

# JST news

未来をひらく科学技術

1 | 2024  
January



ナノの世界の超高速現象を捉える顕微鏡  
産学連携で見やすく、使いやすく



ビッグデータでインフラ補修時期を予測  
マネジメント政策の形成を国内外で支援



### 03 新年のごあいさつ



### 04 特集1

## ナノの世界の超高速現象を捉える顕微鏡 産学連携で見やすく、使いやすく



### 08 特集2

## ビッグデータでインフラ補修時期を予測 マネジメント政策の形成を国内外で支援

### 12 〈連載〉イノベ見て歩き

— 第8回 —

## 「納豆」から生まれたプラスチック 生分解性で海洋プラスチック問題を解決へ



### 14 NEWS & TOPICS

## ≫ ゴムと金属の接着老化に関わる反応を可視化 ≫ 農地にばらまける土壌含水率センサー

ほか

### 16 さきがける科学人

## アイスコアは気候のタイムカプセル 地球が歩んだ100万年の解明を目指して

国立極地研究所 共同研究推進系  
(気水圏研究グループ/アイスコア研  
究センター)助教  
総合研究大学院大学 先端学術院・  
先端学術専攻 極域科学コース  
担当教員

## 大藪 幾美



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

## 新年のごあいさつ

明けましておめでとうございます。  
本年もよろしくお願いいたします。



就任以来、2度目の新年を迎えました。昨年は、緊迫した国際情勢の中、物価高や酷暑などさまざまな困難に直面した一方で、ChatGPTをはじめとしたAI(人工知能)が注目され、技術の急速な進歩を肌で感じた1年でした。新しい技術への期待が高まる中で、JSTは日本の科学技術・イノベーション政策の中核的な実施機関として、着実にその役割を果たしてまいります。

科学技術立国である日本において、喫緊の課題となっているのが、研究開発力の強化です。JSTは、研究開発プロジェクトへのファンディング機能、科学技術に対する社会への理解増進を深める機能、研究開発に関する調査分析などを行うシンクタンク機能を3つの柱として、研究開発力の強化に取り組みます。その中でも、

研究開発力の強化に大きな貢献を果たしていくことが期待されている戦略的創造研究推進事業をはじめとしたさまざまなファンディング事業を、研究コミュニティや政府関係機関と連携を図りながら真摯に取り組んでまいります。

新たなプログラムでは、緊急性の高い国家戦略分野のイノベーション創出を図るため「次世代AI人材育成プログラム」を創設し、AI分野に関係する新興・融合領域の若手研究者、博士後期課程学生の支援強化に努めます。また「情報通信科学・イノベーション基盤創出プログラム」を開始します。このプログラムでは、将来の日本の行く末のカギを握る革新的なICTの創出・進化に向けた研究開発を推進します。

先進国のトップ研究者との国際

共同研究を促進する事業や、GX(グリーン・トランスフォーメーション)技術の推進に取り組む事業、大学発スタートアップ創出の抜本的強化を図る事業など、新たに基金を創設した事業についても注力してまいります。また、経済安全保障上のニーズを踏まえた重要技術の育成にもこれまで以上に力を入れて取り組みます。新たな科学技術・イノベーションの創出には、将来を担う若手研究者の育成が不可欠であり、未来のアカデミアをけん引する若手研究者の育成を促す創発事業や、博士後期課程学生を支援する人材育成プログラムも、より強化していく所存です。

本年も引き続きの皆様のご支援、ご協力をお願い申し上げます。

令和6年1月

橋本和仁



右

## 重川 秀実 *Shigekawa Hidemi*

筑波大学 数理物質系 教授  
2019年～22年 A-STEP 代表研究者/  
2004年～10年 CREST 研究代表者

左

## 岩谷 克也 *Iwaya Katsuya*

株式会社ユニソク 開発部 部長  
2019年～22年 A-STEP 開発主担当者

高性能な半導体、効率の良い太陽電池、新機能材料の開発など、現代産業を推し進めてより豊かな社会を実現するには、ナノの世界を観察・制御する技術が不可欠だ。ナノの世界を超高速に捉えられる「時間分解走査トンネル顕微鏡(時間分解STM)」は非常に複雑で、これまでは計測の専門家しか扱えなかった。その常識を覆したのが、筑波大学とユニソクの共同研究を基に開発された顕微鏡だ。システムの簡易化・小型化を実現し、最先端顕微鏡において普及の糸口を開いた筑波大学数理物質系の重川秀実教授とユニソク開発部の岩谷克也部長に、開発の背景や道のり、これからの展望を聞いた。

特集

OVERVIEW

# ナノの世界の超高速現象を捉える顕微鏡 産学連携で見やすく、使いやすく

## 超高速の電子の動きを可視化 科学・産業界に進展もたらす

それまで見えなかった世界が見えるようになることは、科学を発展させる大きな原動力となる。歴史を振り返っても、17世紀に望遠鏡が発明され、肉眼では見えない天体が観測可能になったことが地動説を後押しし、その後も膨張する宇宙の姿など驚くべき事実が明らかになってきた。また、顕微鏡が登場したことで、肉眼では見えない微生物や細胞が観察できるようになり、生命科学が大きく進展した。技術が進歩し、見えなかったものを高精度に見る道具ができることで、科学は新しい視界を得て、さらに先へと発展していくことができる。

科学者が見たいと求めるものの多くは、より遠く、より小さく、より速いものだ。2023年のノーベル物理学賞はアト(アトは1000京分の1)秒パルス光という極めて短時間だけ光を生成する手法を開発した3名の研究者に与えられたが、まさにこれは超高速な現象を捉える技術である。それ以前の1999年には、フェムト(フェムトは1000兆分の1)秒だけ光るレーザーを使って化学反応のメカニズムを明らかにし、フェムト秒化学という領域を作り上げた故・アハメッド・ズウェイル博士がノーベル化学賞を受賞している。

筑波大学数理物質系の重川秀実教授もまた、新しい視界を求め、挑戦し続けてきた1人だ。ナノサイズの世界の超高速現象を観察する技術の開発

に取り組んできた重川さんの研究成果を基に、走査トンネル顕微鏡メーカーのユニソクは「時間分解STM」の大幅な簡易化・小型化に成功した。時間的には1000億分の1秒、空間的には10億分の1メートルの解像度で、電子の動きまで可視化できる。最先端の顕微鏡が簡便に使えるものとなったことは、科学界や産業界に大きな進展をもたらさだろう。

分子の大きいものはおおむね10ナノ(ナノは10億分の1)メートル、原子は0.1ナノメートルというと、ナノというサイズがイメージできるだろうか。原子の構成要素である電子は、それよりさらに小さい。ナノの世界を観察する装置の1つに先鋭な探針(プローブ)で物質の表面をなぞり、表面の形状や性質を観察する

「走査プローブ顕微鏡(SPM)」と総称される顕微鏡がある。82年に発明され、86年にノーベル賞が与えられた。針先と物質の表面の相互作用を捉えて画像化する仕組みだ(図1)。

信号にはトンネル電流、原子間力、磁気力、表面電位などがあり、走査トンネル顕微鏡(STM)の場合は、プローブと物質の間に量子力学的な効果で流れるトンネル電流を検出して、物質表面の形状や電子の状態を把握する。この方式は導電性物質にしか使えないが、原子間力を利用する原子間力顕微鏡(AFM)であれば非導電性物質でも観察することができる。80年代のSTMやAFMの開発に始まり、00年前後からは電子顕微鏡を用いたナノテクノロジーの研究開発は一大ムーブメントとなっていった。

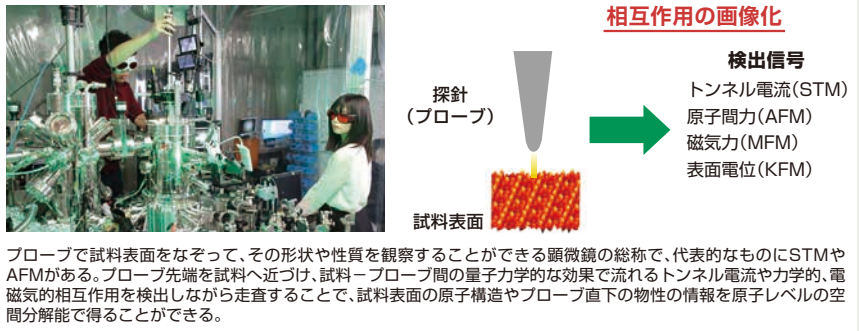
### 未知の物性発見や構造の変化 新しい材料開発に貢献

物質はナノサイズになると、光りにくかったものが発光したり、熱伝導率が変化したりするなど、通常の状態にはない性質を発現させることが多い。「変化を高精細に捉えることができれば、未知の物性の発見やナノの構造・形状を制御することで、これまでにない機能を持つ新材料や素子の創成が可能になるのです」と重川さんは語る。

23年のノーベル化学賞はまさにこの分野における功績だ。米国ナノクリスタルズテクノロジー社のアレクセイ・エキモフ氏と同国コロンビア大学のルイス・ブルース教授は、同じ化合物でも、ナノサイズになると、わずかな大きさの違いで発する光の色が変わることを発見した。米国マサチューセッツ工科大学のムンジ・パウエンディ教授は、ナノ結晶を安定的に製造する技術を開発したことに対して表彰されている。

