

SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

The Rigakubu News

# 理学部ニュース

東京大学 **09** 月号 2023

未来へのとびら  
大陸を探して—  
生命のような  
化学系の探求

理学の研究者図鑑  
村尾 美緒

理学エッセイ  
在外学問のすゝめ

理学のススメ  
生きた化石ソテツに見る  
受精機構進化の足跡

理学の謎  
ダークマター：  
宇宙の主なる  
物質の正体は？

トピックス

大越杯：  
全学レベルの研究室対抗サッカー大会で  
研究室間の交流を深める

学部生に伝える研究最前線  
「宝の山」の博物館標本から  
三億年前の「怪物」の正体を探る



# 09 理学部 ニュース 月号 2023

1910年頃に理学部数学教室が輸入したドイツ製の幾何学模型の一つ「3次曲面上の27本の直線」(数理学研究科所蔵)。石膏で精密に形成された曲面上に直線が描かれている。



表紙・裏表紙 Photo Koji Okumura (Forward Stroke Inc)  
P. 10 Photo 貝塚 純一

今年の夏はとても暑かったですね。まだまだ暑いですが、暦の上ではセブテンバー、読書の秋に理学部ニュース2023年9月号をお届けします「理学の研究者」ってどんな人でしょうか？昨年からはまった「研究者図鑑」では、研究者の人柄を身近に感じ取れます。また、研究者といえば世界中を飛び回るイメージですが、本号「理学エッセイ」と「未来へのとびら」ではその具体的な姿を垣間見ることができます。かたや研究者は、サッカー大会を通じても交流を深めます。詳しくは「トピックス」をご覧ください。「理学の謎」は、地球を飛び出してダークマターのお話です。「研究最前線」では、暑さにかかわる微粒子の研究や、博物館標本から「怪物」の正体に迫る研究、窒化ホウ素を用いた量子センサの開発を紹介します。「理学のススメ」は、NHK朝ドラ「らんまん」でも出てきたソテツやイチョウの受精に関する最新研究に取り組むお話です。今月号もお楽しみください。

田代 省平 (化学専攻 准教授)

東京大学大学院理学系研究科・理学部ニュース

第55巻3号 ISSN 2187-3070

発行日：2023年9月20日

発行：東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

編集：理学系研究科広報委員会所属 広報誌編集委員会  
rigaku-news@adm.s.u-tokyo.ac.jp

安東 正樹 (物理学専攻)  
竹内 一将 (物理学専攻)  
田代 省平 (化学専攻)  
平沢 達矢 (地球惑星科学専攻)  
國友 博文 (生物科学専攻)  
奥山 香帆 (総務チーム)  
武田加奈子 (広報室)  
印刷：三鈴印刷株式会社

理学部ニュース発刊の  
お知らせメール配信中。  
くわしくは理学部HPで  
ご確認ください。



## 目次

### 理学エッセイ 第66回

- 03 在外学問のすゝめ  
白井 厚太郎

### 学部生に伝える研究最前線

- 04 「宝の山」の博物館標本から三億年前の「怪物」の正体を探る  
三上 智之／岩崎 渉  
気候にかかわる微粒子の光吸収率を正しく測る  
茂木 信宏  
量子センサを自在に並べる！  
佐々木 健人／小林 研介

### 理学のススメ 第15回

- 07 生きた化石ソテツに見る受精機構進化の足跡  
外山 侑穂

### 未来へのとびら 第3回

- 08 大陸を探して—生命のような化学系の探求  
天野 俊太郎

### 理学の謎 第22回

- 09 ダークマター：宇宙の主なる物質の正体は？  
森山 茂榮

### 理学の研究者図鑑 第9回

- 11 量子の世界の不可思議さに魅了されて  
村尾 美緒

### トピックス

- 12 「女子中高生の未来 2023」開催報告  
佐藤 薫  
理学部オープンキャンパス 2023「理学は未来を拓く」開催報告  
松尾 厚  
理学部イメージコンテスト 2023「理学の美」  
松尾 厚  
大越杯：全学レベルの研究室対抗サッカー大会で研究室間の交流を深める  
合田 圭介／竹内 春樹

### 理学の本棚 第59回

- 14 「基礎からの物理学とディープラーニング入門」  
福嶋 健二／桂 法称

### お知らせ

- 14 新任教員紹介  
東京大学理学部ホームカミングデイ 2023 開催のお知らせ  
博士学位記取得  
人事異動報告  
東大理学部基金

## Essay

## 在外学問のすゝめ



白井 厚太郎  
(大気海洋研究所 准教授)

海外での経験は人生を変えるだけのインパクトがあると思う。私が地球科学を研究テーマとして決めたのは学部生時代の巡検でハワイ島の壮大な火山地形を見たことがきっかけだったし、研究者として生きていくことを決意した理由の一つにいろいろな国に行くことができる国際的な仕事だということがある。地球科学という研究テーマのおかげで、大海原のと真ん中や南極大陸などふつうではなかなか行くことができない場所に行くことができ、それが研究をさらに発展させようというモチベーションにもなっている。

研究においても海外経験は有意義で、他には代えがたい価値があると思っている。私は、ポストドク時代にドイツ・マインツ大学で1年間、そして2023年の2月まで半年間メルボルン大学で在外研究する機会を得ることができた※。イギリスの南極調査船に日本人1人、2ヶ月弱どっぷり缶詰になったこともある。私より海外研究経験が豊富な猛者はまだまだたくさんいると思うが、私もそれなりの経験を積むことができて、若かりし頃の希望は存分に叶えられていると感じている。これまで在外研究を経験するたびに、「あのとき海外で研究したからこそ、こういう考え方ができるようになった」といった、思考回路や視野の広がりを強く感じるようになった。そして、こういう経験をするためには実験などで短期間滞在するだけの「お客様」の状態では不十分なのである。一緒にセミナーで議論したり、食事やお茶をしながら雑談したり、お酒を飲み交わしたり、調査と一緒に作業をしたり、といった日常の何の変哲も無い会話などから気づいて学ぶことが実に多い。どっぷり現地のコミュニティに溶け込んでこそ解ることがたくさんあるのだ。



British Antarctic Survey の調査船 (RRS James Clark Ross) で行った南極の写真

多様な価値観や視点があることを認識・体感して、自分のスタイルに取り入れることは大きな糧となるはずである。

最近は海外に行く若手が少なくなっているそうだが、長期的にみれば大きく成長するはずなので、少し遠回りな気がするとしても、若いうちに一度は海外で研究する機会を作って欲しい。場所や環境を大きく変えて、さまざまな人と交流し、多様な経験をする、というのが成長するためには重要なのである。そして、なかなか難しいかもしれないが、家族の都合がつくようであればぜひ家族と一緒に行ってみたい。研究文化を形作っているのはその国の社会文化であり、家族と一緒にの方がその社会文化をより深く体感できると思う。

