

SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

The Rigakubu News

理学部ニュース

東京大学 01 月号 2022

理学のススメ

世界がスケール不変であったなら？

理学エッセイ

A vaccine against pseudoscience

理学の謎

断層の形で地震がどこまで予測できるか？

学部生に伝える研究最前線
宇宙の有機物の塵を作る

トピックス
博士学生の多様なキャリアの可能性を知る

男女共同参画委員会よりみなさんへ
数学、物理の男性イメージは何が原因か

01 理学部 ニュース 月号 2022

御殿下グラウンドに面した理学部化学東館は、関東大震災よりも前の1916年に完成した。この建物は本郷キャンパスに現存する最古の校舎である。



表紙・裏表紙 Photo Koji Okumura (Forward Stroke Inc)

理学部ニュース2022年1月号をお届けします。理学エッセイでは、科学と擬科学をどう見分けるかという問題について興味深い英語の記事をお届けします。科学の作法に則って行われることとそうでないことを区別することは日々の生活の中でも重要になるということを改めて気付かされます。研究最前線と理学のススメ、理学の謎では、何とも幅広い研究の話題が盛りだくさんですが、どれも理学らしい知力を総動員したような研究ばかりです。私が理学系研究科に着任してから2年が経ちましたが、理学部ニュースの編集に携わるようになり、理学部・理学系研究科で行われている研究の幅広さには改めて驚かされています。コロナ禍にあって、研究活動にも少なからず影響がありますが、この高い研究アクティビティーはぜひとも維持し、さらに高めていきたいところです。本年も理学部ニュースをよろしくお祈りします。

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53巻5号 ISSN 2187-3070

発行日：2022年1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)
桂 法称 (物理学専攻)
岡林 潤 (スペクトル化学研究センター)
池田 昌之 (地球惑星科学専攻)
稲垣 宗一 (生物科学専攻)
吉村 太志 (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。



東京大学 理学部ニュース

検索

目次

理学エッセイ 第56回

- 03 A vaccine against pseudoscience
Robert E. Campbell

学部生に伝える研究最前線

- 04 深層学習の特徴抽出でがんの新たな知識を発見
角田 達彦
宇宙の有機物の塵を作る
左近 樹 / 遠藤 いずみ
マクロな化学反応系における新たな熱力学法則
吉村 耕平 / 伊藤 創祐

理学のススメ 第5回

- 07 世界がスケール不変であったなら？
奥山 義隆

理学の謎 第16回

- 08 断層の形で地震がどこまで予測できるか？
安藤 亮輔

男女共同参画委員会よりみなさんへ 第5回

- 09 数学、物理の男性イメージは何が原因か
横山 広美

トピックス

- 10 大小田結貴さんが2021年度
第16回「ロレアル-ユネスコ女性科学者日本奨励賞」を受賞
山本 智
日比谷紀之教授が第14回海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰を受賞
升本 順夫
博士学生の多様なキャリアの可能性を知る
川野充郎 / 山岸慎司
駒場1年生向け理学部ガイダンス報告
川北 篤
東大理学部 高校生のための冬休み講座2021 Online
飯野 雄一

理学の本棚 第49回

- 12 「宇宙物理学ハンドブック」
高橋 忠幸

お知らせ

- 13 田隅三生先生のご逝去を悼む
東京大学理学部 臨時公開講演会2022 online
第34回 東京大学 理学部公開講演会 online
博士学位取得者一覧 / 人事異動報告
東大理学部基金

Essay

A vaccine against pseudoscience



Robert E. Campbell
(化学専攻 教授)

Robert E. Campbell is a Professor in the Department of Chemistry, School of Science. His research is focused on protein engineering applied to the development of biosensors for imaging of neural activity and metabolism.

As I approach fifty years of age and transition into a new career phase at the University of Tokyo, I find myself reflecting on the path that led me here. When I was a child, I lived in a community named Oyama in British Columbia, Canada. Curiously, this community was named in honor of General Oyama Iwao (大山 巖), whose statue stands in Kudanzaka Park. Was it destiny that a boy from a community named after a famous Japanese person would become a faculty member in Japan? Well no, it is a mildly interesting coincidence. I was fortunate to have received a vaccine against pseudoscientific thinking, and fictions like destiny, at a young age.

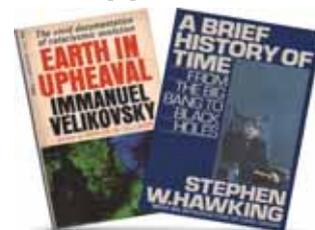
As an elementary school student, I had no conception of a boundary between science and pseudoscience. I read constantly, devouring books about ghosts, space aliens, civilizations, and dinosaurs. All written words seemed equally trustworthy. My mother appreciated the educational value of reading. When I was thirteen, she purchased the 1985 volume of the Encyclopedia Britannica. I was allowed to read during dinner, as long as it was an encyclopedia!

In high school, I enjoyed reading popular science magazines and books and my favorite was Stephen Hawking's *A Brief History of Time* (1988). Hawking helped me to appreciate the beauty and elegance of our scientific understanding of the cosmos. Through reading and lessons, I came to understand, in theory, that a key difference between science and pseudoscience was the method and reasoning used to arrive at a conclusion. Science employs the scientific method and pseudoscience does not.

It was a very different book, a dog-eared paperback found at a used book sale, that tested my theoretical understanding and vaccinated me against pseudoscience. That book was

Earth in Upheaval (1955) by Immanuel Velikovsky. Knowing nothing of the author's infamy, I found their use of arguments from "evidence" to be compelling and not so different from Hawking's. But if these writings were true, many things I had been taught must be false. One claim I recall is that sudden arctic floods caused the extinction of the mammoths. This was incompatible with my understanding of ice age glaciers slowly retreating and shrinking the mammoth's habitat over thousands of years. For weeks I struggled to reconcile the book with my youthful, science-based, understandings. Much has been written about Velikovsky, including criticisms that are far more sophisticated than what my teenage self could have thought of. But eventually I saw a fatal flaw that identified Velikovsky's writing as pseudoscience. They had a pre-determined worldview (one in which mythical catastrophes, such as biblical flooding, occurred), and were twisting facts and fabricating theories to provide "evidence" to support this view. This is not the scientific method. Evidence is not sought to explain theories; theories are sought to explain evidence.

In the internet age, the struggle to distinguish science from pseudoscience has become much more challenging, even as the consequences have grown much more serious. The Velikovskys of the world, with their wide-range of passions and distorted worldviews, are thriving on the internet. If there is a silver-lining to the proliferation of online Velikovskys, it is that one does not need to seek out old paperbacks to have vaccinations similar to mine. In fact, a social media account makes exposure unavoidable. It is my hope that, immune to pseudoscience, a population of skeptics will push back against the Velikovskys, shrink the habitats in which they thrive, and ultimately send them the way of the mammoths.



