

JST news

未来をひらく科学技術

9

2023
September



マレーシア・サラワク州の熱帯雨林で
現地と共同で生物多様性の解明に挑む



人と機械のより良い関係を追求
高度なAI応用技術、次々と開発



03 特集1

マレーシア・サラワク州の熱帯雨林で
現地と共同で生物多様性の解明に挑む



08 特集2

人と機械のより良い関係を追う
高度なAI応用技術、次々と開発

12 〈連載〉イノベ見て歩き

— 第4回 —

究極に薄いナノシートやデバイスを開発
豊かな社会構築、省資源・省エネに寄与



14 NEWS & TOPICS

- ≫ はがれやすく再生可能な強力接着剤
- ≫ 消費電力2552分の1のAIプロセッサー

ほか

16 さきがける科学人

「アイフレイル」の進行を防ぎたい
核酸研究を治療や予防に応用

東北大学 加齢医学研究所
加齢制御研究部門
モドミクス医学分野 助教

小川 亜希子



JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に積極的に貢献していきます。



- 編集長
安孫子 満広
科学技術振興機構(JST)広報課
- 制作
株式会社エフビーアイ・コミュニケーションズ
- 印刷・製本
株式会社丸井工文社



右 市岡 孝朗 *Iioka Takao*

京都大学 大学院人間・環境学研究科 教授
2019年よりSATREPS研究代表者

左 佐藤 博俊 *Sato Hiroto*

京都大学 大学院人間・環境学研究科 助教

特集

OVERVIEW

マレーシア・サラワク州の熱帯雨林で 現地と共同で生物多様性の解明に挑む

マレーシアの熱帯雨林は生物多様性のホットスポットでありながら、生物多様性の基礎情報はほとんど得られていない。基礎情報は学術的価値に加えて、科学技術人材の育成や生物資源探索などにも活用できる知的資源としての価値があり、産業創出への貢献も期待できるため実態解明の意義は大きい。京都大学の市岡孝朗教授と佐藤博俊助教は、現地の研究機関と共同でサラワク州の熱帯雨林の生物多様性の全貌解明に挑んでいる。

生物資源の恩恵を現地にも 研究基盤の整備に取り組む

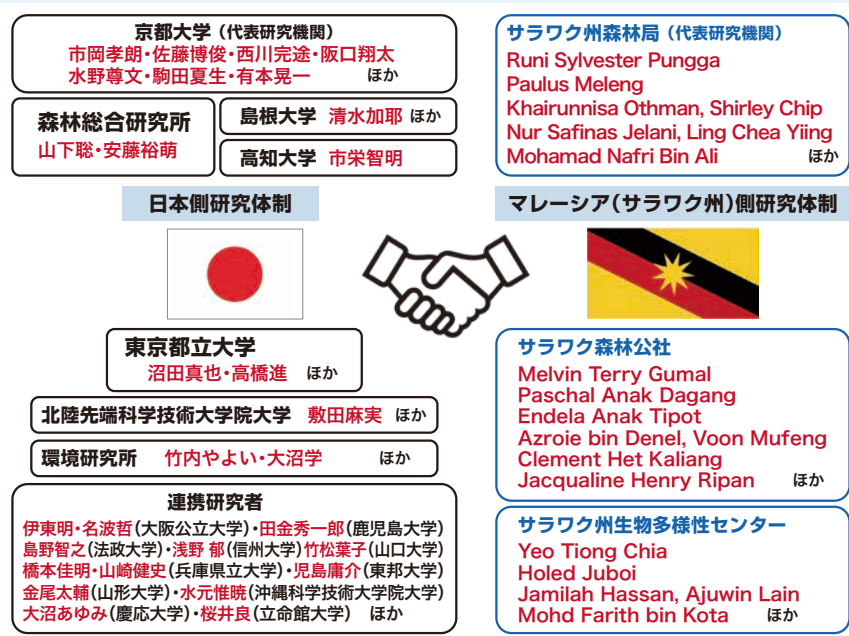
熱帯で昆虫採集をしたら、いくらでも新発見ができて楽しいだろう。京都大学大学院人間・環境学研究科の市岡孝朗教授は少年時代から、熱帯雨林の生物多様性に憧れていた。長じて昆虫学者となり、昆虫の生態や、環境条件と進化の関係などを研究するようになる。その昆虫は何を食べ、どう生き、何に捕食されるのか。他の生物との関係はどのようなものか解き明かすことが研究テーマだ。

宇宙や深海に行かなくても、熱帯雨林には研究対象が無数にあるという市岡さん。少年時代の憧れのまま、興味の対象はマレーシア・サラワク州の熱帯雨林に向かった。市岡さんが30年以上通っているこの熱帯雨林は、多様性が極めて豊かで、名づけられているものの方が少ないほど未知の生物にあふれている。これまで市岡さんを含めた多くの研究者が熱帯雨林で新発見をし、論文を発表して実績を積んできた。

しかし、先進国の研究者が研究を主導してきた現状に市岡さんは懸念を抱いている。「マレーシアではまだ自立的に研究を進められる基盤が整っておらず、テクニックやノウハウもありません。私は長年サラワク州に通ううちに、この先このやり方では通用しなくなるのではないかと、やはり地元の人々もメリットを受けられる基盤を整備する必要があるだろう、と考えるようになりました」と語る。

同国の人も生物資源の恩恵を享受できるようにするには、現地の研究者をはじめ、市民にもその価値を知ってもらう必要があると考えた。生物多様性には価値があり、多目的に活用できると認識してもらえれば、多様性の保全が進めやすくなるためだ。近年は国際的にも熱帯雨林の保護や生物資源の公正利用についての機運が高まり、2010年には生

図1 プロジェクトの運営体制図

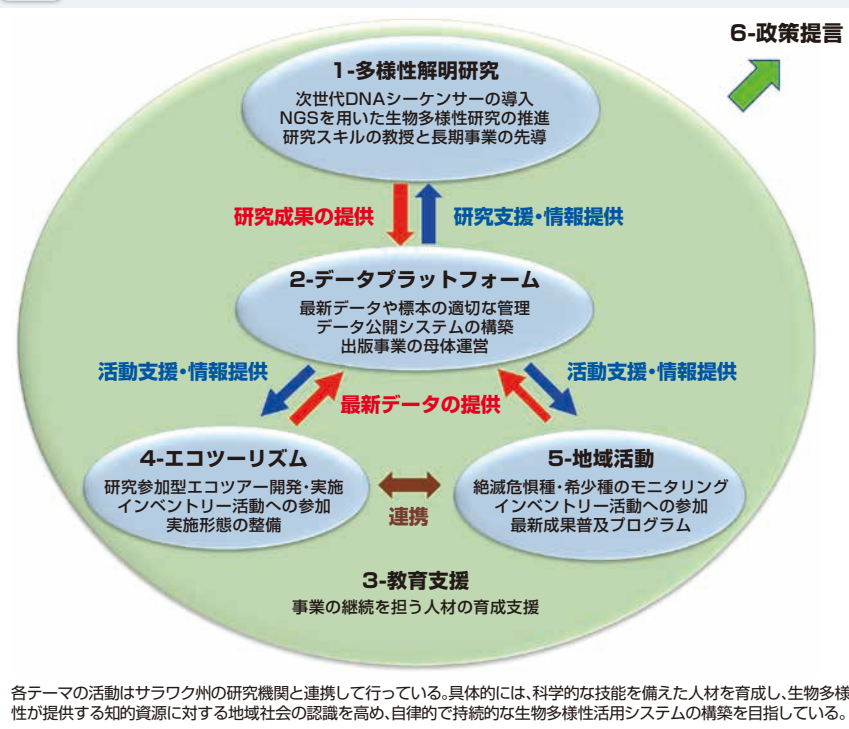


物多様性条約第10回締約国会議で「遺伝資源の取得の機会及びその利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分に関する名古屋議定書」が採択されている。生物資源の公正利用は国際的なホットトピックだ。