このナノ結晶を製造する技術は、すでに照明や触媒、半導体素子などに応用されている。物質を構成する

図1 走査プローブ顕微鏡(SPM)



原子や電子などのふるまいによって発現する新しい物性は、半導体や太陽電池などの性能を向上させる色々な新材料の開発に直接的につながっていく。しかし、ナノサイズになると、1個の原子レベルの欠陥が特性に大きく影響する。そのため高精度な測定技術や、ナノスケールでの物質構造の制御につながる技術の開発には、これまで以上に大きな期待が寄せられている。

### 高い空間・時間分解能を融合 「人生を棒に振る」覚悟で臨む

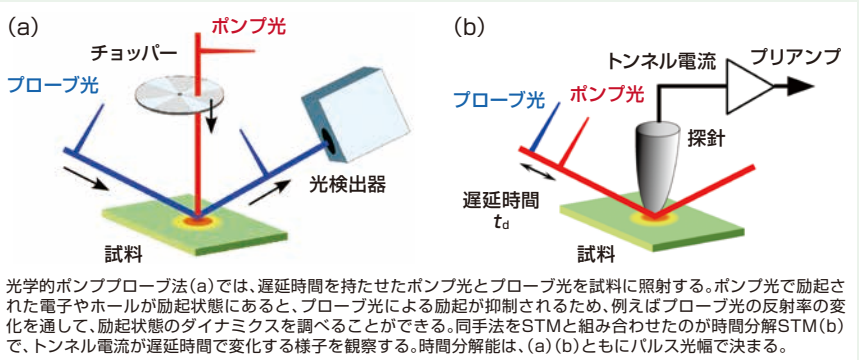
個々の原子まで見られるほど顕微鏡の解像度が上がっても、それだけでは十分ではない。例えば、現在の最先端の半導体素子の基本的なサイズは、わずか2ナノメートルの領域を指す状況にある。素子が小さくなるほどチップ上に多くの回路を集積できて半導体の性能が向上するが、反面ナノの世界ではごくわずかな構造の乱れでも欠陥につながってしまうと

いう問題がある。ナノの世界で起こることを正しく理解していかに精度高く制御できるかが、ナノ構造を用いた製品の品質を左右するのだ。

それだけでなく、例えば、光照射した試料中の電子の、運動やエネルギーのやり取りのような高速で瞬時に起こる現象、より正確に言えば、瞬時に見えるが実際には時間の経過を伴う現象を正しく把握することが重要になる。もちろん、それは容易なことではない。「STMは試料-プローブ間距離に非常に敏感なトンネル電流を使うため、空間分解能は高いのですが、時間分解能についてはミリ秒やサブミリ秒のレベルの計測にとどまり、電子などの高速なダイナミクスを見るには遅いのです」と重川さんはSTMの課題を挙げる。

これに対し、先にも述べたように、高い時間分解能で計測する「光学的ポンププローブ法」がある(図2a)。最初のパルス光「ポンプ光」を測定する物質に当てて状態を変化させ、物質表面の誘電率などの応答を測定す

図2 光学的ポンププローブ法と時間分解STMの模式図



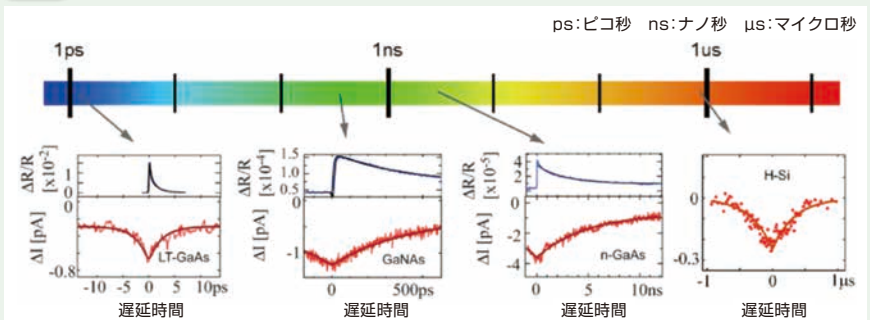
光学的ポンププローブ法(a)では、遅延時間を持たせたポンプ光とプローブ光を試料に照射する。ポンプ光で励起された電子やホールが励起状態にあると、プローブ光による励起が抑制されるため、例えばプローブ光の反射率の変化を通して、励起状態のダイナミクスを調べることができる。同手法をSTMと組み合わせたのが時間分解STM(b)で、トンネル電流が遅延時間で変化する様子を観察する。時間分解能は、(a)(b)ともにパルス光幅で決まる。

る方法だ。ポンプ光で対象を刺激し、次の光「プローブ光」の反射率や吸収率などの時間変化を測定することで刺激に対する試料の応答を見る。2つの光の遅延時間を変えることで、ポンプ光照射で励起され緩和していく過程で何が起きているのかがわかる。ただし、空間分解能は、通常、光の波長などにより制限されるため、STMのレベルにまで精度を上げることはできない。

各方法に一長一短があるわけだが、現在求められているのは高い空間分解能と時間分解能を併せ持った測定技術だ。「そこで私は、両者を融合させた顕微鏡(図2b)を実現しようと考えました。このアイデアを研究者仲間と話した時『そんな大変なことに取り組むと人生を棒に振るぞ』と言われました」と振り返る。00年から、重川さんは科研費で基礎研究を開始した。その後、ナノ構造・超高速現象の解析制御の研究へと展開し、04年からは社会実装を見据えて、ユニソクと共にJSTのCREST「フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡技術の開拓と極限計測」研究課題をスタートさせた。

以降、ナノスケール量子ダイナミクスイメージング、電子の磁性運動を示す「スピン」の可視化技術、サブサイクル時間分解STM法の開発と、テーマを展開させながら研究開

図3 デジタル的な遅延時間変調法により実現した広範囲に渡る時間分解信号の例



デジタル的な遅延時間変調法の導入により、遅延時間を広範囲で高速に変調させて計測できるようになった。原理的な分解能は超短パルス光のパルス幅で決まるため、フェムト秒レベルといった短時間で状態変化する材料から、マイクロ秒を越えたより長い時間をかけて状態変化する材料まで、幅広い時間領域で応答する試料を対象とした計測も可能。円偏光を用いたスピン計測も実現している。

発を進めてきた。10年には、STMと超短パルスレーザーとの組み合わせにより、世界で初めて半導体ナノ構造の時間分解測定に成功するなど、それぞれのフィールドで着実に成果として結実させている(図3)。

### ユニソクと30年の付き合い 強い絆があって実現した装置

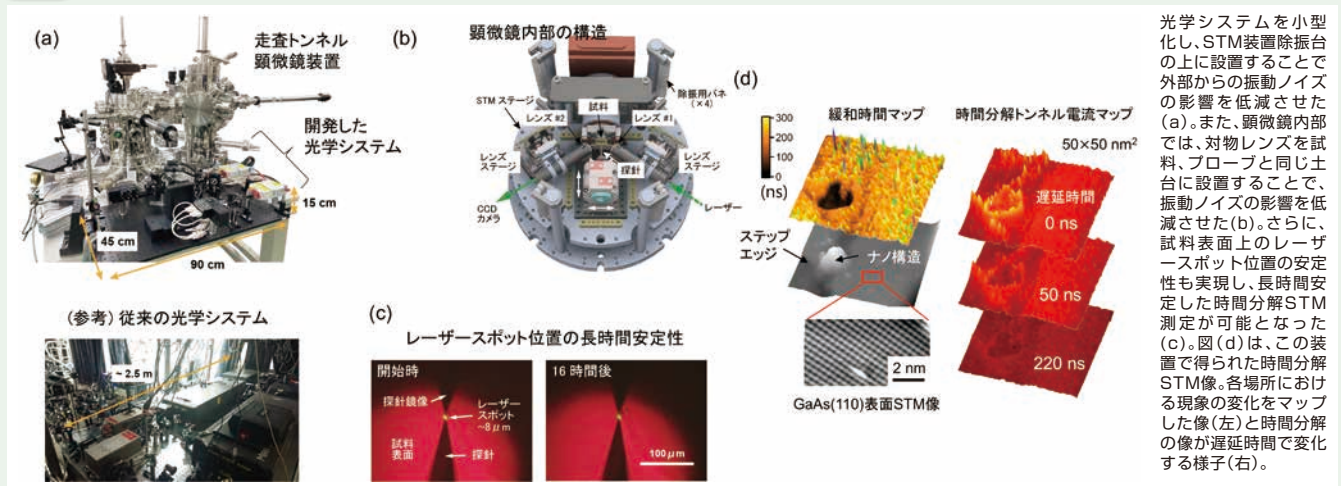
重川さんの研究成果を基に、ユニソクは19年にJSTのA-STEP「時間・スピン分解走査マルチプローブ顕微鏡」の採択を受け、時間分解STMの製品化に乗り出した。その背後には、重川さんとユニソクとの協力関係が欠かせなかったという。ユニソクは大気中で使用できる国産初のSTMや、極低温超高真空STMといったユニソクで高品質な顕微鏡を世に送り

