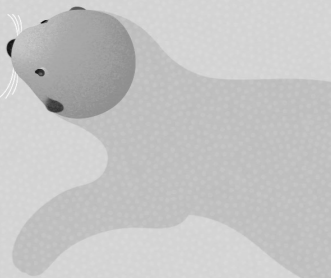
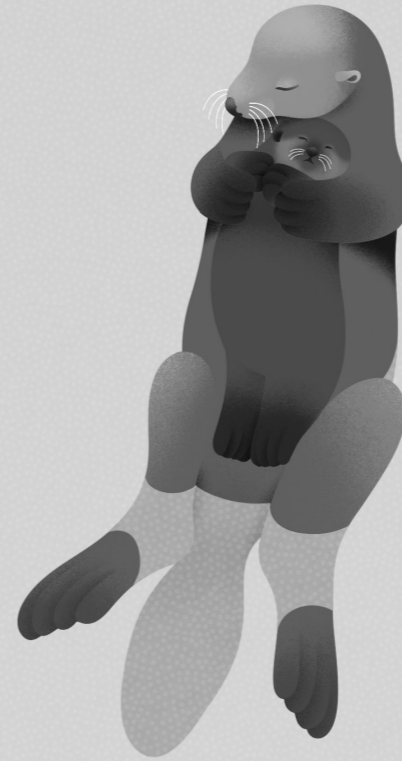


## Ⅲ 活動報告

### 世界の誰もが来たくなるキャンパスを目指して

いつの時代も、研究の出発点は研究者自身の「なぜ?」という真理への探究心から始まります。  
そして長い年月をかけて蓄積された知に基づく創造的な活動を通して、  
その研究は花開き、人知を超えて、思いもかけない社会的インパクトへと繋がるのです。  
東京大学が担う二つの役割と多様な時間軸に沿って展開された唯一無二の活動を報告します。





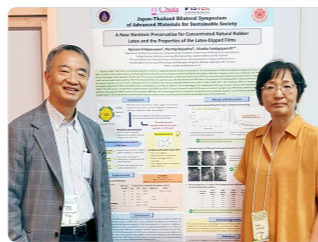
## 強靱かつ分解しやすいポリマーで循環型社会を作る

生活に欠かすことができない重要な素材にもかかわらず、様々な環境問題の原因とされているプラスチック。そのネガティブイメージをサイエンスの力で払拭し、ものを大切にする日本文化をベースに循環型社会の立役者へと変身させる研究を紹介します。

大量消費、大量生産、そして大量廃棄の一方通行から、ものを長く使い廃棄物を資源に循環させるサーキュラーエコノミー（循環型社会）へ。近年世界中が目にする新しい社会の在り方です。そうした潮流の中、環境汚染の原因となるプラスチックにはすっかりネガティブなイメージが定着してしまいました。しかし、プラスチックを構成するポリマー（高分子）の研究者である伊藤耕三教授（新領域創成科学研究科）と吉江尚子教授（生産技術研究所）によれば、「プラスチックは環境にとって多くの面でメリットがある」とのこと。例えば、ポリマーの特徴である軽さという観点で考えると、プラスチック容器をガラスに置き換えると重くなり、その分輸送費がかかるだけでなく、二酸化炭素排出量の面で環境負荷が高まる可能性もあります。「確かにポリマーには負の部分もありますが、そこをサイエンスの力で解決し、正しい形で使ってもらうことで、世の中全体のサーキュラーエコノミーに貢献するような資源循環型の社会を

作っていく必要があると思っています」と両教授は語ります。

そこで、両教授は、地球環境にもメリットのある理想的なポリマーを開発し海洋プラスチック問題の解決に貢献するため、2020年から、アカデミア14機関と企業5社（2022年度末現在）が参画する産学連携研究プロジェクトを率いています。目指すは「使用している間は丈夫で、誤って海洋に拡散された場合でも速やかに生分解し最終的には水と二酸化炭素にまで分解される生分解性ポリマー」。石油ではなく、食糧問題でも競合しない非可食性のバイオマスを原料に使うことで二酸化炭素排出量の削減にも挑戦します。プラスチック、タイ



写真左・新領域創成科学研究科 伊藤耕三 教授、写真右・生産技術研究所 吉江尚子 教授



（写真左）開発したプラスチックの実海洋分解試験に臨む伊藤耕三 教授／（写真中央）実海洋分解試験中の様子。生分解性プラスチックは、分解中も無害でマイクロプラスチック化しない。／（写真右）実海洋分解試験後のプラスチックの様子。タイヤの材料となるゴムの開発では、吉江尚子 教授の研究成果を用い、破壊強度2倍以上、生分解速度10倍以上の両立に世界で初めて成功した。

ヤ、繊維、漁網や釣り糸といった製品をテーマに研究を進め、2029年度のプロジェクト終了後、速やかな実用化を目指します。

生分解性ポリマーの実用化においてカギとなるのは、耐久性・強靱性と分解性のトレードオフの関係性を打破し、それらを両立させることです。伊藤教授らは、「マルチロック機構」という複数の刺激を条件に分解するスイッチング機能を導入することで、製品使用中の耐久性と海洋拡散時の急速な生分解性を両立させようと研究を続けています。

プロジェクトマネージャーを務める伊藤教授は、研究成果最大化のために「マトリクス運営」という研究体制を導入しました（図1）。従来の産学連携では、企業と大学が一对一の関係で共同研究を行うため大学間の連携はほとんどなく、また、複数企業が参画する場合、情報漏洩の懸念から企業側が本気を出しにくいという課題がありました。伊藤教授が提案した「マトリクス運営」では、1企業1テーマとするクローズなプロジェクトを立ち上げ、アカデミアの様々な基礎研究の第一人者達が各プロジェクトに参加しチームを構成すると同時に、アカデミア中心で取り組む共通的横断課題というオープンなプロジェクトも同時に走らせ、相乗効果を生み出します。産学双方が本気で課題解決に取り組み、様々な課題のブレイクスルーを効果的に発見し大きな成果に繋げるための戦略です。2022年度までには「実用可能な強度を有し、海洋中で切れて海底に沈んだ場合は3ヶ月程度で強度がほぼゼロになるまで分解する釣り糸」の開発に成功するなど、既に成果が出始めています。

一方で、今後の課題は、新たなプラスチックに対する社会的受容性の醸成です。「社会実装のためには、高いコストや使用感の違いなど今のプラスチックと異なる点を社会に受け入れてもらう土壌が必要」と強調する伊藤教授と吉江教授。

