理学（宇宙観測衛星や地上の望遠鏡をつかった、ブラックホールなど高エネルギー天体観測）

【授業担当】

（学部）相対論、物理学実験 II

（大学院）宇宙物理学特論、高エネルギー宇宙物理学特論

▶ 研究内容

宇宙で一番明るい「星」（＝天体）を研究しています。

瞬間的に明るい星のナンバーワンは、ガンマ線バーストと呼ばれる現象です。大きな星が核燃料を使い果たすと、最後に崩壊しブラックホールになります。そのとき、最後にすべての重力エネルギーを解放し、爆発的に輝きます。ほんの10秒ほどで解放するエネルギーは、太陽のような恒星が100億年をかけて放出するエネルギーの総量に匹敵することもあります。一方、継続的に明るい星のナンバーワンというと、それは活動銀河核とよばれるもので、さまざまな銀河の中心に存在します（私たちの銀河系の中心にもありました）。

これらの宇宙一明るい天体のエンジンは、いずれもブラックホールです。星が崩壊するときや、銀河の中心にある巨大ブラックホールが周りの星を吸い込むときに、吸い込まれる物質がもっていた重力エネルギーが解放されます。これが強烈な輝きをつくり、その輝きは、とくにX線やガンマ線という高エネルギー光子として観測されます。私たちは、人工衛星に JAXA や NASA の人たちと一緒に開発した X 線望遠鏡を搭載し、軌道上からそんな高エネルギー天体を観測して、宇宙の歴史やブラックホールの性質などを研究しています。



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

人工衛星をつくって運用するというのは、研究者と宇宙機関や企業の技術者が協力して実現する大きなプロジェクトです。史上最高の性能をもつ世界でただ一つの望遠鏡を宇宙に送る。世界の人々がそれを使って、人類がこれまで見たことのない宇宙の様子を見る。立場も得意分野も異なる人たちが、何年も一緒に努力を続けた果てに、その目標にたどり着きます。

宇宙物理学は、ほかの物理学実験とちがって、人間が積極的に実験条件を決めることができません。推理小説の名探偵が、わずかな証拠から犯行現場を再現してみせるように、自然がおこした現象を謙虚に見つめ、ひとつひとつ論理的に証拠を積み上げて、何が起きているのか解き明かします。世界の研究者と、宇宙から苦勞して手に入れた証拠を前に、あーだこーだと議論して、すこずつ宇宙を理解していくというのは、とてもスリリングだと思いませんか。

自分の生まれ落ちた宇宙を少しでも理解したい。それをみんなと共有したい。そんな思いを、限られた時間と能力で可能な限りかなえてくれそうなものが、私にとってのサイエンスです。

▶ 私にとってのサイエンス



寺田 幸功 TERADA Yukikatsu

教授 Professor

【専門分野】宇宙物理学（国際科学衛星や地上望遠鏡を用いた高エネルギー天体観測・衛星搭載天体観測機器開発・ガンマ線望遠鏡開発）

【授業担当】

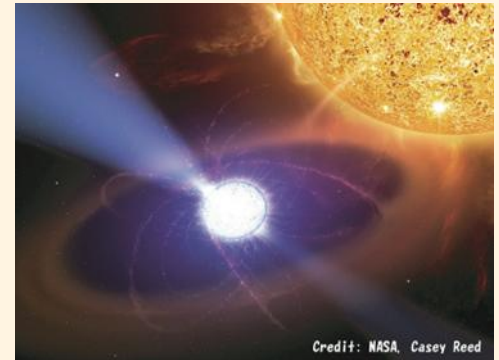
（学部）宇宙物理学、物理学実験 II・III

（大学院）天体物理特論、宇宙物理学実験特論

▶ 研究内容

宇宙の活動的な姿を観測し、地上では到達し得ない極限状態の物理学を探究しています。太陽をはじめとする恒星は、核燃焼を経て年をとると、超新星爆発を起こして死んでしまいます。そこに残された高密度天体は、地上では達成できないような密度、温度、磁場強度などをもち極限的な状態にあります。一般相対論が強く効くブラックホールもその一員ですし、超強磁場中性子星もその仲間です。人類が地球上で作り上げてきた「物理学」が適応できるか、興味深いですし、極限状態ゆえに地上では目に出来ない不思議な現象も目にすることができます。