渡航先を決めるためのポイントは人それぞれだろう。ビッグラボを選ぶ人もいれば、新進気鋭の若手を選ぶ人もいる。私の場合は末永く一緒に研究ができる仲間を見つけたいということを重要視していたので、得意分野が少し違って、新しい分野を切り開いている同年代か少し上の研究者、という観点で決めた。なんだかんだ言って研究は人がやっていることなので、「世界最先端の共同研究！」のようなすごいプロジェクトも結局は仲が良い研究者同士で進んでいくことが多い。先ほど述べた「どっぷり溶け込む」というのは、研究ネットワークを作るという点でも重要なのである。

このように、在外研究というのは研究者を成長させるために非常に効果的である。若い人たちには在外研究を強く勧めたい。そして偉い先生方へお願いします。中堅・シニア研究者でも定期的に在外研究ができるように、サバティカルを気兼ねなく取れるような環境をぜひ整備して下さい！

理学部ニュースではエッセイの原稿を募集しています。自薦他薦を問わず、ふるってご投稿ください。特に、学部生・大学院生の投稿を歓迎します。ただし、掲載の可否につきましては、広報誌編集委員会に一任させていただきます。ご投稿は [rigaku-news@adm.s.u.tokyo.ac.jp](mailto:rigaku-news@adm.s.u.tokyo.ac.jp) まで。

## CASE 1

### 「宝の山」の博物館標本から 三億年前の「怪物」の正体を探る

現在の地球からは、太古の生物が生きた証である化石が数多く見つかる。それらの多様な化石の中には、わたしたちがふだんにする生物とは大きく異なる形をしていることから、現代の生物と一体全体どのような関係にあるのか、まったくわからないものもある。わたしたちは、そうした化石の中でも特に謎が深いことで有名な「タリーモンスター」に注目し、最新の3D計測技術を駆使した結果、タリーモンスターは脊椎動物であると結論付けた。近年の先行研究の根拠の多くが否定され、タリーモンスターはなんらかの無脊椎動物であることが示唆された。



アメリカ合衆国・イリノイ州の石炭紀の地層から産出するメゾンクリーク生物群は、硬組織をもたず通常は化石に残らない生物が化石として保存されていることで有名である。メゾンクリーク生物群にのみ見つかるタリーモンスターは、約三億年前の海に生息していた生物であり、長い眼柄と頭から生えた細長い構造物の先にある顎状の器官によって特徴付けられる、現在の地球上のどの動物にも似ていないきわめて奇妙な形をしている。先行研究では軟体動物、環形動物、紐形動物など様々なグループと近縁である可能性が指摘されてきたが、いずれの説も決定的な証拠に欠け、その正体はいまだ謎に包まれている。特に近年、タリーモンスターがヤツメウナギに近い脊椎動物だという驚くべき説がNature誌上で提唱され、注目を浴びている。もしこの説が正しければ、脊椎動物の形態的多様性についての私たちの理解は根本的な見直しを迫られる。

私たちは、他の研究テーマで博物館調査を行っている際に、偶然、この世界的に注目されているタリーモンスターの化石標本が日本の博物館に大量に収蔵されていることに気がついた。これらの標本を詳細に観察したところ、タリーモンスターの化石の表面には、これまであまり注目されてこなかった微細な立体構造があることに気がついた。そこで私たちは、この微細な立体構造を観察すれば、タリーモンスター研究の論争に新たな展開をもたらすことができるのではないかと考え、3Dスキャナーを用いて153点のタリーモンスターの標本の表面形状をデータ化し、解析した。その結果、先行研究でタリーモンスターが脊椎動物である根拠とされた筋節・脳・鰓孔・鰭を支持する構造と同定された構造のそれぞれが、脊椎動物のそれらとは明確に異なる特徴をもっていることから、タリーモンスターは脊椎動物ではないことが示唆された。たとえば、タリーモンスターの頭部には体幹部から連続して分節構造が存在していたが、この構造は、頭部に明瞭な分節構造をもたない脊椎動物の頭部とは形態学的に大きく異なる。さらに本研究では、X線マイクロCTを用いて、タリーモンスターの顎状の器官に見られる「歯」の精密観察も行った。その結果、ヤツメウナギやスタウナギの「歯」に似た形態をしていると主張した先行研究に反して、タリーモンスターの「歯」には、それらと異なるタイプのものもあることが明らかになった。

博物館はわたしたちの身近なところにある一方で、思いもしないような貴重な研究サンプルを収蔵している。博物館を訪問する機会があれば、受け身な姿勢で展示物を眺めることに留まらず、どのようにすれば展示物から学術的に重要な情報を取り出せるか考えを巡らせながら観察すると、新発見につながるかもしれない。

本研究は、T. Mikami *et al.*, *Palaeontology*, 66, e12646 (2023) に掲載された。

(2023年4月17日プレスリリース)

タリーモンスターの化石と、本研究の結果に基づき描かれた復元画。スケールバーは1 cm



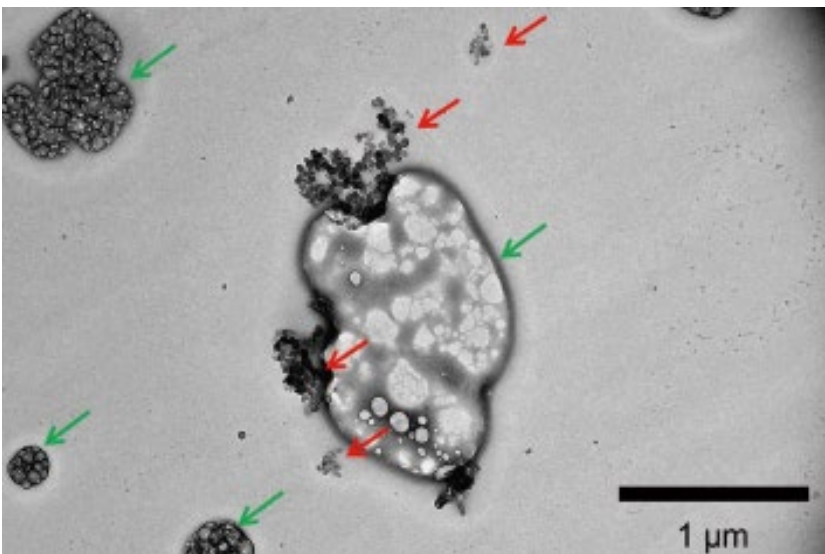
## CASE 2

気候にかかわる  
光吸収率を正しく測る  
微粒子の

飛行機の窓から外を眺めると大気の下層が霞んで見える。大気中にはエアロゾルと呼ばれる微粒子が漂っており、それらが太陽光を散乱するからだ。地球大気エアロゾルには可視光を吸収する物質「黒色炭素」が含まれており、太陽光による大気の加熱の一因となっている。本研究では、微粒子による光の吸収率を支配する物性値「複素屈折率」を、大気中の黒色炭素について初めて測定することに成功した。この成果は、気候変動の理解と予測に貢献することが期待される。