	Aプラスチック 三菱ケミカル	Bタイヤ ブリヂストン	C繊維 帝人、帝人フ ロンティア	D漁具 クレハ	E共通課題 アカデミア
E1:マルチロック分解 東大	●	●	●	●	●
E2:構造物性評価 九大、京都工機大、 神戸大	●	●	●	●	●
E3:合成・プロセス 名大、山形大、 RITE、東工大、 大阪市大、信州大、 長岡技科大	●	●	●	●	●
E4:海洋分解 産総研、愛媛大、 CERI	●	●	●	●	●

- A～Dは競争領域（クローズ）、Eは協調領域（オープン）
- 1つの企業が多数のアカデミアと同時に共同研究を実施（産学ともに相乗効果）
- 企業とアカデミアの組み合わせは開発ステージによって柔軟に変化（常に最適化）

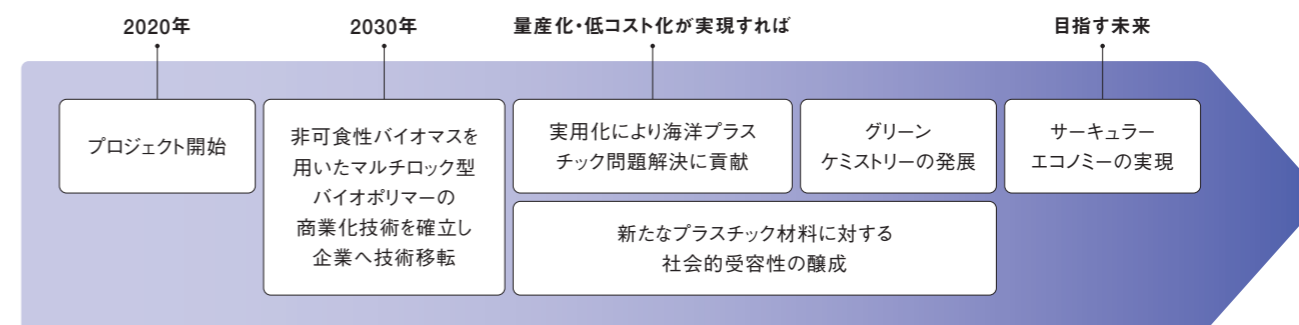
図1 研究開発体制図（マトリクス運営）  
各企業のプロジェクトにアカデミアが貢献する技術をマッチングさせたマトリクス表。伊藤耕三教授が過去に初めてマトリクス運営を導入した研究プロジェクトでは、研究成果とマネジメントの両面で非常に高い評価を得た。

それには科学技術社会論（STS）、社会学、経済学など社会科学系分野と連携して、市民の「プラスチック・リテラシー」を高めていくことが重要です。伊藤教授は「そのために、総合大学としての東京大学が有する『総合知』は高いポテンシャルを持っていると思います」と課題解決に期待を寄せます。

サイエンスの力により、循環型社会で重要な役割を担う可能性の高いプラスチック。伊藤教授は次のように未来を見据えます。

「いまや再生材を使用した製品を作らないと、海外では製品が売れない時代になってきており、産業競争力の向上という観点でも、こうした研究や『循環』というキーワードは今後ますます重要になるでしょう。資源のない日本だからこそ、燃やすのではなく、ものを大切に使うという日本の文化をベースに世界を先導する必要があるのではないのでしょうか」

### 社会へのインパクト



## 科学技術が生む倫理的・法的・社会的課題への試み

科学の発展、技術の進歩は、社会を大きく変えるからこそ、社会からの信頼が不可欠です。ELSI(倫理的・法的・社会制度的な課題)の研究は、その信頼を担保するために生まれました。進みすぎた科学技術がもたらす課題の解決に人文知が重要な役割を果たします。

科学技術の発展は、社会の利便性を高め、私たちの暮らしを豊かにしてくれる反面、公害問題や原発事故、ゲノム研究におけるプライバシー問題のように、人や社会の在り方を脅かす重大な問題も引き起こします。そのような、科学技術研究開発とその成果の社会実装がもたらす倫理的、法制度的、又は社会制度的な課題をELSI(Ethical, Legal and Social Implications/Issues)といいます。AIやバイオテクノロジーといった新興科学技術が急速に開発、社会実装され、社会に多義的かつ不確実な影響を与えうる現代において、ELSIの予見と対応策の策定は、科学技術のもっとも重要な

課題です。研究開発が持続可能で、社会に有益であるために、政府、企業、市民など研究者以外の多様なステークホルダーも参画し、ガバナンスしていくべきとの考えから「責任ある研究・イノベーション(以下、RRI)」という概念も生まれました。

JST社会技術研究開発センターにて2020年からスタート



人文社会系研究科 唐沢かおり 教授「リソースが多く集まる東大こそ、社会に対してELSIを推進する責任がある」

自動運転が実装された社会(イメージ)

自動運転技術を社会に実装するには、技術の問題点やリスクを予測し、交通ルール、都市デザイン、人々の生活の変容まで包括的に考える必要がある。



期待されます。

「ELSIに関する議論は、技術開発のブレーキではなく、社会に対して責任ある研究とイノベーションを進めるためのナビゲーターのような役割を果たすべきものです。先端研究にまい進する研究者も、ELSIに取り組む必要と意義を理解し、社会とバランスをとる科学技術という視点のもと、ELSI研究が生み出した議論との接点を持っていただければと思います」と唐沢教授は訴えます。研究者だけではなく、社会に生きる「市民」というステークホルダーである我々も、ELSIに関心をもち、議論に参加することが重要です。技術や情報にただ流されるのではなく、より良い未来を創るために、ELSIの議論は多くのステークホルダーを巻き込んで広がっていきます。