As a teenager, my struggle to fit these two books into a logically consistent worldview taught me the necessity of skepticism.

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、広報紙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まで。

CASE 1

深層学習の特徴抽出でがんの新たな知識を発見

機械学習の一つである深層学習の能力を遺伝子解析の分野でも存分に活用したい。

だが、ゲノムなどの遺伝子のデータは高次元変数データであり、

深層学習が得意とする画像などのパターンではない。

そこで遺伝子のデータをうまく変換して画像のように見せ深層学習にかける離れ技を練り出し、

たとえばがんの遺伝子のデータを入力させてがんの種類を判別できるようになった。

さて、では、深層学習はいったい何を見て判別しているのだろうか？それをどうすれば分析できるのだろうか？

そして実際にがんを分析したとき、いったい何が発見できるのだろうか？

私たちは、がん患者からの分子データでがんの発生メカニズムを解明し、患者ごとにがんの個性を見分け最適な治療法を選ぶ方法を研究している。ここでいう分子データとは、ゲノムやそこから転写されるRNAの総体であるトランスクリプトーム、細胞内で発現している全タンパク質を指すプロテオーム、メタボローム（生体内に含まれる代謝物質の総体）、遺伝情報を修飾するエピゲノムなどで、これらを網羅的にまとめて研究する学問をオミクスと言う。がんの個性はこの多くのオミクス間の複雑な関係で決まるので、従来の統計学では扱いにくい。

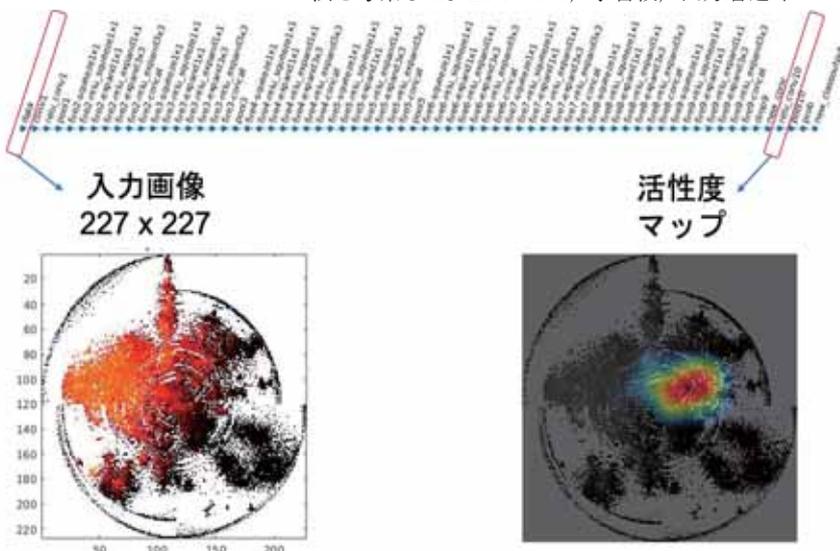
深層学習は、非線形関数の中間層を複数持つ深層ニューラルネットワーク（DNN）に基づき、複雑なパターンを扱え、画像処理などに優れていることから着目していたが、オミクスは画像ではなく、高次元のデータであることから良い方法がないかと試行錯誤した結果、私はオミクスデータを2次元で表現できれば良いはずだとひらめき、多くの検体間で似た挙動をする分子どうしが近くなるように分子をマップし直せばよいと気づいた。こうして画像にしたオミクスデータを深層学習で扱い、がん種を高精度に判定できた（2019年発表 DeepInsight法）。ではDNNは何を見てがんを見分けているのだろうか？

今回、私たちはそれを発見する DeepFeature法を考案した。DNNでは、学習後、出力層近く

の中間層（図右側）にさまざまな特徴が集約されており、それらを総合して画像を判別する。この層を分析することが鍵であると考えた。分析にはCAM（Class Activation Mapping）という技術を用いた。学習後に画像を入力すると（図左端）、この中間層上の (x,y) 座標での出力 $f_k(x,y)$ が特徴 k ごとに計算される（図右側の「活性度マップ」）。さらに、各特徴 k が判別対象（例えば肺がん）を支持する度合いを表す重み w_k もDNN内で計算されている。そこで特徴ごとに $f_k(x,y) \cdot w$ を計算し、最後に全特徴で足し合わせる。すると、肺がんと判定されたとき、入力画像の各画素が寄与する度合い、つまりどの画素を見て判定したかがわかる。こうして構築した DeepFeature法を10種のがんを判別予測する実験に適用すると、上皮間葉転換や凝固、血管新生、低酸素、炎症反応など、がんによく関わる遺伝子を見ていることがわかった。さらに、コラーゲンに代表される細胞外マトリックス構造やタンパク質のチロシン残基のリン酸化を介した受容体チロシンキナーゼシグナル伝達、Gタンパク質共役型受容体（GPCR）リガンド結合などのシグナル経路を見ていることも新たに発見できた。

深層学習には結論に至る道筋がわからないという「ブラックボックス」問題があるが、本研究を糸口にそれを脱却し、経緯を発見することが夢でなくなるだろう。今後、複雑でダイナミックながん化のメカニズムを解明し、患者ごとにがんの細かい「顔」の違いをみて治療を決めることを目指している。

本研究成果は A. Sharma *et al.*, *Briefings in Bioinformatics* 22, bbab297 (2021) に掲載された。（2021年8月19日プレスリリース）



図：がん患者のがん組織からの非画像のオミクスデータを画像のように変換し、深層学習の入力画像とする（左端）。この画像を入力すると、深層ニューラルネットワーク（上側）の左から右へ中間層上のニューロンが発火していく。出力層に近い層が特徴を表現する層（右端側）で、その活性度の様子（「活性度マップ」、色の着いた部分）から、どのような特徴を見ているかがわかる。論文から改変。

CASE 2

宇宙の有機物の塵を作る

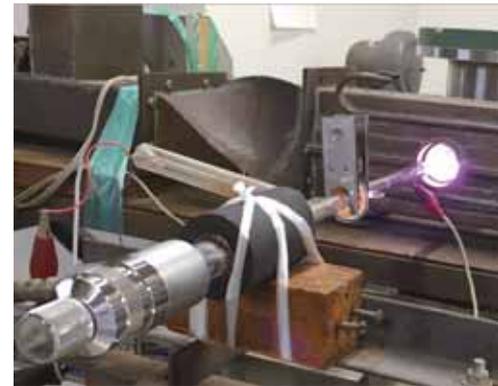
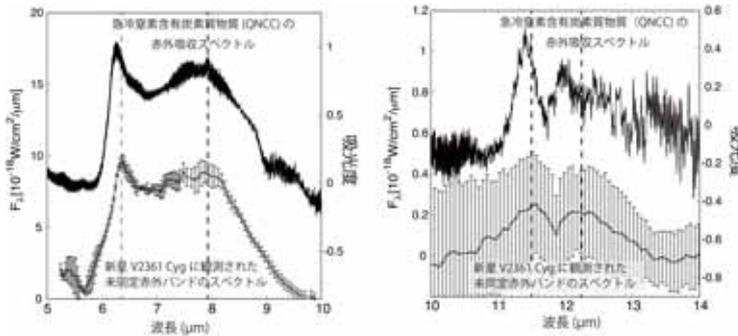
赤外線天文衛星は、大気に妨げられず、

