

SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

The Rigakubu News

理学部ニュース

東京大学 **07** 月号 2022

理学エッセイ
アイスセブンティーンを探せ!

1+1から ∞ の理学
地球のウラン・トリウムをニュートリノで測る

理学のススメ
アルマ望遠鏡で探る原始惑星系円盤の化学

理學の研究者図鑑
横山 将志

トピックス

「ほのほの物理キーワード辞典」動画配信を開始

学部生に伝える研究最前線

生物の進化は内的要因に制限されている

07 理学部 ニュース 月号 2022

附属植物園(分園)は日光植物園の名で親しまれ、2022年で開園120年周年を迎えた。現在は植物園内外をフィールドとした植物生態学の研究が行われている。



表紙・裏表紙 Photo Koji Okumura (Forward Stroke Inc)
撮影協力：中尾 拓夢 (生物学科 4年)
館野 正樹 (植物園 (分園) 准教授)
P.09 Photo 貝塚 純一

理学部ニュース2022年7月号をお届けします。今年度から始まった「理學の研究者図鑑」と昨年度から始まった「理学のススメ」はいずれも理学部・理学系研究科で研究する「人」にフォーカスした記事で、研究活動の中での苦労や、科学論文には表れてこない研究者の素の姿などが見られ興味深いです。科学は人の営みであることを改めて感じさせてくれます。一方、「研究最前線」や「1+1から∞の理学」では理学部で行われている最先端の研究が生き生きと描かれ、その研究の熱が伝わってきます。「理学エッセイ」は暑い夏にぴったりの、氷の結晶構造の研究が紹介されます。読むだけで少し涼しくなり、意外な展開に心が温まります。暑い日が続きますが、少し立ち止まって理学部ニュースをお手に取っていただけたら幸いです。

稲垣 宗一 (生物科学専攻 准教授)

東京大学大学院理学系研究科・理学部ニュース

第54巻2号 ISSN 2187-3070

発行日：2022年7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)
池田 昌之 (地球惑星科学専攻)
稲垣 宗一 (生物科学専攻)
酒井真喜子 (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。
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59回

- 03 アイセブンティーンを探せ！
小松 一生

学部生に伝える研究最前線

- 04 Ca原子を挿入したグラフェンで新奇な超伝導への進化を捉える
秋山 了太 / 長谷川 修司
生物の進化は内的要因に制限されている
入江 直樹
二つの触媒が共同作業
宮村 浩之 / 小林 修

理学のススメ 第8回

- 07 アルマ望遠鏡で探る原始惑星系円盤の化学
大和 義英

1+1 から∞の理学 第20回

- 08 地球のウラン・トリウムをニュートリノで測る
飯塚 毅

理學の研究者図鑑 第2回

- 09 わくわくすること、おもしろいことが研究の原動力
横山 将志

トピックス

- 10 「革新分子技術」総括寄付講座が第63回科学技術映像祭部門優秀賞
(研究・技術開発部門)を受賞
大越 慎一
理学部ガイダンス2022開催報告
川北 篤
「ほのぼの物理キーワード辞典」動画配信を開始
宮下 哲 / 林 将光 / 中辻 知

理学の本棚 第52回

- 12 「非平衡統計力学」
竹内 一将

お知らせ

- 12 猪木慶治先生ご逝去の報に接して
松尾 泰

女子中高生の未来2022 Online開催のお知らせ
東京大学理学部オープンキャンパス2022 Online開催のお知らせ
博士学位取得者一覧 / 人事異動報告
東大理学部基金

Essay

アイスセブンティーンを探せ！ — 後日談



小松 一生
(地殻化学実験施設 准教授)

2015年4月3日、小柴ホールで「アイスセブンティーンを探せ！」と題して、最先端の氷研究の話題を中高生向けに講演した。実は氷は、温度や圧力を変えることで水分子の並び方が異なる結晶構造を数多く持つことが知られており、冷凍庫でできる通常の氷をice Iとして、その後、ほぼ発見順にice II, ice III…とローマ数字で名前をつけることになっている。2015年当時でice XVI (16) までの存在が知られていたので、冒頭のタイトルで、次に見つかる氷はどのような氷か、最新の研究結果を踏まえて予想する、という形で講演させてもらったのである。

私自身大変驚いているのだが、この講演で話した「予想」が次々と現実のものになっている。まずは、2016年に見つかったice XVII (17) であるが、これは2014年にコンピューターシミュレーションで見出されていた氷の構造と酷似している。計算機上で見つかった架空の氷は数多く報告されているものの、私の講演の中ではアイスセブンティーンの有力候補として、特にこの2014年に報告された氷に注目して紹介していた。次に、2019年に発見されたice XVIII (18) は、レーザー衝撃圧縮という手法を用いて超高温高圧環境下で発見された氷であるが、私の講演の中でもこの手法について紹介し、このような特殊な環境では未知の氷があるに違いない、という話をしていた。2021年には、幸運なことに、われわれのグループからice XIX (19) を報告することができた。ice XIXは、微量の酸を不純物として加えることで低温高圧下で出現する氷であるが、酸や塩基を不純物として加えることで異なる結晶構造を持つ氷を作るという手法は別の種類の氷でも適用されており、やはり講演の中でも新たな氷を作る手法として紹介していた。

Ice XVII以降の新たな氷3つを予想できた、あるいは自ら発見できたというのは、この分野の一研究者として誇りに思っているが、実は氷の発見以上に驚いたことがある。なんと昨年、私の研究室にこの時の講演を聞いていたという学生が入ってきたのである。当の学生曰く、残念ながら私の講演の内容はほとんど覚えていないということで、私の講演がどうというよりは、単に偶然のめぐり合わせなのかもしれない。しかし、一般向けの講演会や出前実験といったアウトリーチというのは、その効果がわかりにくいという声が多い中で、まさかこれほど直接的な「効果」があるとは、僥倖というほかない。

今回のような有形の恩賞は極めて稀であろうが、アウトリーチには研究者自身への無形のメリットが少なくないと感じる。講演会や出前実験の時に、子供たちが目を輝かせながら話を聞いてくれたり、実験をやったりするのを見ると、自分のやっている研究が本当の意味で認められた気がするのである。この2年間、コロナで対面でのアウトリーチ活動ができない状態が続いてきたが、そろそろまた子供たちと一緒に氷の実験をしたいものだ。