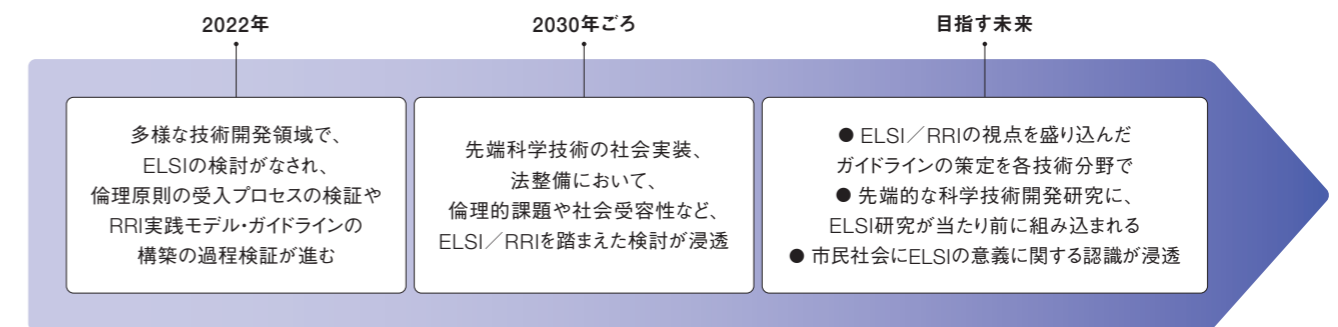
社会とバランスをとる科学技術(イメージ)

した「科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題(ELSI)への包括的実践研究開発プログラム(以下、RInCA(Responsible Innovation with Conscience and Agility))は、新興科学技術のELSIへの対応とRRIの営みの普及・定着を目指し、初期段階からELSIに予見的・包括的に取り組む研究開発を推進しています。プログラムでは、自動運転技術や分子ロボット技術など、多彩な科学技術を対象とした研究が展開されており、理系研究者はもちろん、法学、哲学、社会学など人文系学問を専門とする研究者やプログラムアドバイザーも多数参加しています。プログラムの統括責任者である唐沢かおり教授(人文社会系研究科)は人文系の学問が担う役割について次のように語ります。

「科学技術における先端的研究やその成果の社会実装は、私たちが抱える諸課題を解決し、より豊かで利便性の高い生活をもたらす半面、様々な問題をもたらします。『技術でできること』のみを優先することは、科学技術の負の歴史を繰り返し、私たち人間と社会が重視する根本的な価値を脅かすことにも繋がりがかねません。長い歴史の中で、人間と社会のあり方を考え続けてきた哲学や歴史学などの人文系の学問こそが、科学技術研究開発がもたらす諸問題に関する議論の深化に重要な役割を果たします」

例えば、RInCAの自動運転に関するプロジェクトでは、自動運転車の実装がもたらす倫理的な課題の検討や、手動運転車の受容歴史に関する事例調査、人が起こす事故と機械(AI)が起こす事故の本質的な違いに関する考察を行っています。このような議論を、地域住民との対話も含む受容性の評価などの成果とあわせて、法整備や技術実装の現場にフィードバックすることで、産官学民が一体となって推進している自動運転技術の社会実装が、より良い形でなされることが

### 社会へのインパクト



## 「多系統萎縮症」の世界初の治療法開発を目指して

神経変性疾患「多系統萎縮症」の国内患者数は約12,000人。うち50%が発病後5年で車椅子生活となり、平均9年で死亡すると言われています。未だ原因が十分に解明されておらず、有効な治療法が存在しない中で、このたび、医学部附属病院が率いる研究グループが、病気の進行を抑制する新たな治療法の可能性を見出しました。

多系統萎縮症とは、進行性の神経疾患で、厚生労働省が定める指定難病の一つです。平均50代半ばで発症し、立ちくらみ・排尿障害等の自律神経症状や、体がふらつく等の小脳性運動失調、また、手足のこわばり・震えといったパーキンソン病に似た症状が様々な重なり合い、特に初期の段階では正確な臨床診断が難しいと言われています。進行を遅らせることができる治療法の実現が強く望まれています。現状は、症状を緩和する対症療法しか存在しません。

世界中の研究者によって治療薬の開発が試みられている中、2023年4月、世界に先駆けて新たな治療法の可能性を発表したのが、辻省次名誉教授と三井純特任准教授(医学系研究科)らによる研究グループです。医学部附属病院臨床研究推進センター(センター長 森豊隆志教授)の全面的な



左: 東京大学 辻省次 名誉教授  
中: 医学部附属病院臨床研究推進センター 森豊隆志 センター長  
右: 医学系研究科 三井純 特任准教授

協力のもとで実施された、多施設共同医師主導治験の第二相試験において、高用量の「還元型コエンザイムQ10」(以下「ユビキノール」)の服用により、運動症状の進行抑制を支持する結果が得られました。

### 基礎研究から社会実装までの臨床開発をシームレスに支援する「臨床研究推進センター」

上述の辻名誉教授らの治験にも大きな役割を果たした、医学部附属病院臨床研究推進センターには、臨床試験の第一相試験を専門的に行うP1ユニット(phase 1ユニット)が設置されています。医学部附属病院では、従来から第二相・第三相の治験が行われていましたが、この第一相実施組織が2012年に導入されたことにより、学内外の優れたシーズに対して、基礎研究から臨床開発までをシームレスに実施できるようになりました。これまで、First-in-human試験(ヒト初回投与試験)を含む臨床薬理試験をはじめ、様々なタイプの医師主導治験や企業治験が実施されています。

計画・立案の段階から、試験の実施計画書の作成、企業との連携、PMDAへの相談、試験の実施に至るまで、各部署の専門スタッフが研究者を幅広くサポートする体制となっています。また、医学部附属病院が擁

する38の診療科から、各種疾患に対する専門的な協力を得ることができるのも特長です。森豊センター長は、「病気のメカニズムの解明に熱心な研究者は沢山いるが、その研究成果を活用して、治療として社会実装していく研究者は必ずしも多くない。辻先生の研究をモデルにして、若い研究者が続いてほしい」と将来へ期待を込めます。医師主導治験は、研究者の孤軍奮闘だけでは難しく、臨床研究推進センターのようなARO(Academic Research Organization)によるサポートが必要不可欠。ただ、主にアカデミアの研究者の支援を行うAROは、企業のように多額の利益が出る仕組みにはなっておらず、公的な補助金等を頼りにしてきました。今後、東京大学、そして他の大学・研究機関の臨床研究を更に推進していくために、国からの継続的な財政支援が望まれます。



救急シミュレーション訓練の様子。スタッフの救急対応教育を定期的に行い、First-in-human試験のようなリスクの高い試験でも安全性に十分に配慮した実施が可能となっています。

遡ること10年前、研究グループは、患者の詳細なゲノム解析から、COQ2という遺伝子に変異を持っている頻度が、病気を持たない人と比べて高いことを見出します。COQ2は、体の中でコエンザイムQ10という物質の合成に関わる酵素を作ります。そこで、患者の血液を分析してみたところ、コエンザイムQ10の量が血中で低下していることを発見し、ユビキノールを患者に投与することで病気の進行を抑制できるのではないかと考えたのです。