そこで立ち上げたのが、JSTのSATREPSプロジェクト「マレーシ

ア国サラワク州の保護区における熱帯雨林の生物多様性多目的利用のための活用システム開発」だ。市岡さんは京都大学大学院人間・環境学研究科の佐藤博俊助教らと共に、日本の2研究所・16大学およびマレーシア側のサラワク州森林局、サラワク森林公社、生物多様性センターの3機関

図2 プロジェクトの構造図



と連携し、サラワク州の生物多様性の全貌解明を目指した網羅的な調査と、同地における生物多様性研究の基盤整備に取り組んでいる(図1)。

次世代DNAシーケンサーを導入 一度に大量の種が分析可能に

このプロジェクトでは、6つのサブテーマを設定している(図2)。核となるのは「生物多様性科学の研究に必要な基盤整備と研究推進」、すなわち基礎研究そのものだ。生物多様性保護区である国立公園内で網羅的な生物多様性調査を実施し、種ごとの個体数を評価する。これまで1つの国立公園や一部の分類群についての断片的な研究は行われてきたが、広域的に調査し、多くの分類について同じ方法で評価したことはなかった。

今回は分類横断的に採集ターゲットを決め、15カ所以上の地域で採集し、次世代DNAシーケンサーを用いた評価・分析を試みている。「従来は採集した生物を新種と認定して命名するまでに5~10年もかかっていたが、次世代DNAシーケンサーでDNA分析すれば、似ていても違う種であること、違って見えても同種や近縁種であることなどがすぐ判定できます。一度に大量に分析できるようになったのは技術の進歩のおかげです」と市岡さんは最先端技術導入の意義を説明する。

プロジェクトでは、この最先端装置をサラワク州森林局と生物多様性センターの2機関に導入した。研究成果を現地で持続的に活用していけるよう、DNA情報やサンプルデータを管理したデータアーカイブシステムの整備も進めている。それが2つ目のサブテーマ「生物多様性の知的資源・情報を活用するための情報プラットフォームの構築」である。「森が消えたり環境が変化したりすることで、名前がつく前にその生物がいなくなることはよくあります。どの場所にどの生物がいるのかわかるだけでも保護へ

の意識は高まる、という意味でもこれらの基礎研究は非常に大切です」。

コロナで渡航が制限される中 アリに擬態するクモを調査

期待と共に始まったプロジェクトだが、実は計画通りには全く進まなかった。プロジェクト開始翌年の20年は、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で渡航が制限され、現地調査が不可能になってしまったのだ。その中でできることを進めようと、予備調査時に採集したサンプルを再検討し、分類群ごとに採集地や数を記録したり、出版物にまとめたりしていた。

それにより明らかになったのは「予想以上に多様性が豊か」という事実だった。「どの分類で区切っても驚くほど種の数が多いのです。実際に広域調査が始まれば、どれほど

未知の種が出てくるのか楽しみになりました」と、市岡さんは笑顔を見せる。多様さを目の当たりにすると、それぞれの暮らしぶりに興味が湧いてくるのが研究者というもので、すぐに深掘りが始まった。

そこから生まれた新発見の1つが、アリに擬態するアリグモ属に関する

図3 ポルネオ島やタイで採集したアリグモ属

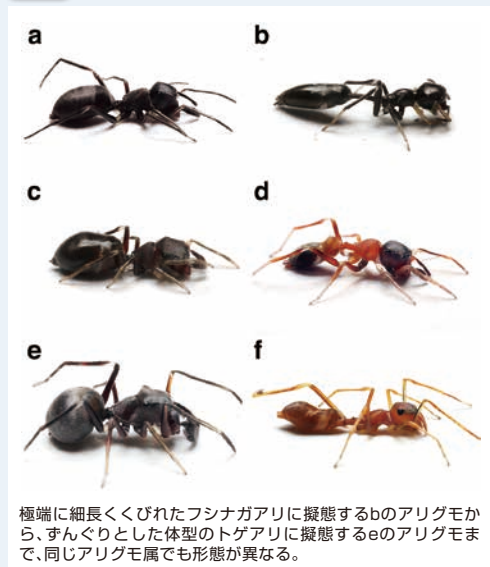
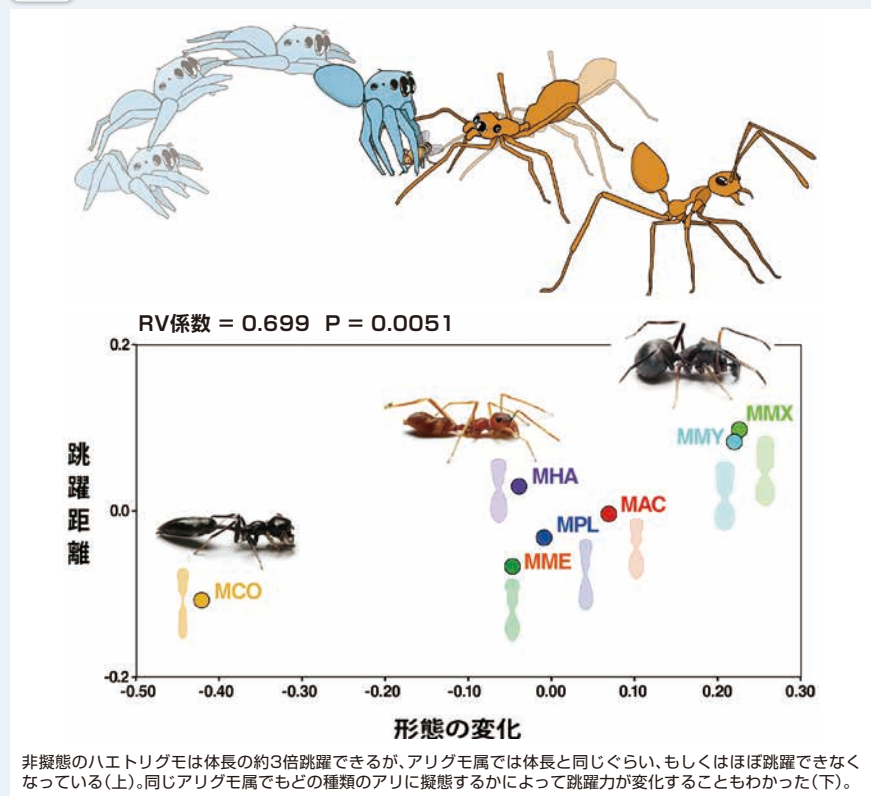


図4 形態変化によるアリグモ属と非擬態ハエトリの跳躍距離



ものだ。クモはアリに擬態することで外敵から身を守りやすくなるが、擬態していないクモと運動能力はどう違うのか。それを調べるため、サラワク州で採集したアリグモ属7種・86個体と、擬態していないハエトリグモ12属・70個体の形態を測定。さらに両者の捕食能力を比較するため、各個体が小バエを捕食する様子をビデオカメラで撮影し、捕獲時の跳躍距離や捕獲成功率を測定した。