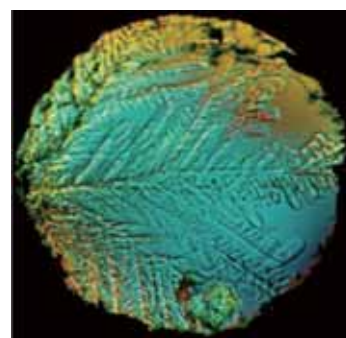


図:室温高圧下で成長したice VII。試料室の直径は0.3 mm、アルコール水溶液を急激に加圧・結晶化させると写真のような氷(ice VII)の樹枝状結晶ができる

CASE 1

Ca原子を挿入したグラフェンで 新奇な超伝導への進化を捉える

1原子層の厚みの炭素シート「グラフェン」は、電子が超高速で動く驚異の物質で、2010年のノーベル物理学賞の対象となり、現在も盛んに研究が行われている。私たちは2016年に2枚重ねたグラフェンの層間にCa原子を挿入すると、電気抵抗が0になる「超伝導」が出現することを発見したが、その仕組みは未解明であった。今回、Ca原子の正確な挿入位置や電子状態、超伝導の特徴などを初めて明らかにし、その結果、伝統的な「BCS理論*」だけでは説明できない新奇な超伝導である可能性を示した。

グラフェンが今もって熱い。炭素原子だけから構成されるため環境負荷も小さく、またそこでの電子がSiの中に比べ100倍程度も動き易いことから、次世代電子デバイスとして期待されている。また、2018年にMITのチームによって、互いに1.1°回転した二層のグラフェンが特異な超伝導を示すという衝撃的な発表がなされた。しかしわれわれはそれより前に、原子のインターカレーション(挿入)によってグラフェン超伝導を実現していた。

シリコンカーバイドSiC結晶を1,600°C程度で加熱すると、その表面からSi原子だけが蒸発してC原子が残り、それがグラフェン層となる。この方法で二層グラフェンを作って、層間にCaをインターカレートすると超伝導になることを2016年に発表した。しかし、その後、このグラフェンの層数が1層でも超伝導(転移温度が約5 K)になることを発見し、Ca原子は一体どこに入っているのかが大きな疑問として持ち上がった。そこで、原子構造と電子バンドを詳細に解析した結果、図(左)のように1原子層のグラフェンの下のSiC基板と結合した「バッファ層」と呼ばれる炭素の層が、Caインターカレーションによってグラフェンへと変化し合計で二層のグラフェン

となり、さらにその層間にCaが入って規則的に並ぶと超伝導が生じることが分かった。グラフェンはディラックコーンと呼ばれる砂時計型の電子バンドをもち、そのために電子が高速で動ける。さらにCaをインターカレートすると新しい電子バンドが出現するが、この2つの電子バンドが超伝導出現に必須であることが分かった。

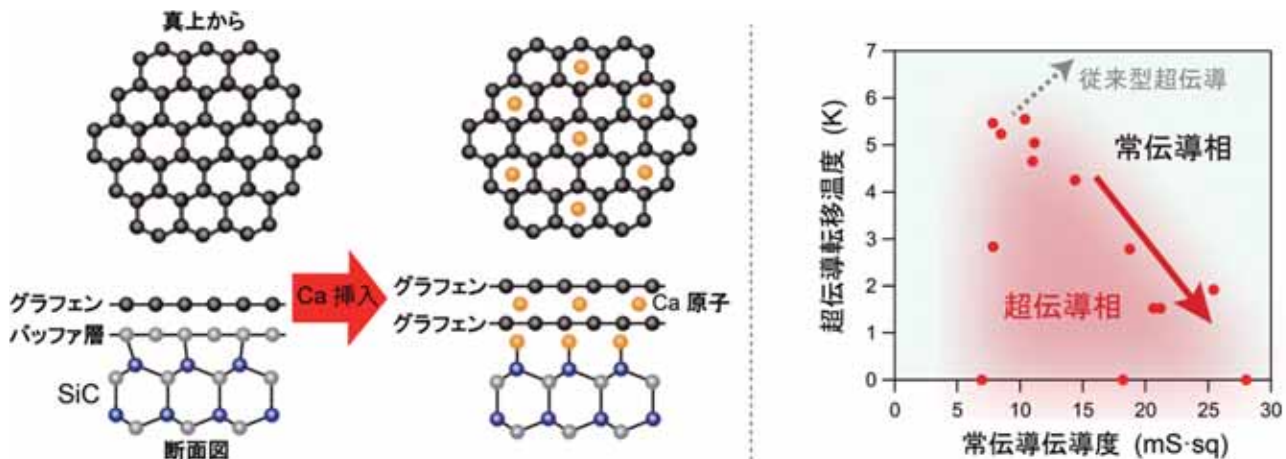
超伝導の基本理論であるBCS理論によれば、電子密度が高いほど常伝導状態の電気伝導度も超伝導転移温度も高くなるはずである。しかしわれわれの実験結果は図(右)のように「ドーム型」になり、BCS理論と合わない。これは、グラフェンの電子バンドにファンホープ特異点という特殊な状態が存在するため、カイラルd波という超伝導が生じている可能性を示唆している。これは今まで理論的にしか予測されていなかったが、今回その兆候を初めて実験的に捉えたといえる。

これらの結果は、グラフェンにおけるさらなる豊富な物性発現の可能性を示し、さらにパワー半導体としても注目されるSiC基板上で作製可能であることから超伝導とのハイブリッド新規デバイスへの応用など、大きな夢を我々に提供してくれる。

本研究はH. Toyama *et al.*, *ACS Nano* 16, 3582 (2022)に掲載された。

(2022年2月25日プレスリリース)

図：(左) グラフェンにCa原子が規則的な周期でインターカレートする様子(右) 本研究で観測されたドーム型の超伝導転移温度と常伝導電気伝導度との関係



* BCS理論(Bardeen Cooper Schrieffer:1911年の超伝導現象発見以来初めて微視的に解明した理論。1957年にジョン・バーディーン(John Bardeen),レオン・ニコル・クーパー(Leon Neil Cooper),ジョン・ロバート・シュリーファー(John Robert Schrieffer)の3人によって提唱され、3人の名前の頭文字からBCSと付けられた。