まず、治験の第一相試験(2015-2016年実施)で、健康な成人に高用量のユビキノールを服用していただき、安全性を確認。その後、患者の診療情報やゲノム情報を登録するレジストリーの構築や、また、多系統萎縮症の治験の評価の際に世界で標準的に使われている英語の評価尺度の日本語版の確立に尽力しながら、2018年から第二相試験を開始しました。患者を無作為にユビキノール服用群とプラセボ(有効成分の無い偽の薬)服用群に分け、それぞれ薬を48週間服用した後、運動症状の変化を調べたところ、ユビキノール服用群では、プラセボ服用群と比較して、症状の進行が軽減されることが示されました(図1)。あくまで1年間の範囲での有効性を評価した結果で、長期間服用した場合の効果は十分に分かっていません。しかし、単純に推定すると、5年間で悪化する運動症状が、ユビキノールの服用により約6年7ヶ月まで延長させる可能性が出てきたのです。

研究グループは、現在、ユビキノールを用いた治療法の実用化に向け、PMDA(医薬品医療機器総合機構)と第三相試験の計画の最終的な詰めを行っているところです。「第三相試験で薬の有効性が確認できれば、速やかに厚生労働省の承認が得られるように進めていきます。また、診療の中で経験する患者の状況をヒントに、それを最先端の研究にまで発展

させることが、研究を進める医師の果たす役割だと考えています」と辻名誉教授。

保険適用の医薬品として実現すれば、患者への朗報になることは間違いありませんが、一つの治療法だけでは、根本的に病気を克服することは難しいかもしれず、発症のメカニズムを解明するための研究は、これからも続きます。

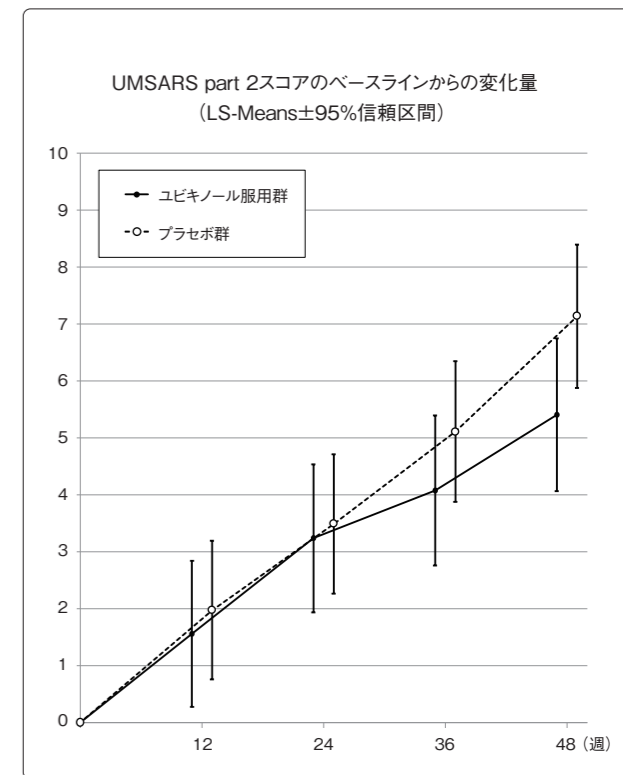
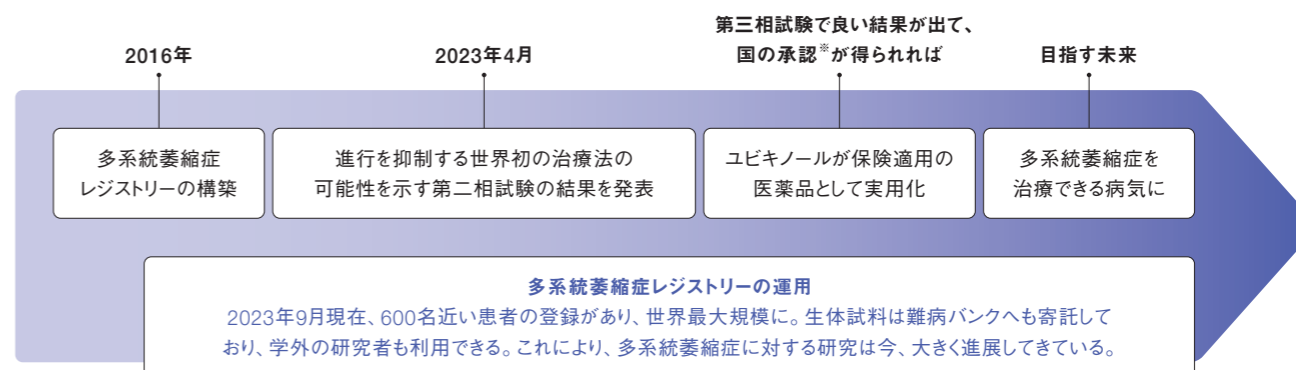


図1 第二相試験の主要評価項目(運動機能の評価尺度)の推移(eClinicalMedicine 2023;59:101920から、一部改変して引用)。ある動作がどの程度障害されているか、0点から4点の5段階で14項目を評価したところ、プラセボ群では平均7.1点悪化したのに対し、ユビキノール服用群では平均5.4点の悪化に留まり、統計学的に有意な差(P値=0.023)を認めました。

### 社会へのインパクト



\*厚生労働省大臣による医薬品製造販売承認

## ホットストリーク ——連続ヒットを生み出す「探索と集中」

はっきりしたきっかけは分からないけれど、連続して成功が訪れる「調子の良い時期」を経験したことはないでしょうか。スポーツでは「ゾーンに入る」とよく表現されます。同じようなことは、映画監督や芸術家にもあるらしい。ただし、調子の良い時期はずっと続くわけではなく、残念ながら期間限定です。

この「調子が良い時期」、実は、研究者にもあります。かのアインシュタインは、彼のキャリアを代表するような4つの画期的な論文を、1905年のたった数ヶ月の間で発表したことが知られています。光電効果、ブラウン運動、相対性理論、質量とエネルギーの等価性はいずれも、その後の人類の知を根底から支えるような大ヒット作であり、この年は「奇跡の年」と呼ばれています。