2021年ノーベル物理学賞に気候モデリングの創始者である真鍋淑郎博士が選出されたのは記憶に新しい。計算機を使って気候を理解・予測するというアプローチが物理学として受け入れられるまでには、理論モデルを検証しうる膨大な観測データの蓄積が必要であった。現在の気候研究手法の枠組みを構築した真鍋博士が受賞されたことは、観測に携わる研究者の一人として筆者も大いに励まされる。他の多くの理学研究と対比した気候研究の特徴は、系の境界条件を実験的に制御できないありのままの複雑な自然現象を扱うことである。たとえば、大気海洋の蓄熱量を決めている宇宙空間と地球表層の間のエネルギーのやりとりは、水蒸気や二酸化炭素などの気体、エアロゾルや雲などの微粒子、地表面の特性などの寄与の重ね合わせで決まっている。気候研究では、これらを含めた多数の境界条件を、その場観測やリモートセンシングに基づいて明らかにし、適切な形でモデルに与える必要があるのだ。

大気から採取したエアロゾル試料の透過型電子顕微鏡写真の例。黒色炭素（赤色矢印）が硫酸塩（緑色矢印）と共存している



本研究「大気中の黒色炭素の光学的物性の測定」は、大気中での電磁波の伝搬・吸収（放射伝達）の計算においてこれまで不確定だった境界条件の一つを定める観測データを提供するものであり、気候モデリングの土台となる基礎研究として位置づけられる。黒色炭素は、地球大気エアロゾルの質量のうち高々1～2%程度に過ぎない（硫酸塩、有機物、海塩、鉱物などが地球大気エアロゾルのほとんどを占める）が、大気中および雪氷中における太陽光の吸収に大きな寄与をもつ物質である。産業革命以前から現在までの気候系の加熱において、黒色炭素は、二酸化炭素・メタンについて3番目に大きな寄与を持つと考えられている。今回筆者らは、新たに開発した粒子の光学特性を測定する手法「複素散乱振幅センシング」を用いて、大気中の黒色炭素の複素屈折率の実部・虚部の代表値と変動範囲を絞り込むことに初めて成功した。複素屈折率の実部・虚部はそれぞれ物質中の光の伝搬速度・吸収率を表す物性値である。気候モデルでこれまで採用されていた室内実験に基づく仮定値  $1.95+0.79i$  に比べて、虚部が少なくとも0.17は大きいことがわかった。このことは、これまでの気候モデリングにおいて黒色炭素の光吸収率が少なくとも16%過小評価されており、大気中や雪氷中の放射伝達計算ではその分の系統誤差が生じていたことを示唆する。このように、新たな測定法の開発とそれを用いた観測データの更新が、気候モデリングの精密化のために重要な役割を果たしているのである。

本研究成果は、N. Moteki *et al.*, *Aerosol Science and Technology*, 678, 57 (2023) に掲載された。

(2023年4月26日プレスリリース)

## CASE 3

# 量子センサを自在に並べる！

量子力学の原理に基づいて物理量を精密に測定することを量子センシングと呼ぶ。

その代表例が、透明な結晶中に存在する不純物由来の結晶欠陥を

量子力学的な測定器(量子センサ)として用いる磁場測定である。

わたしたちは、窒化ホウ素の結晶中の狙った場所に量子センサを作り出す技術を開発した。

この技術を用いると1  $\mu\text{m}$ 以下の高い空間分解能で微小磁場の測定ができる。

これは、磁石の研究などに幅広く適用可能な新技術である。



わたしたちが原子・分子やそれらが集まってできた物質の性質を理解できるのは量子力学のおかげである。近年、理解するための手段としてだけでなく技術として量子力学を利用しようという量子技術の研究が進んでいる。量子センシングはその一つである。

皆さんはピンクダイヤモンドというピンク色のダイヤモンドをご存知かもしれない。その正体は、ダイヤモンド中に不純物として含まれる窒素由来の結晶欠陥(NV中心)である。ピンク色を呈するのはその内部に量子力学的なエネルギー単位が存在するためである。一般に、このような独特の色を呈する結晶欠陥を色中心(いろちゆうしん)と呼ぶ。

数ある色中心のなかでもNV中心は特殊な性質をもつため、量子センサとして利用できる。緑色の光を照射した際に出てくる赤色の発光量がNV中心の感じている磁場によって変化するのである。この事実を用いると磁場を精密に(たとえば地磁気の百分の一程度であれば容易に)決定できる。いわば原子サイズの超精密な方位磁針である。

NV中心量子センサは過去10年以上にわたって研究されてきたが、実用には課題がある。正確な磁場測定のためには、センサをできるだけ測定対象に近づける必要があるが、硬いダイヤモンドではそれが難しい。また、狙った場所にセンサを作ることや小型のセンサをつくることも容易ではない。ところが、最近、透明結晶である六方晶窒化ホウ素(hBN)に存在するホウ素欠陥と呼ばれる色中心が量子センサとして利用できることが発見され、状況が変わった(図左)。hBNはファンデルワールス結晶であるため数nm程度の薄さで剥がすことができ、加工も容易である。そのため色中心量子センサの適用範囲が格段に広がると期待されているのである。

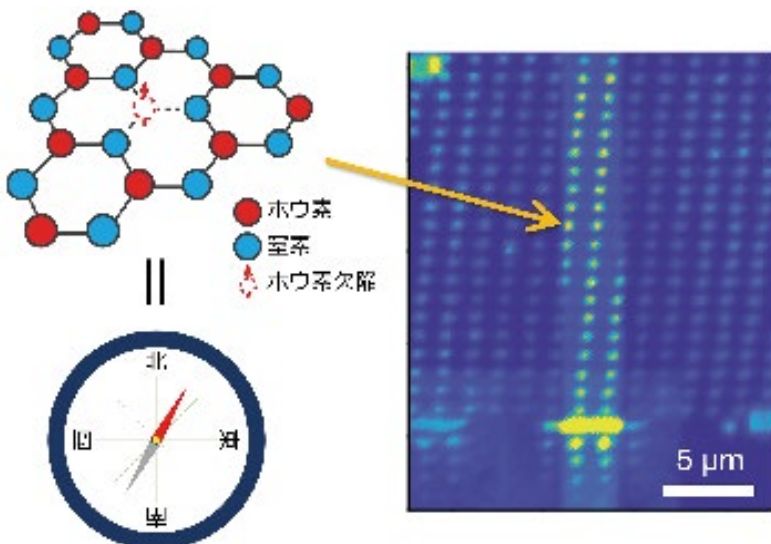
わたしたちはhBN量子センサをさらに便利に使うための新技術を開発した。具体的には、ヘリウムイオンをビーム状にして物質にぶつけることのできるヘリウムイオン顕微鏡を用いることで、ナノメートルの精度で狙った場所にホウ素欠陥を作り出すことに成功した。図右はそのようにしてhBN結晶中に配列させた量子センサの発光像である。各スポットはホウ素欠陥の集合体であり、イオンビームの照射スポット(100nm)と同程度の広がりしか持たない。この技術を利用すれば、高い空間分解能を持つ磁場イメージングができる。実際、わたしたちは光学顕微鏡を用いながらも回折限界を超える空間分解能が得られることを示した。