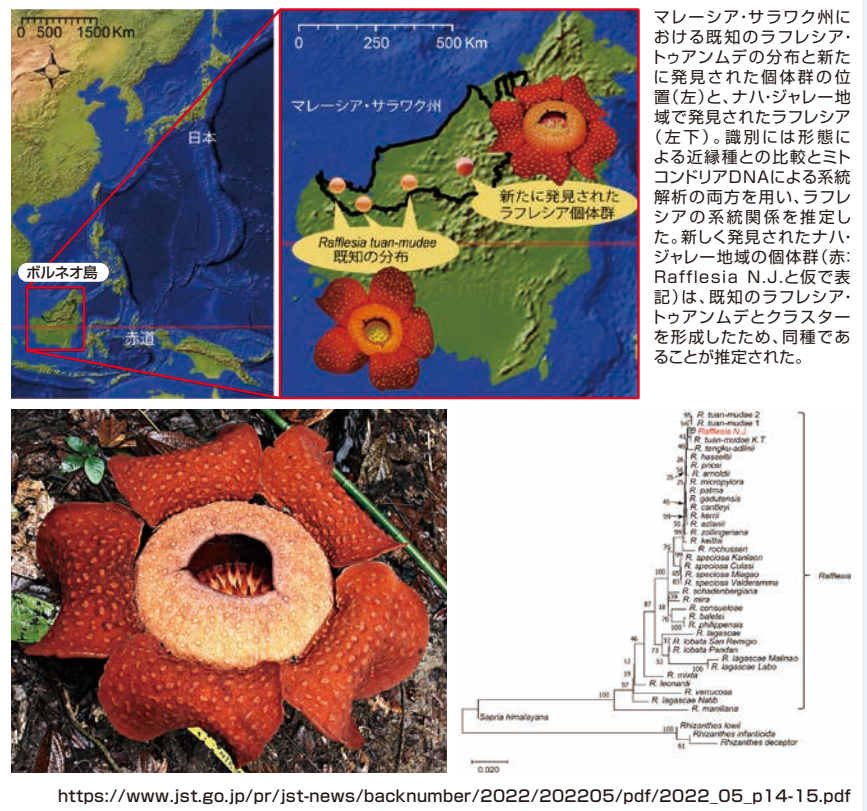
その結果、ハエトリグモは捕獲時に体長の3倍ほどの距離を跳躍するが、アリグモは最大でも体長と同程度の跳躍距離で、中にはほとんど跳躍できない個体もいたことがわかった。アリに似るほど本来の跳躍力や捕食能力が低下しており、外敵から身を守れるようになった代償は大きいことが明らかになった(図3、4)。プロジェクト開始から2年半が経った頃、ようやく現地調査が可能になった。以来、急ピッチで採集や分析を進めている。今後は未知の種だけではなく、生態に関する新発見も続々と出てくるだろう。

地元の研究者が日本に留学 サブテーマのキーパーソン

話をサブテーマに戻そう。3つ目のサブテーマ「研究活動への参加を通じた人材育成」は、プロジェクトを特徴づける要素だ。生物多様性研究は地元の人々が主導することが望ましいが、現地には知識も標本も、先端装置を扱う技術も不足しており、すぐに研究者として自立するのは難しい。そこで、共同研究を通じて生物多様性分野の基礎科学の研究者として必要な知識・技能・経験を得てもらうこととした。

このテーマについても、コロナで渡航できず、野外調査技術や次世代DNAシーケンサーを用いたDNA分析に必要なサンプル処理技術の技術移転が遅れてしまった。指導を担当した佐藤さんは、マニュアルを活用

図5 DNA分析によるラフレシアの識別・同定



した遠隔指導には限界があり、DNA解析に失敗したと聞いても、日本では原因を把握できず歯がゆい思いをしたと語る。「渡航緩和後の22年11月に、2人のポストドクが現地へ赴き直接指導できるようになって、ようやくうまくいき始めました。私も共通認識のできていない段階では、対面で教えることの重要性を再確認しました」と振り返る。

サラワク州の研究者4人は現在、京都大学大学院の修士課程と博士課程、東京都立大学の修士課程に留学し、学位取得に向けて論文執筆に励んでいる。彼らが次世代の教育を行えるレベルに育ち、現地で研究者を育てられるシステムを構築すれば、今後、熱帯雨林の生物の解明はより効率的に進んでいくだろう。彼らこそが3つ目のサブテーマの成否を左右するキーパーソンだ。

マレーシアの複数の機関が連携すること自体にも意義がある。多民族国家のマレーシアは日本以上の縦割

り社会で、30年の間に、市岡さんは申請手続きや調整などの面でしばしば難しさを感じてきたという。横の交流が乏しいのは研究機関も同じで、基本的に他機関との共同研究は行われていない。「ライバル関係であるメリットもありますが、協力した方が良いこともやはりあります。今回はなんとしても3機関に参加してもらい、連携体制を作りたいと考えました」。

連携当初は、現地の研究者が他機関の研究者とコミュニケーションをとることは少なく、顔を合わせても踏み込んだ議論になりにくかったが、いつの間にか、実験装置の調子が悪い時は別の機関に借りに行くなどの行き来が生まれていたという。京都大学では同じ研究室に属しているので、自然と親しくなり、実験器具の共有なども行われている。このようなことも、マレーシアの未来の研究体制作りに向けた大切な一歩である。

エコツアー開発や図鑑の制作 保護活動の活発化を期待して

熱帯雨林を訪れる観光客は珍しい生物に出会うことを楽しみにしている。つまり、観光産業においては、そこにいる生き物が生態系サービスの1つでもあるわけだ。生態系が豊かな中で、登山や公園散策をすると精神的な満足感が得られるが、現状ではテングザルやオランウータン、世界最大の花ラフレシアなど、よく目立つ生物以外は何がどこにいるのかわかっていない。資源は豊富なのに「サービス」の内容がわからないため「この花はこの国立公園にしかない」などの独自性も打ち出せず、効果的にアピールできていないのだ。

そういったところにも研究成果を応用していこうと、4つ目のサブテーマ「生物多様性科学の成果を活かしたエコツアーの開発」と5つ目「生物多様性の知的資源の価値に対する認識を強化する普及プログラムの策定」が用意された。ある生物がそこにしかないと明らかになれば、それを目玉にしたツアーが組めるし、ガイドの育成や国立園内の表示板整備にも役立てられる。現在、ガイド協会や国立公園の観光部門と共に、研究成果に基づいたプログラム開発やガイド内容のアップデートを進めている。

ラフレシアについては、昨年、新産地が発見された。これまで知られているラフレシアと色味や形態が微妙

に異なり、新種の可能性もあるという(図5)。現在はサラワク州の学校で自然教育はほとんど行われていないが、例えばそのラフレシアが貴重なもので、産地の保護が重要であることなどを学校教育や地域住民への啓発活動を通じて周知することで、

地元の自然への愛着が高まり、レンジャーや自然保護ボランティアの活動にも理解が深まって、保護活動も活発化していくことが期待される。

市岡さんは、そのようなことも社会実装の1つと考えている。「データプラットフォームをうまく活用すれば、個体数管理や貴重種のモニタリングなどへの協力も得られるでしょう。それにエコツアーが充実すれば観光客が増加し、ガイドのニーズや土産物の販売機会も増えるなど、波及的な効果も小さくありません。地元の人々を主体にした新産業の創出にもつながっていくと考えられます」。生物の種が多すぎて名前もつけられないという事情もあり、マレーシアには図鑑がないに等しい。そのため、ウェブ上の図鑑サイトの制作

図6 サラワク州保護地域における生物多様性調査の様子



22年8月の第1回に始まり、23年5月までに5回の調査がマレーシア各地の国立公園で実施されている。

も検討中だ。

94年に初めてサラワク州を訪れて以来、市岡さんは多様性研究を続けてきた。今回のプロジェクト終了後も、6つ目のサブテーマ「政策提言」を見据えて研究を継続していく予定だ(図6)。その頃には保護活動やエコツアーも充実し、ネイチャーウォッチングに訪れる人は今より増えているだろう。「最新装置を導入したり人材育成に注力したりしたことで、今後、現地の研究体制は高度化します。将来的に彼らと再び共同研究を行い、全貌がなかなか見えない熱帯雨林の多様性の解明に取り組み、進化の多様性の原因などを探っていきたいと考えています」と市岡さんは今後の展望を語っている。

(TEXT: 桜井裕子、PHOTO: 石原秀樹)