このように、キャリアにおいてヒット作が連続する現象は、学術的には、「ホットストリーク」と呼ばれます。1回あたりのホットストリークの長さは平均3.7年、約9割の研究がキャリアの中で1度は経験するそうです。<sup>[1]</sup>このように、私たちが直感で感じるような「調子の良さ」は、定量的な研究により、実際に存在することが確認されています。しかもこのホットストリーク、キャリアの中で全くランダムに起こるわけではないと言うのが面白い。

Science of Scienceの研究を行う坂田一郎教授（工学系研究科）のチームは、世界4,000万人の研究データを使って、研究者のホットストリークを研究しています。ホットストリークはまだ謎が多い存在だけれど、それを引き起こす要因の一つは「探索から集中へ

の変化」ではないか、ということが見えてきています。<sup>[2]</sup>研究者がホットストリークを経験するのは、多種多様なトピックを経験、つまり探索をした後、ごく少数のトピックに絞って集中的に研究を行う場合に多い。探索だけでも集中だけでも、連続の成功は生まれそう。そしてホットストリークが起こりやすい時期を見てみると、不思議なことに研究者としてのキャリアの最初と最後に多いことが分かりました。<sup>[3]</sup>例えば、2002年にノーベル化学賞を受賞したジョン・フェンは、キャリアの後期にそれが訪れた例。受賞のきっかけとなったエレクトロスプレーイオン化の論文を出版したのは、彼が様々な研究トピックを渡り歩いた後、定年退職してから2年後でした。そこから立て続けに成功が続き、ノーベル賞へと至ったのです。

東京大学にも、様々な世代の研究者が在籍しており、今まさにホットストリークを迎えている人もいれば、これからホットストリークを経験する研究者もいます。多様な研究を花開かせるためには、世代を超えた知的交流を盛んにするとともに、研究者が自由に、探索と集中の時期を選べるような環境が重要ではないかと考えられます。

[1] Liu, L., Wang, Y., Sinatra, R., Giles, C. L., Song, C., & Wang, D. (2018). Hot streaks in artistic, cultural, and scientific careers. *Nature*, 559(7714), 396-399.

[2] Liu, L., Dehmamy, N., Chown, J., Giles, C. L., & Wang, D. (2021). Understanding the onset of hot streaks across artistic, cultural, and scientific careers. *Nature communications*, 12(1), 5392.

[3] Higashide, N., Miura, T., Sakata, I. (2023). Different hot streaks for twin peaks in academic careers. *International Society for Informetrics and Scientometrics Conference*.



## 「モノが教えてくれるサイエンス」が導く材料開発

地球規模の課題解決には、基礎研究側から取り組むことも大切です。今回ご紹介するのは、基礎物性研究を、社会にインパクトを与える研究へ発展させることを目指す研究室。社会に役立つ材料開発を志向する大学院生・若手研究者たちの挑戦に迫ります。

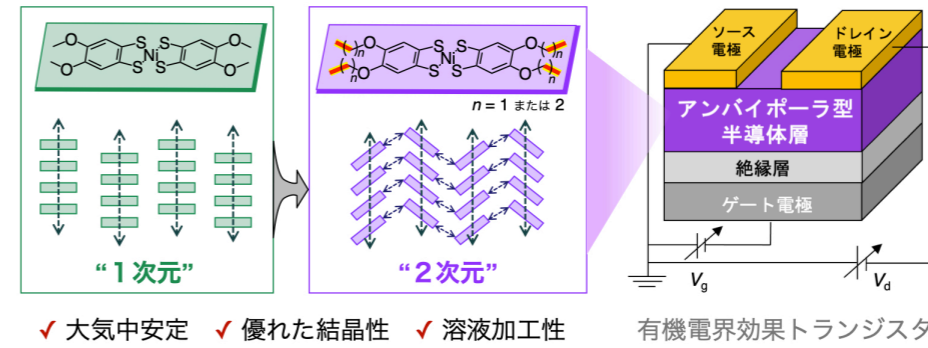
次世代型有機エレクトロニクスデバイスの発展を担う新しい半導体材料として、今注目されているのが、アンバイポーラ型半導体。半導体材料には、プラスの電荷（ホール）を流せるp型と、マイナスの電荷（電子）を流せるn型がありますが、そのどちらとしても機能する、両極性の半導体です。しかし、優れたアンバイポーラ型半導体の実現には、多くの乗り越え難い壁が。例えば、有機半導体材料の開発で現在主流のπ共役系小分子を用いた場合、大気中の酸素や水と反応してしまうため、真空下や不活性ガス下でしか扱えない不便さがあります。p型とn型の複合材料を用いれば大気下でも使えますが、その場合は、境界での伝導効率の低下等が新たな課題として現れてきます。

どうすれば複合材料に頼らずにp型とn型両方の条件を達

成し、構造情報に基づいた機構解明及び物質設計指針を確立できるのか、万策尽きたかと思われていた中、2022年、ブレイクスルーが起きました。物性研究所の伊藤雅聡 大学院生、藤野智子 助教、森初果 教授らによる研究グループが、単一成分で、大気下で安定、かつ優れたホール・電子輸送性を示すアンバイポーラ型半導体材料の開発に成功したのです。かねてより森研究室が着目していたのが、大気安定性があり、安価なニッケルを用いて簡便に合成できるd/π共役系の金属ジチオレン錯体。そこに、詳細な構造的解析を可能にする結晶性や、薄膜を作るための溶液加工性を付加価値として加え、理想的な分子設計指針を提示するに至りました。

工学部生時代にp型の有機半導体材料の開発を研究していた伊藤さんが、「社会に役立つ材料を作りたい」という大志

柏キャンパスの並木道にて。左から、森教授、伊藤さん、藤野助教。「材料開発では、作りたいモノを自然界に投げかけると、いつも予想を超える答えが自然界から返ってくる。学生たちは皆、個性豊かな研究をして、面白いものを見つけられます」(森教授談)