CASE 2

制限されている 生物の進化は内的要因に

われわれヒトがいまのような姿に進化したのはなぜだろうか。

ダーウィンの自然選択では、環境に適応し続けてきた「適者」として、いまの姿をしていると説明される。

しかし適者生存と言っても「最適化」にはほど遠く、自然選択も生物の姿を変幻自在に変えられるほど強力ではないことが判明している。実際、ヒトの体にはいくつもの設計上の弱点もあれば、便利な腕がたくさんある千手観音でもない。なぜだろうか。最新の研究から、生物が変幻自在に進化できない要因が、生物そのものに内在化されている可能性がみえてきた。



生物がどんな姿に進化するかは、どのような仕組みで決まるのだろうか。現代進化論では、DNAへの突然変異により親世代と少し違った特徴を持った次世代が生まれ、そこから自然選択や偶発的要因を通して、より多くの子孫を残した個体の特徴が種内に広がることで進化過程を説明する。では自然選択次第で、馬からペガサスのような翼を持った動物を人工的に進化させることはできるのだろうか。数億年の進化の歴史を振り返れば、この可能性は限りなく低いだろう。哺乳類をはじめ、爬虫類、鳥類や両生類など2対の脚をもつ四肢動物のうち、3対目となる脚を獲得した動物はいないのだ（鳥類も前脚を翼に変化させただけだ）。体のサイズや体色を変えることはしばしば起こってきたのだが、不思議なことに、基本的な解剖学的特徴の変化は数億年の進化を通して起きにくかった。特に、背側に配置される神経管・腹側の消化管・咽頭・神経堤細胞由来の器官などといった基本的な解剖学的特徴（ボディプラン）は脊椎動物の進化を通して変わっていない。長年の議論にも関わらず、この理由は明らかではなく、「ボディプラン変化は生存戦略上それほど有利ではなかったのだろう」といった根拠の乏しい推論に終始しがちな問題だった。

一方、近年の研究でこの問題に対する手掛かりが得られた。受精卵から成体がつくられる発生過程の

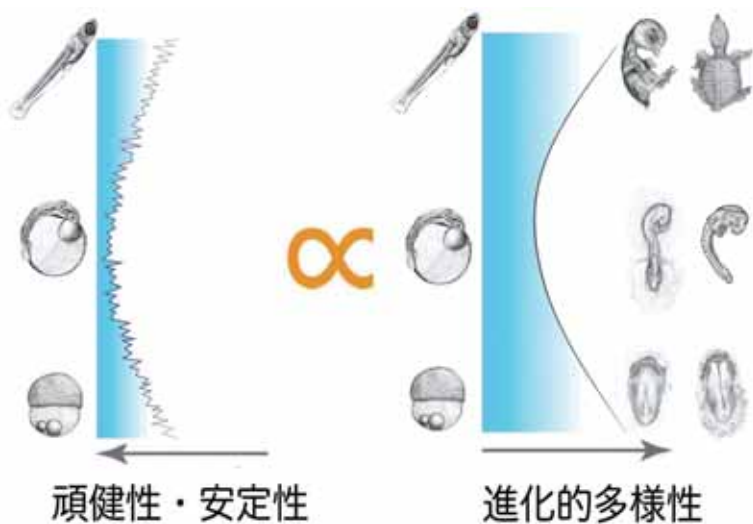
うち、基本的な解剖学的特徴（ボディプラン）ができる時期は、その前後の発生時期と比べて進化的に多様化してこなかったという法則性（発生砂時計モデル¹⁾）が明らかにされた。言われてみれば当然かもしれないが、ボディプランが進化を通して変化していないのはボディプランを形成する発生段階が変化してこなかったためだったのだ。こうなると次は、このボディプラン形成段階が進化を通して多様化してこなかったメカニズムの解明だ。

1つ1つ候補となる可能性を実験的に検証して消していくうちに、ある理論仮説²⁾にいきついた。そもそもボディプランが成立する胚段階は、その特徴にバリエーションが生じにくいから、新しい特徴を備えた個体を選び抜いて多様化することができない可能性だ。実は、われわれの過去の研究³⁾から、ボディプラン形成期は突然変異や環境ノイズに対して頑健であり、遺伝子発現レベルでみてもその特徴は変わりにくいことが判明していた。つまり、環境変動や突然変異を加えてもボディプラン形成期は特徴が変わりにくいのだ。では、環境変動や変異のない条件での安定性はどうか。今回の研究では、変異や環境変動の影響がほとんどない条件を構築し、この仮説を検証した。脊椎動物の一種であるメダカのうち、ゲノムの違いがほとんどない近交系⁴⁾のメダカを用い、さらに同じ親から生まれ、同じ環境で育った同性の子メダカ胚の遺伝子発現情報を大規模解析した。すると、やはりボディプラン形成期がその前後の発生段階よりも差異が小さい、つまり安定だということが判明したのだ。これら一連の結果は、ボディプラン形成期がそもそもバリエーションを生み出しにくいために保存されたという仮説と合致するもので、生物の特徴は安定性や頑健性といった内的特性により多様化が制限される可能性を示している。生物がどんな姿に進化するかが、生物そのものにある程度内在化されているという視点は、現代進化論には統合されておらず、今後進化論の拡張にもつながる重要な知見だ。

本件研究成果は、Y. Uchida *et al.*, *BMC Biology*, 82, 20 (2022) に掲載された。

(2022年4月11日プレスリリース)

図：生物の体づくり（胚発生）が備える頑健性・安定性（図左）は、その進化的多様性（図右）と相関していることが判明した。図中では下から上に胚発生が進む。体の基本構造ができあがる途中の胚段階は、環境変動や突然変異に対して頑健で、さらには内的なノイズに対しても安定であるため、表現型のバリエーションが生まれにくい。これはそもそも自然選択を受けて選抜される新しい特徴をもった個体が生まれにくいことを意味し、結果的に進化的な多様性（図右）の乏しさに結びついていたと考えられる



* 1 さまざまな動物の受精卵から成体ができるまでの過程（発生過程）を比較すると、ボディプランが構築される発生段階は、受精卵に近い発生初期や成体に近い発生後期よりも進化的な多様性が乏しいという法則性。現在、複数の動物門において成立することが判明しているが、同じ動物門に属する動物群においてのみ成立し、動物門を超えては成立しないことがわかっている。