公式ウェブサイト
<https://www.jst.go.jp/global/index.html>



レップスくん

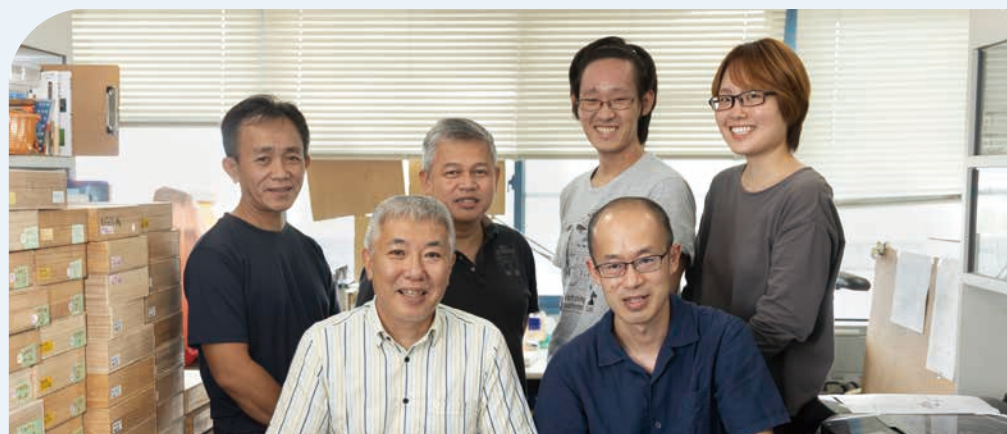
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム SATREPSは、JSTとJICAが連携の下、地球規模課題を解決すべく日本と開発途上国の研究者が共同で研究を行うプログラムです。



Twitter
<https://twitter.com/SATREPS>



Facebook
<https://www.facebook.com/Friends.of.SATREPS>



日本とマレーシアの研究によって、昆虫学の楽しさが伝播していくかもしれません。今後も多様な形で、広く現地に貢献していきたいです。

五十嵐 健夫 *Igarashi Takeo*

東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
2017年度～22年度 CREST研究代表者

コンピューターシステムを使いやすくするユーザーインターフェース(UI)技術や機械と人間のインタラクションは、AI・機械学習の変革期である現在、ますます重要になってきた。東京大学大学院情報理工学系研究科の五十嵐健夫教授は、頭の中にあるイメージを即座に3DCG化する技術やアニメーション生成技術、仮想試着技術、AIの誤判断を未然に防ぐ「共起バイアス」除去技術などの高度なAI応用技術を次々と開発し、人と機械のより良い関係を追求し続けている。

特集

OVERVIEW

人と機械のより良い関係を追求 高度なAI応用技術、次々と開発

ユーザー自ら3Dモデル生成 世界のクリエイターを震撼

画面に描いた創作キャラクターの2次元(2D)スケッチが次の瞬間、ぬいぐるみのような量感を備えた3次元(3D)のコンピューターグラフィックス(CG)に生まれ変わる。そんな仕組みを今から24年以上前に考案したのが、東京大学大学院情報理工学系研究科の五十嵐健夫教授だ。1996年、同大学の博士課程に在籍していた五十嵐さんは、インタビューで訪れた米国ブラウン大学で、多面体として表現された3Dモデルから手書き風のイラストを描き出す

CG技術を目にした時に、人生最大の衝撃を受けたという。

「もともと3DCGに興味があり、ペン書きのイラストを立体化する仕組みを模索していました。ブラウン大学のCG技術を見た瞬間『この逆をやってみよう』とひらめきました」。当時は世界初の長編フル3DCGアニメーション映画「トイ・ストーリー」が公開された翌年で、3DCGに世界が注目し始めた時代でもあった。その後、五十嵐さんは2Dスケッチの3Dモデル化システムを研究課題に据え、99年に世界的CGカンファレンスである「SIGGRAPH 99」で「Teddy」と名づけた2Dスケッチの3Dモデル化

技術を論文発表した(図1)。

このシステムは発表と同時に世界の研究者やクリエイターを震撼させるセンセーションを巻き起こした。従来の3DCGは、専門スキルを持つエンジニアやクリエイターだけが創作するものという認識が一般的で、ユーザーはその結果を利用するしかできなかった。Teddyは3DCG創作をプロの手からアマチュアの手元に手繰り寄せ、特別な訓練を受けていなくても簡単に3Dモデルを生成・編集できる世界を作り出したのである。

この成果を基に、五十嵐さんは「空間的キーフレーム法」の開発にも成

功した。画面上での極めて少ない操作で、スケッチした創作3Dキャラクターを滑らかに動かし、リアルタイムなアニメーションを生成する技術だ。これらのシステムは五十嵐さん自身も驚くほどの大きな反響を呼び、技術の一部は3Dモデル作成の定番PCソフト「Shade」などへの商用化が実現。Microsoftの「ペイント3D」やAdobeの画像系ソフトなど、似たような製品も世に出回るようになった。

体型・ポーズごとに映像化 「仮想試着法」3年かけ開発

ただし、3DモデルやCG作成の効率化だけが五十嵐さんの研究目的ではない。「コンピューターシステムを利用しやすくするためには、人間とシステムはどのように関わるべきかというインタラクションも考える必要があります。人間が頭の中で思い描くことをシステムにどう伝え、システムの出力結果を人間がどう利用するのか。これが、現在まで続く私の研究テーマです」。

大学院生時代には米国のゼロックス・パロアルト研究所、マイクロソフト・リサーチ、カーネギーメロン大学でのインターンを経験し、日本電信電話(NTT)やリコーなどでの企業実習も重ねてきた。しかし、民間企業では開発技術は特許取得が求められ、商品化はその企業のみに限られる場合が多いと感じた。これに対し大学は研究の自由度が高く、また技術利用や実用化が広がる可能性も高いと考え、大学での研究を選んだという。研究者としてUIやインタラクション技術を究めていく中で、AI・機械学習と人間の関わりについても、重要なテーマとなっていった。

17年に、五十嵐さんはJSTのCREST「データ駆動型知的情報システムの理解・制御のためのインタラクション」の採択を受けた。CRESTではデータの生成、学習プロセスと

図1 「Teddy」による3DCG創作のイメージ



ディスプレイ上に描いた2Dスケッチ(左)から3Dモデルを自動生成する(右)。自由な視点から3DCGを描画、リアルタイムな編集も可能にした(着色は異なるソフトウェアによる)。

いったAI技術に共通するテーマの他にも、学習した結果の利用時にシステムの中で起きていることを可視化し、ユーザーが適切に介入して望む結果を出力する手法を、いくつかの個別のアプリケーションを通じて開発・発表している。

ここからは、その中でも特に顕著な成果を3つ紹介する。1つ目は、体型や姿勢に対応した高度な「仮想試着法」だ。着てみたい服を画面上で仮想的に試着できるシステムは既に実用化されているが、単純な3DCGや汎用的な深層学習モデルを応用したシステムでは、リアルな試着画像を即座に生成するのは困難だ。そこで五十嵐さんらは、体型や姿勢を自在に変化させることができるマネキン・ロボットを用意するところから始めた。

マネキン・ロボットに服を着せ、さまざまな体型の人のいろいろなポーズを模倣し、数万枚に及ぶ写真を撮影した。その写真データを基に深層学習を実施した

結果、体型やポーズごとの服のシワのつき方や、体の部位ごとの服の余裕などを詳細に映像化することに成功。オンライン店舗を想定した仮想試着の他、オンライン会議映像における服装を変換する実証なども行っ

図2 仮想試着システムの利用イメージ



https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2021/202112/pdf/2021_12_p14-15.pdf

さまざまな衣服の試着結果。マネキン・ロボットによって取得したデータにより、リアルな試着画像を合成できる。

ている(図2)。

AI・機械学習はデータとアルゴリズムの世界と考えられがちだが、具体的な映像生成にはデータを作るための「ものづくり」要素と忍耐強さも必要になる。「プログラムは短期間で完成しても、学習には長時間かかります。撮影は2時間程度で終わっても、その学習のためには2晩かかる。失敗してやり直すとまた2晩で学習し直す。機械学習につきもの問題ですが、仮想試着法の場合、着想から実現までには約3年を要しました」と五十嵐さんは開発の苦勞を語る。