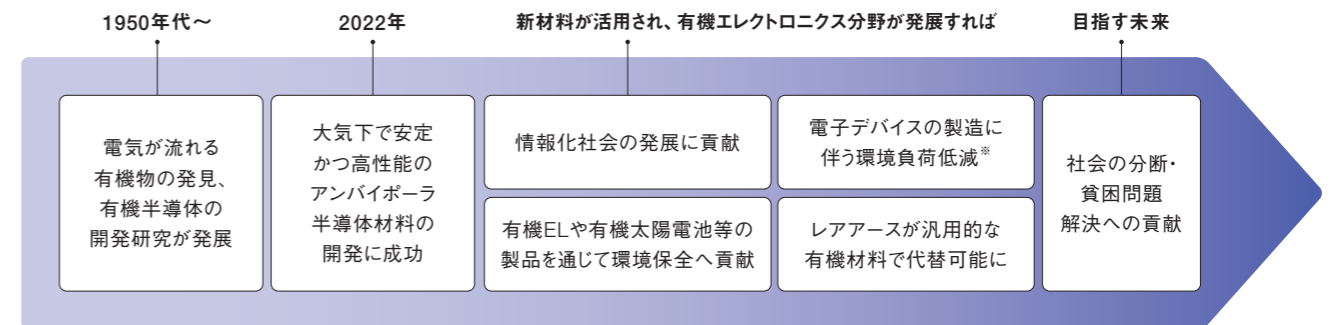
を抱き森研究室の門を叩いたのは、ちょうど研究室が、基礎物性研究から、出口までを見据えた機能性研究に範囲を広げた時期のことでした。基礎研究を益々豊かにするために、社会でのニーズを取り込むことの重要性を感じていた森教授は、そのような熱意を持つ学生の来訪を大歓迎。早速、藤野助教や先輩学生が取り組んでいた、金属ジチオレン錯体を用いた材料開発の研究に誘いました。

森研究室のコンセプトは、「想いを込めて分子設計をする」。「あなたのことが気になります」と分子に語りかけ続けるという藤野助教は、「モノと仲良くなると、教科書や文献に載っていない性格や癖を見せてくれる。人知を超えて“モノが教えてくれるサイエンス”に引込まれ、良い材料ができることがあるんです」と教えてくれました。実は、今回の成果が生まれるにあたって、「モノが教えてくれた」出来事が。伊藤さんが、溶解性と結晶性の両立に取り組んでいた時のことです。置換基の炭素数を延ばせば、溶媒に溶けやすくなる一方、結晶になりにくくなるため、その最適なバランスを探ろうと、まずは一つだけ延長してみたところ、分子の並びが劇的に変化しました。炭素数が一つの時は平面的に分子が積み重なって

たのが、V字型の斜めの積層に(図1)。1次元的な構造では、分子の並びに一部乱れや欠けがあると、そこで電荷の流れが止まりますが、2次元的な構造では別の経路にバイパスでき、品質が安定するという利点があります。この思いがけない発見は、単なるセレンディピティではなく、伊藤さんの真摯な想いの強さにモノが応えてくれた、必然の成果だったのかもしれない。

開発された新材料が今後活用されれば、AIやIoTに代表される情報化社会の発展に直接貢献できるのはもちろん、半導体デバイスの製造に伴う環境負荷の低減も期待されます。さらにその先に、伊藤さんが実現したい未来は、分断の無い社会です。「現状では、情報化の恩恵を享受できずに取り残される人々もいます。有機材料の利点を活かして、大量合成や加工性向上によってデバイスの製造コストを低減できれば、所得の多寡に関わらず、世界中のより多くの人々が恩恵を等しく享受できます」と夢を語ります。溶解性と結晶性の「両立」と同様、人類社会の持続的発展と地球環境保全との難しい「両立」にも必ず解はあるはず——理想の未来への想いを込めて、今日も分子と向き合います。

### 社会へのインパクト



\*現在主流の無機半導体デバイス製造に必要な高温・高真空プロセス、有害な腐食剤の使用を必要としない、溶液塗布プロセスを応用したデバイス製造の実現が期待される。

## 亜熱帯・Kuroshio研究教育拠点の形成と展開

このたび、日本で一番南に位置する東京大学の研究拠点に、新たな研究教育のプラットフォームが立ち上がりました。四方をエメラルドグリーン珊瑚礁に囲まれた世界自然遺産の地を舞台に、世界的にも希少な亜寒帯から亜熱帯までの研究を展開します。

地球温暖化により日本の環境は亜熱帯化が進むことが懸念されています。そのため、人間圏(人類の生存の場)で起きる短期・長期スケールでの環境変遷や、自然災害が将来の人間圏や生態系へ及ぼす影響への理解と評価が急務です。このプロジェクトでは、亜熱帯化する日本の過去・現在・将来を大気海洋科学の観点から把握するため、新たな共同利用・共同研究のプラットフォーム「亜熱帯・Kuroshio研究教育拠点」

を立ち上げ、亜寒帯から亜熱帯までが連続する日本の生態系、資源、環境に関する総合的な理解を目指します。また、岩手県大槌町にある東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターで進めている「海と希望の学校 in 三陸」に倣った「海と希望の学校 in 奄美」を展開し、地域との連携・貢献を重視した研究拠点の構築も目指します。



本プロジェクトの経緯、現在地と今後の展望について、プロジェクトリーダーであり、ご自身も奄美で気候変動の研究をされてきた横山祐典大気海洋研究所教授にお話を伺いました。

—なぜ奄美に研究教育拠点を形成することになったのか、その理由と意義について教えてください。

一つは研究面です。環境が亜熱帯化していく中で、日本列島で最初に影響が出てくるところが奄美だろうと考えました。今のうちから奄美の様子を把握していくことで、将来変化していく環境ベースラインを知ることができるはず。亜熱帯といえば沖縄ですが、既に人の手が入っています。奄美にはまだ自然が残っていますし、日本で一番南にある東京大学の附属施設、医科学研究所奄美病害動物研究施設があります。そこを拠点と一緒に研究を進めていきたいと考えました。もう一つは教育面です。大気海洋研究所が三陸で展開している「海と希望の学校」という地域連携プロジェクトが念頭にありました。アウトリーチやサイエンスコミュニケーションの取組がうまくいっています。それを南方でも展開できればと思い、「海と希望の学校in奄美」と名をつけ活動しています。

—現在具体的にどのような研究が進行中でしょうか。

例えば私は喜界島で400歳以上の年齢であるハマサンゴを発見したのですが、その骨格の情報を分析して、過去の400年の海水温や酸性の変化を調べています。これまでの温暖化や海洋酸性化の状況、そして今後どうなっていくかということが分かります。それ以外にも大気海洋研究所の白鳳丸という学術研究船で奄美周辺海域のサンプリングをしています。海水やプランクトンの採取など、海洋調査をして論文にまとめています。また、他大学と共同で音波探査などをしながら、海底地形の地図を作ったり、海流の分析などを行っています。