* 2 揺らぎ応答理論と呼ばれ、今回の共同研究をともに行った生物普遍性研究機構の古澤力教授らの理論研究から提唱された。大腸菌などの単細胞生物では実験的にも支持されているが、複雑な多細胞生物で成立するかどうかは不明だった。

* 3 Uchida *et al.* *EvoDevo* 9: 7, (2018) * 4 近親交配を繰り返して、遺伝的な違いが個体間でひじょうに小さくなった系統。

CASE 3

二つの触媒が共同作業 水素社会にも貢献

水素をエネルギー源として用いる水素社会の実現は、化石燃料依存からの脱却を加速する。一方で、水素の貯蔵や輸送にはいくつかの大きな課題がある。そのような中、常温常圧で液体かつ水素の貯蔵密度の高い有機ハイドライドを貯蔵や輸送に用いる方法は、水素社会実現への切り札となるものと期待される。今回、本法の鍵となる芳香族化合物の水素化反応において、金属ナノ粒子触媒とルイス酸触媒の協調作用により、従来法と比べ大幅な反応加速が起こり、より効率的に水素貯蔵を行えることを見出した。

近年、SDGsに向けた取り組みや地政学リスクなども相まって、化石燃料依存からの脱却と炭素循環型社会の構築に向けた動きが世界的に加速し、水素をエネルギー源として用いる水素社会の実現にも注目が集まっている。水素は空気中の酸素と反応させることでエネルギーを取り出すことができ、副生成物として水のみを生じるため、二酸化炭素を大量に放出する石炭や石油、天然ガスと比べてクリーンなエネルギーである。しかし、水素を大量に供給することのできるエネルギー生産地は、消費地である日本から遠く離れている場合が多く、その輸送が課題となる。また、水素は気体であるため、そのままの形で輸送するのは効率が悪く、冷却して液体とすることで体積を大幅に減らすことができるが、冷却のために多量のエネルギーが必要であり、その貯蔵や輸送のために専用のタンカーや貯蔵施設を新たに建造する必要があるといった課題がある。そのような中、ベンゼンやトルエンといった芳香族化合物と水素を化学反

応させ有機ハイドライドとし、これをいわば「水素貯蔵庫」として輸送する有機ハイドライド法が注目を集めている。環状の不飽和化合物であるベンゼンやトルエンは、三分子の水素と触媒存在下で反応することで、常温常圧で液体の有機ハイドライドであるシクロヘキササンやメチルシクロヘキササンへ変換される。すなわち、一分子の芳香族化合物に三分子の水素が貯蔵可能となる。また、これらの有機ハイドライドはガソリンの成分でもあるため、既存のタンカーや貯蔵施設といったインフラストラクチャーを活用できる利点も有している。

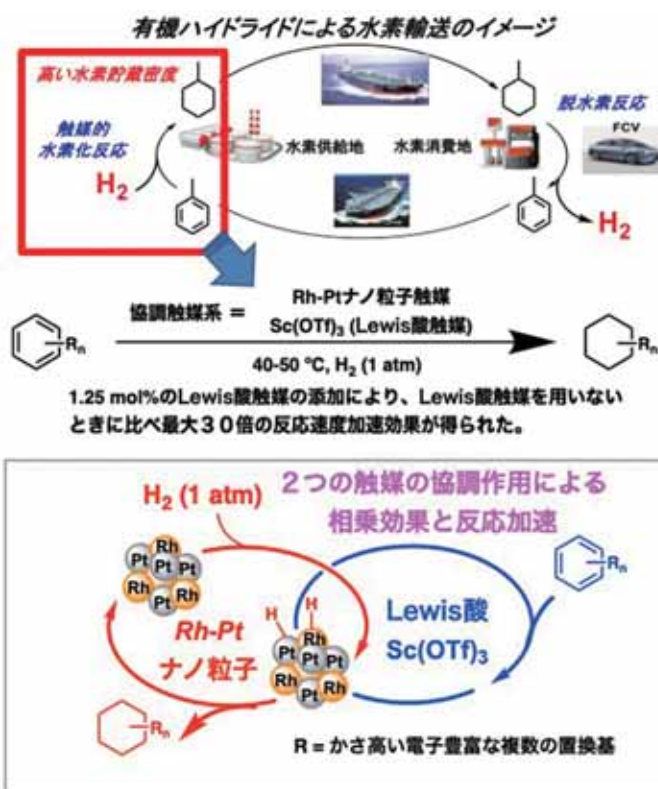
このように、触媒を用いる芳香族化合物の水素化反応は、有機ハイドライド法を用いた水素貯蔵、輸送への応用が可能で、水素社会実現において重要な反応であるとともに、医薬品などの高付加価値化成品合成にも有用な反応である。しかし、かさ高い置換基や電子豊富な置換基を複数有する芳香族化合物の水素化は困難で、高温高圧といった過酷な反応条件を必要とし、その効率的な合成法の開拓が課題であった。

今回われわれは、複数の触媒が相乗的に遷移状態の活性化エネルギーを低減化できる協調触媒系に着目した。不均一系触媒であるロジウム-白金ナノ粒子と、ルイス酸であるスカンジウム触媒の協調効果により、前述した水素化が困難であった芳香族化合物が、1気圧水素、低温(50℃以下)で円滑に水素化されることを見出した。

今後は、本触媒系をより実用化に近い連続フロープロセスに展開することで、医薬品などの化成品合成において、省資源化、省エネルギー化を実現でき、SDGs達成への貢献が期待される。また、今回の触媒反応開発の成功によって、水素化が困難であったさまざまな芳香族化合物を、水素輸送のための新しい水素キャリアとして開発することへの道を開くことができた。

本研究成果は H. Miyamura and S. Kobayashi, *Angewandte Chemie and Angewandte Chemie International Edition* e202201203 (2022) に掲載された。

図: Rh-Pt ナノ粒子触媒と Lewis 酸触媒からなる協調触媒系を用いる芳香族化合物の水素化反応



理学のスヌメ

アルマ望遠鏡で探る 原始惑星系円盤の化学



大和 義英

Yoshihide Yamato

(天文学専攻 博士課程1年生)

