

JST news

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

2
2026



特集
1

生命機能を支えるRNA修飾の機構探求
「見つける・調べる・操る」で創薬に貢献



特集
2

「餌」「種」「場」の研究成果を初めて統合
日本発の養殖技術で食料を安定供給

03 特集1

生命機能を支えるRNA修飾の機構探求
「見つける・調べる・操る」で創薬に貢献



08 特集2

「餌」「種」「場」の研究成果を初めて統合
日本発の養殖技術で食料を安定供給



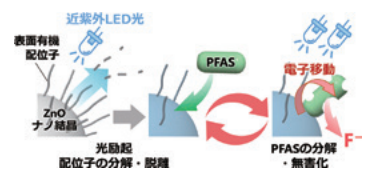
12 事業紹介 次世代人材育成事業

小中高生の探究心を大きく伸ばし育てる
次世代科学技術チャレンジプログラム



14 NEWS&TOPICS

- ▶有機フッ素化合物PFASを手軽に分解
- ▶セラミックス添加元素の「二段階拡散」が存在
- ▶病原細菌が気孔を開かせ侵入する過程を解明
- ▶出芽酵母を用いて環状DNA生成の仕組みを解明



16 さきがける科学人

浮遊性有孔虫で地球史と生命進化の謎に挑む
目に見えない光共生ネットワークの全貌解明へ

東京大学 大気海洋研究所 海洋生命システム研究系 海洋生態系科学部門 准教授 高木 悠花



ムーンショット目標2「公開フォーラム2026—治すから防ぐ医療へ—」のご案内

ムーンショット目標2では3月28日(土)午後1時30分より「公開フォーラム2026—治すから防ぐ医療へ—」を日本科学未来館の未来館ホールにて開催します。今回の公開フォーラムでは、前半は5つのプロジェクトから実用化に近い研究開発を担当している研究者が登場し、科学コミュニケーターとのセッションを実施します。また後半では、参加者からの質問やコメントを基に研究者と交流できる場を設けます。2050年に社会の中心で活躍する高校生、大学生、若手研究者、企業の皆さんのご参加も大歓迎です。奮ってご参加ください。

◆<https://www.jst.go.jp/moonshot/sympo/20260328/index.html>



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まいります。

編集長 小林 里美
科学技術振興機構(JST)広報課

制作 株式会社角川アスキー総合研究所

印刷・製本 株式会社丸井工文社





鈴木 勉

Suzuki Tsutomu

東京大学 大学院工学系研究科 教授

2020年よりERATO研究総括

特集

1

生命機能を支えるRNA修飾の機構探求 「見つける・調べる・操る」で創薬に貢献

RNAは、一般にはDNAの遺伝情報からたんぱく質を合成する過程を仲介する分子として知られている。だが、近年の研究で、生命機能の維持や病気などさまざまな生命現象に直接関わっていることが明らかになりつつある。東京大学大学院工学系研究科の鈴木勉教授は、RNAに他の分子が付加される「RNA修飾」を探求。RNA修飾がつかさどる生命機能の機構を解明し、RNA修飾を操作することで、創薬や病気の治療に貢献する技術基盤の確立を目指している。

戦略的創造研究推進事業ERATO

規模の大きな研究費をもとに、既存の研究分野を超えた分野融合や新しいアプローチによって挑戦的な基礎研究を推進することで、今後の科学技術・イノベーションの創出を先導する新しい科学技術の潮流の形成を促進し、戦略目標の達成を目指す。

**クローバーの葉のような構造
1カ所のメチル化で性質が激変**

生物の遺伝情報は細胞核内のデオキシリボ核酸(DNA)に書き込まれている。DNAの情報はメッセンジャーRNA(mRNA)に転写されて細胞核の外部に運び出された後、リボソーム上でmRNAの塩基配列に応じてアミノ酸が連結し、生物の体を構成するたんぱく質が作られる。この過程で、遺伝情報の通りにアミノ酸をつなげる役割を果たすのが転移RNA(tRNA)だ(図1-左)。tRNAはクローバーの葉のような構造をしており、mRNAの3つの塩基の並びに対応するアミノ酸が結合している。