—海洋科学以外の研究や、産学連携の共同研究の状況はいかがですか。

このプロジェクトは大気海洋研究所に限らず、奄美に関することであれば一緒に教育研究をすることで協力いただいています。学内でも、病害動物研究施設のある医科学研究所はもちろん、人文社会系研究科や総合文化研究科の教員も本プロジェクトに参画しています。宗教学や社会学のアプローチで奄美の伝承や言い伝えの研究をしたり、歴史学的なアプローチで奄美の異文化交流の歴史などの研究をしており、奄美で開催したシンポジウムでも登壇いただきました。

産学連携の面では、奄美の製薬会社とも共同研究を行い、

環境にやさしい化粧品の共同開発等も行っています。奄美は世界自然遺産に登録され、観光面でも注目されていますが、そのような研究を通じてサンゴ礁が痛むのを防げないかと考えています。



大気海洋研究所 横山祐典 教授

—「海と希望の学校 in 奄美」ではどのようなことをされていますか。

2022年から奄美の高校生を千葉県柏市の大気海洋研究所に招き、サイエンスキャンプを行っています。キャンプでは、まず自分たちでテーマや課題を考えるとところから始めます。例えば「水」というテーマだったら、奄美の海水や地下水のサンプルを大気海洋研究所へ持ってきて、東京大学の教員・学生と交流しながら設備を使って分析し、研究成果を発表してもらいます。さらに奄美に戻ってからも、学園祭など機会があればその知見を共有してもらっています。キャンプの成果は想像以上で、一期生はその研究成果を学会でポスター発表するところまでできました。これを機に生徒が科学に興味を持ったり、自信を得て積極的になったりする様を見ているので、周囲にも良い影響を与えたいと思い取り組んでいるところです。

また、この「海と希望の学校 in 奄美」は社会連携・地域連携の側面も強く、高校はもちろん、民間企業や町にも資金面を含め一体となって協力いただいています。

—今後の展望について教えてください。

一言で言うと、奄美大島だけではなく、奄美群島全体を盛り上げるようなプロジェクトになればいいと思っています。このプロジェクトが始まった際、奄美の12市町村長さんを全部回ってインタビューをしたのですが、町とか村単位でなく奄美全体



亜寒帯から亜熱帯まで連続する日本の生態系研究を推進。

が一つになって交流したいというイメージをお持ちでした。そして奄美には大学がありませんので、大学との距離を近くしたいということでした。そのために教育・研究をして、そこだけに閉じず奄美の地域の方々と共有していくことができればと思っています。高校生たちにも奄美の外との接点を持ってもらい、改めて奄美の良さを客観的に理解して欲しいです。そしてまた奄美で産業を興し、教育に関わるような人を増やせると良いですね。継続的に本プロジェクトを推進するにはまだまだ財源も人手も足りていませんので、ぜひご支援ください。



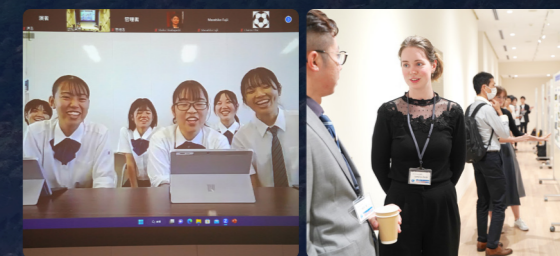
「海と希望の学校 in 奄美」2023年サイエンスキャンプ

### シンポジウム開催

#### 「奄美群島における総合知の探求～環境、文化、教育の融合～」

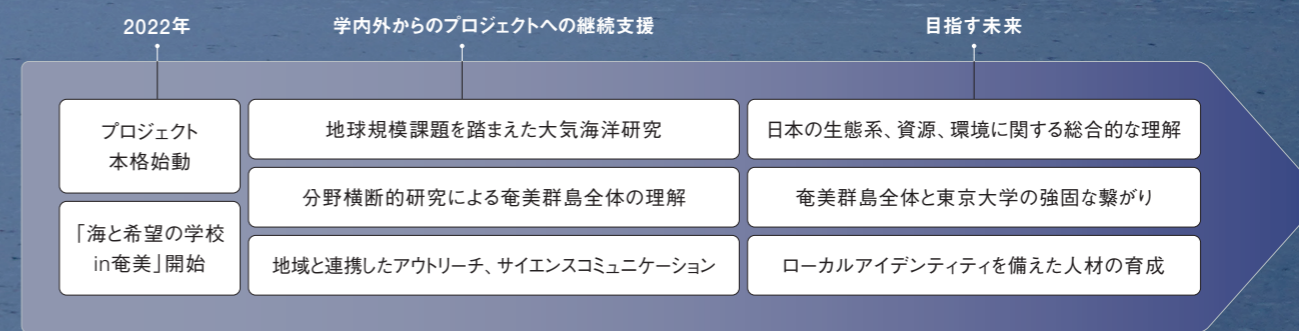
2023年11月、本プロジェクトに関連して、奄美市にてシンポジウムが開催されました。このシンポジウムは、通常の大学主催シンポジウムの枠を超えた、多様な人々による多岐にわたる知見の共有の場となりました。具体的には、東京大学の教員を中心とした研究者による地球科学・生物学・考古学・文化人類学等の幅広い研究成果の共有の他、奄美の民間企業や行政関係者、高校関係者も登壇し、奄美における産学官民や市民科学の連携展開の現状と、今後への期待が語られました。更にシンポジウムには「海と希望の学校」でサイエンスキャンプに参加した鹿児島県立与論高校や岩手県立大槌高校の生徒もオンラインで参加し、キャンプで得た知見や、参加することで深まった地元への理解について、様々な

発表がありました。本プロジェクトでは、引き続き奄美や日本全体の環境・生態圏に関する分野横断的教育研究を多方面で展開しながら、総合知と地域社会の融合を探ります。



左：与論高校生徒によるオンライン発表 右：シンポジウムではポスターセッションも行われ、海外留学生などのポスター発表が行われた。

### 社会へのインパクト



## 動物言語学で切り拓く、豊かな未来の自然観

単語や文章、文法などを操る力は、人間だけに宿った特別な能力ではないことを、鳥の観察と言語解析をすることによって明らかにした研究者がいます。動物たちの言葉を解き明かす試みは、肥大化した人間至上主義への警鐘とも言えます。新たな学問分野「動物言語学」が描く未来を紹介します。