出してきたメーカーだ。重川さんは92年頃から代々同社の製品を用いており、付き合いは30年に及ぶ。

この縁は単なる研究者とメーカーという関係にとどまらない。創業者である故・長村俊彦氏は優れた研究者でもあり、重川さんもかつてはユニソクの社屋に泊り込み、温度を変えながらシリコン表面の構造変化をSTMで観察するなどの実験を長村さんと共に行っていた。共著論文も複数発表している。長村さんが率いるユニソクは、まさに「同志」だったと重川さんは振り返る。「長村さんはアイデアが豊富な方で、一緒にさまざまな議論をしながら新しい実験の検討などを進めることができました。こちらの無理な注文も聞いてくださり、協力関係は深まっていきました」。

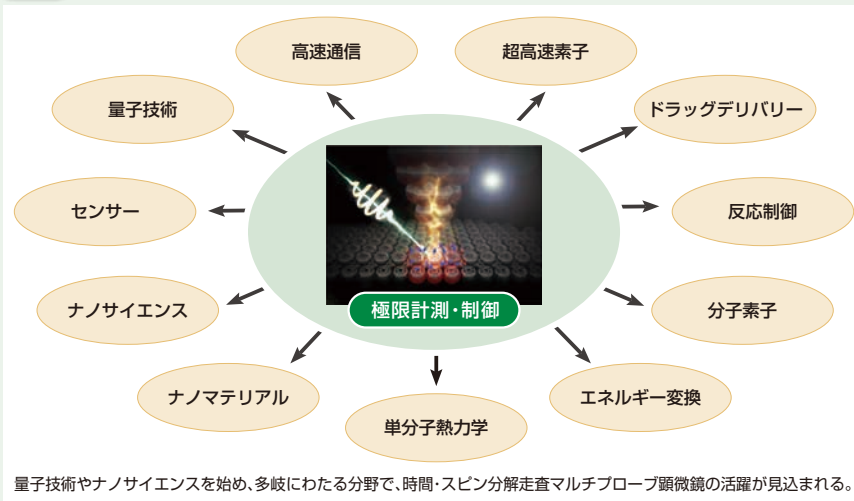
その後は、同社開発部の岩谷克也

図4 A-STEPで開発した時間分解STM装置と時間分解STM像



光学システムを小型化し、STM装置除振台の上に設置することで外部からの振動ノイズの影響を低減させた(a)。また、顕微鏡内部では、対物レンズを試料、プローブと同じ土台に設置することで、振動ノイズの影響を低減させた(b)。さらに、試料表面上のレーザースポット位置の安定性も実現し、長時間安定した時間分解STM測定が可能となった(c)。図(d)は、この装置で得られた時間分解STM像。各場所における現象の変化をマップした像(左)と時間分解の像が遅延時間で変化する様子(右)。

図5 極限計測・制御法の開発と多様な分野への展開



量子技術やナノサイエンスを始め、多岐にわたる分野で、時間・スピン分解走査マルチプローブ顕微鏡の活躍が見込まれる。

部長を中心に連携が続いてきた。もともとSTMの研究者ではあったが、光学的ポンププローブ法については詳しく知らなかったという岩谷さん。ところが同社に転身してきて間もなく、宮武優現社長からA-STEPの担当に指名された。「そこから論文や解説記事、特許の書類などを読んで必死に勉強しました」と岩谷さんは苦笑するが、重川さんは未知の分野でも前向きに取り組む岩谷さんの姿勢に、協力し合える相手だと確信したという。

また、ユニソクには重川研究室の出身者が数名在籍している。彼らはこの分野に精通しており、光学システムやソフト開発などプロジェクトで重要な役割を果たした。A-STEPで開発された時間分解STM装置は、重川さんの高い時間分解能測定を可能にする研究成果を活用しながら、レーザーの動作を全て電氣的に制御することで光学システムを大幅に簡便にし、操作を容易化したものだ。光学システムの小型化と、顕微鏡内部にレーザー集光レンズを設置できるようにしたことで、高分解のデータの取得に欠かせない長時間安定性についても大幅な向上を図ることができた(図4)。

従来の装置は光学システムが大規模かつ複雑で、高度な知識と技術を持つ専門家でなければ扱えなかった

ことが利用拡大の障害となっていたが、今回の実用化によってその壁が取り払われたことになる。重川さんとユニソクとはお互いに研究力、技術力に対する理解と信頼があり、良好な人間関係も構築できていたという。「それらに裏打ちされた強い絆があってこそ、この装置は実現できたと思います。夢を描き、諦めず考え続け、パートナーと信頼関係を築く。それが新しい景色を見ることにつながりました」と重川さんは開発の日々を総括する。

### 生命の不思議を観察し 医療への応用も進める

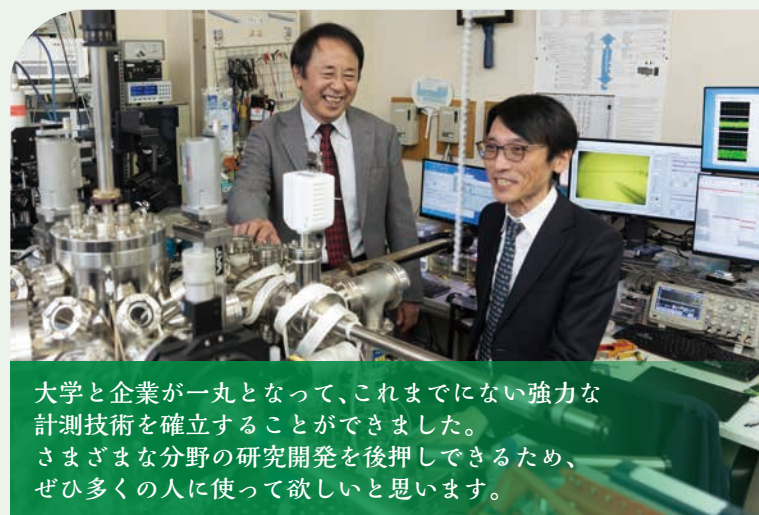
重川さんとユニソクは今後も共同研究を続け、光学システムのAFMへの応用を図っていく予定だ。この強力な計測技術の利用の拡大に向けて、時間分解AFMへの展開をすでに進めているという。「今後は、装置のレンタルサービスを開設して国内外の利用者に実験環境を提供していきたいと考えています。さらに世界的に活況を示している電場駆動型時間分解STM

の光学システムも簡易化し、製品化することを目指します」と岩谷さんは企業としての展望を語る。

一方の重川さんは、現在、時間分解STMを携えてライフサイエンス分野で、単一細胞レベルの計測・研究にも取り組んでいる(図5)。一見、全く異なる分野だが重川さんの探究心の根っこには、宇宙や生命のように謎に包まれているものへの興味関心がある。「生き物は、少し体温が変化するだけで体にさまざまな影響が出て、生体の反応が変わりますが、それは細胞がどのような働きをするためなのか。この宇宙ができたことのもろ不思議さと、小さな細胞から生命が育まれていくことのもろ不思議さは、つながっているのかもしれない」。

純粋な科学的な興味から細胞の観察に向かい、現在はがん細胞の挙動に注目しているという重川さん。その研究は今後、特定の細胞や細胞内の分子へ薬物を送り届けるドラッグデリバリーなどへの応用も期待されている。「新技術を簡単に使えるようにできたことで、人生を棒に振るどころか、さらに多くの未知の現象を知ることができています。これから多くの方々に装置を使っていただき、計測分野の研究コミュニティが大いに盛り上がりましょうね」と重川さんはこの顕微鏡がもたらす研究の未来に期待を寄せている。

(TEXT: 桜井裕子, PHOTO: 石原秀樹)



大学と企業が丸くなって、これまでにない強力な計測技術を確認することができました。さまざまな分野の研究開発を後押しできるため、ぜひ多くの人に使って欲しいと思います。

## 貝戸 清之 *Kaito Kiyoyuki*

大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
2019～2022年度 RISTEX 政策PG 研究代表者

橋梁、トンネル、道路舗装、上下水道などのインフラの老朽化が社会問題化する中で、インフラの補修や更新を行うマネジメント政策の重要性が高まっている。大阪大学大学院工学研究科の貝戸清之准教授は、長年の点検を通じて蓄積したビッグデータを用いたデータサイエンス技術によってインフラの補修・更新時期を予測する手法を開発した。さらに、ライフサイクル費用評価の活用によって老朽化インフラのマネジメント政策を形成するためのプロセスを構築。日本国内の公共インフラへの実装だけでなく、発展途上国のインフラ整備でも貢献が期待されている。

特集

OVERVIEW

# ビッグデータでインフラ補修時期を予測 マネジメント政策の形成を国内外で支援

## ベテラン技術者の減少に対応 現場のノウハウを「見える化」

日本では、高度成長期に建設されたインフラの多くが補修・更新時期を迎えつつあり、10年後には、道路・橋梁の約6割、トンネルの約4割、水門などの河川管理施設の約6割が建設後50年以上経過する。米国では、1930年代にニューディール政策の下で建設された橋梁が70年代に落橋する事故が多発したことから、日本でも老朽化インフラ問題が懸念されるようになってきている。