この研究は量子センシングの新しい方向性を生み出すものである。ダイヤモンドと異なりhBN量子センサは微小薄片として安価に大量に作りだせる。近い将来、この技術をもとに汎用のディスプレイ量子センサによる磁場測定技術を確立できれば、量子技術実用化の好例となる。それがわたしたちの願いである。

本研究成果はK. Sasaki *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 122, 244003 (2023)に掲載された。

(2023年6月14日プレスリリース)

(左) 六方晶窒化ホウ素の結晶の概念図。中央のホウ素が抜けた部分が色中心であり、ここに存在する電子のスピンの量子センサとして機能する。(右) 結晶中に斜め格子状に配列させた量子センサ



# 理学のスズメ

## 生きた化石ソテツに見る 受精機構進化の足跡



外山 侑穂

Yukiho Toyama

(生物科学専攻 博士課程1年生)

Profile

出身地 鹿児島県  
出身高校 鹿児島県立鶴丸高校  
出身学部 東京大学理学部生物学科

生物の受精のしくみについて思い浮かべるのは、精子が泳いで卵へとたどり着くイメージではないだろうか。動物ではこのしくみが保存されている場合が多いが、陸上植物では進化の過程でこのしくみが大きく変遷してきた。とくに大きな変化として精子の運動能力の喪失があげられる。植物の陸上進出の初期に出現したコケやシダは、運動能力のある精子をもつ。一方で、種子植物のほとんどは鞭毛を失った運動能力のない精細胞をもち、これが花粉から伸びる花粉管によって卵まで運ばれるようになった。このような受精機構の大きな変化はどのようにして生じたのか、その変遷過程を知りたいと思ったことが現在の研究の始まりである。

この問いを解く鍵を握る生物として私が着目したのはソテツとイチヨウである。これらは種子植物の中でもっとも起源が古いとされる植物群であり生きた化石ともよばれ、コケやシダのように運動能力のある精子

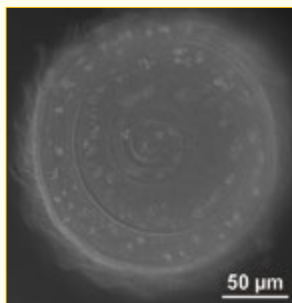
を保持している点で特徴的である。種子植物でありながら泳ぐ精子を用いる特殊な受精のしくみには植物の受精機構進化の転換点における重要な痕跡が残されているのではないかと考えた。

ソテツとイチヨウが精子をもつことは約130年前に日本人研究者によって発見され注目を浴びたものの、現在に至るまで受精過程の詳細や、受精に重要な因子に関する知見は非常に限られていた。しかし顕微鏡やゲノム情報解析に関する今日のさまざまな技術革新はこの状況を打開する追い風となり、あらためてこの受精機構を解析するのにふさわしい時期が来たといえる。

私が研究の対象とするソテツは実験室で育てることができず、受精の時期は年に2〜3日と限られているという大きな課題を抱えていた。そこで野外調査を行ったところ、日本では南西諸島から関東近辺まで広範にソテツが生息しており、緯度に

よって受精時期が少しずつずれていることがわかった。そのため時期をずらしながら徐々に北上することによって約3ヶ月のあいだ継続的に受精の時期の雌花から胚珠のサンプリングを行えるようになった(左図)。さらに顕微操作によって受精に関わる組織を単離することが可能となり(右図)、ソテツの精子がコケやシダと同様に雌の組織に誘引されて泳いでいるような現象を捉えることができた。またこれらの組織から抽出した成分の解析により受精に寄与する可能性のある遺伝子群を捉えることにも成功した。これらの結果をふまえ、ソテツの受精の詳細にさらに迫ることを目指している。

私自身は昔から植物にとっても興味があった、ということはまったくない。現在扱っているソテツも風景に溶け込んでいた植物の一つに過ぎなかった。しかしながら受精のしくみの進化を知りたいという理学的な問いに出会った時、ソテツという植物が強い存在感を放って見えてきた。真理を探究するという理学の活動を通して世界が色鮮やかに感じられるこの感覚は私の心を掴んで離さないものである。



(左) ソテツの受精期の雌花からサンプリングをする様子。左下に示す胚珠を採取し、この内部で起こる受精を観察する  
(右) 単離したソテツ精子。直径200 μmにも及ぶ偏球形をしており、表面には数千本の鞭毛が形成される



大陸を探して—生命のような化学系の探求

**僕**が一貫して興味を持ち続けてきたのは、生命のように振舞う系を化学で人工的に実現することだ。生命は、核酸やアミノ酸、脂質といった化学物質からできている。個々の物質は「死んでいる」のに、その集合体である生命は「生きている」。それはなぜか。どうすれば同じことを人工的に実現できるだろうか。

生命のような人工系への興味は、理学

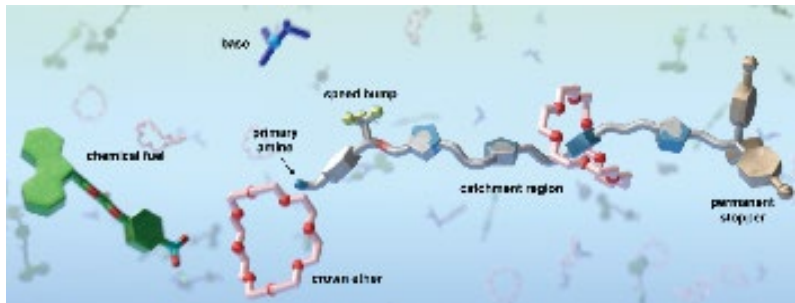


## 天野 俊太郎

AMANO Shuntaro

ストラスブール大学 (Université de Strasbourg) 博士研究員  
東京都出身

2017年東京大学理学部化学科卒、2018年マンチェスター大学理工学部 (University of Manchester, Faculty of Science and Engineering) 修士課程修了、2021年同大学博士課程修了 (工学博士)、2022年2月からストラスブール大学 (Université de Strasbourg) 博士研究員



部時代に育まれたものだ。学部では塩谷光彦先生の研究室で卒業研究をして、超分子化学の基礎を身につけた。超分子化学では、分子間の相互作用を主眼的に研究する。多種多様な分子の複雑かつ洗練された相互作用から成り立つ生命現象を理解し再現するためには、超分子的な視点が欠かせない。初めは、既存の実験結果を再現することすら難しく失敗の連続だった。そうした試行錯誤を通じて実験の基礎を身につけられたことは、後の研究生活の大きな財産になっている。また直接指導していただいた竹澤悠典先生からは、自分の興味を具体化する手がかりをいくつも教わった。その一つが、非平衡系だ。外部からエネルギーや物質が流入しない系は、温度や濃度変化のない平衡状態に落ち着く。しかし生命は外部から光や食物という形でエネルギーと物質を摂取し、非平衡状態を保っている。この非平衡性によって、知覚・運動・自己増殖・情報処理といった生命らしい振る舞いが生まれる。その頃は非平衡系が超分子化学の文脈で注目され始めており、自分の進むべき道を見出した思いがした。