さまざまな天体や銀河の星間物質の赤外スペクトルを取得することができる。

その観測によって、3-20 μm の波長域に複数の幅広いバンド放射から成る「未同定赤外バンド」が、天体や銀河にあまねく存在することが明らかになった。

1973年に初めて発見された未同定赤外バンドは、その担い手が有機物に起因することが知られているが、発見から約半世紀が経とうとする今も、その有機物がどのような物質であるか同定するための試みが続けられている。

本記事では、新星に観測される未同定赤外バンドの性質を再現する有機物の塵の合成実験の最新結果を紹介する。



老いた星は、重元素を含む恒星風を星間空間に放出し、「有機物の塵」の生成現場となる。新星もその一つで、新星が放出するガス中には、太陽風の数百倍以上高い濃度の窒素が含まれることがある。星間物質全体の中で、新星に起源を持つ物質の割合は多くない。しかしながら、未同定赤外バンドの放射を示す新星が幾つも観測されており、出来立ての有機物の塵の素性を観測する上で、新星は貴重な天体現象である。

そこで、地上で星間物質の合成を模擬し、観測される未同定赤外バンドの特徴を再現しようとする試みが行われている。その歴史は長く、本研究で使用したマイクロ波を用いたプラズマ発生装置は、1970年代後半に、電気通信大学の坂田朗助手（当時）が製作したものである。当時、この実験装置を用いてメタンガスをプラズマ状態から急冷凝縮して得られる「急冷炭素質物質（Quenched Carbonaceous Composite; QCC）」は、星間塵の光学的な性質を議論する国際的な場で重要な役割を果たした。2008年に電気通信大学の和田節子准教授が退職される際、本学天文教室にこの装置を移管した。

急冷炭素質物質が炭素と水素から成る有機物の塵であるのに対し、われわれが今回取り組んだのは、窒素を含む有機物の塵の合成である。炭化水素の固体試料と希薄な窒素ガスをマイクロ波加熱し得られたプラズマを急冷凝縮することで得られる有機物の塵の赤外線吸収スペクトルが、新星に観測される未同定赤外バンドの特徴をよく再

現することを発見した。われわれは、その有機物の塵を「急冷窒素含有炭素質物質（Quenched Nitrogen-included Carbonaceous Composite; QNCC）」と名付けた。X線吸収端近傍構造分析の結果、急冷窒素含有炭素質物質には窒素がアミンの形態で含まれていることがわかった。

急冷窒素含有炭素質物質は、炭素質コンドライト隕石中から抽出される不溶性有機物とも類似した赤外特性を示す。太陽系の有機物の起源として、年離れた星が作る有機物の塵が過酷な星間空間を長期に旅し生き残り新たな太陽系の誕生の現場に取り込まれるという道筋もあり得るのではないか。2015年以降、国際宇宙ステーションきぼう実験棟簡易曝露実験装置 ExHAM（エクスハム）を用いて、実験室で合成した急冷窒素含有炭素質物質などを太陽近傍の宇宙環境に曝露し、有機物の塵が獲得する変性過程を調べる実験に着手した。回収試料と、隕石中や実際に宇宙から採取した物質に含まれる太陽系の始原的な有機物を比較し、先の仮説の検証に挑みたい。

天文学的手法と地球科学的手法を総動員させて、究極的には、太陽系に生きる我々の存在が広く長い宇宙の歴史の中ではありふれたものであるかどうかを知る、そうした目標に急冷窒素含有炭素質物質が役立つことを願う。

本研究成果は I. Endo *et al.*, *The Astrophysical Journal* 917, 103 (2021) に掲載された。

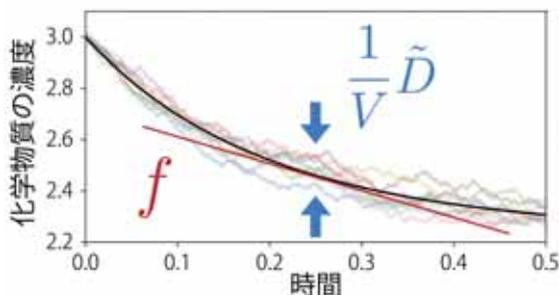
(2021年8月26日プレスリリース)

図：(左) 急冷窒素含有炭素質物質 QNCC の赤外吸光度スペクトルと新星 V2361Cyg に観測される未同定赤外バンドの比較。(右) 急冷窒素含有炭素質物質の合成の様子。

CASE 3

新たな熱力学法則 マクロな化学反応系における

マクロな化学反応系は熱力学・化学熱力学の法則に従う。
たとえば閉じた系での化学反応は、ギブスの自由エネルギーが減る方向に進むことが知られている。
近年、ゆらぎの影響が無視できない小さな系での熱力学の研究が行われ、
ゆらぎの指標と自由エネルギーの減少スピードとの間に
トレードオフ関係が成り立つという新法則が見つかった。
このような新法則はゆらぎが見えないマクロな化学反応系では成り立たないのだろうか？
この疑問に対して成り立つと肯定的に答えたのが本研究である。



スケールされた拡散係数 \tilde{D}
(系のサイズ V に反比例する
ゆらぎの大きさにおける係数)
反応による濃度変化の傾き f
エントロピー生成率 $\dot{\Sigma}$
熱力学的不確定性関係 $\dot{\Sigma} \tilde{D} \geq f^2$

図：化学反応で化学物質の濃度に変化する際、系のサイズ V に反比例するゆらぎが内在している。われわれはこの内在するゆらぎの量(スケールされた拡散係数)とエントロピー生成率の間にトレードオフ関係が成立することを示した。

マクロな系の熱力学は、適用範囲の広さから現代の科学の中で重要な位置づけをされている。特にマクロな化学反応系の化学熱力学は、化学反応の進む方向を決定するという重要な役割を担っている。

従来のマクロな系の熱力学は平衡状態間の遷移を扱うことが多く、平衡から離れた非平衡状態を扱う部分は未完成とされてきた。そこで近年、ブラウン運動などの確率的なノイズに代表される「ゆらぎ」の影響が無視できない小さな系を用いて、非平衡状態の熱力学を研究する分野が進展している。小さな系では確率的な記述が可能なことから、分散のようなゆらぎの指標が導入可能で、このようなゆらぎの指標を用いた新たな熱力学法則が見つかった。