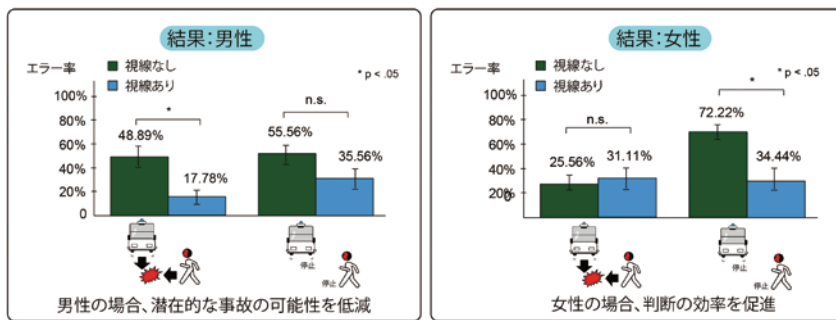
車の「目」を見て横断判断 自動運転の交通リスク低減

UIやインタラクションの研究は必ずしもシステム側の技術だけの話ではない。五十嵐さんらは、人と機械によるより良い呼応を創出するため、AIの判断を人間がわかるように可視化する仕組みも模索した。それが2つ目の成果である「目」を持つ自動運転車だ。この自動運転車は、ドライバーであるAIが注意を払っている方向を、フロント部分の「目」の角度で示し、実験ではそれを見た歩行者による道の横断を計測した。

歩行実験の結果、歩行者は自動運転車の目が自分を向いていれば「自分が認識されている」ので横断しても問題ないと考え、逆に目が他の方向を向いていれば「車は自分に気付いていない」ので、横断は危険と判断する傾向が見られた。このように、目玉の向きでAIの注意方向を示すことで、人間は的確な危険回避行動がとれることが多く、交通リスク低減に役立つことが示された。また、危険回避行動には男女差が大きいこともわかった(図3)。

「将来的には自動運転車が搭載するAIと目の動きを結びつけて、視線がそのままAIの状況を表すようになると仮定しての研究でした」と五十嵐さんは総括している。自動運転車

図3 「目」を持つ自動運転車に対する歩行者の反応を実験で調査



AIが注意を向けている方向が歩行者側なら「安全」、そうでなければ「危険」と判断し、横断すべきかどうかの人間の判断を調査した。実験では車も「目」も手動、歩行者役の人はVR映像で実施している(上)。グラフは「目」のある場合とない場合の歩行者の判断の違い。男女で傾向に大きな違いも見られる(下)。

が一般道を走る近未来に向けて、自動運転車の判断をどう人間に伝えれば人間が正しく危険を避けることができるのか、今後はますます重要なテーマになっていくだろう。他のAI応用分野でも同様に、人間とのインタラクションの研究は不可欠なのだ。

AIの間違った学習を防ぐ ワンクリックで適所誘導

3つ目の成果は、AIの間違った学習を防ぐための技術開発だ。機械学習では、最終的な判断を誤らないよう、学習のプロセスで人間の適切な介入が必要になる場合がある。例えば、海に浮かぶ船の画像から船の形態を学習するには「波」「海岸」などの画像内の要素ではなく、船に着目しなくてはならない。また「口紅」を多数の顔画像から学習するには唇に着目しなければならない。しかし、実際は「目

元の化粧をしっかりとっている人は口紅を塗っている」ことが多いため、目元部分を学習対象にしてしまうことがある。

結果、機械学習のアウトプットに誤りが生じてしまうのだ。このような問題を「共起バイアス」と言い、これを防ぐことが機械学習の大きな課題の1つになっている。共起バイアスの影響を取り除くためには、元のデータを適切に変更して再編成するか、特定領域をユーザーが直接指示して学習すべき箇所を示すアノテーションが必要だ。しかし、データセットの再編成にも、ユーザーによるピクセル単位での領域指示など、多大なコストがかかってしまう。

手間や費やす時間を減らすために、五十嵐さんらは画像表示画面のマウスによるワンクリックだけで特定領域をAIが認識できる技術を開発した。先ほどの船の例で言えば、船の画像なら船の部分を左クリックする

図4 AIの共起バイアスを取り除くワンクリックアノテーション技術のイメージ



CelebAデータセットの「口紅」に関するデータセットで、ワンクリックアノテーション前に深層学習ネットワークが認識した領域の例(上)と、微修正後の領域の例(下)。目や頬など、唇以外の化粧の参照が軽減されている。

と、人の目に見える船部分が識別対象となり、反対に周囲の水の部分を右クリックすれば、水部分が識別対象から外される。これにより、機械学習のトレーニング時間とコスト、アノテーションに関わる人間の労力が大きく削減可能になった(図4)。

注目したい部分を人間が調整して教えることを「アテンション誘導」と言う。今回の成果の肝は、対AIのアテンション誘導作業が非常にシンプルになったことだ。「同時に考案したアクティブラーニング方法を組み合わせることで、アテンション誘導に必要な時間を27パーセント削減し、学習の正確性も大幅に向上することが実証できました」と五十嵐さんは説明する。

新発想をひねり出すのに苦戦 手を動かし考えることが大事

五十嵐さんはアプリケーションの他、AIが提示するさまざまな画像をユーザーが選択していくことで頭の中のイメージに近い画像を生成していく技術や1個のスライダーだけで複雑・多様な画像調整を実現する技術など、多くのアイデアを実現すべく研究を続けている。最も苦戦するのは、まだ誰も思いついていない発

想をひねり出す段階だという。しかし、それを乗り越えればアプリケーション作りは既存技術を活用・応用しながら真っ直ぐ進めることができるそうだ。

「新しい発想のためには論文をたくさん読むこと、とにかく手を動かすこと、そしてひたすら考えることが大事です」。五十嵐さんが研究開発を進める背景には、人間とコンピューターとがお互いに情報を伝えあってより良い結果を作るための、UI・インタラクションの理想があり、それがCRESTの目標である「人間と情報環境の共生インタラクション基

盤創出」につながっている。

22年11月に米国OpenAIが公開した大規模言語モデルによる生成AI「ChatGPT」が世界中から注目を集めているように、現在はAI活用の歴史の変革期とも言われている。「私たちがやってきたことで何ができるのか模索中ですが、基本的な考え方は同じです。専門的な知識を必要とすることなく、ユーザーがシステムを思い通りに操れるようにするという課題に挑戦し続けたいと考えています」と五十嵐さんは今後の道筋を描いている。

(TEXT:土肥正弘、PFOTO:伊藤彰浩)



自分の好奇心を追求して
やりたいことをやるのが一番で、
それが世の中の役に立つことにつながります。
面白いと思うものを追求する
研究者を目指してください。

イノベ 見て歩き

連載：第4回

究極に薄いナノシートやデバイスを開発 豊かな社会構築、省資源・省エネに寄与

長田 実
Osada Minoru

名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
2020年～23年 A-STEP 研究責任者

社会実装を目指す研究開発の現場を訪ねる「イノベ見て歩き」。第4回は、究極な薄さのナノシートや高速薄膜作製法、革新的誘電材料・デバイスなどの、省資源・省エネルギーに寄与する研究開発に取り組む名古屋大学未来材料・システム研究所の長田実教授を紹介する。

世の中の役に立つ材料創生 新しいプロセスを架け橋に

名古屋大学の未来材料・システム研究所は、先端的な材料・デバイスの要素技術からシステム技術までの研究開発を通じて、環境調和型および持続発展可能な社会の実現に寄与することを目的とした科学研究所である。名古屋大学における最大規模の部局横断型融合研究推進組織であり、新学問領域の創生と新しい学術体系の構築を目指している。

この研究所で2018年から「ナノシート」の研究開発に取り組んでいるのが、長田実教授だ。ナノシートとは、厚さが原子数個程度で、約1ナノ（10億分の1）メートル、横サイズが厚さの数千倍～数万倍の大きさを持つシート状の物質である。構成する原子の種類や構造にもよるが、高速電子伝導や高誘導性、触媒活性などの優れた機能を持つことから、機能性薄膜の応用が進められている。