とくに興味をそそられたのが、分子機械すなわち極小サイズの機械の研究だ。それで、この分野で世界をリードしていたマンチェスター大学 (University of Manchester) の D. リー (David Leigh) 先生のもとに留学することにした。博士課程では、分子機械の基礎的なメカニズムであるブラウニアン・ラチェットの研究に没頭した。分子サイズの機械の作動原理は通常のマクロな機械とは大きく異なる。その核心にあるのがブ

自律的な分子ポンプ。右側の細長い分子がポンプで、環状分子 (crown ether) の内側で燃料分子 (chemical fuel) と反応することで crown ether を catchment region に汲み上げる。Chemical fuel の一部がポンプに結合して crown ether が溶液中に逆戻りするのを防ぐなどのブラウニアン・ラチェット機構によって、複数の crown ether が連続して汲み上げられる。単純に見えるが、実現には構想1年、実験1年を要した (credit: Stuart Jantzen)

ブラウニアン・ラチェットの原理だ。これにより、分子スケールで支配的になる熱ゆらぎ (ブラウン運動) が引き起こす分子機械のランダムな運動のうち望ましくない方向への逆戻りが防がれ、一方向運動が実現される。人工系ではまだ数えるほどの実現例しかないが、僕たちはこの原理を元に分子ポンプを作ることに成功し、その理論的な分析も行った (図)。最近はブラウニアン・ラチェット原理を分子機械以外の非平衡系に応用する試みが増えており、その深化と一般化が急務である。世界中から来た仲間たちと議論しながらプロジェクトを自由に立ち上げ、幾多の困難を乗り越えて完遂したのは何物にも代えがたい経験だった。

近年、基礎研究を取り巻く環境は洋の東西を問わず厳しい。しかし、「役に立つ」家屋や高層ビルを建てるのが応用研究なら、建物の土台となる大陸を見出して開拓するのが基礎研究だと思う。化学の京都学派の創始者、喜多源逸は福井謙一に「応用をやるなら基礎をやれ」と助言したが、この言葉は真実であり続けるだろう。非平衡系の化学の可能性は未知数だが、それが広大な大陸の一角であると信じてこれからも開拓に邁進したい。



## ダークマター:宇宙の主なる物質の正体は?

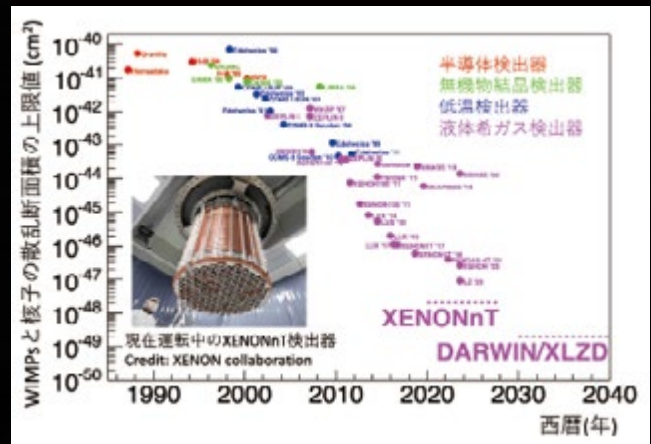
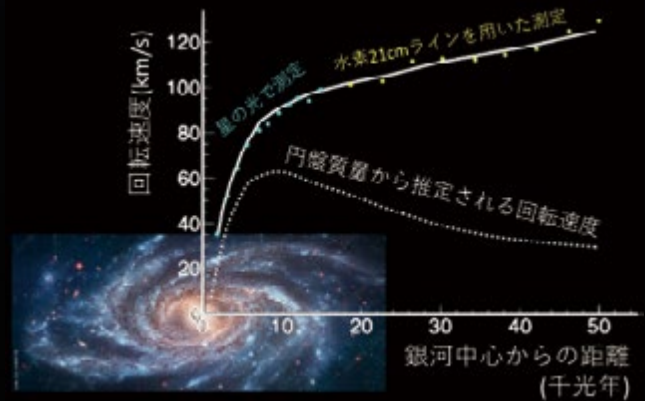
森山 茂栄  
(宇宙線研究所 教授)

ダークマターの存在が1933年に示唆されて以来、その正体の理解の努力が続けられている。宇宙の物質の80%以上は原子や分子ではない未知の物質ダークマターであるが、果たしてその正体は何だろう。ダークマターを理解することで背景にある物理の扉を開くことが期待されるため、この謎の解明へむけた実験的成果への期待が益々高まっている。

ダークマターの存在を示すデータの例を見てみよう。図1に示したのは、銀河の回転速度の観測結果である。銀河が回転する際、個々の天体の運動は、回転による遠心力とその軌道の内側にある星やガスなどの重力による向心力が釣り合っているはずだ。しかし、軌道の内部にある星やガスなどの重力から推測される回転速度(破線)よりも、実際に観測される回転速度(点と実線)がはるかに大きい。これは星やガスなどではない物質が重力場を支配していることを示している。このような説明できない現象が宇宙の様々なスケールに存在するのだが、ダークマターを1種類仮定すれば一気に解決すると考えられている。

ダークマターが素粒子であれば宇宙初期に生成され現存することができる。その場合、重力以外の相互作用で検出し、正体を解き明かすことが期待されるため、その「探索」が広く行われている。ただしダークマターの質量は未知であり、通常の物質との相互作用は弱いと考えられる。探索にはダークマターの質量等に合わせた装置や観測方法が必要となるので、有力な質量領域に絞った深い探索と、偏見のない幅広い探索の双方が重要である。

1990年代から始まった宇宙背景輻射の精密観測に基づいて、ダークマターの存在は更に疑いがないものとなった。その頃から既に、弱く相互作用する質量のある粒子(W Weakly Interacting Massive Particles, WIMPs)、強い力のCP問題を解決するアクシオンが2大候補と見られてきた。加速器を用いる研究者や宇宙を観測する研究者は、実験データにダークマターの証拠が含まれていないか、徹底的な探索を行っている。ダークマターを直接検出しようとする研究者は、実験室に高感度なダークマター探索装置を用意し、ダークマターが衝突



する等の相互作用の痕跡の探索に挑戦している。図2はWIMPsと通常の物質(核子)との散乱断面積(衝突する確率に比例)の上限値を示したものである。WIMPsの散乱断面積は未知であるが、今後10年ほどで可能性のある領域を深くカバーし尽くし大発見に挑むのだ。

一方WIMPsに比べてもっと軽いダークマターや、天体ほどに重たいダークマター等の幅広い可能性が最近とりわけ注目されている。新しく斬新なアイデアに基づき、小型の観測装置や、宇宙観測のデータに基づいた大発見の可能性も十分に有り得る。そのようなアイデアを生み出してじゃんじゃん実験的研究を進めることが大事である。筆者の大学院の頃の指導教官は、「今日のアイデアは何だ?」と、学生にせつついたものだ。アイデアと実行力と粘り強さを持ってダークマターの研究に取り組もうではないか。