新たな熱力学法則の中でも最近では熱力学的不確定性関係とよばれる関係式の研究が進んでいる。この関係式は、ゆらぎの指標とエントロピー生成率(閉じた化学反応系においてはギブスの自由エネルギーの減少スピードに相当)の間に、一方が大きければ他方は小さくなるというトレードオフ関係があることを表している。またこの関係式により、状態間の遷移にかかる時間の制限を与えることも知られている。一方で、このような関係式が、ゆらぎが見えないマクロな化学反応系で成り立つかは定かではなかった。

この疑問に対してわれわれは、系のゆらぎがマクロな系で見えなくなる理由に相当する、系のサイズに反比例してゆらぎの大きさが減る関係に着目した。系のゆらぎはマクロな量で記述できない一方で、反比例関係における係数についてはマクロな量だけで記述可能である。われわれはこの係数を内在的なゆらぎの量とみなし「スケールされた拡散係数」とよび、これを用いて熱力学的不確定性関係と同様の関係式を、マクロな系の化学熱力学において示すことに成功した。それによると、閉じたマクロな化学反応系において、ギブスの自由エネルギーの減少スピードと「スケールされた拡散係数」の間にトレードオフ関係があることが新たにわかった。

本結果は従来の熱力学法則よりも詳細に化学反応の速度への制限を加えるものであり、さまざまな応用が考えられる。たとえば反応速度が重要な生化学反応において、生体内の情報処理の正確性と熱力学的なコストの間にトレードオフ関係があるとされてきたが、この関係に対する普遍的な理解のために本結果は新たな視点を与えてくれるだろう。

本研究成果は、K. Yoshimura and S. Ito, *Phys. Rev. Lett.* 127, 1606018 (2021) に掲載され、Editors' Suggestion に選ばれた。

(2021年10月12日プレスリリース)

理学のススメ

世界がスケール不変であつたなら？



奥山 義隆
Yoshitaka Okuyama

(物理学専攻 博士課程1年生)

大学院生からのメッセージ

「人間の身体は分子によってできている。この分子を拡大していくと原子から成っていることがわかる。その原子も電子や中性子、陽子といったより細かい構造をもつ。」

誰もが物理の教科書でこんな記述を見たことがあるだろう。素粒子理論の標準模型によると、現段階で物質の最小の構成単位はクォークとレプトンという「素粒子」であることがわかっている。自然は一般にこのような階層構造を持ち、見るスケールによって姿形を変える。

しかし、自然にはスケールに依らない、つまり拡大縮小しても変わらないものも存在する。図aはロマネスコという植物だが、拡大や縮小しても同じ構造が見える。図bはイジング模型という磁石の模型を、臨界温度という特別な温度に置いた時に起こる現象を模式的に表したものである。あらゆる大きさのゆらぎ(モヤモヤ)が見えることから、この現象が典型的なスケールを持たないことがわかる。私はこのようにス

ケールに依存しない現象を記述する、共形場理論と呼ばれるものを研究している。

スケール不変な世界で基本となる要素は何になるだろうか？ 図bをもう一度見てみよう。図bにあるゆらぎは、いわばさまざまな「音」の重ね合わせになっていると考えられる。「音」を「音階」ごとに分解できるように、ゆらぎをゆらぎの基準モードに分解でき、それを基本となる要素とみなすことができる。

ゆらぎの基準モードは単純な音とのアナロジーでは捉えられない性質をもつ。図cを見てほしい。たとえば点xにピアノを置いて、ドの音を鳴らしたとしよう。点yにマイクを置けば、当然ドが検知される。これはゆらぎでも音でも変わらない。ゆらぎの場合はハンマー等で点xを叩き、引き起こされたゆらぎの基準モード ϕ_x を、点yにあるメーターがそのまま感知すると思って欲しい。つぎに点xでドを鳴らし、点yでソを鳴らしたとする。すると点z

ではドとソの和音が聞こえるはずである。これは音が線形性という重ね合わせの性質をもつからだ。しかし共形場理論ではそうはいかない。点zでは、点xや点yで鳴らしたゆらぎ ϕ_x と ϕ_y の単純な重ね合わせでなく、すべての「音階」がごちゃ混ぜになったものが聞こえる。点xとyから出たゆらぎは点zに向かうまでに融合し、似ても似つかぬものに変化するのだ！^{注)} 私はこのような非線形的な構造をもつゆらぎが伝搬する際、どう時空の因果律に影響されるかについて研究している。

私の研究は直接生活の役に立つわけではない。これはわれわれの宇宙がスケール依存性をもつ中で、私の研究はスケール依存性をもたない極端な世界を対象としていることからわかるだろう。しかし応用などを一切忘れて自分の興味を追求する楽しさは、他の何事にも変え難いものがある。そうして培った常識にとられない自由な考え方が、何かを変える力になるのではないかと？

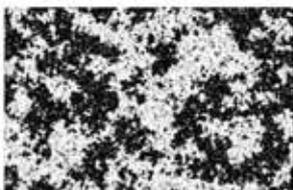
注) つまり「あるゆらぎが他のゆらぎたちから作れる」ということになり、還元主義的な考えとは相容れない。すべてのゆらぎたちは等しく基本的なのだ。

Profile

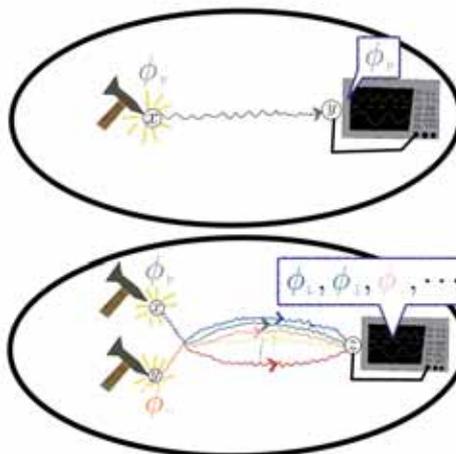
出身地 神奈川県
出身高校 開成高等学校
出身学部 東京大学理学部物理学科



図a: ロマネスコという植物(カリフラワーの一種) いくら拡大しても同じ構造が見える!!