長田さんは、A-STEP「ナノシート技術を用いた革新的誘電材料・デバイスの開発」で、素材・プロセス・デバイスの3つの研究テーマに挑んだ。具体的には、極薄ナノシートの合成、高速薄膜作製法の開発、誘電体キャパシタの開発だ。「世の中の役に立つ材料を創生するためには、新しいプロセスを架け橋に、機能的なデバイス

を作ることが最終ゴールであるべきだと思っています」と長田さんは素材からデバイス開発までをトータルで考えることの重要性を強調する。

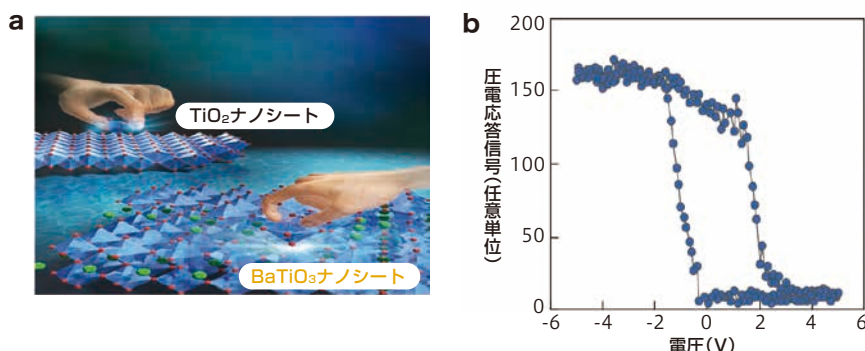
低温下でナノシート合成 強誘電性の維持を確認

ナノシートの開発では、薄く、電気を蓄える性質である「強誘電性」を持つ酸化物ナノシートの合成を目指した。電子部品などに使うナノシートでは、多くの電気をため込める強誘電性が不可欠だが、従来の材料では薄くすると強誘電性が消失する「サイズ効果」が起きてしまう。さらに、今回用いたチタン酸バリウム(BaTiO_3)は構造上、剥離・合成する従来の方法が使えないため、新たな合成方法の開発が必要だった。

そこで長田さんは、ナノシートの高い反応性に着目した。厚さ1ナノメートルの酸化チタン(TiO_2)ナノシートを使い、表面反応により BaTiO_3 への構造変化を起こす鑄型合成法を検討。水・エタノールの混合溶液中で、 TiO_2 ナノシートと水酸化バリウムを反応させることで BaTiO_3 ナノシートを合成した。また、強誘電性は厚さ1.8ナノメートルまで維持され、1.4ナノメートルでは消えることも確認した(図1)。

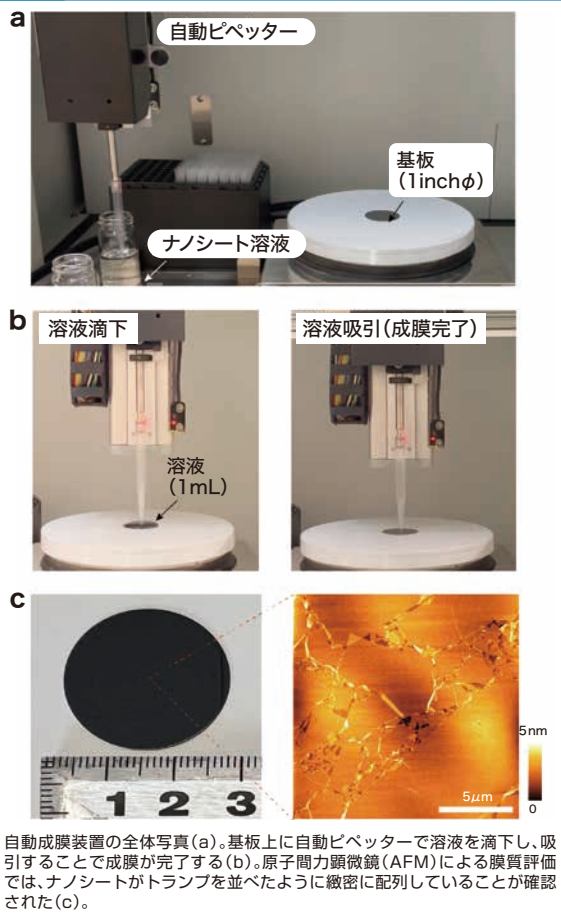
通常、 BaTiO_3 の合成では1000度以上での焼成を必要とする。一方で今回の合成温度は、なんと60度の低温下だった。「今回の方法はより低い温度で合成できることはわかっていますが、まさかここまで低いとは思っていませんでした。そのため、なかなかその先入観を排することが

図1 BaTiO_3 ナノシートの合成と強誘電性



BaTiO_3 ナノシート合成のイメージ図(a)。圧電応答測定によるナノシート1枚での強誘電性評価(b)。単位格子3個分に相当する厚さ1.8ナノメートルのナノシートでは、強誘電性特有の圧電応答カーブが観測された。

図2 2次元ナノシートの高速・液相成膜



できず、試行錯誤を重ねることになりました」と長田さんは当時の苦労を振り返る。

まさに、コロンブスの卵 自動成膜法の確立に成功

ナノシートのプロセス開発で目指したのは、成膜の高速化・大面積化である。一般的にナノシートの成膜では、ナノシートのコロイド水溶液を浅いトレイに展開し、気液界面に広がったシートを集積して薄膜を作製するラングミュア・プロジェクト法などが用いられている。しかし、熟練した操作や複雑な条件設定、大量の溶液が必要な上に、1層の成膜に1時間程度かかることが工業化への大きなネックとなっていた。

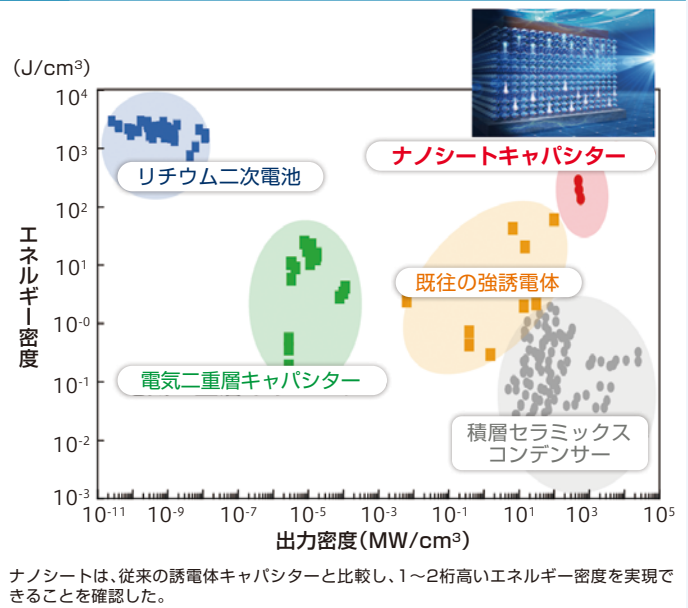
一方でコロイド水溶液を滴下し、乾燥させるドロップキャスト法では、不均一な膜ができてしまう。そこ

で別の方法を模索している時に、偶然解決法が生まれたという。「ある学生が『溶液がもったいない』と滴下後すぐに溶液をピペットで吸引したのです。すると、数秒できれいな2次元構造の膜ができました。まさに、コロンブスの卵です」と長田さんは説明する。直ちにこの現象を観察・解析し、それらの結果を基にロボットによる滴下・吸引の自動化の確立に成功した(図2)。この自動成膜法は、JSTの新技术説明会での反響も大きく、企業との共同研究の話も届いているという。

世界最高のエネルギー密度 誘電体キャパシターで実現

A-STEPの最終ゴールは、新たな蓄電デバイスとして注目されている「誘電体キャパシター」の開発である。このキャパシターは、たった数秒で充電できるだけでなく、安全で長寿命、高出力密度などの優れた特性を持つ。「究極の蓄電デバイス」として期待される一方で、本質的な問題点を抱えている。それは、一度に多く