上: 銀河の回転速度の観測結果。星やガスなどで構成される銀河円盤の質量から推定される回転速度よりはるかに大きな速度で回転している。目に見えないダークマターの存在が示唆される

下: WIMPダークマター探索の感度向上の歴史と今後。筆者も参加している大型のダークマター探索実験(写真)では、大量の液体キセノンを標的とし、ダークマターが衝突した際に生じる発光等を検出する装置を用いている。今後10年程でWIMPsが持ちうる散乱断面積の領域をほぼ探索し尽くし、ダークマターの正体であるか結論を目指す

量子の世界の  
不可思議さに  
魅了されて



## 村尾 美緒



Mio Murao  
物理学専攻 教授

1991年、お茶の水女子大学理学部物理学科卒業。1996年、お茶の水女子大学大学院博士。1996年、博士研究員として米国ハーバード大学 (Harvard University)。1996年～99年、英国インペリアルカレッジ (Imperial College London)。1999年、理化学研究所。2001年、東京大学大学院理学系研究科 助教授 (2007年より准教授)。2015年、東京大学大学院理学系研究科 教授

子供の頃好きだった教科は？

### 算数と理科

小学2年生の頃に、父の仕事の関係で当時の西ドイツに1年間住んで現地の小学校に通いました。言葉がわからなくても算数と理科は理解できて「算数や理科は世界共通だな」と子供心に感じてより好きになりました。

中高生の頃、どんなことに興味を持っていましたか？

### スタートレックとかスターウォーズとかSFドラマやSF映画

やはり宇宙とか科学技術とか聞くとワクワクしてしまう理系体質だったからでしょうか？それから、スタートレックのスポックのように冷静で論理的な人になりたいと思っていました。

座右の銘は？

### Taking the road less traveled by まだ見ぬ山を見つけて登れ

私は他の人がやらないことをやるのが好きなのです。みんなが目指す混んでいる山よりも、新しい山を見つけて登りたい、研究においてもそのようなスタンスが好きなのです。

趣味はなんですか？

### 身の回りの色々なことを最適化

収納システムを最適化したり、各種の効率化のアイデアを考えたりするのが好きです。夫には、最適化に費やす時間も最適化しないといけないのではという指摘を受けますが、最適化は趣味なのでそこは気にしないのです。

自分は運がいいと思う？

### 非常に運が良いと思います

先例は気にせずに研究で「わくわく」することを追求めてきた私の人生の色々な局面で、素晴らしい人々との出会いがあり、偶然に偶然を重ねて結果的に研究者の道を歩んできました。皆様に感謝しております。

インスピレーションの源は？

### 議論をしているとき (とシャンプー)

議論で新しいアイデアが出てくることが多いです。議論が脱線した際に意外なアイデアが出てくることもよくあります。もう一つ、考えながらシャンプーをしている際に(自分としては)大発見をしたことが数回ありました。

### メッセージ

新しい山を見つけて登って  
みましょう！



インタビュー記事 ▶

# TOPICS

## 「女子中高生の未来2023」開催報告

佐藤 薫 (副研究科長・男女共同参画委員長／地球惑星科学専攻 教授)

**理**学部への進学促進イベント「女子中高生の未来」を2023年7月22日(土)にオンライン開催した。参加者は女子中学生32名、女子高校生43名、ご家族3名であった。男女共同参画室長からの冒頭挨拶では、自身の南極研究活動を紹介しながら、理学部では「ゼロ」から創造する力が身につくこと、理学の発展にはさまざまな考え方や個性が必要であり、女性への期待は大きいことなどをお伝えした。化学専攻の生井飛鳥准教授による理学部の紹介に続き、株式会社XTIA(クティア)研究員の正田亜八香氏に、「サイエンスは身を助く」という題で講演いただいた。正田氏は物理学専攻で博士の学位取得後、国立天文台で研究を重ね、XTIAに転職されている。研究や仕事の内容だけでなく、転職の経緯や科学の人生への関わりについても紹介いただいた。次に、天文学教育研究センター江草実美准教授より、「渦巻銀河を作るには」と

題した講演と、ご自身の進路選択についてご紹介いただいた。いずれの講演にも多くの質問があった。後半は、昨年度も好評だった理学部10学科の学生・出身大学院生によるTA(ティーチングアシスタント)企画が行われた。TAの自己紹介に続き、5つのルームに分かれての研究紹介や質問コーナーを設けた。アンケートを見ると、最先端の研究を知ることができて面白かった、進路の選択肢が広がった、大学生活や研究のイメージが持てた、女性が活躍できる世の中になりつつあると感じた、TAとの気楽な質疑応答も楽しかったなどポジティブな意見が多数あった。

ご講演いただいた正田様、江草先生、TAの皆様、入念に本イベントの準備・実行をくださった男女共同参画委員会ご担当の皆様、また総務・広報各チームの皆様・関係各位に感謝申し上げます。



江草実美准教授の講演から

## 理学部オープンキャンパス2023「理学は未来を拓く」開催報告

松尾 厚 (オープンキャンパス実行委員長／数理学研究科／数学科兼任 准教授)

**今**年のオープンキャンパスは2023年8月2日(水)、3日(木)の二日間にわたり開催された。新型コロナウイルス感染症の5類移行により対面実施も可能となったが、大学本部の方針によりオンライン開催となった。大勢の参加者(視聴数8,914)に恵まれたが、高校生の屋外活動が活発化したためか、昨年比では減少した。

理学の研究は、知的関心から自然界の謎を解こうとする営みだが、その結果が思いもよらぬ形で私たちを支えている事例は数知れない。歴史に学ぶならば、現在の研究は私たちの未来を拓くものに違いない、そんな思いのこもったキャッチコピー「理学は未来を拓く」をフィーチャーしたポスターは出色のきばえだった。

理学部企画の講演会は、昨年同様、小柴ホールからライブ配信した。二つの学生講演は実

に素晴らしく、若者らしい語り口で理学の魅力に迫ってくれた。また、各学科・施設の先生方の講演は個性に溢れていて、実験装置を持ち込んで実演された先生や、研究の本当の姿を見せるべく高度な内容に踏み込んだ先生もいらっしやう。そのような幅の広さは、真理追究の厳しさと同時に、発想の自由さや理学部の寛容さを感じさせるものだったと思う。

このほか、学科・施設企画のオンデマンド講演会、施設紹介、バーチャルツアー、各学科の相談質問コーナーおよび男女共同参画委員会企画の女子中高生向け相談コーナーが行われ、好評だった旨の報告を受けている。この場を借りて、理学部オープンキャンパスにご尽力くださった皆様に厚く御礼申し上げます。



上：情報科学科 学生講演  
(博士課程3年 松下祐介さんと修士課程1年 中山崇さん)  
下：天文学科 学生講演  
(博士課程2年 森井嘉穂さんと修士課程2年 成田佳奈香さん)

## 理学部イメージコンテスト2023 「理学の美」

松尾 厚(オープンキャンパス実行委員長/数理科学研究科/数学科兼任 准教授)