動物言語学者の鈴木俊貴 先端科学技術研究センター<sup>※1</sup> 准教授(本学卓越研究員<sup>※2</sup>)は、野鳥の一種・シジュウカラの鳴き声を研究するため、一年のうち数ヶ月を長野県の山中で過ごします。

「シジュウカラには単語のような鳴き声があります。例えば、空にタカが現れると『ヒヒヒ』と鳴き、地面に這うヘビを見つけると『ジャージャー』と鳴きます」

鈴木准教授によれば、これは天敵の種類によって対処法

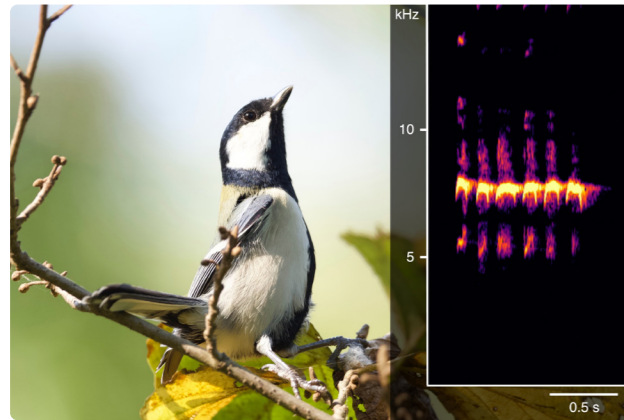


図1 タカを示す鳴き声を聞き、空を見上げるシジュウカラ。

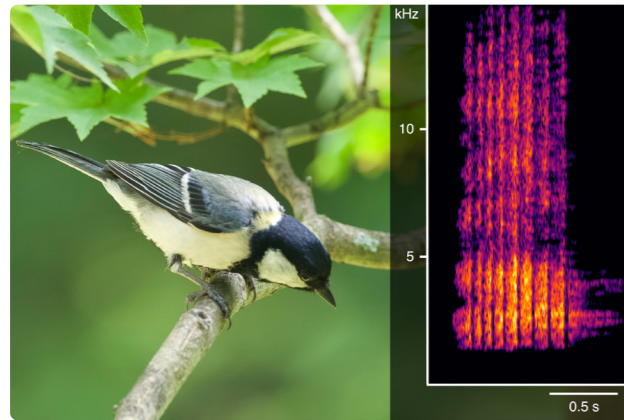


図2 ヘビを示す鳴き声を聞き、地面を探すシジュウカラ。

が異なるため、長年の観察や実験によって明らかになったとのこと(図1、図2)。

シジュウカラは鳴き声を単独で使うだけでなく、組み合わせて文章を作ることとも言います。

「例えば、シジュウカラの『ピーツピ』という鳴き声は警戒を意味し、『ヂヂヂヂ』は『集まれ』を意味します。この2つの鳴き声を『ピーツピ・ヂヂヂヂ』と組み合わせることがあるんです。この組み合わせは、例えば仲間を集めて天敵のモズを追い払うときの号令。この声を聞くと、たくさんのシジュウカラがモズを追い払うために集結します。さらに興味深いことに、語順も大切だということも分かりました。『ヂヂヂヂ・ピーツピ』とひっくり返して聞かせると、シジュウカラは適切に反応できないんです。これは、人間以外の動物で初めて文法能力を明らかにした成果となり、世界的にも大きな反響がありました」

最近では海外の研究者とも連携し、日本のシジュウカラの鳴き声とヨーロッパのシジュウカラの鳴き声を比較するなどして、地域による相違点や共通点についても研究を進めているそうです。

シジュウカラの鳴き声について数々の発見を積み重ねてきた鈴木准教授ですが、鳥の鳴き声をすべてそのまま人間の言語に翻訳することはできないと言います。

「その理由は2つあります。まず、シジュウカラと人間とは知覚システムが異なるからです。例えば、鳥は人間の見えない紫外線領域を知覚できますし、磁場まで感じることも言われています。シジュウカラの言葉を理解するには、まず彼らがどのように世界を見ているのか知る必要があるでしょう。次に、持っている語彙や概念も異なります。例えば、今僕が座ってい



先端科学技術研究センター 鈴木俊貴 准教授。手に持っているのはオオタカの剥製。



る『椅子』は人間にとっては座るための家具ですが、鳥に椅子は必要ないので対応する概念もありません。童話にあるように、鳥の言葉をすべてそのまま人間の言葉に翻訳できるわけではないのです」

興味深いことに、シジュウカラは、メジロやエナガなど、別の種類の鳥類の鳴き声も理解できるそうです。もちろん、鳥の種類が違えば鳴き声は全く異なりますが、お互いをきちんと観察し、鳴き声の意味を学習しているそうです。「ちょうど犬と飼い主がお互いに意思疎通できるのに似ています」と鈴木准教授は話します。

動物たちの言葉を解き明かす試みは、現代人が陥りがちな人間至上主義に一石を投じ、世界をより豊かに生きるためのヒントをくれるかもしれません。人間から見た世界だけが唯一の世界ではないということを、自らの体験から実感できるためです。

「本当の発見は、誰もが見ているけれども、誰も気付かなかったことに気付くことだと思うんです。そのためには、先行研究に囚われすぎずに、自分の目で観察を続けることがとても大切だと思います。『自分の体験を通じて思考する』ことのおもしろさを社会に伝えたい」と鈴木准教授は話します。そして、「人工知能やインターネットなどに頼り過ぎると、既にパターン化した見方や考え方から逃れられなくなる恐れがある」と警鐘を鳴らします。

鈴木准教授は言語の進化や普遍原理に迫ることを目指しており、「今後は、鳥類だけでなく哺乳類や両生類など、様々な動物たちの言葉の世界を解明したい」と話します。そのために、多くの人たちが研究に参画できるよう、動物言語学という新たな研究分野を東京大学に世界に先駆けて創設しました。

「動物言語学を通して、社会に豊かな自然観を育めれば」と鈴木准教授は今日も鳥たちの鳴き声に耳を傾けます。

※1 東京大学で最も新しい附置研究所。文理の垣根を越えた領域横断の学際性が強みで、市民へのアウトリーチ活動にも力を入れている。  
※2 東京大学卓越研究員(公募型)は、自立して研究に取り組む環境を整えるための若手研究者支援制度。スタートアップ経費として合計600万円が支援される。2022年度は8名が採択された。



### 社会へのインパクト