ある分子に糖やメチル基などが結合することを「修飾」といい、化学の分野では狙った性質を持つ分子を作るための方法としてよく使われている。実はこれと同じことが細胞内において、転写後のRNAでも起こっており、20世紀後半になると、tRNAはメチル基が結合するメチル化やアセ

チル基が結合するアセチル化などさまざまな修飾を受けていることがわかってきた(図1-右)。これを「RNA修飾」と呼ぶ。

RNA修飾に魅了された一人が、東京大学の鈴木勉教授だ。約30年前、東京工業大学(現・東京科学大学)の学生としてtRNAの研究をしていた時、tRNAが多くの修飾を受けていることに感銘を受け、以来RNA修飾の研究を続けている。「1カ所がメチル化するだけで性質が劇的に変化することに驚きました」と当時を振り返る。

**150種類以上、新顔が次々登場
2020年にERATOで研究始動**

RNAと同じ核酸分子であるDNAも修飾を受けるが、ヒトではシトシンという塩基におけるメチル化がほとんどで、他には数種類しか見つからない。それに対してRNA修飾はすでに150種類以上も発見されており、今も次々と新しいRNA修飾

が登場している。鈴木さんの研究チームは、21世紀に入って発見された23種類のRNA修飾のうち13種類を見つけており、未発表のものもまだ20種類ほどあるという。

鈴木さんは、2020年に始まったJSTのERATO「鈴木RNA修飾生命機能プロジェクト」の研究総括として、DNAの遺伝情報転写後の段階における遺伝子の発現制御機構を解明するプロジェクトを牽引。RNA修飾が担う機能と普遍的な生命現象との関連性を解明するため、RNA修飾を「見つける」「調べる」「操る」という3本柱を掲げて研究を推進している(図2)。プロジェクトは4つの研究グループで構成され、新規のRNA修飾を探索して機能を解明するだけでなく、革新的なRNA修飾の解析技術や機能制御技術も開発し、疾患の原因解明や創薬・治療につながる技術の基盤構築に貢献したい考えだ。