**応** 募作品の要件を緩くしたことが功を奏したのか、学部学生も含め計30件の応募があった。今年もオープンキャンパスはオンライン開催となったため、広報委員会にて投票を行い、最優秀賞1件と優秀賞2件を選出した。

今回の審査は難航を極めた。昨年同様に投票を行った結果、票が割れ、やむなく決選投票に踏み切ったが、それでも決まらず、得票数を総合して順位を決定した。入賞作品に劣らず素晴らしい作品が多数あった点につき、どうかご了解いただきたい。苦勞して画像を準備してくださった皆様、どうもありがとうございました。

最優秀賞「The warm heart of worms」は、見ての通りのハート型になった線虫の顕微鏡写真である。研究目的は写真から読み取れないが、撮影した人物の暖かいハートは確実に伝わってくる。研究者の息吹きが感じられる素敵な一枚である。

優秀賞「香りの中継地点」は、マウスの嗅覚細胞の写真である。生命を織りなす細胞の美しき神妙に深く感銘を受け、心を無にして観賞するのが良いと思う。同じく優秀賞「月食と天王星食」は、昨年11月に起こった希有な天体現象の「決定的瞬間」を捉えた「現場写真」である。普段は明るい月が皆既月食中で暗いため、近い位置にある暗い天王星がよく見えたいが、それをスマホで逃さず撮った「いまどき」の一枚である。

※そのほかの応募作品など理学部ホームページでもご紹介しています。

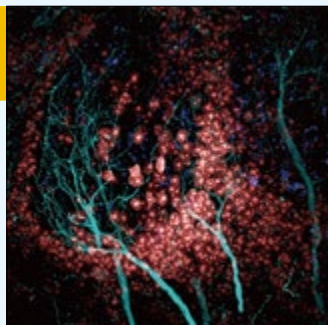


最優秀賞



「The warm heart of worms」  
生物科学専攻 助教  
宮崎 慎一  
線虫を顕微鏡でのぞいたらこの姿。思わず興奮して何枚も撮影してしまいました。アシンメトリーなハートも味があって、何ともHeart-w"o"rrmingではないでしょうか？

優秀賞



「香りの中継地点」  
生物科学専攻 助教  
森川 勝太  
嗅覚細胞の軸索が収斂される糸球体に、嗅球の僧帽細胞が樹状突起を伸展している。



「月食と天王星食」  
物理学専攻 博士課程1年  
直川 史寛  
昨年11月、月食中の月が天王星を隠すという珍しい現象が起きました。その直前の瞬間を駒場キャンパスの望遠鏡とスマホで捉えました。月食で赤く染まった月と青い天王星のコントラストが印象的でした。

## 大越杯:全学レベルの研究室対抗サッカー大会で研究室間の交流を深める

合田 圭介(化学専攻 教授) 竹内 春樹(生物科学専攻 教授)

**コ** ロナ禍がようやく終息し、我々の大学にも明るい日差しが戻ってきた。しかしながら、このコロナ禍が引き起こした影響は、研究においても大きかったと言わざるを得ない。それは、特に研究者間の交流の欠如である。研究者にとって、他の研究者や他の研究機関との交流は研究の発展に欠かせない要素である。普段は学会で行われるが、コロナ禍でほとんどの講演会や大会がオンラインで開催され、研究発表は聞くことができても、カジュアルな雑談を通じた意見交換などは困難になった。長年の研究者である私たち教員は学术交流の意義を理解しているが、学生や若手研究者にとっては、未経験の学术交流の価値を理解するのは困難である。

そこで、我々は以前からサッカーを通じて交流があった仲間と一緒に、学生や若手研究者のためにコロナ禍で途切れてしまった研究室

間の交流を再開するため、学内で研究室対抗のサッカー大会を開催するアイデアを思いついた。私たちは早速、このアイデアに興味がありそうな研究室に提案したところ、理学系研究科(佃達哉、小林修、濡木理、合田圭介、竹内春樹)、工学系研究科(塩見淳一郎、新井史人、山口和也、川原圭博、植村卓史)、薬学系研究科(池谷裕二、富田泰輔、楠原洋之)、医学系研究科(浦野泰照)の計14の研究室が大会への参加を表明した。さらに、理学系研究科長の太越慎一教授にスポンサーシップを依頼し、快く受け入れていただいた。これにより、大会名を「大越杯」と名付けることとなった。

大越杯は、2つのリーグに分かれて行われる6人対6人のフットサル形式で、各リーグから上位3つの研究室が決勝トーナメントに進出する。5月にリーグ戦がスタートし、7月には決勝トーナメントが行われた(2023年7月末



準決勝当日の様子(合田研究室と竹内研究室)現時点では準決勝が終了)。大越杯は大いに盛り上がりを見せ、今後も継続的に開催する計画で、14の研究室だけでなく、全学の全研究科および研究所から広く参加を募る予定だ。

さらには、大越杯シンポジウムも開催し、より本格的な研究上の異分野交流を行いたいと考えている。最終的には、これらの活動が研究室間の共同研究につながり、世界トップクラスの研究成果を生み出すことを期待している。

# 理学の本棚

## 「基礎からの物理学と ディープラーニング入門」

福嶋 健二 (物理学専攻 教授)  
桂 法称 (物理学専攻 准教授)

近年、生成系 AI が我々の生活をより便利にしてくれているのと同じように、物理学の研究でも特にディープラーニングと呼ばれる手法が活用される機会が増えている。

本書は、物理学を専門とする著者らが、ディープラーニングを物理学者ならではの観点から解説する一風変わった教科書である。といっても奇をてらったものではなく、むしろ物理学もディープラーニングも何も予備知識のない読者を想定して、それら両方を同時に学べるお得な入門書となっている。本書の前半では、まず概要編で「学習」とは何かを概観してから、準備編で物理学科で学ぶような量子力学と統計力学の基礎事項を解説し、続く入門編ではさまざまなニューラルネットワークの構成法を紹介している。実践編と応用編からなる後半では、ディープラーニングの非線型回帰や、現代的な物理学の具体的な問題への応用を、実演を交えながら詳述している。

物理学に興味のある読者は、学部レベルの教科書でおなじみのイジング模型やエントロピーなどが普段とは違った姿で活躍する様子を知ることができるだろう。物理学の知識のない読者も、ディープラーニングを入り口にして量子力学や統計力学の世界を垣間見ることができるだろう。理学部で量子力学や統計力学の受講をはじめの前に、本書を軽く読んで予習しておけば、理解度がぐんと深まるに違いない。入門書で扱うことの少ないグラフ理論の初歩がきちんと書かれているのも本書の特徴である。



福嶋 健二・桂 法称 (著)  
「基礎からの物理学と  
ディープラーニング入門」  
科学情報出版株式会社 (2022年)  
ISBN 978-4-910558-07-3