図b: 2次元イジング模型の臨界温度でのふるまいの模式図
(<https://www.dhho.org/notes/Percolation.html>)



図c: スケール不変な世界での「ゆらぎ」の性質を表す思考実験の模式図
下図ではゆらぎの融合が単純な重ね合わせにならないこと(非線形性)を表している

断層の形で地震がどこまで予測できるか？

安藤 亮輔

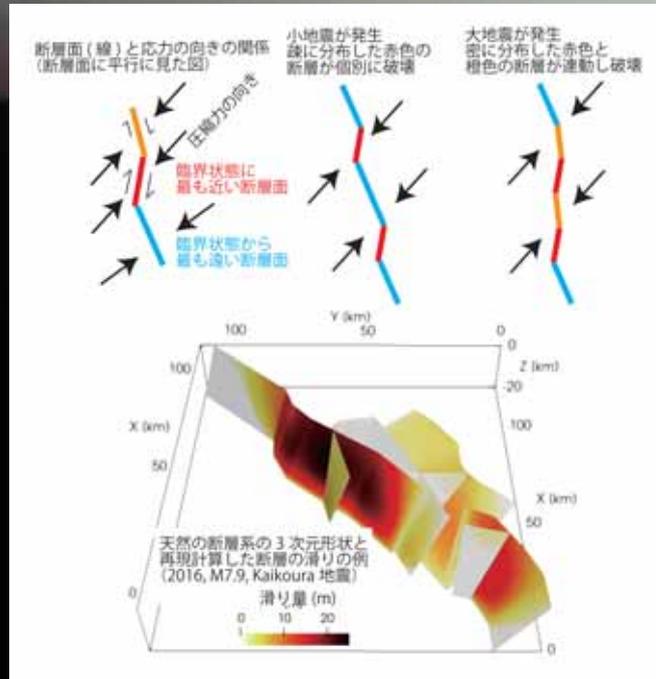
(地球惑星科学専攻 准教授)

2021年ノーベル物理学賞が気候変動の地球物理モデル研究に贈られた。自然界の複雑な相互作用を解きほぐすことで、人類がまだ経験していない地球の未来をある程度正確に予測できるようになったと評価されたのである。実は地震発生現象についても、自然界をモデル化することで、従来の経験主義とは別の方法論で、ある種の予測ができつつある。モデル化では現象の背後にある本質的要素を取り出し数式化する。綺麗に単純化せず適度に泥臭いモデル研究により、断層の形が一つのカギであることが見えてきた。

地震とは、地球表面で運動する硬い岩石でできたプレートが、変形で生じた力により破壊される現象である。地震は地球表面で一様に発生するのではなく、プレートの境界や内部にある弱面＝断層面が、ずれ動く（滑る）ことで生じる。日本列島の活断層などは、数百万年以上の歴史の中で幾多の地震を伴い徐々に形成され、現在の個性的で複雑な3次元形状を持つに至っている。

地震発生現象は、固液相転移に似ている。断層面に働く力が徐々に増加し、断層面を固着させる静摩擦力（臨界点）に達すると、固体のプレートは破壊し始め（局所的に）流動する。ある断層での地震の発生時刻を予測するのは、現在の氷が解け始める時刻を、温度計測なしでピッタリ当てるようなもので、難易度が高い。一方、そこでのあり得る地震規模を予測するのは、氷の温度の範囲を見積もるようなもので、比較的取り組み易い。さて、地震はどこまで予測可能だろうか？

摩擦力は実はかなり複雑だが、高校でも習う摩擦係数の値の範囲は予測できる。地下深部に働く力の直接計測が容易でないことが地震発生予測の難しさの一因だが、力の向きなどは日々生じる微小地震の観測から推定できつつある。断層の形は、地形判読や地下探査によって各地で地図化が進む。ここで、断層の形と力の向きが重要である。様々な向きの断層で一つの平面的でない断層系が出来ていると、断層面に働く力には場所ごとの強弱が生じる（図参照）。従来は断層系全体の形をエイヤッと平面で近似しがちだったが、実際の形



を丁寧に考慮すると、臨界点への近さ（破壊しやすさ）の空間変化が分かるため、破壊・滑りが断層系のどの範囲で生じるかという地震規模の予測の手掛かりとなる。

このような物理モデルの予測性能の検証が、世界中で発生した大地震の観測データとの比較を通じて、安藤研究室など各国のグループで行われている。対象とする断層の形と地震前の力を観測で上手く決定できれば、大規模計算機を用いたシミュレーションによって、実際に観測された地震発生の様子が上手く再現できることが分かりつつある。破壊の開始はまだ難しいが、断層が大きく滑る場所や破壊が停止する場所は、自然と再現されるのである。複雑な現象が、断層の形の効果として見通し良く理解できるようになってきた。

シミュレーション手法と計算機能力、観測技術の発展で、地震モデルは自然界の複雑性をますます多様に再現していくようになると期待される。時間予測には、歴史学や地質学による過去の地震のデータ収集、僅かな時間変化を検知できる高感度な地球物理観測の発展が必須である。本質を捉えたモデル化で地震の予測問題に多様な道を見つけるのが、南海トラフでの大地震も想定される中での重要課題である。

断層面と力（最大圧縮応力）の向きの関係が、断層が破壊する臨界状態への距離の指標となる。互いに斜交すると断層をずらすせん断応力が大きく臨界状態に近く、直交すると断層を押しえつける法線応力が大きく遠くなる。断層系内に臨界状態に近い断層面が密に存在すると大地震を起こす。実際の断層の形をモデル化することで、大地震の規模や断層滑り分布が再現できつつある。

数学, 物理の男性イメージは 何が原因か

横山 広美

(カブリ数物連携宇宙研究機構 教授)



第5回

理 学部で特に女性が少ない学科は数学、物理、情報科学などである。なぜだろうか。こうした社会現象を学術的に説明することができるだろうか。2017年、国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（通称：カブリ IPMU）に着任が決まった際に、当時の機構長だった村山齊さんにこれをテーマに研究をして欲しいと要望された。突然のまったく異なる研究分野に着手するのは躊躇があったが、村山さんの熱意と社会的意義、専門にする科学技術社会論（STS）の観点から、教育学系とは異なる社会要因に注目した研究を考え、政策のための科学という人文領域の予算を獲得して3年半のプロジェクトを率いた。メンバーは心理学、教育経済、科学教育など男女半々の6名である。

現在までに9本の論文にまとめたが、数学や物理学は他の分野と比較すると男性イメージが強いことがわかった。では、どのような要素がそれらの分野の男性イメージを強めるのだろうか。私たちが注目したのが教育心理学分野のレビュー論文である（Cheryan 2017）。アメリカで物理、コンピューターサイエンス、工学が生物や数学と比較して女性が少ない理由を100本近い論文を元に、3つのグループ①男性的なカルチャー、②幼少期からの経験、③自己効力感の低さ、にグループ化している。（アメリカでは数学は女性が多い方に分類されることに注意）

私たちはこれを元に2点のオリジナリティをもって全く違う研究に発展させた。1点目として、日

男女共同参画委員会よりみなさんへ

本がジェンダーギャップ指数の低い国（2021年度120位/156か国中）であることを考慮し、①から③に、④社会風土（social climate）を加えた。男女不平等が効いていると疑ったためである。2点目として、①から④のすべての項目をバラバラではなく同時に、どの要因が一番に物理や数学の男性イメージに効くか、日本とイングランドで一度に約1000人ずつから各項目のデータを取得し解析した。