右の図は、我々が発見した白色矮星パルサーの想像図で、発見以来 100 年来の謎である「宇宙線粒子の起源」に迫る現象が観測されました。これは NASA のホームページで取り上げられ、NHK や各紙新聞にも掲載されました。我々が興味をもつ活動的な天体は、地球から遠方にあるため、天体まで行って計測する、という手法はとれません。天体から発せられる「光」を手がかりに、その物理状態を探ります。現代は目で見える光だけでなく、エックス線やガンマ線といった目で見ない光でも観測できる時代です。我々の研究室ではこれらの科学衛星や巨大望遠鏡群の開発も行っています。



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

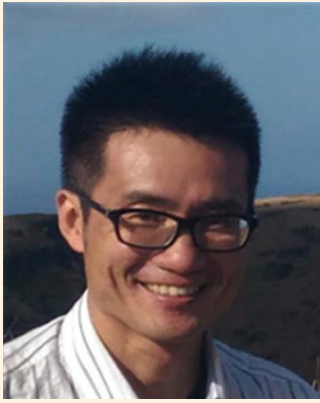
私が開発に携わる日本の科学衛星（エックス線観測衛星）も、ヨーロッパのガンマ線望遠鏡群 CTA 計画も、人類が世界で一台だけ持つことが許された超巨大な科学ミッションで、多くの国の科学者が開発に参加しています。サイエンスではお互い良きライバルでありながら、観測装置の開発では、志を同じくする者が国籍やグループを超えて知恵を出し合い、最高の天文台を建設します。いろいろな文化の違う科学者が一丸となる姿はたいへん面白く、稼働したときの達成感はたまりません。

▶ 高校生の皆さんへ

宇宙は人類が想像するよりも奇妙です。現代物理の最先端の知識をもってしても理解できない現象が山ほどあります。最新鋭の観測装置でより精密により深く観測すればするほど、理解は進みますが、同時に、謎も深まる世界です。世界最先端の技術を扱い現代物理学を駆使して君たちが「楽しめる」世界はまだまだひろがっています。共に楽しんでいきましょう。

▶ 私にとってのサイエンス

「知的好奇心」を原動力に、先人が解けなかった謎に迫る過程そのものが、私にとってのサイエンスです。またその過程で得た知識をたくさんの人と共有できればと願っています。



勝田 哲 KATSUDA Satoru

准教授 Associate Professor

【専門分野】宇宙物理学（宇宙観測衛星や地上の望遠鏡を用いた、超新星残骸など高エネルギー天体観測）

【授業担当】

（学部）物理学実験 I・II

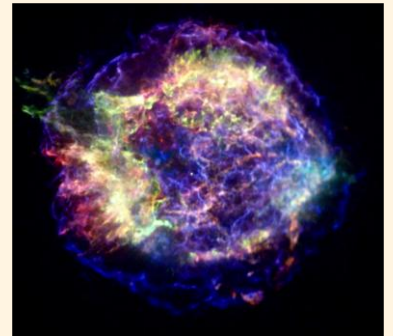
（大学院）観測宇宙物理学特論 II、宇宙科学特論

▶ 研究内容

超新星残骸

という天体を研究しています。恒星は、その長い一生の最期に「超新星爆発」と呼ばれる大爆発を起こして木っ端微塵に吹き飛びます。超新星爆発は、一つの銀河の中で百年に1回程度しか発生しない稀有な天文現象です。しかしひとたび我々の銀河系内で発生すると、その凄まじい爆発エネルギーのため、その痕跡が花火のような美しい星雲として数万年観測され続けます。これが超新星残骸と呼ばれる天体で、天の川銀河には若く小さいものから年老いた大きいものまで数百個確認されています。

超新星残骸はその美しい姿で天文ファンを魅了するばかりでなく、宇宙物理学上とても重要な役割を果たしています。超新星残骸は、身の回りに存在する80種類程度の元素の主要な供給源です。また、宇宙に飛び交う超高エネルギー粒子「宇宙線」の主要な加速現場と信じられています。さらに、超新星爆発の仕組みを解き明かす貴重な実験室という側面もあります。我々は、超新星残骸から発されるいろいろな波長の光を最新鋭の機器で観測することで、宇宙物理の様々な問題の解明に挑戦しています。



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

人類は、長い歴史の中で超新星爆発を何度も目撃し、その明るさや方角を記録してきました。古文書を紐解くと、史上一番明るかった超新星は、西暦1006年に発生したものであることがわかります。その最大光度は満月の1/4にも達し、昼でも確認できたそうです。この超新星は発生から数年で肉眼では見えなくなりましたが、我々は現代の至高の観測装置によりその痕跡を詳細に研究できます。その結果、この超新星残骸までの距離を約5000光年と突き止めました。つまり、この超新星爆発は今から6000年前(縄文時代)に、遥か5000光年彼方で発生し、その光が地球に届いたタイミングが西暦1006年(平安時代)だったのです。このような例からも、宇宙の時空間の大きさを実感できるのではないのでしょうか。