米国の橋梁落橋事故の大半は、適切な維持管理が行われてこなかったことが原因で、定期的な点検を行っている日本とは事情が異なる。しかし、今後は日本でも維持管理の予算やベ

テラン技術者を中心とした人員の減少が予想されている。「そのため、センサー・ドローン・ICT・AIなどの革新技術を活用しつつ、老朽化インフラの効率的なマネジメント技術を開発するとともに、科学的エビデンスに基づいて適切なマネジメント政策形成を行う手法を確立することが喫緊の課題です。これが、私の研究テーマとなっています」と語るのは、大阪大学大学院工学研究科の貝戸清之准教授だ。

貝戸さんは、博士後期課程への進学をきっかけに橋梁の維持管理の研究を始めた。在学中に、ニューヨーク市職員のボジダール・ヤネフ博士の橋梁マネジメントに関する講演に感銘を受け、博士課程を修了後、恩師とヤネフ氏の縁でコロンビア大学の客員研究員となり、目視点検データを用い

た統計分析による劣化予測技術の研究を進めた。そこでの研究成果を生かすために、2001年に民間コンサルタント会社に入社し、鉄道橋などの目視点検や劣化予測などを行ってきた。

貝戸さんの研究コンセプトは、現場の「暗黙知」の「形式知」化だ。言い換えると、ベテラン技術者の頭の中にある知見やノウハウを「見える化」することである。日本では、力学的な検討により大規模建造物の寿命を予測する研究は行われてきたが、膨大な点検データから統計的に寿命や補修時期を予測する取り組みは依然道半ばの状況にある。しかも、点検作業は亀裂やさびなどの異常を見つけることに主眼が置かれており、異常なし、つまり「健全」な点検データは使われることなく死蔵されてきた。



この正常な点検データこそがカギだと貝戸さんは強調する。全てのデータを統合的に分析することで、劣化予測を高精度化することが可能になるからだ。この方法を確立することで、効率的なインフラ管理を行うための「科学的エビデンスに基づく政策形成(EBPM)」に貢献し、補修・更新の経済的合理化と利用

者の安全・安心の確保につながる。さらに、ベテラン技術者の暗黙知を若手技術者に伝えるナレッジマネジメントにも役立つという。

### 笹子トンネル事故がきっかけ 国が老朽化総点検に乗り出す

貝戸さんは、現場での経験を研究に生かすために、07年に大阪大学大学院工学研究科附属フロンティア研究センターの特任講師になった。そして、西日本高速道路(NEXCO西日本)、阪神高速道路、国土交通省近畿地方整備局、大阪市などとインフラの劣化予測、補修・更新予測といったテーマの共同研究を推進してきた。そうした中、12年12月に中央自動車道の笹子トンネルで老朽化した天井板が崩落する事故が発生した。多くの死傷者を出したこの事故をきっかけに道路インフラのあり方が注目され、国が全国の公共土木施設を対象とした老朽化総点検に乗り出した。

総点検では、①健全②予防保全③早期措置④緊急措置の4段階に評価され、緊急性の高い④から補修が始まった。しかし、④の評価箇所の補修だけでも膨大な費用と時間を要するため、その間に②・③の箇所が悪化する

ことも懸念された。こうした課題に対し、貝戸さんが開発してきた統計的分析手法を導入すれば、構造物1つ1つの点検データを基に、それぞれの劣化予測曲線を描くことができる。

しかも、橋梁や下水道管などの「人工公物」だけでなく、河川堤防や道路の路盤、山を開削した法面といった「自然公物」の評価にも適用できる手法だ。貝戸さんは、そうした社会的意義をふまえて、老朽化インフラの統合的マネジメントを検討するプラットフォームの構築を目標とした「科学的エビデンスに基づく社会インフラのマネジメント政策形成プロセスの研究」でRISTEXに採択された(図1)。

### 大阪市の下水道管を統計分析 約11.5万本の劣化予測を達成

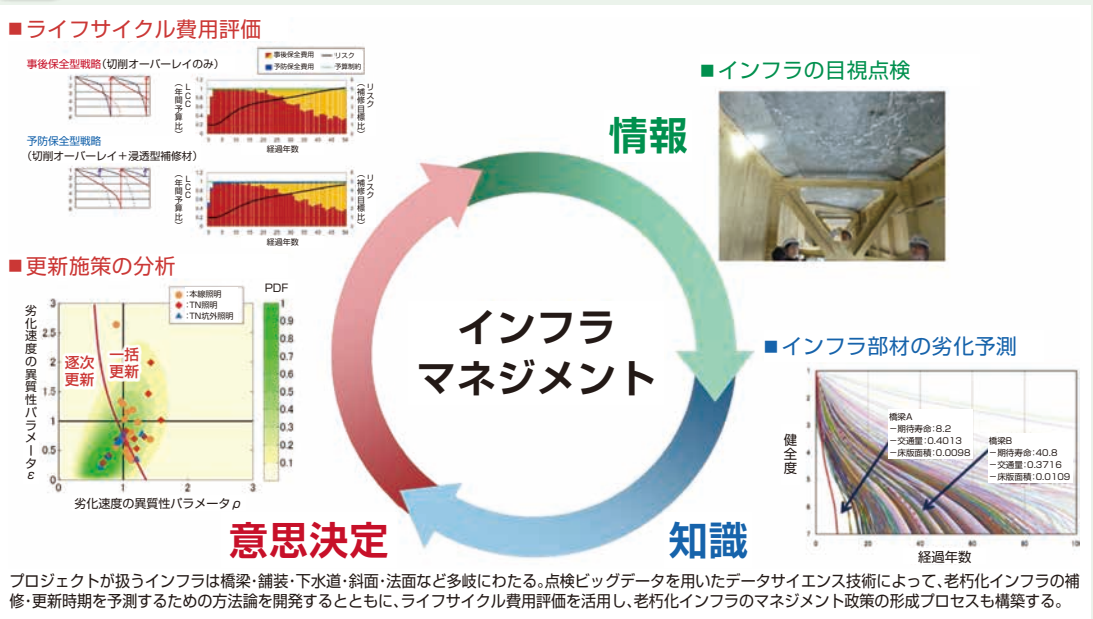
プロジェクト開始にあたり、貝戸さんは「目視点検データに基づくインフラの劣化予測」「ライフサイクル費用最小化に基づく投資優先順位の決定」などをテーマに掲げた。そして、開発した要素技術を有機的に連動させた「統合リスクマネジメント」という新分野の創出を研究目標とした。具体的には、公共事業体や地方自治体のインフラ管理者と複数のプロ

ジェクトを立ち上げて、それぞれの現場で求められている技術の開発を目指した。

その成果の1つが、大阪市と連携して実施した下水道コンクリート管渠の老朽化ビッグシミュレーションだ。貝戸さんは、大阪市の下水道コンクリート管渠のうち、目視点検データが蓄積されている約5万本の点検ビッグデータに加え、点検未実施の約6.5万本の管渠を含めた約11.5万本の統計的劣化予測を行った。その結果、コンクリート管の期待寿命が約82.2年と予測することができたが、管ごとのばらつきが大きいことも判明した。特に、海に近い地域から劣化が進んでいることも明らかになった。

研究チームは、点検データのない約6.5万カ所のコンクリート管についても、地域特性や地質などの要素を係数化して織り込むことで劣化予測を実現した。判明した全コンクリート管の統計的劣化予測を地図上に色付けして落とし込んだのが「下水道管渠マネジメントマップ」である(図2)。この地図では、現状の劣化状況だけでなく、10年後、20年後、さらにその先の劣化予測も表示できる。エリアごとの詳細表示も可能で、一目で劣化状況がわかる。