図3 ナノシートキャパシターの構造と各種蓄電デバイスとの特性比較



のエネルギーを蓄積できないことだ。

のエネルギーを蓄積できないことだ。

ナノシートをベースとする誘電体キャパシターの研究を進めていた長田さんは、1.5~3ナノメートルと分子レベルの厚さで高い誘電性と絶縁性を兼ね備えたナノシートを開発し、誘電体キャパシターで世界最高のエネルギー密度となる1立方センチメートル当たり174~272ジュールを実現した。これは、従来の誘電体材料の約10倍に相当し、リチウム二次電池にも匹敵する(図3)。また、300度の高温でも安定性を保つことを確認した。将来的には、電気自動車のパワーブースターなどの全固体蓄電デバイスへの応用が見込まれている。

ナノ技術は、物質の機能や特性を大幅に向上させ、豊かな社会を構築するだけでなく、デバイスを作る際にも非常に少ない材料ですむため、省資源・省エネルギーにも大きく寄与する。「だからこそ、資源がほとんどない日本にとって非常に重要な技術です。その意味でも、社会に新たな価値をもたらす、夢のある技術だと思っています」と長田さんは笑顔で語る。

(TEXT:横井まなみ、PHOTO:伊藤彰浩)

はがれやすく再生可能な強力接着剤 水中でも力発揮、インフラ補修向けに期待

循環型社会への意識が高まる中「解体性接着」という接合技術が注目されています。使用時には十分な接着力を発揮し、使用後は外部刺激によって簡単に剥離可能な新しい接合技術です。しかし、接着と剥離は相反する現象であるため、強い接着力と容易な剥離を両立させることは困難でした。

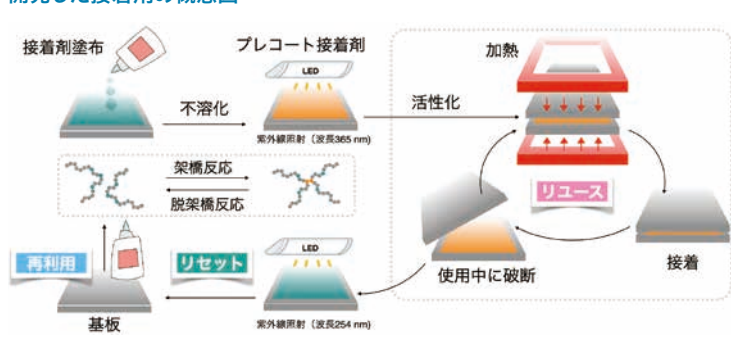
物質・材料研究機構高分子・バイオ材料研究センターの内藤昌信分野長らの研究チームは、波長の異なる紫外線を照射することで架橋・脱架橋反応を可逆的に起こす「カフェ酸」に注目。カフェ酸を組み込んだ高分子を基材に塗り、波長365ナノ(10億分の1)メートルに最大強度を持つ紫外線を照射すると、架橋反応によって不溶化した強力な接着層が形成されました。さらに、試料を切断しても、加熱すると再び初期の接着強度にまで回復し、この操作を30回以上繰り返しても性能が劣化しませんでした。

一方、より強いエネルギーを持つ波長254ナノメートル付近の紫外線を接着層に照射すると、カフェ酸の脱架橋反応によって、試料は塗布前と

同じ状態に戻り、接着剤と基板の両方を回収・再利用することができました。また、カフェ酸に含まれるカテコール基がフッ素樹脂や水中での接着といった、一般的な接着剤が苦手とする基材・環境でも、強力な接着力とリサイクル性を発揮することがわかりました。

光で再生・再利用が可能な接着剤は、電子機器や輸送機器、医療機器、インフラ補修などの幅広い分野への適用が見込まれます。さらには、水中リモート接着という新たな施工技術を通じ、次世代社会インフラロボットや遠隔医療などの実現に寄与します。

開発した接着剤の概念図



「デジタルサイエンス」のこれからを議論 日米共同でコロナ禍後の「科コミ」など態勢準備へ

2023年6月28日~29日、国際部SICORPが支援する日米共同研究「新型コロナウイルス感染症(COVID-19)により求められる新たな生活態様に資するデジタルサイエンス」の中間報告会がオンラインで開催されました*。報告会では、各課題の研究代表者による研究進捗の発表と座談会があり、研究の実装段階におけるコミュニティとの関係構築の難しさが日米共通の問題意識として浮き彫りになりました。また、若手研究者の海外渡航促進を目的として米研究機関に滞在した学生ら5人が、初めての米国での研究活動や現地での生活ぶりをフレッシュな感性で語りました。

パネルディスカッション企画では、日米の医療統計学、社会経済学、コンピューターサイエンスの専門家に加えてNHK解説委員の藪内潤也氏をお招きし、米国国立科学財団(NSF)のデイビット・コーマン氏の司会でパンデミックを振り返り、これからのデジタルサイエンスの可能性について議論しました。データサイエンスは政策立案への情報提供には有用でしたが、科学コミュニケーションの不十分さや心理学的視点、集団の

文化の違いといった、統合的なアプローチが不足していたことが挙げられました。

そのうえで、今後は多様な視点を取り入れてSTEM(科学・技術・工学・数学)教育に科学コミュニケーションを導入することや、普段から多分野横断的な専門家のネットワークを築き、緊急時にはシームレスにさまざまな議論や協力関係を継続できるように準備することが必要だと結論づけられました。詳しい報告会の様子はJSTウェブページで紹介していますのでぜひご覧ください。

*各支援課題についてはJSTnews 22年1月号特集2を参照。

https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2021/202201/pdf/2022_01_p08-11.pdf

日米の研究者と関係者のショット。刺激的な議論が交わされ充実した2日間でした。



<https://www.jst.go.jp/report/2023/230731.html>

研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム」

研究課題「デバイス・システム協調による超低電圧布線論理型AIプロセッサ」

消費電力2552分の1のAIプロセッサ 乾電池1個でOK、ドローンやロボットへの応用に道

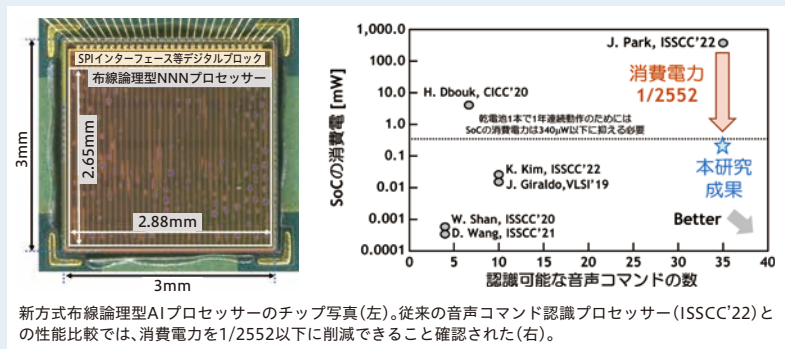
人間が発した複数のキーワードを解析し、機器の起動・操作指示のコマンドへ変換する「音声コマンド認識AI」が新たなマシンインターフェースとして急速に発展しています。一方で、認識可能なコマンド数が増えるほど、消費電力も増加するという問題がありました。

東京大学大学院工学系研究科の小菅敦丈講師らの研究グループは「布線論理型」と呼ばれるAIプロセッサの応用に挑みました。布線論理型AIプロセッサは、人間の脳を模した方式です。ニューラルネットワークを構成するニューロンとシナプス全てをチップ上に並列実装することで、頻繁なデータ移動やメモリ通信を必要とせず、画像分類タスクにおける低消費電力化を実現します。しかし、コマンド数が35種ある音声認識AIを実装するためには、試算したところ30チップ以上必要になり、巨大な実装面積と巨額のコストを削減する必要がありました。