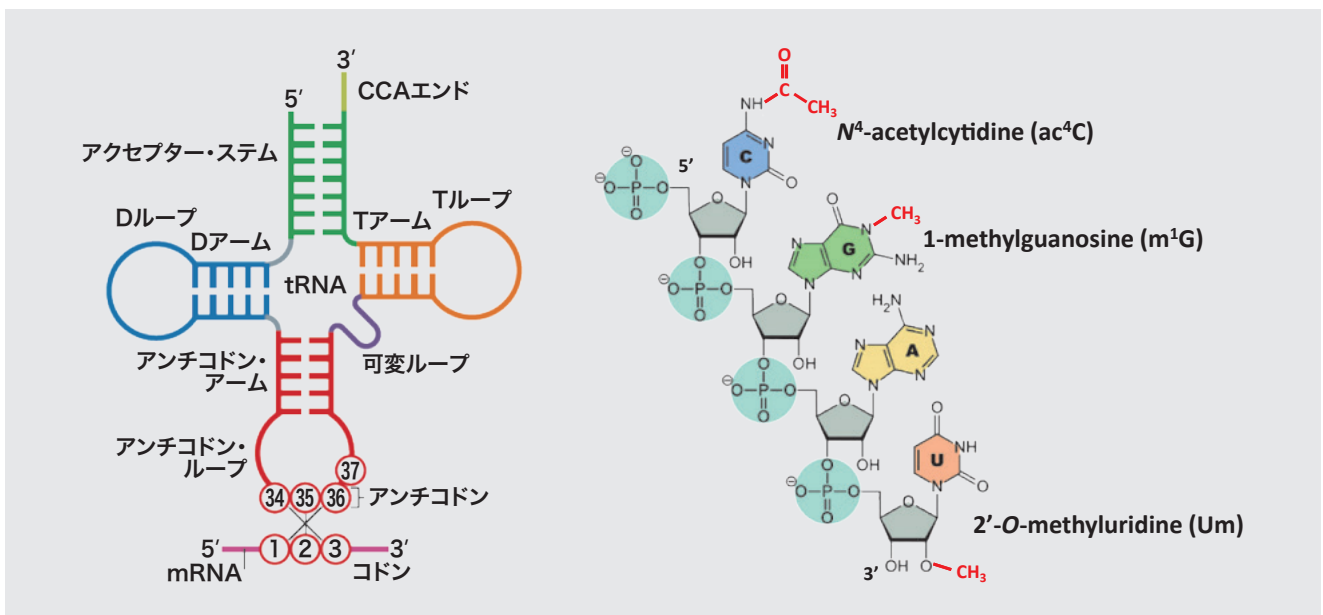


図1 tRNAの構造(左)。折りたたまれてL字型の立体構造をとり、3'末端にアミノ酸が結合し、34、35、36番目の位置にあるアンチコドンが、コドンと呼ばれるmRNA上の3つの塩基の並びと相補的に結合する。右図の赤字部分はRNA修飾の例。上の2つは塩基で修飾が起こり、下の1つはリボースという糖で修飾が起こっている。

| サブプロジェクト | 研究の概要と狙い |
|----------|---|
| 「見つける」 | <ul style="list-style-type: none"> ●ヒトを含めたさまざまな生物から単離精製したRNA分子を解析して新規RNA修飾を探索し、化学構造を決定する。 ●高感度質量分析法を駆使し、RNA修飾の種類や位置を同定してRNA修飾が担う機能を明らかにする。 ●ナノポアシーケンスと深層学習を利用して1分子レベルでRNA修飾の定量解析技術を開発する。 |
| 「調べる」 | <ul style="list-style-type: none"> ●RNA修飾酵素やその遺伝子を同定し、RNA修飾の生合成や機能を明らかにする。 ●個々のRNA修飾酵素について、その酵素を合成する遺伝子を欠損させたマウスを作り出し、その表現型からRNA修飾の生理機能を探究する。 ●RNA修飾の異常に起因する疾患の発症機能を解明する。 |
| 「操る」 | <ul style="list-style-type: none"> ●RNA修飾酵素をエンジニアリングすることでRNA修飾の異常に起因する疾患(RNA修飾病)を治療する。 ●RNA修飾酵素に対する阻害剤を開発し創薬につなげる。 ●RNAに特定波長の赤外光を照射して励起させ、RNA修飾が担う機能を活性化あるいはかく乱する技術を開発する。 |

図2 鈴木RNA修飾生命機能プロジェクトの概要。

生物の耐熱性を支える「錠前」 可逆的リン酸化修飾を明らかに

プロジェクトではすでに80本を超える論文を発表している。「見つける」に関するトピックスの1つとして、2022年にNature誌で発表した「生物の耐熱性を支える『錠前』の発見」がある。この研究では、tRNAで可逆的なリン酸化修飾を発見し、この修飾がtRNAに耐熱性やRNA分解

酵素に対する耐性を与えることで、生物の耐熱性に寄与することを明らかにした。

リン酸基が結合するリン酸化修飾はたんぱく質ではよく起こっているが、RNAで見つけたのは鈴木さんらが初めてだ。鈴木さんの研究室に所属する大平高之助教が、高熱環境で生きるアーキアのtRNAを調べていた時、47番目の塩基であるウリジンでリン酸化修飾が起こっていること