その結果、数学、物理の男性イメージにもっとも強く影響しているのは、①の中の項目で、就職の男性イメージに加えて、数学は男性が優位であるという間違ったステレオタイプ、優秀さは男性のものという考えだった。これに似たものであるが、新たに加えた④の項目で、優秀な女性を好まない人たちが、数学に対して男性イメージを持つことがわかった。さまざまに日本社会的に組み込まれている排除の影響が、統計的にはっきりと出た（Ikkatai et al. 2021a）。

上記の結果を元に、どういう情報提供をしたら理系進学に前向きになるか、中学1年生の男女に対して行った。就職情報に加えて、平等情報と数学ステレオタイプ解除の情報を与えたところ、女子生徒のみならず男子生徒も理系進学に前向き態度を見せた（Ikkatai et al. 2021b）。ぜひこの結果を皆さんの活動に活用していただけたら嬉しく思う。

2019年度からスタートした文部科学省卓越大学院プログラム FoPM（変革を駆動する先端物理・数学プログラム）では、村山さんと一緒にダイバーシティ・倫理セミナーを行い学生にも大変好評だった。日本の男子学生もアジア人ということで世界の中でマイノリティになる局面もある。よりよい環境づくりに何が貢献できるかを共に考えている。また、カブリ IPMU は大栗博司機構長のリーダーシップでダイバーシティイニシアティブという活動を始めた。見えない壁を取り払ってすべての人から学術のアクセスを良くする、それをもって学術を発展させることが目標である。海外では数学を学ぶ学生は、将来の収益が良いという報告もある。しかし原点は、学術の「機会の平等」を保つことであることを忘れてはいけないと思っている。

[数学ステレオタイプ]に惑わされない選択を!

日本の女性の数学力は高い
東洋は数学が得意という認識を知り、より多くの女性が、理工系進学を視野に入れるように奨励的に行う。

経済的自立を促す情報を
理工系進学が将来の収入向上に役立つことを、経済的に自立する女性に、海外のより高い理工系進学への奨励を促す。

【お問い合わせ先】カブリ数物連携宇宙研究機構 広報課 〒230-8501 東京都大田区中目黒 3-22-15 10F 電話: 03-3760-8111 代表: 03-3760-8111 受付: 03-3760-8112 FAX: 03-3760-8113 E-mail: public@ipmu.jp

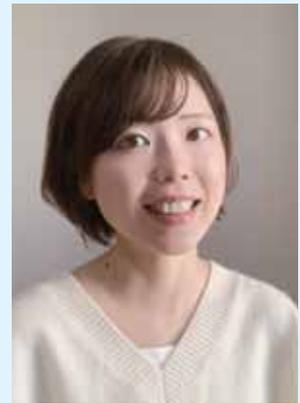
大小田結貴さんが2021年度 第16回「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞」を受賞

山本 智 (物理学専攻 教授)

物理学専攻博士課程3年の大小田結貴さんが「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞」を受賞されました。この賞は、日本ロレアル株式会社が日本ユネスコ国内委員会の協力のもとに創設したもので、日本国内で、物質科学または生命科学分野における博士後期課程に在籍、または同課程に進学予定の女性科学者を対象として、上記の両分野からそれぞれ2名を毎年表彰しています。

大小田さんの受賞は物質科学分野で、受賞タイトルは「宇宙に広がる物質で解き明かす星と惑星系の“始まり”」です。大小田さんは、恒星の誕生現場をアルマ望遠鏡によって観測し、得られた分子分布をもとに、誕生直後の原始星において、惑星系の

もととなる円盤構造がすでに形成していることを見出しました。また、その段階の原始星が、アウトフローの大きな方向変化などの激しい活動性を伴うことを、衝撃波領域に特徴的な分子分布を手掛かりにして明らかにしました。これらは、いずれもこれまで予想されていなかった現象であり、「星と惑星系の“始まり”」の新しい姿を描き出した点で、太陽系の起源の理解を進めることに貢献しました。大小田さんの研究は、星・惑星系形成過程とそこでの物質進化の理解という天文学・宇宙物理学としての意義のみならず、物質科学研究の広がりとしても高く評価され、今回の受賞に輝きました。大小田さんの今後益々のご活躍を期待しています。



大小田結貴さん

日比谷紀之教授が第14回海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰を受賞

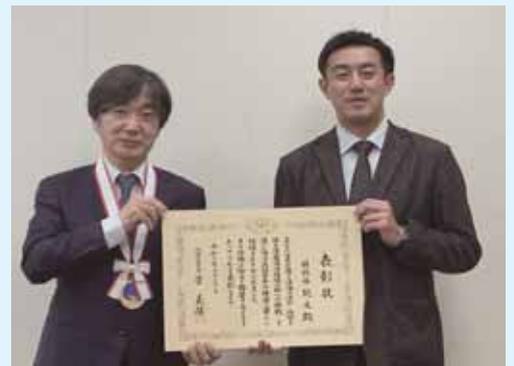
升本 順夫 (地球惑星科学専攻 教授)

地球惑星科学専攻の日比谷紀之教授が、海洋に関する学術・研究などで顕著な功績を挙げた個人・団体を表彰する海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰を受賞されました。

日比谷教授は、長期気候変動に影響をおよぼす深層海洋循環の解明に不可欠な深海乱流の物理機構の解明とその定量化を研究テーマとして、長年研究に取り組まれてきました。日本に深海乱流計が存在しなかった1990年代に、数値実験の結果から、緯度20°~30°にある海嶺や海山の近傍では鉛直低波数・半日周期の海洋内部潮汐波とのパラメータ共振を通じて鉛直高波数の近慣性内部波が形成され、それに伴う近慣性流シアーによって強い深海乱流が励起されることを、初めて理論的に予測されました。この理論結果に基づき、さまざまな海域での観測を行うことで、深海乱流強度の緯度依存性の存在を確認するとともに、海洋の中・深層における乱流強度のグローバルマッピングを世界で初めて完成させました。また、潮汐とともに深海乱流の主要なエネルギー源とされてきた風応力の関与を明確に否

定する一方で、粗い海底凹凸地形の上を通過する潮流の振幅が増加すると、海底から伝播する内部風下波の碎波に伴って乱流ホットスポットが鉛直上方に著しく広がることを理論的に明らかにされました。この新たな乱流エネルギー源を発見することにより、深層海洋循環は、深海乱流の主要なエネルギー源である潮汐、すなわち「月」の存在に強くコントロールされていることを改めて示されました。さらに、深海乱流計による観測結果を基に乱流パラメタリゼーションの改良を進め、特に、海洋の中・深層での乱流強度を正確に予測するIjichi-Hibiyaパラメタリゼーションを新たに構築されています。