Profile

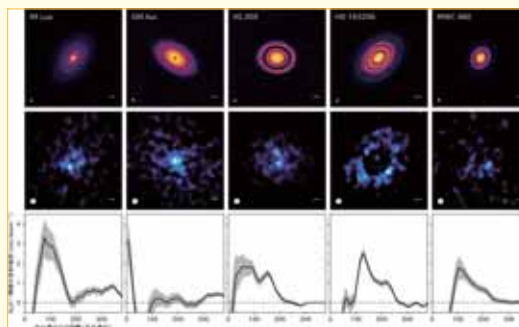
出身地	福井県
出身高校	福井県立藤島高校
出身学部	東京大学理学部天文学科

われわれの住むこの地球および太陽系は、宇宙の中でどのように誕生したのだろうか。この問いは人類の抱く疑問の中で最も根源的なもののひとつであろう。残念ながらわれわれは、歴史をさかのぼって生まれたての地球や太陽系を直接探査することはできない。代わりに、天文学者はこの問いの答えを夜空に輝く星に求めてきた。太陽に似た恒星の周囲には、恒星の誕生に伴ってガスと少量の塵からなる円盤（原始惑星系円盤）が形成される。原始惑星系円盤はまさに惑星の誕生の現場であり、その物理構造や化学組成を詳細に調べることによって、この宇宙における地球や太陽系の誕生過程の解明につながる手がかりを得ようとしているのである。

私はとくに原始惑星系円盤における化学に興味を持ち、電波望遠鏡を用いた観測的な研究を行ってきた。円盤の見かけの大きさはひじょうに小さいため、詳細な観測には高い分解能が不可欠である。また、化学組成の指標となるさまざまな分子からの微弱な電波をとらえるには、高い感度も欠かせない。チリのアタカマ砂漠に建設されたアルマ望遠鏡は、66台のアンテナを組み合わせることで仮想的な1台の巨大な望遠鏡として用いることで、高分解能と高感度の両方を同時に達成できる。私のこれまでの研究では、アルマ望遠鏡の大規模観測プロジェクトで得られた高分解能・高感度のデータを用いて、5つの円盤内の重水素（D）を

含む分子（ N_2D^+ ）の分布を詳細に調べた（図）。星間分子は宇宙の元素組成比に比べて重水素を含む分子に富んでいることが知られており、この現象は重水素濃縮と呼ばれる。地球の海水などの太陽系の物質でも同様の現象がみられることから、太陽系の物質が星間物質に起源を持つ可能性が議論されている。私は、電波強度が弱いためこれまで詳細な解析が難しかった N_2D^+ 分子を、円盤ガスの力学的運動を利用した手法を適用することにより、4つの円盤で確実に検出しその存在量を定量的に求めることに成功した。その結果、 N_2D^+ 分子は主に円盤外側の低温な領域に存在しており、重水素濃縮度（ N_2D^+/N_2H^+ 比）がひじょうに高いことが初めて明らかとなった。これは、円盤内において効率的な重水素濃縮が起こっていることの証拠である。すなわち、惑星の誕生の現場である原始惑星系円盤は、星間物質から惑星系物質への豊かな化学進化の現場でもあるのだ。

アルマ望遠鏡は2011年の運用開始以来、その高い性能によってわれわれに驚くべき観測結果をもたらしてきた。上記の原始惑星系円盤スケールでの観測的な化学研究も、アルマ望遠鏡の高い分解能と感度によって初めて可能となった最先端の研究である。私が研究していてもっともわくわくする瞬間は、実際に観測データを手にしてそこに重要な観測結果が眠っていることに気づいたときである。この興奮はまさしく、観測データに直接触れた者だけが味わえる、観測研究の醍醐味だと思う。これからも、アルマ望遠鏡や今後建設される次世代の望遠鏡を最大限活用して、未だ誰も見たことのない最先端の地平を切り拓いていきたい。



(上段) アルマ望遠鏡で観測した5つの円盤における塵の熱放射の画像。(中段) 観測した N_2D^+ 輝線の強度分布。上段・中段で左下の白い楕円は観測の空間分解能、右下の白線は50天文単位のスケールを表す。(下段) N_2D^+ 輝線の円盤動径方向の強度分布。中心付近では放射が弱く、円盤外側で強いことが分かる。Öberg *et al.*, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 257, 1 (2021) および筆者が解析を行った Cataldi *et al.*, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 257, 10 (2021) のデータから作成

1+1
から
無限大
の理学

飯塚 毅

(地球惑星科学専攻 准教授)

第20回

地球のウラン・トリウムを
ニュートリノで測る

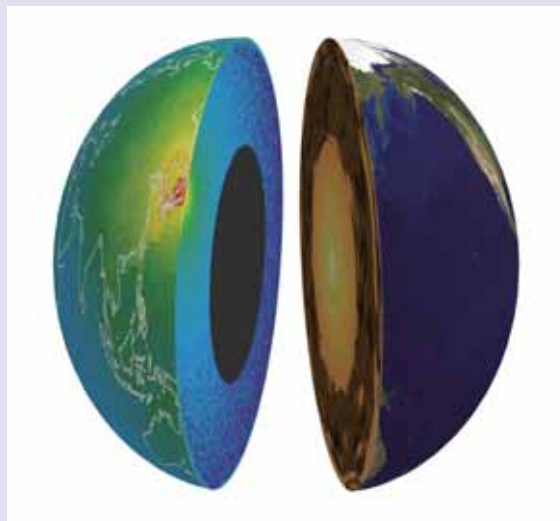
45億年にわたる地球進化の解明を目指す地球科学において、地球内部の熱源となる放射性元素ウラン (U) およびトリウム (Th) の定量は重要課題の一つである。しかし、われわれが入手できる地球内物質は、地殻及びマントル最上部の岩石に限られ、地球深部の U・Th 量を直接測ることは難しい。そこで、「U・Th などの難揮発性元素の相対濃度は、地球全体と始原的隕石コンドライトの間で等しい」と仮定し、地球の U・Th 量は推定されてきた。この「コンドライト質地球モデル」は、地球の形成年代推定にも用いられる地球科学の根幹をなすモデルだが、その妥当性は厳密に検証できなかった。