を発見(図3-左)。さらに、その修飾を起こす酵素を作ることができない変異株は、高温での生存率が低下することがわかった(図3-右)。

鈴木さんらは、この修飾がなぜ耐熱性に関わるのかを解明するため、東京大学大学院新領域創成科学研究科の富田耕造教授らと共同でX線結晶構造解析を実施した。tRNAは、折りたたまれてL字型の立体構造をとる際に、疎水性の塩基が内側に集まることで立体構造が安定化するが、高温になると立体構造が崩れてしまい、熱変性で機能が失われてしまう。しかし、リン酸基は親水性のため、立体構造の中で溶媒側、つまり外側を向くことで、高温下で構造が崩壊しかけても歯止めをかけていることがわかった。

鈴木さんは「このリン酸化修飾は立体構造を完全に固定化するものではなく、立体構造にある程度の柔軟性を持たせながらも熱変性を防いでいます。南京錠のように多少の遊びを持たせつつ立体構造をつなぎ止めるようなものです」と例える。

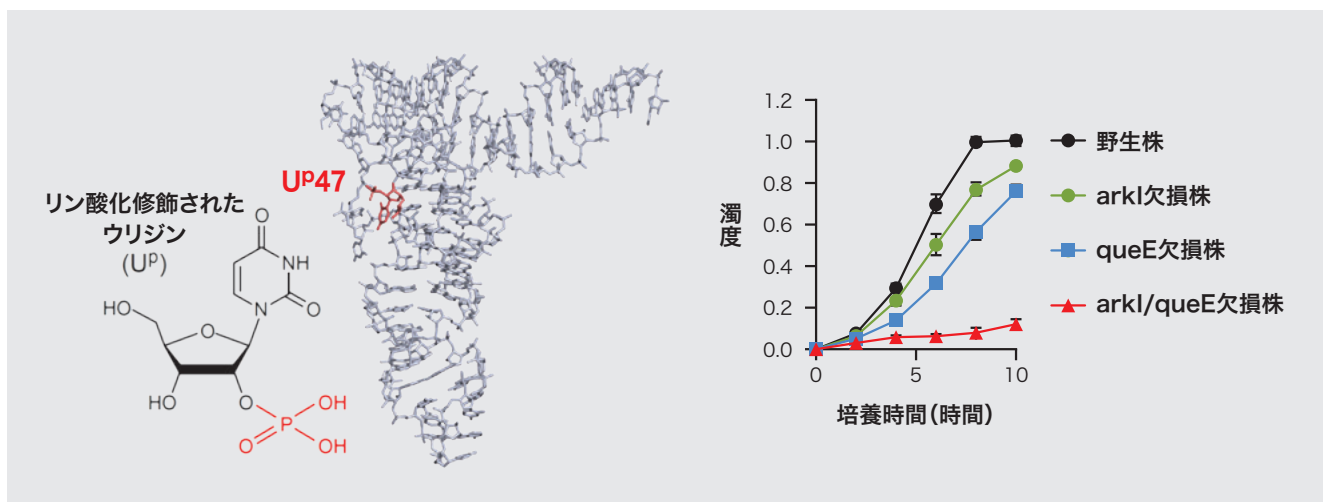


図3 左はリン酸化修飾されたウリジン(UP)の構造と、tRNAにおける位置(UP47)。右のグラフは、87度におけるアーキアの耐熱性を調べた実験結果。縦軸の単位は、波長660ナノ(ナノは10億分の1)メートルの光で測定した濁度。UPを作り出す修飾酵素の遺伝子(arkI)と、tRNAの構造に剛直性を与える遺伝子(queE)の両方が欠損した株では高温での生存率が著しく低下した。

ホウレンソウから貴重な成果 「環境応答型スイッチ」も発見

2025年には、植物の葉緑体やミトコンドリアと、コレラ菌や緑膿菌^{リョウノウ}を含む一部の病原性細菌に共通して存在する新たなtRNA修飾を発見。鈴木さんらはこの研究のために、大学近くのスーパーでホウレンソウを40キログラム購入し、微量なtRNAを精製するために独自に開発した「全自動往復循環クロマトグラフィー」(図4)を用いて3.3ミリグラムのtRNAを精製したそうだ。