図1 プロジェクトが取り組むインフラマネジメント



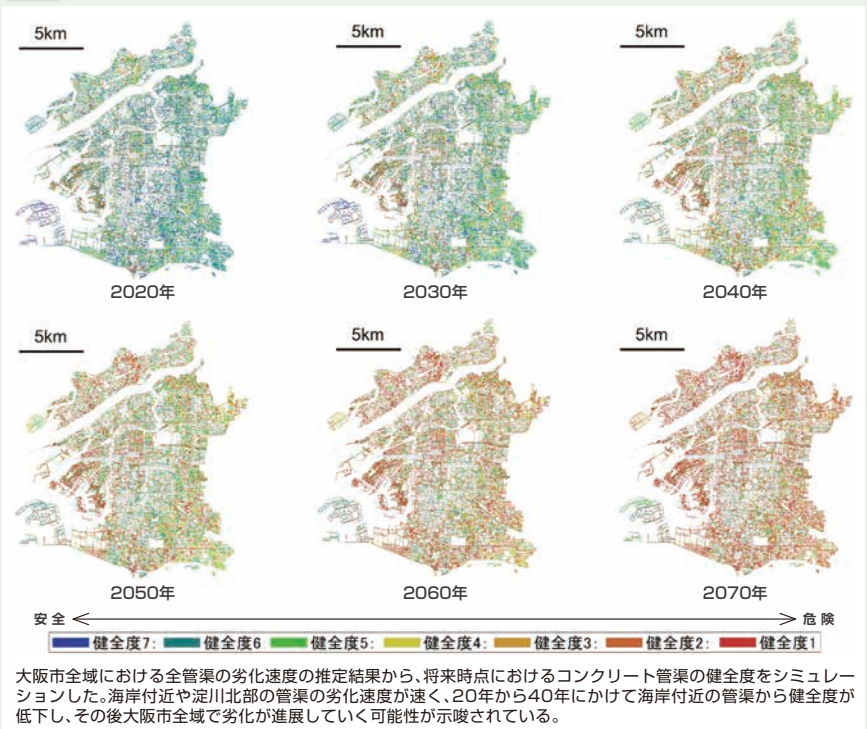
「このマップにより、例えば今後の補修・更新について地区住民の合意を得ながら計画を立てやすくなるでしょう。予算作りの面でも、毎年どの程度の補修・更新を行えば下水道機能を維持できるかという分析・評価も可能です」と貝戸さんは語る。現在、大阪市では下水道管総延長を一定の割合で毎年更新している。仮に、毎年の更新延長を縮小すると、コンクリート管の破損リスクが極端に跳ね上がる。今回の研究結果では、こうした更新の適正規模も確認できた。インフラ政策の妥当性の評価ツールになり得るものとして、活用に期待が高まる。

## 道路法面の管理手法を開発 土砂災害の予知・予防手段に

貝戸さんは「自然公物」の維持管理においても注目の成果を上げています。高速道路などでコンクリート盤や吹き付けなどの構造物が施工される斜面・法面は、表面のコンクリート壁の健全性だけでなく地山の変化がもたらす影響が大きいいため、ベテランの技術者でも異常検知や劣化予測が難しい。それが想定外の場所が崩落するなど多くの事故につながってきた。土砂災害を防ぐには、高精度な異常検知技術を開発し、いかに早く対策を講じるかが焦点となる。

貝戸さんは国土交通省近畿地方整備局と連携し、従来の目視点検データに替わるものとして「点群データ」の利用を提案した。この点群データに対してAI技術を活用して分析することで、異常検知を行う「3次元点群データを活用した道路土工構造物の維持管理手法」を開発・検証し

【図2】 大阪市全域の下水道管渠老朽化ビッグシミュレーション



た。この手法では、コンクリート壁に現れるミクروسケールの異常だけでなく、地山の変化を含めたマクروسケールの異常も検知できるため、土砂災害などを予知・予防する有力な手段として注目されている(図3)。

その他にも、貝戸さんは18年から国際協力機構(JICA)と連携し、ミャンマーの生活基盤インフラ整備プロジェクトに加わり、簡易舗装道路の劣化予測を行ってきた(図4)。しかし、ミャンマーの膨大な簡易舗装道路のうち、点検データが記録されている

道路はわずか12路線だった。これらの分析結果を基に、舗装面に影響を及ぼす大型車交通量や降水量などのデータを係数化して統計分析に導入することで、他地域の道路の劣化予測を算出できるようにした。この時開発した手法が、大阪市の全下水道管の劣化予測を可能にしたという。

## 各省庁の管轄の壁を越え推進 統合的マネジメントの実装へ

今後、経済成長などによりインフ

【図3】 レーザースキャナーとAI技術を活用した道路法面の異常検知



Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

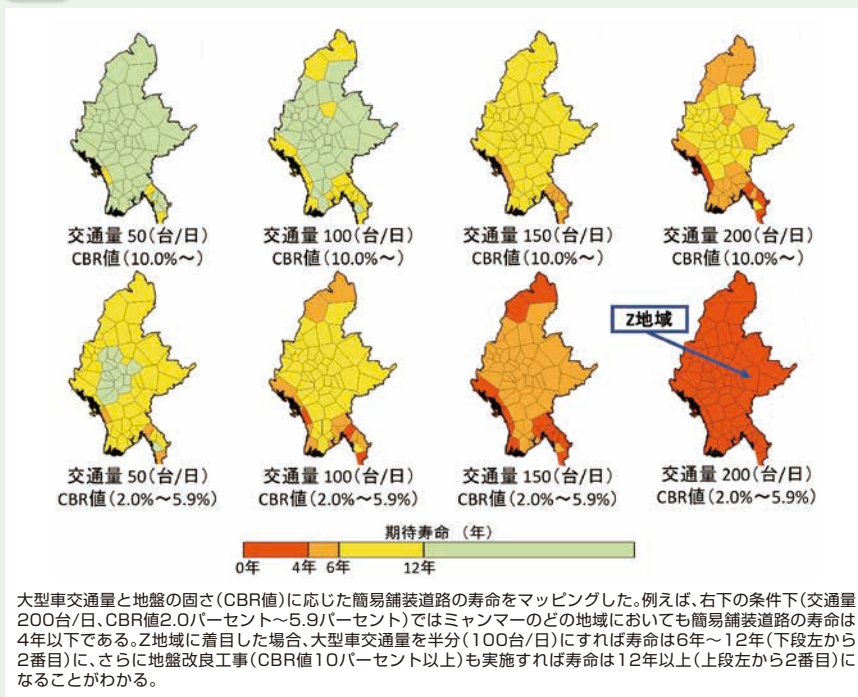
自動車で搭載したレーザースキャナーで法面の点群データを収集し、AIによるビッグデータ分析なども活用することで、斜面・法面の局所的な異常を検知する手法を開発した。面的なデータ収集・分析により、異常が確認された箇所での地山の変化などを推測できる可能性がある。

ラ整備が進む発展途上国では、インフラマネジメントの重要性がますます高まっていく。そうした仕事を担う人材を育成するため、貝戸さんの研究室ではエチオピア、ネパール、カンボジアなどから7人の長期留学生を受け入れている。他方、日本の学生もインドネシアを研究フィールドに選ぶようになったと貝戸さんは笑顔を見せる。「こうした国際的な研究交流から、アセットマネジメントにおける新たな価値創造が期待できると思っています」。

今回のプロジェクトを通じて、点検データに基づく「統計的劣化予測の開発」というデータサイエンスにより、社会インフラマネジメントの革新を図ることが可能であることが実証された。この成果は、下水道施設、高速道路、橋梁などの現場のマネジメントに活用され、インフラマネジメント施策に関する意思決定に大きな影響を与えるなど政策決定に貢献している。22年には研究成果の発展として、国土交通省の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」プログラムに、23年には研究成果の社会実装として、内閣府SIP「スマートインフラマネジメントシステムの構築(EBPMによる地域インフラ群マネジメント構築に関する技術)」にそれぞれ採択された。

23年9月には、RISTEX「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム」(シナリオ創出フェーズ)で「科学的根拠に基づくPPP/PFI道路インフラマネジメント手法の構築と社会実装」にも採択されている。新プロジェクトにおいて貝戸さんは、国内の老朽化した道路インフラを官民連携(PPP/PFI)で進める事業に貢献するための最適維持管理手法や事業導入効果の定量的評価手法を開発し、それらの社会実装を目指している。「愛知県の有料道路をフィールドとして評価手法を開発し、官民連携の普及・定着に向けた事業シナリオづくりにまで踏み込んで取り組みま

図4 ミャンマーの簡易舗装道路の劣化予測

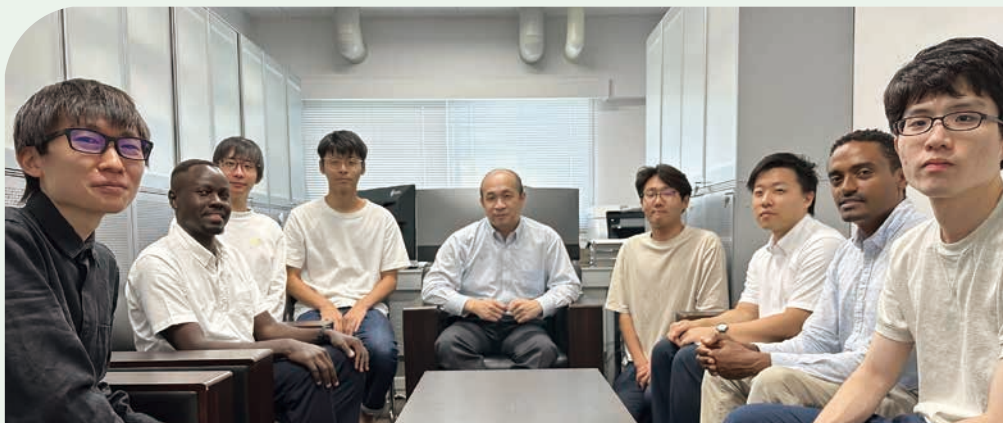


す」と今後の抱負を語る。

将来的なインフラマネジメントには、管掌の横断的な連携も必要だと貝戸さんは語る。例えば「地下埋設物」を考える場合、下水道は国土交通省、上水道は厚生労働省(24年4月より管理は国土交通省へ移管)、工業用水・電気・ガスは経済産業省など、省庁ごとに管轄が分かれている。このような現状を踏まえ、貝戸さんは今後の統合的マネジメント検討のためのプラットフォームを22年に構築した。