練習問題をたくさん解いて解答テクニックを磨くのも大事ですが、その中で物理法則の本質をきちんと理解しましょう。

解くべき課題が山積みしている謎に満ちた世界です。

▶ 高校生の皆さんへ

▶ 私にとってのサイエンス



谷口 弘三 TANIGUCHI Hiromi

教授 Professor

【専門分野】物性物理学

【授業担当】

(学部) 熱力学, 量子物理学, 物理学実験 II・III

(大学院) 有機導体特論

▶ 研究内容

伝導性有機物の研究を行っています。有機物は通常は、電気を通さない絶縁体ですが、ある種の工夫をして物質をつくりあげると電気を流すようになります。さらに、一部の物質では、超伝導や磁性を示すこともあります。そういった状態は、金属状態も含めて物理学の研究対象となっています。

伝導性有機物の特徴の一つとして、やわらかいという性質があります。これは、この物質が有機分子からなり、有機分子が弱い分子間相互作用によって、凝集し固体になっているためです。この性質により、有機物では、弱い圧力を印加しただけで、性質が劇的に変化することがあります。例えば、ある物質では、常圧では磁性を持つ絶縁体ですが、300 気圧程度の圧力をかけると超伝導になります。300 気圧というのは、高い圧力に思われるかもしれませんが、固体の電子状態が 300 気圧で絶縁体から超伝導になるというような現象は無機物では起こりえません。無機物では、少なくとも、その十倍以上の圧力が必要です。このような特徴があるため、金属絶縁体転移はどのようなメカニズムによって生じるのか、また、絶縁体からなぜ超伝導が出現するのかといった疑問に対して、圧力効果を武器として、研究を進めています。

▶ ちょっとおもしろい研究のお話

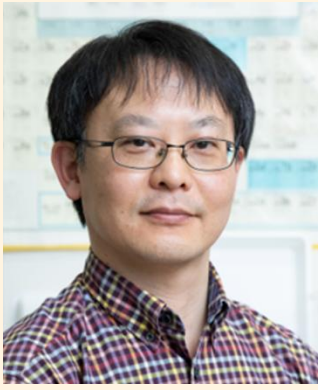
我々の研究対象の伝導性有機物は分子性物質です。無機物は原子から成りますが、この有機物は有機分子から成ります。原子の種類は、118 種類ですが、分子の種類は約 1500 万種類です。もちろん 1500 万種類のすべての分子が伝導性有機物の材料になるわけではありませんが、無機物に比べると圧倒的な物質の広がりがあります。

▶ 高校生の皆さんへ

大学の物理は、特に低学年では、高校の延長であるという側面もあるものの、研究室では、答えがあるかどうか分からないものに挑戦するという高校物理にはない体験をします。物理の知識や理解は、いっそう重要になってきますが、研究では、継続的な熱意が大切になってきます。高いモチベーションを持つことがなにより重要です。

▶ 私にとってのサイエンス

科学の目的は真理の探究ですが、科学に携わると、その過程がおもしろくなってきます。大小、さまざまな壁が出現しますが、それらをクリアしていく過程で喜びや充実感が得られます。



小坂 昌史 KOSAKA Masashi

教授 Professor

【専門分野】物性物理 物質中の電子状態を様々な環境下（低温・強磁場・高圧力）で調べている

【授業担当】

（学部）固体物理学 I・II、振動・波動、物理学実験 III

（大学院）希土類化合物特論、極限環境物性特論

▶ 研究内容

物質の示す性質の大部分は電子が担っていると言っても過言ではありません。金属、半導体、絶縁体など伝導特性に物質中の電子が係わっていることは想像しやすいのですが、磁石に付く、付かないといった性質も電子の運動がその起源になっています。私たちはその磁気的な性質を磁性と呼び、様々な手法を駆使して物質中の電子状態を調べています。