さらに、この時に見つけた修飾がたんぱく質合成に欠かせない働きをしていることも突き止めた。「40キログラムの材料からたったの3.3ミリグラムしか集まらないのかと思うかもしれませんが、これでも材料としては少ない方です」と鈴木さんは笑う。tRNAの機能を調節することで、植物の育成や病原菌による感染症の治療に活用できる可能性のある貴重な研究成果といえる。

また、同年12月には、低酸素環境で大腸菌のリボソームRNA (rRNA)

において「RNA骨格」がメチル化修飾されることを世界で初めて発見。この新しい骨格メチル化が、リボソームの構造と活性を微調整し、低酸素下における翻訳効率を高め、生育を促進する「環境応答型スイッチ」として働くことを見いだした。この成果は、RNA修飾が生育環境を感知して、たんぱく質合成を調節するというこれまでに知られていなかった仕組みを明らかにするとともに、無細胞たんぱく質合成や合成生物学において有用な技術基盤となる可能性がある。

糖を付加する2つの酵素同定 生物の健全な生育に不可欠

2つ目の柱である「調べる」に関する成果の1つとして、鈴木さんらは2023年に「tRNAの糖修飾がたんぱく質合成速度を調節する」ことをCell誌に発表した。この研究では、tRNAに、ガラクトースおよびマンノースと呼ばれる糖をそれぞれ付加する酵素2種類を同定し、その分子基盤を明らかにした。さらに、これら

の修飾がたんぱく質合成速度を調節しており、小型熱帯魚の一種であるゼブラフィッシュによる実験で生物の健全な生育に不可欠であることも示した。

一部のtRNAでは34番目の塩基で特別な修飾が起こり、この修飾が起こった塩基に、さらにガラクトースまたはマンノースが付加する。この現象は1976年に発見されていたが、詳しい仕組みや機能はわかっていなかった。鈴木さんの研究室で当時大学院生だった2人が、この修飾が起こった塩基にガラクトースを付加する酵素「QTGAL」と、マンノースを付加する酵素「QTMAN」をそれぞれ発見し、これらの酵素がないとmRNAからたんぱく質を合成する翻訳速度が速くなること、加えて新生たんぱく質がうまく折りたたまれないことを、細胞実験で確認した。つまり、tRNAの糖付加修飾はたんぱく質合成の速度を調節することで、適切な翻訳速度を維持し、たんぱく質の品質や機能を維持するための機構の維持に貢献することを示したのだ。

さらに、ゼブラフィッシュを用いた実験で、遺伝的にこれらの酵素を作ることができない個体は生後の成長速度が遅くなり、体長が短くなることもわかった。翻訳速度は速ければ良いわけではなく、糖を付加することによる翻訳速度の適切な調節が、生物の健全な成長には必要であるということだ。

現在は、該当する修飾を引き起こす遺伝子を欠損させたマウスを作り、それらの酵素の働きを調べている。これまでに、QTGALを持たないマウスは明るい部屋にいる時間が減少する不安傾向を示し、QTMANを持たないメスのマウスは活動量が増加