そこでニューラルネットワークを簡素化し、ニュー

ロンとシナプス数を大幅に削減する技術に加え、ビット幅を削減しニューロンを小面積化する技術と、ニューロン回路を再度取り込んでAIモデルを最適化する技術を新たに提案しました。新AIプロセッサは、16層の深層ニューラルネットワークにおける全てのニューロンとシナプスを1チップに実装することで、消費電力を従来の2552分の1以下に削減できました。

今回開発したAIプロセッサは乾電池1本という小電力で、高精度認識可能なAIを動かすことができます。今後は、スマートフォンやドローン、自動車内エンタメ機器制御やAR/VR機器などへの応用が見込まれます。



新方式布線論理型AIプロセッサのチップ写真(左)。従来の音声コマンド認識プロセッサ(ISSCC'22)との性能比較では、消費電力を1/2552以下に削減できること確認された(右)。

研究成果

ムーンショット型研究開発事業

目標2「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」

研究課題「恒常性の理解と制御による糖尿病および併発疾患の克服」

細胞増殖を生きたまま観察できるマウス 糖尿病の再生治療やがん増殖抑制薬などに期待

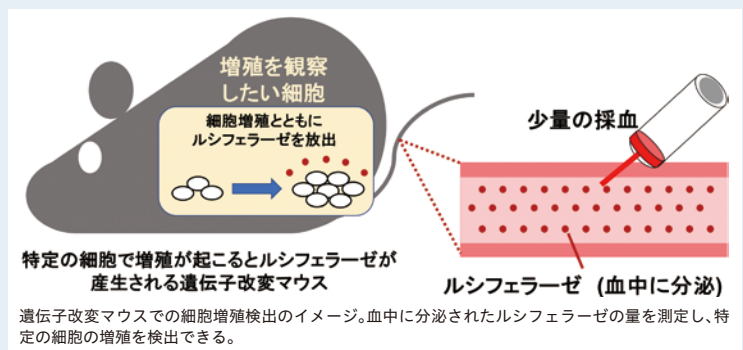
生きた動物の体内で細胞がどう増殖しているかを経時的に観察するためには、複数の時点で動物の臓器を摘出し、標本を染色して顕微鏡などで観察する方法があります。しかし、この方法は、動物を含む多くの実験資源を必要とするものでした。

東北大学大学院医学系研究科の片桐秀樹教授らの研究グループは、必要な時にごく少量の採血をするだけで、増殖している細胞を生きたまま観察できるマウスの開発に成功しました。特定の細胞で増殖が起こると、哺乳動物にはないルシフェラーゼという発光反応の仲立ちとなる酵素が作られ、血液中に放出されるよう遺伝子改変したマウスを作製しました。このマウスの少量の血液を用いてルシフェラーゼを測定することで、体内で起こっている特定の細胞増殖をリアルタイムに検出することが可能になります。そのため、同じマウスで何度でも細胞増殖の状態を観察できます。また、細胞の種類に応じて遺伝子改変の組み合わせを変えることにより、さまざまな種類の細胞増

殖をそれぞれ確認できます。

実際、遺伝子改変マウスの肝臓を部分的に切除してから経時的に採血した結果、極めて鋭敏に肝臓細胞の増殖の時間的経過を検出することができました。さらに、インスリン産生細胞である膵臓のβ細胞の増殖を刺激したところ、β細胞増殖の経過についても高い感度で検出することができました。

この研究を応用すれば、実験資源を有効に活用しながら、インスリン産生細胞を増やす糖尿病の再生治療や、がん細胞の増殖を抑える薬剤など、さまざまな疾患における治療法の開発研究の発展が期待されます。



さきがける 科学人

vol.131

小川 亜希子 Ogawa Akiko

東北大学 加齢医学研究所 加齢制御研究部門
モドミクス医学分野 助教

Profile

神奈川県出身。2012年東京大学医学部医学科卒、眼科医。19年熊本大学大学院医学専攻(眼科学)博士課程修了。博士(医学)。同年より現職。熊本大学眼科客員講師を兼任。20年よりERATO「鈴木RNA修飾生命機能プロジェクト」研究員。



スウェーデンのノーベル賞博物館で買ったお気に入りの元素周期表マグカップです。このマグカップで毎朝コーヒーを飲んでいます。

Q1. 医学研究に進んだきっかけは？

A1. 意思疎通の要「目」に興味 恩師からの誘いで研究の道へ

医学部の実習では各科を回るので、意思疎通の要であり、丸いフォルムの「目」に魅力を感じて眼科を志しました。ヒトは外界からの情報の約9割を視覚から取り入れると言われていて、日本の中で中途失明原因の第一位である緑内障は、加齢によって進行する視神経疾患です。薬や手術器具の発展にもかかわらず失明者は増え続けており、超高齢化の進む日本で社会的に大きな問題となっています。

私が入局した熊本大学の眼科は伝統的に緑内障の研究が盛んに行われており、当時指導教官だった谷原秀信先生と井上俊洋先生から「せっかくだから基礎研究もやってみないか」と提案をいただきました。その後、入局して比較的早い時期に大学院に入学し、緑内障の分子メカニズムの研究を行いました。さらに研究を深めるため、富澤一仁教授が率いる熊本大学分子生理学研究室へ出入りするようになり、RNA修飾の研究を始めました。

数年経って研究が面白くなってきた頃に、当時熊本大学で准教授だった魏范研先生が独立することになり、新たな研究室の立ち上げに誘っていただきました。RNA修飾研究の

継続と新しい研究室の立ち上げ、どちらも面白そうだなと思い、思い切って基礎研究の世界へ飛び込みました。

Q2. どんな研究をしていますか？

A2. RNA修飾の機能を明らかにし QOLの維持につなげたい

生物は、遺伝情報に基づく設計図である核酸のDNAとRNAを持ちます。DNAやたんぱく質はメチル化やアセチル化といった修飾を持ちますが、RNAには桁違いに多くの化学修飾が存在することがわかってきました。私はRNA修飾が代謝された後で、生体内にどのような影響があるのかを探っています。

JSTのERATO鈴木プロジェクトの研究では、RNA代謝後の産物であるN⁶-メチルアデノシン(m⁶A)が強力な受容体シグナル応答を引き起こして炎症を引き起こすことを発見しました。m⁶Aを始めとする修飾ヌクレオシドの免疫作用における役割や機能を解明することで、将来さまざまな疾患の診断や治療に役立つ可能性があります。研究の過程ではERATO研究統括の鈴木先生を始め、国内外のさまざまな先生方から研究への刺激をいただいています。

加齢によって目の機能が弱まり、健康と要介護状態と

の中間の段階を「アイフレイル」と呼びます。アイフレイルは可逆的なので、この段階で早期発見と介入ができれば、重度の視機能障害に陥る前に、QOLや視機能の質を意味するQOV(Quality of Vision)の維持にもつながります。

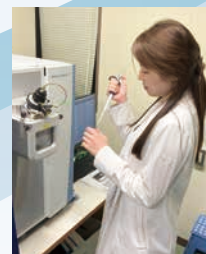
Q3. 研究者を目指す人へ一言

A3. 「好き」の思いを糧に日々研究 誰かに役立つ仕事への夢抱く

眼科医になったばかりの頃は、バリバリと手術をする予定で、まさか自分が研究者になるとは思っていませんでした。ですが今は、自分は研究が好きだなあと思いながら日々研究を行っています。今でも自分が研究者に向いているのか正直わかりませんし、10年後も研究を続けているかはわかりません。

うまく行かないことが続く時は、とある先輩に言われた「好きなことと向いていることは違う」という言葉がぐるぐる頭の中を回っている時もあります。ただ自分の研究で、緑内障を始めとするアイフレイルの予防や治療といった、将来誰かの役に立てるような仕事ができたらいいなと夢を抱いています。

(TEXT: 横井まなみ)



質量分析解析をしている様子。RNA修飾と、代謝・免疫・老化などの生理機能や疾患との関わりを研究しています。

「アイフレイル」の進行を防ぎたい
核酸研究を治療や予防に応用