磁性と言ってすぐ頭に浮かぶのは、室温で磁石に付く強磁性体である鉄・コバルト・ニッケルが属する遷移金属元素ですが、希土類元素も強い磁性を有する元素群です。希土類とは La（ランタン）から Lu（ルテチウム）の 15 種類に Sc（スカンジウム）と Y（イットリウム）を加えた 17 種類の元素群の呼称です。希土類の特長は磁性を担う電子軌道が原子核の周辺に存在しているため、外側からの影響を受けにくい点にあります。そのため、遷移金属とはまた違った磁性が現れ、その特長が生かされた永久磁石などが我々の日常生活で用いられています。当研究室では、希土類の中でも特に Yb（イッテルビウム）、Ce（セリウム）、Eu（ユーロピウム）に注目しています。通常、希土類は物質中で 3 価の陽イオン状態を取りますが、上記の元素はそれに加え Yb²⁺、Ce⁴⁺、Eu²⁺などの価数状態を取り得ます。このような元素を含む金属間化合物では、磁性を担う 4f 電子と伝導電子の混成を通じて、電子の有効質量が自由電子の 1000 倍にも達するものが存在し、格子振動を媒介にした従来型とは異なる超伝導状態を示す物質も多数報告されています。これらの物質の詳細な研究を行うためには純良な結晶試料、特に結晶方位に関する異方性の情報が得られる単結晶試料の作成が大事です。我々は、新物質の単結晶試料の作成に力を入れた研究開発を行っています。希土類元素の Yb, Eu は蒸発しやすいため、結晶試料を作成するに当たり密閉空間に封じ込めて熱処理する必要があります。我々は高融点金属であるモリブデンやタングステンで試料容器を作製し、その中に試料原料を密閉する方法を取っています。図 1 はそのモリブデン容器を高周波炉にて加熱している様子です。この方法以外にも、低融点金属である錫、鉛、リチウムなどを溶媒としたフラックス法やヨウ化カリウムなどを輸送剤とした化学輸送法で純度の高い単結晶試料の作成を行っています。

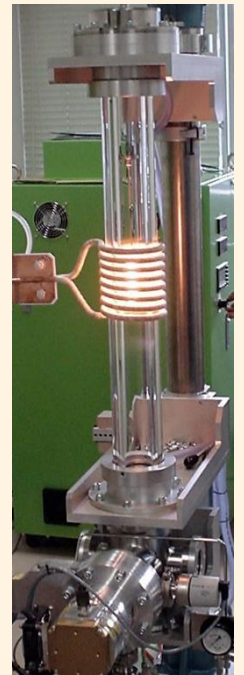


図 1. 高周波溶解炉

図 2 はこれまでに研究室で作成した単結晶試料の一部であり、どれも単結晶試料としては世界初になります。元素の組み合わせ方は際限なくあります。まだまだ新奇な電子状態を示す物質が発見されるのを待っているはずであり、物質探索に邁進する日々です。

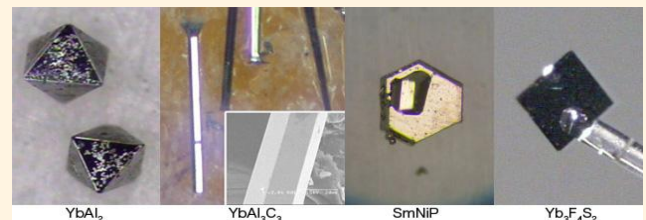


図 2. 研究室で作成した希土類化合物の単結晶試料の写真

研究を進める上で、壁にぶつかる時がよくあります。そのとき、ブレークスルーをもたらすアイデアを提示してくれるのはその物質を担当している大学生や大学院生達です。先入観にとらわれない、柔軟さにはいつも驚かされます。物性分野は個人の工夫で打開可能な場面が多く訪れ、研究を主導している実感がより湧きます。皆さんに興味を持っていただけたら幸いです。

▶ 高校生の皆さんへ



道村 真司 MICHIMURA Shinji

准教授 Associate Professor

【専門分野】希土類金属間化合物の磁性と伝導

【授業担当】

(学部) 物理学演習 IIA、物理学実験 I・II、電磁気学 II

(大学院) 磁性物理学特論、無機磁性特論

▶ 研究内容

金属化合物、特に希土類のもつ多彩な磁性を中心に研究しています。希土類金属化合物では、スピンだけでなく電荷や価電子の軌道がその物質の磁性や伝導のみならず熱電物性にも影響を与えています。これらの物性の起源は何なのか？例えば、ネオジウム磁石はなぜ強い磁力をもつのか？その理由が理解できれば、もっと強い磁石の開発にも繋がります。