「私は、そうした組織の壁を超えた統合的マネジメントの社会実装のため、このプラットフォームによるセクター横断的取り組みをさらに充実させていきたいと考えています。また、データサイエンスによる予測技術を教育・医療・金融政策などにも応用する道を検討していきたいです」。暮らしのさまざまな場面の現在と未来を見つめる貝戸さんの今後の活躍からますます目が離せない。

(TEXT: 森部信次, PHOTO: 伊藤彰浩)



データサイエンスとAIの導入により、インフラの維持管理に新たな道を拓くことができました。次代の担い手の皆さんも、新しい科学技術に対して恐れずおごらず、活躍の場を切り開いていって欲しいと思います。

# イノベ 見て歩き

連載：第8回



## 「納豆」から生まれたプラスチック 生分解性で海洋プラスチックごみ問題を解決へ

左 白米 優一 Hakumai Yuichi  
高知大学 教育研究部 総合科学系 生命環境医学部門 特任研究員 / PlastiFarm 研究所長

右 芦内 誠 Ashiuchi Makoto  
高知大学 教育研究部 総合科学系 生命環境医学部門 教授 / PlastiFarm 代表取締役 2021年~22年 A-STEP研究責任者

社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第8回は、納豆のネバネバ成分から抗菌性と生分解性を兼ね備えたメディシナルプラスチック材料の開発とバイオベンチャーを通じた産業展開に挑む、高知大学教育研究部総合科学系生命環境医学部門の芦内誠教授と白米優一特任研究員を訪ねた。

### 高知大発のベンチャー創業 生体高分子からなる材料掲げ

北は四国山地、南は太平洋に面し、園芸農業生産性日本一を誇る高知県。空の玄関口である高知龍馬空港から歩いて15分ほどの道向かいに広がるのが、高知大学物部キャンパスだ。同大学の農林海洋科学部があるこの地で、2023年4月、大学発のバイオベンチャー「PlastiFarm」が創業した。代表取締役を務めるのは、高知大学教育研究部総合科学系生命環境医学部門の芦内誠教授だ。

1994年に同大学へ赴任した芦内さんは、微生物が合成するバイオポリマー、すなわち「生体高分子」を研究テーマに掲げてきた。生体高分子とは、たんぱく質やDNA・RNAといった核酸などの、生物が合成する長い分子のことだ。生物の許容範囲内で反応や合成が行われるため、石油などから作られる合成高分子に比べて安全で環境に優しい。近年注目が集まっている材料だ。

私たちの暮らしに欠かせない衣類やプラスチック製品の多くは合成高分子を材料としている。しかし、それらの資源は限りがある上に、自然界では分解されないマイクロプラスチックの海洋流出による生態系への影響が懸念されている。「そこで、生体高分子からなるバイオプラスチック新素

材の開発と社会実装を通じて、海洋プラスチックごみ問題の解決に貢献することで、持続可能な社会を実現したいと考え、PlastiFarmを設立しました」と経緯を説明する。

芦内さんと共にPlastiFarmの研究開発を担うのは、同社の研究所長で高知大学教育研究部総合科学系生命環境医学部門の白米優一特任研究員だ。白米さんは学生時代に芦内研究室を訪ねた際、そこで目にした研究対象に大きな衝撃を受けたという。それは「納豆」である。「なじみのある発酵食品からこんな高分子材料ができるのかと驚くと同時に、とても興味を惹かれました。これを機に、芦内先生の研究をお手伝いさせていただくことになりました」と白米さんは笑顔で振り返る。

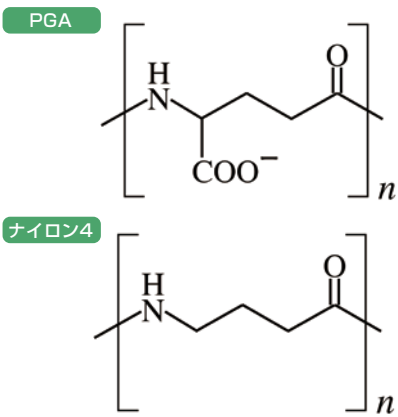
### 歯磨き粉の分子構造がヒント 耐水性持つ素材の開発に成功

新素材開発のカギとなったのが、納豆のネバネバ成分である「ポリ-γ-グルタミン酸(PGA)」だ。芦内さんは、PGAの分子構造がプラスチックの1つであるナイロンに似ていることに着目し、PGAを使ったプラスチック材料の開発をスタートさせた(図1)。最大の課題は水溶性の克服だった。生体高分子であるPGAは高い水溶性を持つため、固化が難しかったので

ある。従来方法では、水を吸って膨潤する「ゲル化」までは達成できたが、ゲルでは繊維物性やプラスチック性を付与することはできていなかった。

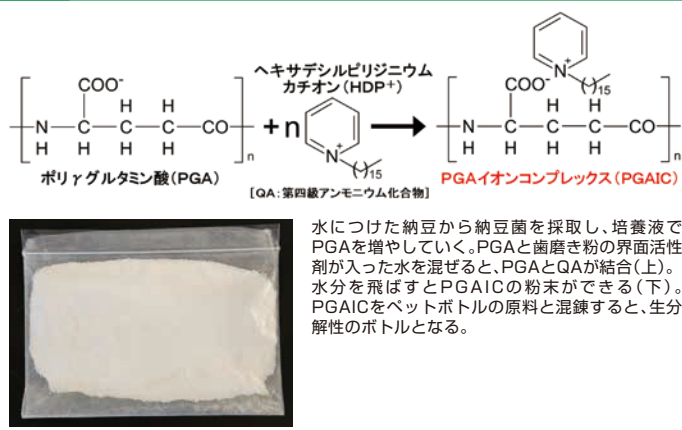
生体高分子への特性付与や強化には、化学修飾を用いることが一般的である。そのため、芦内さんもエステル化の化学修飾などを応用し、PGAの固化を試みた。しかし、期待した結果は得られず、一時は研究の中止も頭をよぎったという。そんな状況を救ったのが、義父が使っていた「歯磨き粉」だった。そこに記されていた成分の特徴的な分子構造がPGAの単位構造とちょうど重なるような形をしていたのである。それが大きなヒントとなった。「研究が行き詰まる中、まさに天の

図1 PGAとナイロン4の分子構造



PGAはナイロンに似た基本骨格を持っていることから、本質的にナイロン様の化学特性を発揮すると考えられてきた。近年の研究ではバイオプラスチックやナノファイバー不織布などへの加工も可能な機能性高分子であることがわかってきている。

図2 PGAICの開発・製造



助けでした」と芦内さんは語る。

歯磨き粉の成分は、陽イオンの第四級アンモニウム化合物(QA)の一種であり、界面活性剤による洗剤効果を持っている。芦内さんはこのQAとPGAを結合させ、高い耐水性を持つ新素材「ポリ-γ-グルタミン酸イオンコンプレックス(PGAIC)」の開発に成功した(図2)。また、納豆の培養液からPGAを取り出すプロセスでは、上述のPGAIC合成技術をベースとして、簡便かつ従来の100分の1程度のコストに抑え、回収・量産ができる技術も確立した。

次に芦内さんは、PGAICのプラスチック部材化に取り組んだ。その中で、エンベロープ型ウイルスを99.9パーセント以上阻止する抗菌・抗ウイルス効果があることがわかり、相反するはずの抗菌性と生分解性を両立させる「メディシナルプラスチック化」の可能性も見いだした。折しも世界では、海洋プラスチック問題や新型コロナウイルス感染症の拡大により、抗菌・抗ウイルス性材料の需要が高まっていた。そこで芦内さんと白米さんは、PGAICのメディシナルプラスチック化を見据えた要素技術の最適化をテーマに掲げ、20年にJSTのA-STEPの採択を受けた。

A-STEPでは、接触感染を防止する公衆衛生の現場にPGAICを活用するため、コーティング技術の開発に取り組んだ。その結果、合成可能なPGAICを11種まで拡大でき、PGAICの機

能物性や用途を拡張するための基盤的情報が整った。また、コロナウイルスやインフルエンザウイルス、大腸菌、カビなどの増殖抑制効果だけでなく、高温下でも抗菌性を発揮することや高い洗浄耐性を持つことも確認できた。今後、スプレー式の除菌剤として販売する計画もあるという。

### 表裏一体の性質を活用し 持続可能な社会を目指す

機能材料化したPGAは、生分解性や接着性などのさまざまな機能を備える(図3)。A-STEPの研究ではこれらの機能を生かして、ポリエステル類との混練やバイオフィルムの生成も行っており、その用途はコーティング部材や繊維、ボトルなど多岐にわたる。この研究開発はPlastiFarmの事業にもつながっており、企業には繊維メーカーなどから複数の打診が届いている状況だ。さらに、高知県内の大学発の起業を支援する投資ファンドからも、投資先の第1号に選ばれている。