第59回

## 新任教員紹介 |

新しく理学系研究科教授会構成員となった教員を紹介します。

### 片山 なつ KATAYAMA, Natsu

役職 准教授  
所属 生物科学専攻  
着任日 2023年8月1日  
前任地 千葉大学  
キーワード  
植物進化多様性

#### Message

植物の進化と多様化の理解をめざして研究をしています。「楽しく・明るく・健康に」をモットーに、皆さんの学生さんと研究を展開していきたいです。よろしくお願いいたします。



### 左近 樹 SAKON, Itsuki

役職 准教授  
所属 天文学教育研究センター  
着任日 2023年9月1日  
前任地 天文学専攻  
キーワード  
赤外線天文学, 時間軸天文学, ダスト, 実験天文学

#### Message

宇宙年齢や太陽の寿命と比べて、人類の歴史、人間の一生は一瞬ですが、幸いにも我々が生きる間に動きのある姿を見せてくれる天体現象があります。そうした現象を研究対象とできる幸運に感謝し、人類の知の蓄積に貢献できるよう努力いたします。



## 東京大学理学部ホームカミングデイ2023 開催のお知らせ

広報委員会

**理**学部では「ホームカミングデイ」を「ファミリーデー」とし、ご家族で参加いただけるイベントを行います。本学を卒業・修了された方はもちろん、ご卒業生・修了生のお子様や小学生の皆さんを対象とした講演を行います。理学の世界に触れていただく機会になれば幸いです。今年は、それ以外の学生の皆さんや一般のかたの参加も歓迎いたします。詳しくは、理学部ホームページをご覧ください。



■ HP : <https://www.su-tokyo.ac.jp/ja/event/8560/>

## 博士学位取得者一覧 |

(※) は原題が英語 (和訳した題名を掲載)

種別	専攻	取得者名	論文題名
<b>2023年7月24日付 (2名)</b>			
課程	地惑	蓬田 匠	先端X線分光法による化学種解析に基づくウランの環境地球化学 (※)
課程	生科	半場 悠	lincRNA の組織特異的発現の基盤となるゲノム高次構造の発見と病態解析への応用 (※)
<b>2023年7月31日付 (1名)</b>			
課程	地惑	滑川 拓	高緯度伝搬ホイッスラー波に関連した高エネルギー電子マイクロバーストの観測的研究 (※)

## 人事異動報告 |

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2023.7.15	化学	教授	SIMONOV ALEXANDR	退職	
2023.7.19	化学	特任助教	PETERSON JORGEN WALKER	退職	
2023.8.1	生科	准教授	片山 なつ	採用	
2023.8.18	ビッグバン	特任教授	SARI RE'EM YOSEF	採用	
2023.8.31	地惑	教授	LUO JINGJIA	退職	
2023.8.31	ビッグバン	助教	西澤 篤志	退職	広島大学・准教授へ
2023.9.1	物理	教授	ARONSON IGOR SAMUEL	採用	
2023.9.1	天文研	准教授	左近 樹	昇任	天文学専攻・助教から
2023.9.1	地惑	准教授	TIMOKHIN ANDREY	採用	
2023.9.1	ビッグバン	特任助教	WONG KENNETH CHRISTOPHER	採用	

# 東大理学部基金

✚ 限界を突破し、科学を進め、社会に貢献する。  
理学部の若手人材の育成にご支援ください。

ご支援への感謝としての特典  
(1月から12月までの、1年間のご寄付の合計金額)  
3,000円以上：理学部カレンダー（非売品）・クリアファイルのご送付



東京大学大学院理学系研究科長・理学部長

大越 慎一

理学系研究科・理学部の歴史は、東京大学創設の1877年（明治10年）までさかのぼり、昔も今も、自然の摂理を純粋に追及するプロフェッショナル集団として、日本のみならず、世界の理学研究・教育の中心として、多くの成果と人材を輩出しております。

理学の研究によって、われわれは自然の摂理をより深く理解し、またそこから科学技術へ応用できるシーズを得て人類社会を発展させてきました。近年、ノーベル賞を受賞した梶田隆章先生（2015年）、大隅良典先生（2016年）、真鍋淑郎博士（2021年）の研究はいずれも人類の「知」の地平を拡大する画期的な成果となり、まさに理学の神髄というべきものでした。

一方、「自然」はもっと深淵で、手ごわく、時としてわれわれの慢心や驕りに強い警鐘を鳴らします。現在、人類社会は多くの地球規模の難問、たとえば資源の枯渇、自然災害、環境破壊、気候変動などに直面しています。これらの問題の解決策についても、多様な切り口を持ち、事象を深く理解する理学への期待がさらに高まっています。理学系研究科・理学部は、これからも最先端の「知」を創造し、その期待に応えていきます。

そのためには皆様の力が必要です。理学系研究科・理学部は人類社会の持続的・平和的發展に向けて、皆様と一緒に、大いに貢献していきたいと切に願っております。皆様の力強いご支援を賜りたくお願い申し上げます。

## ✚ 理学系研究科・理学部関連基金のご紹介



### Life in Green Project

「小石川植物園」と「日光植物園」を世界に誇る植物多様性の研究施設として整備し、社会に開かれた植物園へと発展させるプロジェクトです。



### マリン・フロンティア・サイエンス・プロジェクト

幅広い分野で活躍する研究者と、ビジネス・産業の専門家を三崎に結集させ、三崎の海にすむ生き物を用いた基礎研究の成果を宝石の原石として、そこから三崎ならではの革新的なビジネスと産業を創出し、「イノベーションを産む奇跡の海、世界のMISAKI」として、東大三崎臨海実験所から世界に情報発信することを目的としたプロジェクトです。



### 知の物理学研究センター支援基金

これまでの既存の物理学研究の枠を超えた新たな挑戦として、現在世界的に関心を集めている「説明可能なAI（Explainable AI = XAI）」を物理学の基礎原理に基づいて構築し、原因から結果に至る因果関係を演繹的にモデル化するなど、物理学とAIが融合する新しい学問領域の創出を目指します。



### 地球惑星の研究教育支援基金

地球・惑星・環境などを理学的に展開する基礎科学でありながら、太陽系や、生命の誕生と進化などの「夢」を追求し、環境・災害・資源などの「社会や人間の役に立つこと（貢献）」への研究をします。



### 変革を駆動する先端物理・数学プログラム（FoPM）支援基金

FoPMは、世界トップレベルの教育研究体制の強みを活かした、専門外の分野や人類社会にもインパクトを与えるられる基礎科学の専門人材を育成する修士・博士一貫プログラムです。



表紙の「3次曲面上の2本の直線」は、当時最先端の数学理論に登場する図形をいわば「可視化」したものである。この図形そのものは古典的な対象物だが、数学のさまざまな分野と交錯しつつ研究が続けられ、現代数学においても確固たる地位を保っている。裏表紙では、表紙に続き、石膏模型コレクションからさらに5点を紹介する。

上段奥：特異点を持つ3次曲面，上段右：放物型スピンドルサイクリッド曲面，下段奥：放物型リングサイクリッド曲面，下段右：ボヘミアンドーム，下段左：デュパンのサイクリッド曲面