近年、地球内 U・Th が放射壊変時に放出する素粒子ニュートリノ (地球ニュートリノ) を用いて、その存在量が測定されている。質量がひじょうに小さく電磁力を受けないニュートリノ (ν) は固体中でも高い透過性をもち、地球深部の U・Th 測定に利用できる。2005 年に神岡鉱山の検出器カムランド (KamLAND: The Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector) で初めて地球 ν が観測されて以降データが蓄積され、そのフラックス測定精度は 15% にまで向上している。この精度は、地球深部の U・Th 量に制約を与え、コンドライト質地球モデルの定量的検証を可能とする。ただし、そのためには検出器周辺の地殻に由来する ν のフラックスを独立に同程度の精度で推定する必要がある。地球 ν の検出確率はその生成場が近いほど高く、地殻はマントルに比べ U・Th を高濃度含むため、検出される地球 ν の大凡半分は日本島弧の U・Th 由来と予

想される。したがって、マントルの U・Th 量推定には、日本島弧の U・Th 分布を求めて地殻 ν を推定することが必要となる。そこで現在、地球科学者と素粒子物理学者が共同で、地殻岩石の化学データと地震波データを組み合わせることにより、この課題に取り組んでいる。

地殻はマントルに比べアクセスしやすいものの、入手できる深部地殻岩石は捕獲岩 (マグマが上昇する際に火道で取り込んだ岩石) などに限られ、その産出地域は局所的である。一方、地震波は岩石種によって異なる速度で伝わるため、日本島弧の構成岩石種の推定を可能とするが、U・Th などの微量元素組成を反映しない。そこで、入手可能な岩石から各岩石種の U・Th 濃度分布を決定し、地震波データから得た岩石種の空間分布と組み合わせることで U・Th 分布を求め、地殻 ν を推定する。

この地球科学と素粒子物理学の学際研究を実行する上で問題となるのが、いかに地殻 ν の推定に定量的誤差を付するかである。地球科学ではしばしば、コンドライト質地球モデルのようにもっともありえそうなモデルだけが提示され、その不確定性を定量的に示さない。一方、物理学では多くの場合モデルの取りうる幅を確率密度関数の形で定量的に示す。地殻 ν の定量的誤差推定には、日本島弧 U・Th 分布モデルを確率密度関数で書き表す必要があるが、そのためには、実際には極めて複雑に異なる組成の岩石が分布しており、その定式化が困難という問題がある。この問題が解決されれば、地球の熱史と化学組成に従来にない精度で定量的制約を与えることが可能となる。



地球の模式断面図 (右) と KamLAND で観測される地球ニュートリノの起源自想図

わくわくすること
おもしろいことが
研究の原動力



横山 将志

YOKOYAMA Masashi
物理学専攻 教授

2002年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了(理学)。2003年京都大学助手として加速器からの人工ニュートリノビームを使う長基線ニュートリノ振動実験に参加。K2K実験、T2K実験でニュートリノ検出器の設計開発や運用、データ解析を主導した。2009年に東京大学大学院理学系研究科物理学専攻准教授に着任し、2019年より現職

中高生の頃どんなことに興味を持っていましたか？

中学校の頃はテレビゲームばかりやっていました。高校では声楽部や文芸部で活動していました

ファミコン世代なので、小中の頃はゲームばかりでした。愛媛の田舎育ちでやることもなく、いま考えるとのびのびと過ごしていました。今のようにネットで情報が入ることもなくて、本はよく読みました。

学生さんにおすすめの本や教科書は？

ジョージ・ガモフ¹
「不思議の国のトムキンス」
ファインマン²
「ご冗談でしょう、ファインマンさん」

中高の頃に読んで影響を受けた気がする本。物理を専門としない人にも読んでみてほしい。

座右の銘は？

人間万事塞翁が馬

小学生の時故事を知って感銘を受けました。目先のことに一喜一憂せず、おおらかな気持ちで人生を送ることを心がけるようにしようと思いました。

趣味はなんですか？

読書。主に読むのは本格推理、SF、ファンタジー

一番多く読み返した本はおそらく『指輪物語』。SFでは最近「三体」や「マードボット・ダイアリー」シリーズ(弊機…)を読みました。推理小説は新旧手当たり次第読んでいたけど最近量は減っています。

自分は運がいいと思う？

はい、とても

研究室選びのとき、じゃんけんに勝てたことから今の研究に巡り合えたので。

宇宙人はいと思う？

はい

宇宙の広大さを知るにつれ、地球だけに生命がいるとは考えにくいです。しかし、宇宙「人」と呼べるような生命かどうかはわからないし、地球に来られるような近隣には多分ないと思います。

メッセージ

「わからない」ことが、最高に面白いです。



インタビュー記事 ▶

「革新分子技術」総括寄付講座が第63回科学技術映像祭部門優秀賞(研究・技術開発部門)を受賞

大越 慎一 (化学専攻 教授)

総括 プロジェクト機構・理学系研究科化学専攻の「革新分子技術」総括寄付講座が、第63回科学技術映像祭 部門優秀賞(研究・技術開発部門)を受賞されました。授賞対象となった映像の題名は、「結晶ができる瞬間をカメラで捉えた!」で、本学における最先端の研究を中学生・高校生に伝えるための教育用映像としての貢献が評価されました。

中村栄一特別教授が主宰する「革新分子技術」総括寄付講座では、高速カメラを備えた原子分解能透過電子顕微鏡を駆使して原子および分子の動きや化学反応を観測する手法を開発し、原子や分子が化学反応する様子をリアルタイムで見たい、という科学者の長年の夢の実現に挑んでいます。その結果、ナトリウムイオンと塩素イオンのイオン対から直方体の食塩結晶ができあがる過程の一部始終の映像化、という希に見る成果に結実しま

した。食塩の結晶化実験は小学校から高校に至る化学の教科書の定番実験ですので、面心立方構造の食塩の結晶がみるみるとできあがる様子を示したこのビデオ映像は世界中の注目を集めました。今回のご受賞は、このような最先端の研究内容を分かりやすく明瞭に解説した点が高く評価されたものです。20世紀は映像の世紀といわれますが、21世紀になった今、原子や分子の映像が科学教育に活用される時代が ついに到来したことが実感されます。

中村特別教授は2010年には「炭素クラスターのソナタ」で第51回科学技術映像祭部門優秀賞をご受賞、今はさらに、結晶のビデオの英語版制作から小学生向けの教材まで幅広い教育展開を始めておられるとも聞いています。最先端研究と科学教育を結びつけるお仕事の一層のご発展をお祈り申し上げます。