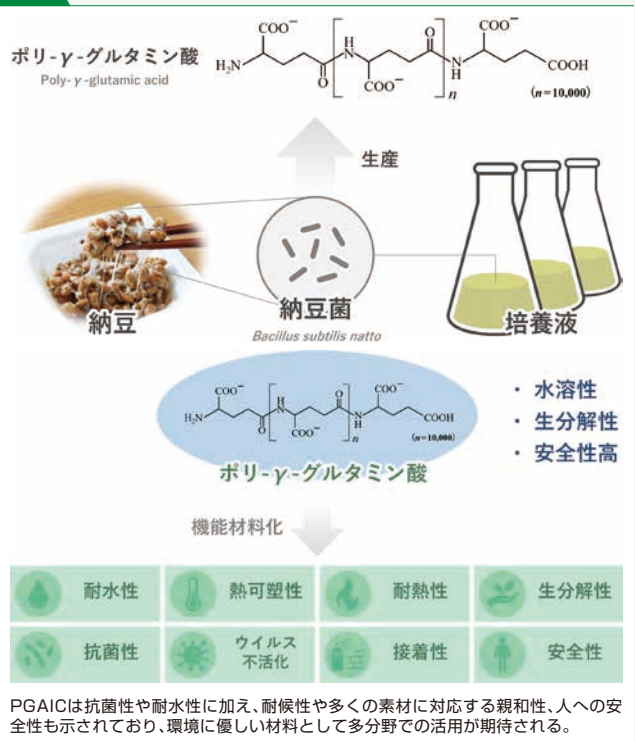
PGAICの抗菌性と生分解性は、一見相反する性質にも思える。し

かし芦内さんはこれこそが微生物研究の肝であり、持続可能な社会を実現するカギだと語る。「抗菌性も生分解性も、微生物を集めてくっつける納豆ネバネバ成分の微生物親和性を利用した表裏一体の性質です。この2つの性質を活用し、抗菌・抗ウイルスと環境配慮を両立することが、社会の持続可能性につながると考えています」と重要性を強調する。

そのためには、現状を見据える力と、直感を信じて挑戦する行動力が必要であるとし、キーワードに「実」を挙げる。実とは、木材に凹凸を付けて木材同士をつなぐ日本古来の木造建築技法だ。「きれいに整った面にあえて凹凸を付けるという大胆かつ独創的な発想を用いたからこそ、法隆寺などの日本が世界に誇る建築物が数多く造られたと言えます。まず、ありたい未来の姿を描き、そこから逆算して今何をすべきかを考えることによって、実に成り得るイノベーションが生まれるのではないのでしょうか」。芦内さんの粘り強い研究はこれからも続く。

(TEXT:横井まなみ、PHOTO:石原秀樹)

図3 PGAICの特徴



## 研究成果

### 戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出」

研究課題「反応リマスターによるエコ材料開発のフロンティア共創」

## ゴムと金属の接着老化に関わる反応を可視化

### AIも活用、タイヤの長寿命化や再資源化へ貢献

自動車用タイヤには、補強や耐久性の向上のために真ちゅうをめっきしたスチールコードが埋め込まれており、真ちゅうの銅とゴムに添加された硫黄が反応して硫化銅の層を形成することで、強い接着力を生み出しています。しかし、熱や湿度などの負荷がかかる状況下では、化合物の種類や分布が変化し、接着力が低下してしまいます。ゴム内部の銅化合物の状態や反応を直接観察することは難しく、そのメカニズムは明らかになっていませんでした。

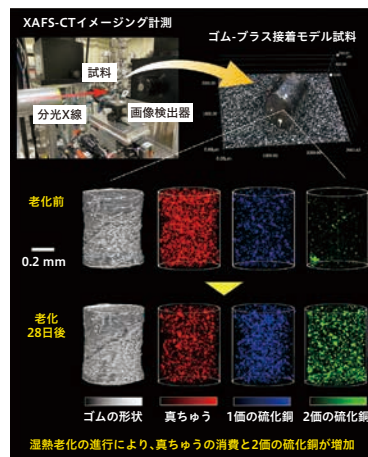
名古屋大学物質科学国際研究センターの唯美津木教授らの研究グループは、試料に含まれる元素の種類や量がわかる「X線吸収微細構造-コンピューター断層撮影法」を使って、ゴムと真ちゅう複合材料中の銅の分布と、場所ごとの銅化合物の種類や量の違いを3次元で可視化する方法を開発しました。この計測では、大型放射光施設SPring-8から供給される高輝度硬X線が活用されています。

研究グループは、ゴム中の802個の真ちゅう粒子に対して、硫黄と結合した1価・2価の硫化銅と金属銅の計3種類の銅化学種の量と、これらの分布や広がりを見え可視化しました。湿度や熱による劣化(湿熱老化)時間を変化させると、各銅

成分の量や分布が大きく変化し、AIによる機械学習で解析したところ、銅の硫化反応が5種類のパターンに分類できることがわかりました。

この成果より、これまで直接捉えることができなかった、ゴムと金属の接着に関わる化合物の種類や分布や反応が見えるようになり、いつでも、どの程度反応が起き、どのように材料中で広がっていくか、非破壊で解析することが可能になりました。従来不明であったゴム材料内部の接着老化メカニズムの可視化や寿命予測、タイヤの長寿命化や再資源化に向けた材料開発につながることが期待できます。

### 接着モデル材料のXAFS-CTイメージング



ゴム中の銅の化学種分布と量を3次元的にイメージングし、湿熱老化反応によってゴムに混ぜ込んだ真ちゅう成分(赤色)の消費が進み、2価の硫化銅(緑色)が試料全体で生成されている様子を非破壊で可視化できた。

## 研究成果

### 創発的研究支援事業(FOREST)

研究課題「オートファジーの脂質コード」

## 30年間の謎、オートファジーの膜分解を解明

### 2種の酵素が協同、がんや脂質異常症の研究に貢献

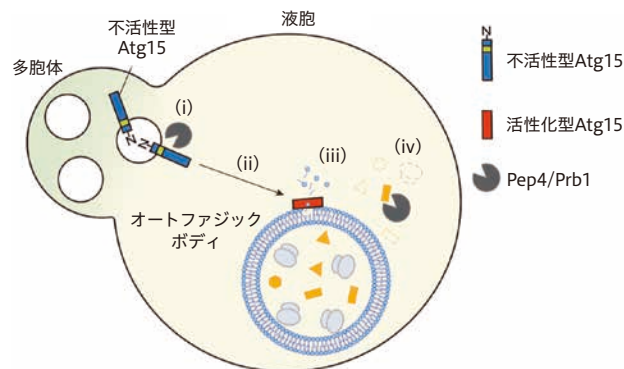
動物など細胞内に核を持つ全ての生物に備わっている細胞成分のリサイクルシステム「オートファジー」。これまで、リン脂質分解酵素と見られる「Atg15」とたんぱく質分解酵素が、オートファジーに由来する膜(オートファジックボディ)やその中に含まれるオルガネラの膜脂質の分解に必須であることがおよそ30年前も前から遺伝学的な研究によって推測されていました。しかし、細胞内小器官である液胞で働くAtg15は活性化型の単離が難しく、酵素学的な解析を阻む大きな障壁となっていました。

東京工業大学生命理工学院生命理工学系の籠橋葉子大学院生(当時)、堀江朋子助教らの研究グループは、出芽酵母の液胞を高純度に精製し、Atg15のリン脂質分解活性を検証できる試験管内評価システムを世界で初めて構築しました。同時に、液胞抽出液に含まれるAtg15の精製にも成功。これらの成果を基に、Atg15は液胞内で唯一のリン脂質分解酵素であり、さまざまな種類のリン脂質を分解できることを明らかにしました。さらに、不活性なAtg15が酵素活性を持つためには、たんぱく質分解酵素が必須であることも突き止めました。両酵素が協同すると、リン脂質の2本の脂

肪酸部分を切断でき、膜を完全に崩壊させることが可能となります。

リン脂質分解酵素が単独で機能すると、生体を構成するあらゆる膜を破壊する恐れがあり、たんぱく質分解酵素の存在下でのみ分解が起きるのは生物が持つ巧妙な仕組みと言えます。この研究が進むと、脂質分解や代謝のメカニズムが明らかになり、がんや脂質異常症などの疾患の研究に役立つことが見込まれます。

### Atg15によるオートファジックボディの分解



液胞中で不活性型のAtg15はたんぱく質分解酵素(Pep4/Prb1)があると活性化され、オートファジックボディを分解する。

## 研究成果

### 戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究課題「超高密度センサ網の実現に向けた「土に還る」センサデバイス基盤技術の創成」

### 戦略的創造研究推進事業CREST

研究課題「植物細胞壁のナノ分解と再会合の精密制御」

## 農地にばらまける土壌含水率センサー 環境情報の取得・発信機能と生分解性を両立

農地の温度、湿度、含水率などさまざまな環境情報をデジタル信号に変換できるセンサーは、農業の効率化に役立つ便利なツールです。しかし設置数を増やすと、環境への負荷が大きくなり、特に使用済みセンサーの回収と処分が問題となっています。近年では、生分解性を持つ材料を用いたセンサーの開発が進んでいますが、性能や安定性に課題があり、必須な情報の取得・発信などの機能と分解性を両立させることは困難でした。