我々の研究室では、これまで物性が調べられていなかった物質や全く新しい金属の純良な結晶を自分で作製し、その物質の磁力や電気抵抗、比熱を調べて、未知の物性を探しています。私は特に価電子の軌道がどのように磁性に影響を与えるかを研究しています。写真は最近作製した不純物のない純度 100%の結晶です。この物質は低温で磁性や伝導が変化し、価電子の軌道が整列すると予想されています。現在はその物質の結晶構造が磁性とともに変化するかしないのか。変化するならばどのように変化するかといった基礎的な物性を調べている所です。また、実験では電気抵抗などの現象からその起源を考察するだけでなく、その考察を裏付けるために、実際に X 線や中性子を利用して物質の中のスピンや価電子の軌道を直接観測します。



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

特に、これといった体験談は思い浮かびませんが、「大きい」とか「強い」とか「ちょっと」とかの表現が気になります。大きいなら何に比べてどのくらい大きいの？とか、ちょっとは人によって基準が違うからもっと具体的な数字を出して！と思います。その辺が気になるのは理系だから良いのでしょうか？

▶ 高校生の皆さんへ

研究することの動機に難しいことは不要です。なんでそうなるのかが「気になる」か「気にならない」かだと思います。私の場合は、高校の頃からというよりは大学の研究室で卒業研究を履修して気になり始めました。とくに物性研究の実験分野は、実際に手を動かさなければ始まりません。何事もスタートはとにかく実行することだと思います。大学に進学するしないに関わらず、色んな体験をしてみたら如何でしょうか。

▶ 私にとってのサイエンス

物質を自分で作り出し、世界で初めてのデータを出すのは幾つになってもワクワクします。さらに物質のもつ特性を納得できた時は素直にうれしいです。その結果を社会にしっかりとフィードバックすることで科学技術の進歩に繋がると考えています。



佐藤 芳樹 SATO Yoshiki

助教 Assistant Professor

【専門分野】物性実験・物性物理学

【授業担当】

(学部) 物理学実験 II

(大学院) 固体電子物性特論

▶ 研究内容

キラルな結晶構造（右手と左手の関係に対応する結晶構造をもつ）や空間反転対称性の破れた結晶構造（ひっくり返しても元通りにならない結晶構造）など、特徴的な結晶構造を持つ金属間化合物の物質開発・単結晶育成・物性測定などが主な研究内容です。特に電子が強く関連した強相関電子系の磁性や超伝導などに興味を持っています。

周期表の下の方に位置している希土類元素（Ce や Yb など）やアクチノイド元素（U や Pu など）からなる化合物は、興味深い磁性を示すとともに、強相関電子状態を示す物質群です。主に、希土類元素を含む金属間化合物の新物質探索や単結晶の育成に取り組んでいます。また、最近では、磁性を持たない元素からなる化合物における特徴的なエネルギーバンド構造（ワイル分散やフラットバンドなど）に起因する異常な輸送特性にも興味を持って研究を進めています。

結晶育成の装置や物性測定の測定系などは、ベースは市販の装置の時もありますが、自分たちで色々と改良・工夫をしながら研究を進めています。

▶ ちょっとおもしろい研究のお話

身の回りには金属や半導体・磁石など様々な特性を持つ物質がありますが、それらの物質の多彩な特性の多くは、固体中の電子の状態によって引き起こされます。小さな電子の状態が分かれば、物質全体の性質も理解できるというのはちょっと面白いかなと思います。

▶ 高校生の皆さんへ

高校生の頃はロケットや航空機の開発をしたくて工学部の機械系の学科に進学しましたが、気付いたら物理学の人間になっていました。高校生に限りませんが、自分の好奇心を大切に、色々なことに興味を持って取り組むことが大切かなと思います。

▶ 私にとってのサイエンス

半分趣味で半分仕事。。。のような気がします(?)



江幡 修一郎 EBATA Shuichiro

准教授 Associate Professor

【専門分野】原子核理論物理学

【授業担当】

(学部) 量子力学 III、量子力学 III 演習

(大学院) 核物理学特論、原子核多体問題特論

▶ 研究内容

核力が働く有限量子多体系の物理

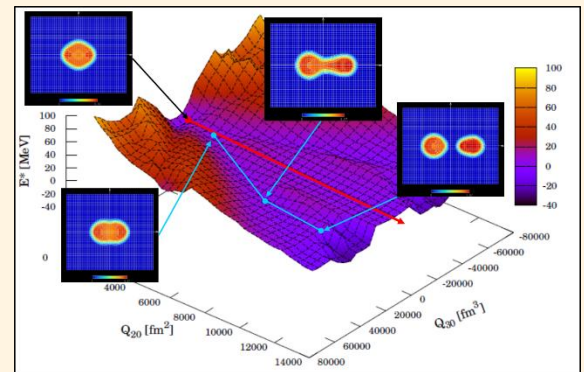
私は原子の中心にある原子核を理論的に研究しています。原子核は原子の 10 万分の 1 の大きさで、中性子と陽子と呼ばれる粒子が数百個集まって出来ている自己束縛系です。非常に微細なシステムで、量子力学が支配する世界です。そんな有限量子多体系は、特別な中心が無いにも関わらず、数百体の個性が干渉して、秩序・構造を作っています。この原子核構造を理論的に記述する事が原子核理論物理学の目的です。