深海乱流の実態把握とその物理機構の解明に関するこれら一連の画期的な研究成果は、欧米に比べて立ち遅れていた日本の乱流研究を飛躍的に発展させるとともに、深層海洋循環モデルの高精度化、ひいては、気候変動予測の高精度化に著しく貢献するものとして注目を集めています。このたびのご受賞を心よりお祝い申し上げますとともに、今後益々のご活躍を祈念いたします。



日比谷紀之教授と文部科学省海洋地球課 大土井課長 (文部科学省にて)

博士学生の多様なキャリアの可能性を知る

川野 充郎／山岸 慎司

(理工連携キャリア支援室 キャリアアドバイザー)

理 工連携キャリア支援室では、2021年11月18日（木）に、毎年恒例の「理学部キャリアシンポジウム」をオンライン開催した。キャリア支援室長・高橋嘉夫教授の挨拶に続き、博士課程を修了した3名の方にご講演いただいた。

はじめに「理学の精神とソフトウェア開発」と題して、株式会社エリジオンの村下湧音氏（物理学専攻卒）が講演した。村下氏は、博士課程の純粋理論研究で培った数理的な素養が生かせる、自分が成長してスキルを得られる、待遇がよいの3点を重視して積極的に多くの企業を見た結果、オファー型就活サイトを通じて出会ったベンチャー企業に入社を決めたこと、「自分の就活の軸を明確にすることが大切」ということを話した。次に「[り]ばけ」から企業に出て」と題して、東レ株式会社の小野塚智也氏（化学専攻卒）が講演した。小野塚氏は世の中に役立つものを作りたいと考え、大手化学企業の先端材料研究所に就職した。博士課

程まではユニークな物質を合成することに面白さを感じていた。企業の研究は「お金になること」がゴールだが、同社は、20%の時間を本来の業務以外の研究に使える自由度もあり、日々の仕事を楽しんでいると話した。最後に「理学系博士学生の就活」と題して、日本電気株式会社の山口裕貴氏（天文学専攻卒）が講演した。山口氏は博士2年後半から民間企業も考え始め、学生から直接企業に働きかける博士限定の逆求人イベントなどに参加し、声をかけてもらった数社の中から同社に決めたこと、博士学生は、自分の強みに軸足をおき、気になる企業には自分から売り込みをかけることも有効であると話した。

イベントには約100名の学生が参加し、活発な質疑応答が行われた。アンケート結果では、参加した学生の94%が、「参考になった」と回答した。3つの講演を通して、博士課程で身につけた基礎力を活かし、社会で多様なキャリアを形成できる可能性があることが示され、学生は大いに勇気をもらったのではないと思う。



2021年度理学部キャリアシンポジウムポスター

駒場1年生向け理学部ガイダンス報告

川北 篤 (教務委員長／生物科学専攻 教授)

2 021年11月25日（木）18:45～21:00に、駒場1年生向け進学ガイダンス「理学部ガイダンス～なぜ私は理学を選んだか～」を開催した。昨年に引き続き今年もオンラインで開催し、約260名の学生の参加があり盛況だった。

冒頭で星野真弘理学部長から挨拶をいただいた。今年ノーベル物理学賞を受賞した理学部の大先輩である真鍋淑郎先生などの例をあげ、理学が純粋な知的好奇心に根ざした基礎科学であると同時に人類社会に貢献する学問であるというお話があった。次に、筆者から理学部の教育の特色、国際化への取り組み、学生支援、進学・就職状況などについて説明した。その後、各学科を

代表して10名の学部生・大学院生がそれぞれ3分間で学科紹介を行った。短いながらも各学科への想いがあふれる魅力的なプレゼンで、学科の特色や雰囲気がよく伝わったと思う。ガイダンス後半は各学科に分かれ、教員や学生との懇談会が21時近くまで行われた。

コロナ禍にあつてさまざまな活動が制限される状況では、駒場生が理学部の雰囲気を知る機会も例年より限られているのではないと思う。その意味でも各学科の学生の生の声を伝えられたことは有意義だったのではないかと考えている。駒場生にとって、本ガイダンスが理学部を志望するきっかけとして役に立つことを願っている。



星野真弘理学部長による挨拶

東大理学部 高校生のための冬休み講座2021 Online

飯野 雄一 (広報室長/生物科学専攻 教授)

理 学部では例年冬休みの時期に高校生向けの講演会を開いている。今回は昨年に引続きオンラインでの開催とし、2021年12月26日(日)と27日(月)に開催した。小柴ホールより理学部YouTubeチャンネルに配信し、slidoによりリアルタイムで視聴者から質問を受けつけ、補助の大学院学生が質疑応答を仲介して行われた。

初日は、地球惑星物理学科・地球惑星環境学科 三浦裕亮准教授による「全球気候モデルで表現する地球の気候」、素粒子物理国際研究センター 寺師弘二准教授による「量子コンピュータで迫る素粒子の世界」、情報科学科 高前田伸也准教授による「コンピュータのこれから」、2日目は、天文学科 田村元秀教授による「もうひとつ

の地球～太陽系外惑星の世界～」、生物学科 太田博樹教授による「古代DNAから見たサピエンス全史」、化学科 竹内雅宜助教による「化学の力で生物のしくみを解明する～分析化学ってどんな研究分野?～」の6講演を配信した。特に最初の講演は眞鍋淑郎博士のノーベル賞記念と位置づけ、受賞となった業績を紹介しつつ最近の発展までが紹介された。全体に広範な分野をカバーしつつも相補的に関連した構成となり、高校生を中心とする視聴者が知的好奇心を大いに刺激された様子がアンケート結果からも伺えた。休日を含む配信であったが広報室と情報システムチームが協力して行なった。視聴いただいた皆様と、さまざまにご助力いただいた皆様に深く感謝したい。



当日の様子。生物学科太田博樹教授

理学の本棚

「宇宙物理学ハンドブック」

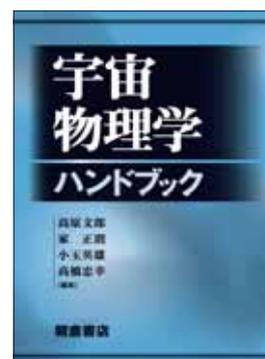
宇宙物理学は物理学の立場で宇宙の理解をはかろうとする分野である。宇宙の進化や構造形成を扱う宇宙論から、中性子星やブラックホールなどの相対論的天体の成り立ちにいたるまで、その対象は極めて広い。原子核物理学に基づく恒星進化論から誕生した宇宙物理学は、現在では重力理論、宇宙線、素粒子・原子核、プラズマ・流体などの物理学の広範な分野と深い関わりを持つようになっている。また、現代では、電波、可視赤外、X線・ガンマ線、宇宙線、そして近年のニュートリノや重力波など、宇宙を理解するために開発された観測装置が、地上、地下そして宇宙空間に展開されている。