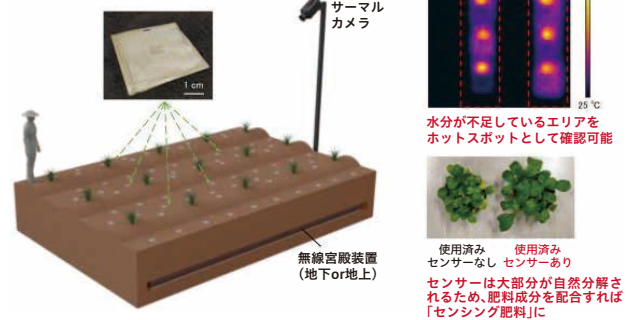
大阪大学産業科学研究所の春日貴章助教らの研究グループは、単純な構造のセンサーと無線給電システム、熱を感知するカメラを組み合わせることで、センサーに必須な機能と分解性を両立させた「土に還る」土壌含水率センサーの開発に成功しました。センサー本体は、木材由来の紙基板と錫配線、カーボンヒーター、天然ワックスコーティングで構成されています。紙基板と天然ワックスは微生物が大部分を分解し、残留する成分には環境に優しい材料を使っています。ヒーターを搭載したセンサーは、土壌の含水率によって

受信電力が増減し温度が変わるため、熱感知カメラで撮影することで、設置位置と土壌含水率の推定が可能です。また必ずしも回収する必要がないため、農地にばらまくように高密度に設置することが可能になります。

さらに、センサーへ肥料成分を配合することで「センシングもできる肥料」といった新たな用途への展開も期待できます。人にも環境にも優しい未来に向けて、より高性能なセンサーの実現と社会実装の加速化に拍車が掛かります。

### センシングシステムの概要図と肥料含有センサーを用いた生育試験結果

#### 「土に還る」土壌含水率センサー



## 研究成果

### 戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「細胞の動的高次構造体」

研究課題「生体透明化技術の開発による脳深部神経代謝の解明」

## 細胞内外の乳酸を可視化するたんぱく質 「脳活動のエネルギー源」説の実証目指す

乳酸は長い間、糖代謝による体内エネルギー産生時の老廃物と考えられてきました。しかし近年、生体は乳酸を細胞間でやりとりし、エネルギー物質として再利用しているという説が提唱され、その役割が見直されつつあります。この説の検証においては、細胞内外の乳酸動態を観察する必要がありますが、生体内での可視化は非常に困難でした。

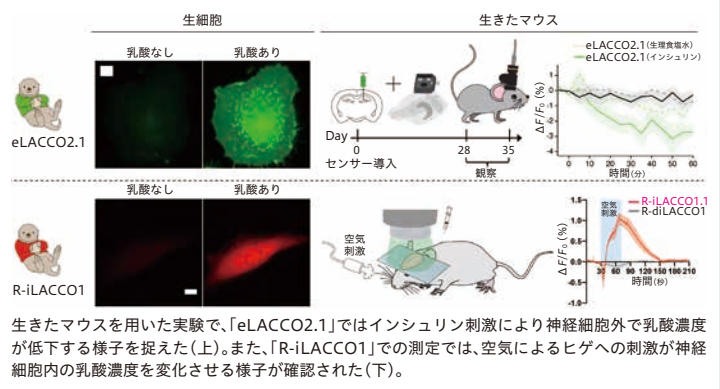
東京大学大学院理学系研究科の那須雄助教らの研究グループは、これまで緑色蛍光たんぱく質(GFP)と乳酸に結合するたんぱく質を融合し、細胞外の乳酸を可視化する新たなたんぱく質を開発しています。この技術をベースに、自然進化の仕組みを模してたんぱく質の性能を向上させる「指向性進化法」を用い、新しい細胞外乳酸センサー(eLACCO2.1)と細胞内乳酸センサー(R-iLACCO1)を開発しました。加えて、細胞外センサーの分子を細胞膜表面に発現させ、乳酸を見やすくする工夫も実施しました。

その結果、乳酸感度は細胞外センサーが従来比の3.5倍、細胞内センサーが同100倍という世界最高の

性能を達成し、生きているマウス脳内の神経細胞内外の乳酸動態を観察することに成功しました。また、異なる蛍光波長の細胞外センサー(緑色)と細胞内センサー(赤色)を利用し、細胞内外の乳酸動態を同時に見ることもできました。

この研究で開発した「LACCO」シリーズのセンサーは、生きている動物の中で乳酸の役割を解明する強力なツールとなり得ます。今後は同シリーズを用いた研究により「乳酸は私たちの脳活動に極めて重要なエネルギー源である」という説の実証を目指します。

### 乳酸バイオセンサー「LACCOシリーズ」の成果

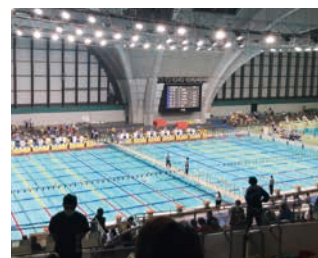


大藪 幾美 Oyabu Ikumi

国立極地研究所 共同研究推進系(気水圏研究グループ/アイスコア研究センター)助教/総合研究大学院大学 先端学術院・先端学術専攻 極域科学コース 担当教員

Profile

北海道出身。2015年北海道大学大学院環境科学院地球圏科学専攻博士後期課程修了。博士(環境科学)。同大学低温科学研究所学術研究員、国立極地研究所特任研究員などを経て、23年より現職。22年より創発研究者。



2歳半から水泳を始めました。得意種目は背泳ぎで、現在も年に数回試合に出場しています。

Q1. 研究者を目指したきっかけは？

A1. 漫画や総合的な学習で環境に興味 美しい雪氷に惹かれ研究の道へ

地球や自然環境に興味を持つようになったのは、小学校の図書室で読んだ漫画『地球大紀行』がきっかけです。その後、高校での総合的な学習で地球温暖化について調べ「海洋深層循環の変化が地球の気候を激変させる」ことを知りました。当時は京都議定書の採択などにより地球温暖化への関心が高まった時期である一方で、強い懐疑論や否定論も存在し、インターネット上の膨大な情報の正しさが判断できず苦労しました。「何が正しい情報なのか自ら明らかにしたい」と強く思ったことが、研究者としてのキャリアにつながっています。

「地球の環境はなぜ変化するのか」を明らかにするには、過去の気候変動について調べる必要があります。その方法はさまざまですが、神戸大学の集中講義で南極やグリーンランドの氷床で掘削された氷「アイスコア」の存在を知りました。また、幼少期と大学院時代を過ごした北海道でなじみのある雪や氷の美しさにも惹かれ、この研究を深めていきたいと思い、極地研究所への着任に至りました。

Q2. アイスコアの調査と研究について

A2. 極地の観測隊に参加して試料掘削 5000年間の南極積雪変動を復元

アイスコアには二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やメタン、エアロゾルなどの粒子・化学成分がタイムカプセルのように保存されており、それらを分析・解析することで過去の

地球における温度変化や気候変動を探ることができます。これまでに、2015年・18年にグリーンランド、17~18年には南極の観測に参加し、現地でのアイスコアの掘削などに取り組みました。初めてのグリーンランド観測では、初日にすぐ隣のテントさえ見えないほどのブリザードに遭い「もう帰りたい」と何度も思いましたが、晴れると辛さを忘れて一日中、観測に明け暮れていました。

創発の研究では、南極のアイスコアからCO<sub>2</sub>などを超高時間分解能で取得し、過去100万年間の気候変動を100年スケールで復元することを目指しています。23年は南極内陸部のドームふじ基地地域のアイスコアと積雪試料の高精度分析を行い、過去5000年間における積雪変動の復元に成功しました。

解析から、5000年前から産業革命期までは南半球の長期的な寒冷化と海氷拡大により積雪が減少し、産業革命以降は温室効果ガス排出やオゾン層破壊が原因で、南極への水蒸気輸送と積雪量が顕著に増加したことがわかりました。過去の



創発で開発している、アイスコア中の空気を抽出する装置です。真空中で氷を砕き、閉じ込められている空気を抽出します。

気候変動を復元することで、気候・氷床シミュレーションの入力・検証データとして貢献し、気候変動メカニズム解明の一助になると考えています。

Q3. 今後の目標と大切にしていること

A3. 研究室を立ち上げ高精度解析を目指す 思い切った環境の変化がプラスに

研究は苦労や困難もありますが、新たな気候変動のシグナルを読み取れた時の感動は、何にも代えられません。今後は新たな実験室を立ち上げるとともに、アイスコアの分析精度をより追求していきたいです。

私は高校では文系でしたが、大学では理系の学部に進学しました。初めからできないと考えるに、思い切って自分の周りの環境を変えてみることも大切だと思います。

自身のテーマを磨くためにも、好奇心を持って学んでいくことは学生時代、そして研究者生活における大きな

プラスになります。

これから研究の道を目指す

皆さんも、ぜひ広い

世界を見て、自身の

興味関心を深めて

いってください。

(TEXT:

横井まなみ)

アイスコアは気候のタイムカプセル  
地球が歩んだ100万年の解明を目指して