原子核構造を理解する事は、原子核の基底状態(エネルギーが一番低い安定な状態)だけでなく様々な励起状態を説明出来る事を意味します。多体系における励起状態には、構成粒子(中性子や陽子)の単位にするものだけでなく、数個のサブグループ(例えばアルファ粒子:中性子 2 個, 陽子 2 個)が単位になったり、系全体が一斉に運動する、大振幅集団運動などが現れます。

最近、私は核分裂現象に焦点を当てて研究をしています。核分裂現象は大振幅集団運動の一つです。分裂する際に、系のエネルギーを低く安定化する為に、粒子や放射線(ガンマ線やベータ線)が放出されます。原子核構造を理解すると、どんなエネルギーの放射線がどれだけ出てくるか予想する事が出来ます。また原子力発電所で生成される高レベル放射性廃棄物の生成量も予測できる様になります。出来てしまった超長寿命の放射性原子核に何らかの応答を加えれば、安定な原子核に変換する事が出来るかもしれません。

原子核は有限量子多体系を理解する為の代表的な系であり、応用例も多岐にわたるユニークな系です。

核分裂する原子核の変形に対するポテンシャル



▶ ちょっとおもしろい研究のお話

原子核研究の応用例は、原子力発電だけではなく、医療分野にもあります。例えば MRI は核磁気共鳴、PET は陽電子の放出と対消滅、重粒子線治療では、荷電粒子を加速させて応用します。一方で、宇宙に分布する元素組成は核反応の結果です。鉄よりも重い元素のほとんどは多量の中性子の吸収過程によって生成されると考えられています。近年観測された重力波は、中性子だらけの高密度天体(中性子星)の衝突によって引き起こされたと考えられています。様々なスケールに原子核研究の対象があります。

▶ 高校生の皆さんへ

皆さんの身の周りにある、機械や技術、サービスをどこまで説明できるでしょうか？ 今あるものは、何かの問題を解決する為にあるはずで、原因を理をもって説明する力はどんな時にも重要です。周りにある“問題”だったものに気づきましょう。

▶ 私にとってのサイエンス

本来はエンターテインメントの類



吉田 健太郎 YOSHIDA Kentaroh

准教授 Associate Professor

【専門分野】素粒子論、超弦理論、数理物理

【授業担当】

(学部) 物理数学 I、量子力学 II、量子力学 II 演習、物理学演習 IB

(大学院) 素粒子論、弦理論特論

▶ 研究内容

物質の究極の構成要素はなにか？その要素のダイナミクスを支配する方程式はなにか？こんな壮大な質問に対する答えを探求するのが素粒子論です。そんな究極理論の有力な候補と目されているのが超弦理論です。

この超弦理論の研究には様々な方向性があります。その中でも、わたしが特に興味を持って研究しているのが、ゲージ理論と重力理論の双対性(等価性)で、ゲージ・重力対応と呼ばれています。物質を構成する極小の構成要素であるクォークやレプトンを記述するゲージ理論と天体の運動や宇宙の進化という巨大なスケールにおける物理を記述する重力理論が、ある種のセットアップでは等価になるという恐るべき予想です。

現在、この双対性はホログラフィー原理に基づいて理解されていますが、この原理がどのような状況で、どのような機構で発現するのかなど、理解されていないことは数多く残されています。このような問題に対して、数理物理的な側面に注目して、答えを探っていきたいと考えています。

ホログラフィー原理の基礎的な機構の解明は、重力の量子論、初期宇宙における物質の様相、暗黒エネルギーの正体など、長年の大問題に対しても新たな知見を与えてくれると思います。

▶ ちょっとおもしろい研究のお話

物質の究極の構成要素を研究するのが素粒子論ですが、それは我々の宇宙の始まりを理解することにもなります。それは、観測の結果、我々の宇宙は膨張を続けていることがわかっており、逆に時間をたどっていけば、非常に小さな状態から宇宙は始まったと考えられるからです。極小の要素の研究から超巨大な宇宙の始まりがわかるなんて面白いと思いませんか？