本書は宇宙に関心のある研究者や学生の方々が、宇宙物理学の全体像を理解し、その正確な知識を簡潔にえるための助けとなるようにハンドブックとして編纂された。現代の宇宙物理学を表すようなトピックが選ばれ、専門家の手により、最新の研究成果を含めて、コンパクトに解説されている。宇宙物理学の歴史と特徴が最初にまとめられたあと、「天体の物理」、「宇宙論」、「相対論的天体と高エネルギー宇宙物理学」



の各項目が解説され、最後の章では宇宙観測のさまざまな手法と、それを支える観測装置が「宇宙の観測」として、まとめられている。学部3年レベルの物理学の基礎知識を前提とし、さらに詳しい知識が必要な場合に、その助けとなるような学術論文や書物も紹介されている。

本書を通じ、宇宙が現在どのように理解されているか、そして宇宙観測の最前線がどのように展開されているかわかっていただけるのではないかとと思う。



高原 文郎・家 正則・
小玉 英雄・高橋 忠幸編
「宇宙物理ハンドブック」
朝倉書店 (2020年)
ISBN 978-4-254-13127-7

田隅三生先生のご逝去を悼む

山内 薫 (化学専攻 教授)

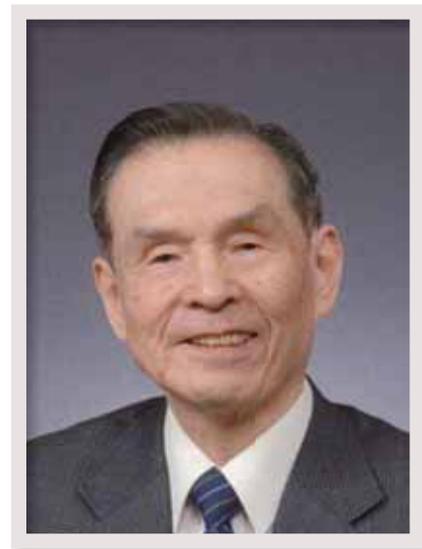
本 学名誉教授、田隅三生先生（化学専攻）が、2021年11月24日に逝去されました。享年84歳でした。我々を長年に亘ってご指導くださった田隅先生のご逝去されたことは残念でなりません。

田隅先生は、1959年に東京大学理学部化学科を卒業され、大学院修了後、理学部化学科助手となられ、1971年理学部生物化学科助教授に昇任されました。その後、1977年には化学科教授に昇任され、1997年にご退官になるまで、物理化学系第一講座（1993年より構造化学研究室に名称変更）の教授として理学部において教育と研究に御尽力されました。その間、東京大学低温センター長、東京大学評議員、東京大学理学部附属スペクトル化学研究センター長を歴任され、東京大学の発展に尽くされました。ご退官の1年前から埼玉大学理学部教

授を併任され、2004年から2008年の4年間は埼玉大学学長として埼玉大学の教育環境の充実に尽力されました。

田隅先生は、赤外スペクトルとラマンスペクトルの測定法と解析法を開発され、物理化学分野、特に、振動分光学に基礎を置かれ、生体高分子・合成高分子から小さなサイズの分子に至るまで、その分子構造の研究において多くの顕著な業績を挙げられました。そして、高分子学会賞、日本化学会賞、日本分光学会賞（学術賞）、Ellis R. Lippincott 賞などを受賞され、1999年には紫綬褒章、2017年には瑞宝中綬章を授章されました。

威厳と熱意をもって研究と教育に取り組まれ、多くの後進を育てられた田隅三生先生のご尽力に心より敬意を表し、田隅先生のお姿を偲び、謹んでご冥福をお祈りいたします。



故・田隅三生先生

東京大学 理学部臨時公開講演会 2022 online

広報委員会

2 021年、理学部の卒業生である真鍋淑郎博士がノーベル物理学賞を受賞されました。これを記念して、オンライン中継による臨時公開講演会を開催いたします。ぜひご参加ください。

- 開催日程：2022年2月11日（金・祝日）
- 開催時間：14：00 開始
- 参加無料：事前申し込み不要です
- 詳しくは、理学部HPをご覧ください：<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/event/7709/>

第34回 東京大学 理学部公開講演会 online

広報委員会

第 34回となる今回は、地球を巡る海洋の謎から星の誕生とその運命を辿る研究に加え、最先端のデジタルアニメの技術まで、幅広い理学の魅力をお話します。詳しくは理学部HPをご覧ください。皆様のご参加をお待ちしています。

- 開催日程：2022年3月22日（火）
- 開催時間：14：00 開始
- 参加無料：事前申し込み不要です
- 詳しくは、理学部HPをご覧ください：<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/event/7653/>

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
2021年10月18日付 (3名)			
課程	化学	瀧本 悠貴	火山ガスの H ₂ S と SO ₂ のモニタリングを目指した局在表面プラズモン共鳴センサの開発 (※)
課程	生科	難波 祐里香	生殖細胞において Maelstrom は転移因子を効率的に抑制する Siwi-piRISC 生合成に寄与する (※)
課程	生科	山田 紘実	Siwi-piRISC 生合成において Siwi はリン酸化酵素 Par-1 と協調して Papi の自己抑制効果を解除する (※)
2021年10月29日付 (2名)			
課程	化学	徐 木貞	微細藻類の Cu ²⁺ 除去効率の形態インジケータの開発 (※)
課程	化学	LINDLEY MATTHEW MARK	指紋領域における高スループット広帯域ラマン分光活性細胞分取法の開発 (※)
2021年11月15日付 (1名)			
課程	生科	呉谷 文	脊椎動物における <i>hes</i> 遺伝子ファミリーの進化: <i>hes5</i> クラスター遺伝子の両生類での特異的な増加 (※)
2021年11月30日付 (2名)			
課程	天文	崔 仁士	マルチスケール観測から探る原始星周囲のガスの力学 (※)
課程	天文	林 浩翔	連星中性子星合体からの多波長非熱的放射 (※)

人事異動報告 |

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2021/11/30	物理	助教	平岡 奈緒香	退職	同専攻・特任助教へ
2021/12/1	生科	准教授	小島 大輔	昇任	同専攻・講師から
2021/12/1	物理	特任助教	平岡 奈緒香	採用	同専攻・助教から
2021/12/1	生科	特任助教	齋藤 絡	採用	同専攻・特任研究員から
2021/12/31	生科	助教	針原 伸二	早期退職	
2022/1/1	物理	特任准教授	井土 宏	採用	東北大・助教から
2022/1/1	物理	特任助教	見波 将	採用	同専攻・特任研究員から

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。



理学部化学東館の建物内には、100年前の建築様式がそのまま残っている