東京大学「革新分子技術」総括寄付講座 YouTubeチャンネル

理学部ガイダンス2022開催報告

川北 篤 (植物園長/教務委員長 教授)

2 022年5月17日(火)に教養学部2年生に向けた理学部ガイダンスをオンラインで開催した。

冒頭で、山本智副研究科長からご挨拶をいただいた。理学は基礎の学問であり、社会的課題の解決には役立たないと思われるかもしれないが、理学の基礎力を身につけ、研究を通して自ら知の地平を広げる挑戦をしてきた学生は、変化が急速な世の中にあってもあらゆる分野で活躍できる人材として社会に求められるというお話があった。続けて、理学部における教育の特色や、理学部が力を入れている国際化の取り組みなどについて筆者が説明した。次に、高橋嘉夫キャリア支援室長より、理学は真理を追求する喜びに満ちた学問であるだけでなく、理学の道に進んでも就職率はほぼ100%であるとの説明があった。

続けて、理学部10学科の学科長の先生方に5分間ずつ学科紹介をしていただいた。短い持ち時間ではあったが、各学科の魅力を熱く語っていただき、学生たちは引き込まれるように話を聞いたのではないと思う。

今年度の参加人数は約250名で、昨年度の約300名よりは少なかったが、対面で開催していた3年前までとほぼ変わらない参加者数だった。5月18日(水)から5月24日(火)にかけては学科個別ガイダンスが行われ、こちらも多くの学生の参加があった。

今年度もぜひ多くの意欲の高い学生に理学部進学を希望してもらえることを願っている。



山本智副研究科長による挨拶

「ほのぼの物理キーワード辞典」動画配信を開始

宮下 哲 (物理学専攻/トランススケール量子科学国際連携研究機構 特任教授)
林 将光 (物理学専攻/トランススケール量子科学国際連携研究機構 准教授)
中辻 知 (物理学専攻/トランススケール量子科学国際連携研究機構長 教授・機構長)

昨 今、若者の理科離れ、物理離れが話題になって久しい。わたしたちが面白い!と思っているキーワードがあまりにも専門的でとつきにくいことが一因と考えられる。そこで考えたのが、今回 2022 年 4 月 18 日に東京大学大学院理学系研究科・理学部 YouTube チャンネル上で配信を開始した「ほのぼの物理キーワード辞典」である。「水中の癒し系の生き物」×「難解な物理用語」×「人気声優」という従来にないコンセプトで、今まで理科や物理に振り向かなかったような中学・高校生、さらには一般の方々に物理学に少しでも親しみをもってもらうことを目的にした。また、最後まで見てもらえるようになるべく短く、1 動画あたり約 3 分のサイエンス動画として企画した。「超ひも理論」や「トポロジカル物質」など 13 の最先端の物理をテーマにした 13 本の動画を 4 回にわたって公開した。

最先端の物理キーワードの背景には、その研究のドラマや驚くべき発見があり、それらを正しく、かつ、触れ合いやすくすることが味噌である。多忙な中、このような一風変わった企画に賛同し、仔細にわたり熱心に監修してくださった多くの教員のおかげで、内容としてはとてもしっかりしたものにできたと感じている。ここに感謝を申し上げたい。また、本学、JSR 株式会社様、株式会社 NHK エンタープライズ様との 3 者による同時プレスリリースが功を奏したのか、公開初日に視聴回数が 2000 回を超える動画もあったり、SNS 上でも多くの「つぶやき」がなされたりと反響の大きさを実感した。



公開初日に2000視聴回数を超えた「超ひも理論」のサムネイル

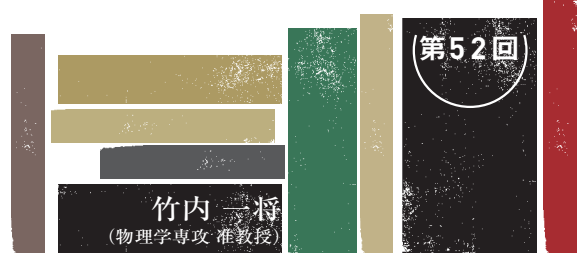
世間では声優の梶裕貴氏の「クセの強い」ナレーションが話題を集めているが、約 3 分という短い時間の中に各テーマの面白さや未解明な部分がワクワク感とともにコンパクトに詰まっている点に注目しながらご覧いただきたい。また、本動画をご家族にも是非ご案内いただき、感想など御寄せいただけると幸いです。

最後に、制作費用をサポートいただいた JSR 株式会社様、動画制作を担当いただいた株式会社 NHK エンタープライズ様には、この場を借りて心から感謝を申し上げます。

理学の本棚

「非平衡統計力学」

—ゆらぎの熱力学から情報熱力学まで—



講義で扱う熱力学や統計力学は、熱平衡状態とその近傍を主な対象とする。しかし、自然界には平衡から遠く離れた非平衡状態もそこかしこに見られ、生命をはじめ、非平衡であることが本質的な現象もめずらしくない。そうした非平衡状態を扱う熱統計力学の試みは、今なお活発に研究が続く先端的トピックである。さまざまなアプローチが歩みを進めるなかで、非平衡過程も記述できる「ゆらぎの熱力学」(stochastic thermodynamics)の発展と、測定や操作を情報理論として熱力学に組み込む「情報熱力学」の誕生は、近年の非平衡統計力学の代表的な進展と言ってよい。

本書は、そのような非平衡統計力学の入門書の決定版だ。著者の沙川貴大氏は、情報熱力学の構築を主導し、非平衡統計力学等で活躍を続ける人物である。本書の特長は、とにかく見通しが良いことにある。「ゆらぎの定理」と総称されるさまざまな関係式、熱機関の性能やトレードオフ関係、熱力学不確定性関係などの直近の話題、マクスウェル

のデーモンにまつわる紆余曲折と解決などについて、最新の理解に基づき本質が整理され、具体例を交えて極めて平易に解説されている。

本書の内容は、理論も実験も諸方面に展開し、理学部では、上田正仁研究室、伊藤創祐研究室、岡田康志研究室などで関連研究が行われている。非平衡現象は幅広く、潜在的に関連する研究室はもっと多い。本書は、そうした最先端の非平衡統計力学に学部生からでも飛び込ませてくれる、無二の良書となるだろう。