▶ 高校生の皆さんへ

我々の日常生活において、身の回りに物理が満ち溢れています。お弁当を温める電子レンジには電磁気学と量子力学、スマホなどに付いている GPS の機能には相対論が応用されています。身近な物理をよりよく理解して、日々の生活をより豊かにするとともに、新しい物理を探索することの面白さを想像してみてください。

▶ 私にとってのサイエンス

物質の究極の構成要素を支配する方程式の探求



青木 勝輝 AOKI Katsuki

准教授 Associate Professor

【専門分野】重力理論、宇宙論、素粒子論

【授業担当】

(学部) 物理数学 I、物理学演習 IIA、物理学実験 II

(大学院) 理論的宇宙論

▶ 研究内容

宇宙はどう誕生して、どう進化してきたのか？ブラックホールとは何か？時空とは何か？重力・宇宙論とは、時空自体のダイナミクスを探る学問であり、宇宙の起源・進化・構造がその主な研究対象です。私は宇宙膨張やブラックホールの合体といった極限現象の理解と、それらの背後にある基礎法則の探究を大きな目的として研究しています。具体的な研究課題としては、散乱振幅や有効場の理論といった素粒子論の手法を重力・宇宙論へ応用する研究を主に行っています。

なぜ宇宙という極大スケールの理解に、極小の物理である素粒子論が役立つのでしょうか？これには2つの理由があります。一つは、宇宙は進化の過程でスケールを変えており、宇宙初期の高温・高密度環境では素粒子の物理が重要になります。もう一つは物理学の普遍性のためです。一見異なるスケールや物理現象においても、有効な物理法則が同じ普遍的な数学構造を共有し、異なる分野の手法がまったく別の研究に役立つことがあります。しかし、記述が全く異なる2つの物理の間に共通点を見つけることはそんなに簡単ではありません。最初から見かけ上の違いを排除し、普遍的な構造から直接物理を理解することはできないのでしょうか？

これこそが現代的な散乱振幅研究が目指していることです。ここでは運動方程式やラグランジアンといった見かけに依存する記述は出発点ではありません。出発点となるのは物理学におけるより根本的な要請——ユニタリティ、局所性、対称性——であり、その不可欠な要素だけを使って物理学を一から再構成します。その好例が重力波物理学への応用です。ブラックホールはもはや粒子と同じです。すると、ブラックホール連星の運動・合体や重力波放射という宇宙物理の問題を、素粒子の散乱問題として定式化できます。そして最先端の散乱振幅手法を用いることで、従来手法を超える精度での計算が可能になってきました。こうした研究を通じて、私は宇宙とその物理法則をより根本的な原理から理解することを目指しています。

▶ ちょっとおもしろい研究のお話

素粒子とは、現在我々が知っている物質の最小単位です。素粒子の間の力は最もシンプルな結合（最小結合）で説明されます。一方ブラックホールとは、強い重力によって光すら逃げられない、宇宙で最も極端な天体の一つです。ところがそんなブラックホールも、散乱振幅の視点から見ると最小結合で記述されることがわかってきました。地球や太陽、中性子星などの他の天体にはない、ブラックホールだけがもつ特別な単純さです。ブラックホールとは、宇宙最大の「素粒子」なののでしょうか？

▶ 高校生の皆さんへ

理論物理学者に酪農の経営改善を相談すると、牛を球とみなすことから始まります。これは理論物理のアプローチに対する有名なジョークですが、本質を探るという理論物理の心を上手く言い表しています。様々な研究がありますが、斬新で、かつ長く残る研究というのは往々にして本質を端的に突いたものです。皆さんも恐れず牛を球とみなしましょう。

▶ 私にとってのサイエンス

「巨人の肩の上に立つ」という言葉を思い出しました。少しでも誰も見たことがない景色を見ることができたらと思います。



品岡 寛 SHINAOKA Hiroshi

教授 Professor

【専門分野】計算物理学・物性理論

凝縮系における相転移現象（磁性・超伝導など）の計算機を使った研究

【授業担当】

（学部）力学 I、物理学演習 IA、統計力学 I・II、統計力学 II 演習

（大学院）物性物理学特論、計算物理学特論

▶ 研究内容

結晶中にはほぼ無限に等しい数の電子が存在しています。それら多数の電子が互いに相互作用しあうことで、単独の電子とは全く異なった集団運動を示します。超伝導や強磁性などの相転移現象は、その典型例です。まだまだ理解できない現象は残されており、近年でもトポロジカル相など従来知られていなかった新しい現象が発見されています。