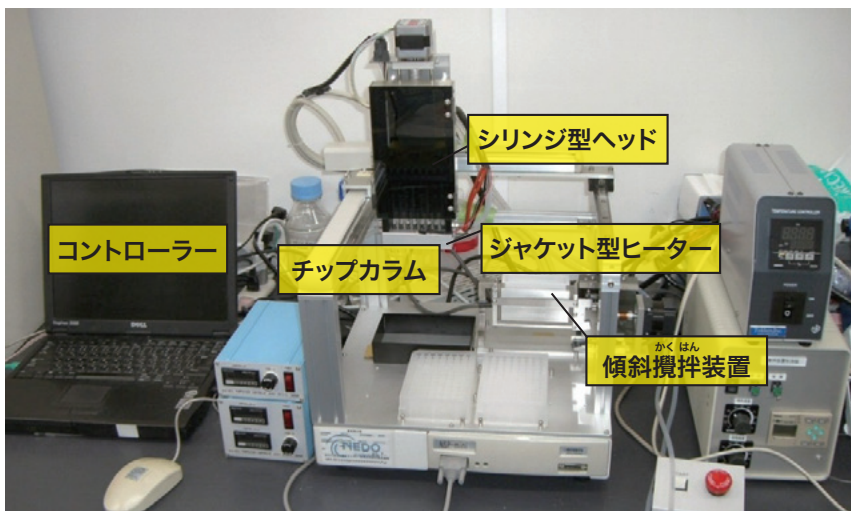


図4 微量のRNAを精製するために独自に開発した全自動往復循環クロマトグラフィーのシステム。RNA修飾の研究を迅速に進めるべく工夫をしている様子が見える。

するという結果が得られている。さらに、QTMANを持たないマウスは肥満体型になることもわかっており、鈴木さんは、これらの表現型がtRNA修飾の欠損によってなぜ生じるのかを詳しく調べている最中だという。「これらの酵素がヒトの病気、例えば、精神疾患やがんに関わっているかもしれません。そうした可能性も明らかにしたいと考えています」。

ミトコンドリア病の治療に有望 ナノポア通じた網羅的検出も

3つ目の柱である「操る」に関する研究でも成果が出始めている。鈴木さんらは、ミトコンドリアDNAに変異を持つことで発症するとされる「ミトコンドリア脳筋症 (MELAS病)」の患者ではtRNAにタウリン修飾が起こっていないことを発見し、さらに、MELAS病患者の細胞を使った実験でtRNAの機能回復に成功した。

健常者ではMTO1と呼ばれる酵素によってtRNAのウリジンにタウリン修飾が起こる。しかしMELAS病患者では、tRNAのアデニンであるべき塩基がグアニンに変化しているため、MTO1がtRNAを認識できず、ウリジンにタウリン修飾が起こらない。鈴木さんらはMTO1を過剰に発現させて細胞内で大量に作らせることで、tRNAのタウリン修飾を回復し、細胞のたんぱく質合成および呼吸活性が向上することを示した(図5)。

MELAS病は脳卒中に似た発作が起こる難病で、これまで有効な治療が存在せず、予後も悪いとされている。鈴木さんらは現在、東京大学医科学研究所の岡田尚巳教授と共同で、アデノ随伴ウイルスを用いたMELAS

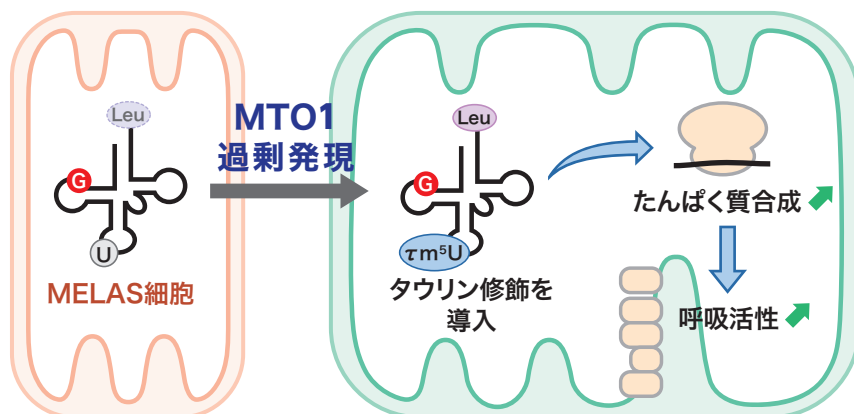


図5 鈴木さんらはMTO1を過剰に発現させることで、本来あるべきタウリン修飾 (tm⁵U) をtRNAに導入し、ミトコンドリアの機能を回復することに成功した。ロイシン(Leu)はたんぱく質を構成する20種類のアミノ酸の1つ。