須藤 彰三監修・岡 真監修
沙川 貴大著
「非平衡統計力学」
共立出版 (2022年)
ISBN 978-4-3200354-85

おしらせ |

猪木慶治先生ご逝去の報に接して

松尾 泰 (物理学専攻 教授)

猪木慶治先生の訃報に接し、謹んで哀悼の意を表します。

先生は、1933 (昭和8)年岡山県生まれ、1961 (昭和36)年に東京大学で理学博士を取得されました。その後、1966 (昭和41)年に東京大学理学部講師に着任、助教授を経て1981 (昭和56)年に東京大学教授に就任されました。1994 (平成6)年東京大学を定年退職されるまで28年間にわたり物理学の教育・研究に努められました。

先生は素粒子物理学の理論的研究、なかでも強い相互作用の研究で著しい業績を挙げられました。分散公式の理論やハドロンの共鳴状態の分析などに数多くの優れた仕事をされています。特に1967年に先生が発見された「有限エネルギー和則」はハドロンの高エネルギー散乱振幅と低エネルギー

ギーの共鳴状態の間に双対性が成り立つことを示し、その後の双対模型やストリング理論の発見へ導いた画期的な業績でした。先生と松田哲氏による共著論文は日本人の書いた素粒子物理学の論文でもっとも引用件数が多いものの一つとして知られており、2001年に第1回素粒子論メダルを松田氏と共同受賞されました。

先生は後進の指導に当たっても特筆すべき功績をあげられており、先生の研究室からは大学・研究所で指導的な役割を果たす多くの研究者を輩出しました。いつも穏やかな笑顔を絶やさぬ温かいお人柄で、研究室の学生は落ち着いて研究に集中していたことが思い出されます。

猪木先生の東京大学や学術への多大な貢献に感謝するとともに、ご冥福を心よりお祈り申し上げます。



故・猪木慶治先生

女子中高生の未来2022 Online 開催のお知らせ

男女共同参画委員会・広報委員会

理 学部ってどんなところ？理系？文系？理系の大学を卒業した後の進路はどのようなの？
将来を不安に感じる女子生徒の皆さん、保護者の皆様、ぜひご参加ください。
活躍する理系女子の先輩たちが、理学の魅力や進路決定に役立つ情報をお伝えします。
詳しくは、理学部ホームページをご覧ください。



女子中高生2022オンラインのポスター

- 開催日程：2022年7月30日（土）
- 開催時間：13：30～17：00 ※ライブ配信します。13：00から入場可能です。
- 参加無料・先着順にて受付いたします。※事前申し込みが必要です。
- HP： <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/event/7938>

東京大学理学部オープンキャンパス2022 Online 開催のお知らせ

広報委員会

毎 年ご好評をいただいております理学部オープンキャンパスは、2022年も2
日間のオンライン開催となります。多くの方に理学部の活動と魅力を共有
することができるよう願っております。当日は、学生や教員によるライブ講演や
Zoomを使用した10学科の相談コーナー、女子中高生相談質問コーナーなどもご
ざいます。相談コーナーはライブ配信もいたします。ぜひご参加ください。



東京大学理学部オープンキャンパス2022オンラインのポスター

- 開催日程：2022年8月3日（水）・4日（木）
- 開催時間：10：00～18：00
- 参加無料でどなたでもご覧いただけます。
- HP： <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/event/open-campus/2022/>

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
2022年5月23日付 (2名)			
課程	物理	宇佐見 正志	最大強度 μ^+ ビームを用いた 10^{-13} を超える感度の $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 探索のための革新的な陽電子スペクトロメータ (※)
課程	生科	藤川 大地	ストレス顆粒形成によるアポトーシス抑制機構の解明 (※)
2022年6月13日付 (2名)			
課程	化学	長田 渉	銅系モデル触媒における水素およびギ酸の表面化学 (※)
課程	生科	横山 正明	Spt4 による rDNA の不安定化を介した細胞老化誘導機構の解析 (※)
2022年6月30日付 (3名)			
課程	物理	耿 辰华	微分可能プログラミングによるアイソメトリックテンソルネットワークの改良アルゴリズム (※)
課程	化学	黄 康睿	大規模な単一細胞解析のためのディープラーニングで強化されたイメージングフローサイトメトリー (※)
課程	生科	畠澤 卓	ヌクレオソームにおけるヒストンアセチル化機構の構造生物学的研究 (※)

人事異動報告 |

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2022.5.31	化学	助教	寺坂 尚紘	退職	東京工業大学・特任准教授へ
2022.6.1	生科	助教	柏木 光昭	採用	筑波大学・助教から
2022.6.1	天文研	助教	松林 和也	採用	京都大学・特定助教から
2022.6.1	ビッグバン	助教	小森 健太郎	採用	宇宙航空研究開発機構・宇宙航空プロジェクト研究員から
2022.6.1	フォトン	助教	櫻井 治之	採用	物性研究所・特任助教から
2022.6.30	フォトン	特任准教授	田丸 博晴	辞職	同機構・特任教授へ
2022.6.30	地惑	助教	河原 創	退職	宇宙航空研究開発機構・准教授へ
2022.6.30	化学	特任助教	福永 隼也	辞職	同専攻・助教へ
2022.7.1	フォトン	特任教授	田丸 博晴	採用	同専攻・特任准教授から
2022.7.1	フォトン	特任講師	石田 行章	採用	
2022.7.1	化学	助教	福永 隼也	採用	同専攻・特任助教から
2022.7.1	生科	助教	LYSENKO ARTEM	採用	
2022.7.1	経理	経理系専攻チーム (生物科学専攻) 副課長	小坂 規	配置換	柏地区共通事務センター副事務長 (経理担当) から
2022.7.1	総務	総務系施設チーム (附属植物園日光分園) 係長	寺岡 仁	配置換	定量生命科学研究所総務チーム係長から

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

星野 真弘

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、自然の摂理を純粹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年受賞決定)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。皆様の方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。



(上段) 左：シライトソウ，右：ミヤマヨメナ。(下段) 左：クジャクシダ，右：ニッコウキスゲ。
日光植物園では寒冷地に分布する2000種以上の植物を保有しており，それらを研究材料として提供すると共に，一般にも公開している