私の専門分野は、特に計算機を使った物性理論の研究です。特に、新しい計算理論やアルゴリズムを開発し、C++などのプログラミング言語を使った並列計算用ソフトウェアを開発しています。それら独自の手法と巨大なスーパーコンピュータを駆使することで、計算機上でまだ理解できていない物理現象の解明に挑んでいます。

手法の開発やソフトウェアの開発には、日本国内に加えて、世界中の研究者と協力して取り組んでいます。個々の問題に興味がある人が集まって、臨機応変に共同研究をする感じです。そのため、巨大なチームの一員として働くわけではなく、個人研究としての魅力も兼ね備えています。ヨーロッパ、アメリカなど世界中に散らばっている研究者と共同研究を進める中で、多彩な文化に触れられる点も魅力です。

最近では、機械学習など急速に発展している情報処理の技術を物性理論に応用する試みに乗り出しています。物理学者だけでなく、それら他分野の研究者とも協力して研究を進めています。

▶ 高校生の皆さんへ

コンピュータと物理の両方に興味がある人にとって、計算物理学は魅力的な活躍の場所です。

▶ 私にとってのサイエンス

難しい問題に長い間取り組んでいるうちに、思いもよらなかった答えを思いついた快感は何物にも代えがたい物です。



道下 佳寛 MICHISHITA Yoshihiro

助教 Assistant Professor

【専門分野】強相関電子系・開放量子系・非線形応答・強化学習

【授業担当】

(学部) 統計力学 I

(大学院) 多体物性特論

▶ 研究内容

物質の性質の大部分は電子が決めていると言って良いと思います。物質の種類によっては、電子が原子核の周りの非常に小さな領域に分布する事があり、その場合その領域に電子が2つ存在すると、両者の間に強いクーロン相互作用が生じます。この相互作用と物質中の多数の電子により、物質は実に多彩な物性相・電磁応答そしてそれらの特異な温度依存性を見せます。この性質を解明する、もしくは実社会に有用な物質相・電磁応答を設計する事を目的とした物理学の分野が強相関電子系と呼ばれる分野であり、私の専門の一つです。近年はレーザー技術の発展や、高周波整流素子への応用の期待から非線形応答(例えば光を直流の電流に変換するような電磁応答)が注目されています。強い応答が取り出せたほうが実用上ありがたいのですが、固体の非線形応答においては難しいのが現状です。一方で実験的には強相関電子系において比較的巨大的な非線形応答が見つかっていて、ただし理論的な取り扱いの難しさから、理論的にはまだまだ研究が進んでいないような状況です。そこに様々なテクニックを用いたり、ある種「ズル」をしたりする事によって、アプローチをしています。

また私の興味自体は、強相関電子系にとどまりません。この分野で発達してきたテクニックはその他の分野でも非常に有用であり、例えば強化学習の理論でも類似のものが存在します。このように物理で育まれてきたテクニックを別分野に輸出・逆に輸入する事で、新たな手法・理解を開拓しています。いろんな物に興味を持っています。

▶ ちょっとおもしろい研究のお話

各々が相互作用する量子多体系は(特殊な例をのぞいて)人類には手に負えないので、ある種の「近道」(近似)を行く事でその本質を理解しようとしています。「近道」の種類によっては取りこぼしてしまう本質もあり、理論の開拓はある種新たな近道の発見です。ゲームの RTA のルート開拓みたいな感じです。色々な楽しみ方がありますよ。

▶ 高校生の皆さんへ

皆さんは現在物理で力学や電磁気学を学んでいると思います。例えば坂を転がるボールを質点とみなして、運動方程式を解いたりすると思うのですが、実際ボールはある原子・分子をたくさん含んだものであり、その中では電子が量子的な状態をとっているわけです。じゃあ、高校で学ぶ物理は間違いで、大学で量子力学を勉強したら必要なくなるのかといえば、実はそんな事はありません。物理学においては、注目すべき物理現象の時間・空間スケールに応じて、その本質的な要素を抽出した有効模型(有効的な運動方程式)を使い分ける事をよく行います。ボールが転がるような現象の時間・空間スケールにおいて、皆さんが学んでいる力学は非常に有用な有効模型です。これだけ聞くと各論のような気がして、つまらないものになってしまうかもしれませんが、しかし、様々なスケールでの一見異なる有効模型において、本質的には同様の(しかしスケールは異なる)現象が発現します。これが物理学の普遍性です。この普遍性を最大限に美味しく味わうのが物性物理学です。物性物理学はいいぞ。

風呂に入る・歯磨きをするようなもので、毎日生活の中にあると快適に生きられます。

▶ 私にとってのサイエンス