病の遺伝子治療の研究をしており、ゲノム編集による治療が難しいミトコンドリア病の治療に有望視されている。

こうした研究の一方で、鈴木さんらのプロジェクトではRNA修飾を網羅的に検出する技術の開発も進めてきた。その1つが「ナノポアシーケンサー」という装置を使ったtRNA修飾の1分子解析だ。ナノポアシーケンサーを使った解析では、RNAを1本のひもの状態にして、膜たんぱく質で構成されたナノポアと呼ばれる小さな穴に通し、その際の電流の変化で塩基配列を調べる。

鈴木さんらは、RNA修飾はナノポアを通過する際に特徴的な電流値を示すことに着目。個々のtRNAが通過した際に生じる特徴的な電流波形

のパターンを機械学習することで、塩基配列だけでなく、1分子ごとにtRNA修飾の有無や修飾率まで検出できるようにした。tRNA修飾を網羅的に調べることは、病気の原因解明や診断に有用だ。

セントラルドグマにおけるRNAの役割は、高校の教科書にも書かれているほど自明のこととなっている。だが、そこではRNA修飾という柔軟性のある制御があることや、RNA修飾の欠損が病気に関わることはほとんど触れられておらず、研究分野として非常に新しいといえる。プロジェクト終了後もさらなるRNA修飾の研究を進めることで、生命現象の理解や医療への応用につながっていくだろう。

(TEXT:島田祥輔、PHOTO:上樂博之)

研究者を目指している学生には、自分が好きなこと、興味のあることを諦めずに続けてほしいと思います。流行に目移りせず、1つのことに時間と労力をかけて深く掘り下げることで達成できることが必ずあるはずです。





中山 一郎

Nakayama Ichiro

水産研究・教育機構 理事長

2021年より未来社会創造事業 研究開発代表者

特集 2

「餌」「種」「場」の研究成果を初めて統合 日本発の養殖技術で食料を安定供給

魚食は日本の食卓に欠かせない文化だが、天然の水産物を捕る採捕漁業の生産は頭打ちの状態にあり、安定的に生産量を増やすために養殖業の重要性が高まっている。一方で「飼料(餌)」「育種(種)」「養殖の場所(場)」それぞれの課題がボトルネックとなって、国内の養殖業は低迷しているのが現状だ。水産研究・教育機構の中山一郎理事長は多様な分野の研究者や民間企業と共に研究を推進し、日本に適した持続可能な養殖システムの開発を目指している。

未来社会創造事業

経済・社会的にインパクトのある目標を定め、基礎研究段階から実用化が可能かどうか見極められる段階(概念実証:POC)に至るまでの研究開発を推進する。

減り続ける日本の採捕漁獲量 多種多様な養殖生産を目指す

世界の漁業生産量は急速に拡大しており、この60年間で7倍以上に増えている。天然の水産物を捕る採捕漁業は1980年代後半から頭打ちだが、海面と内水面を利用した養殖業が急拡大しており、今や採捕漁業を上回っている。(図1-左)。一方、日本では60年代から世界に先駆けて海面での養殖生産に取り組んできたが、いまだに水産業全体に占める養殖生産量の割合は低いままだ(図1-右)。

採捕漁業による日本の漁獲量は80年代後半をピークに減り続けていて、一部の魚は海水温の上昇などにより漁獲量が激減している。不足分は海外からの輸入に頼っているのが現状で、水産資源を安定して確保するには、養殖業によって生産量を増やすことが不可欠だ。日本の養殖技術は、個々の技術レベルでは世界トップクラスであるが、大規模化をはじめとするグローバル市場への対応ではノルウェーなどに大きく遅れを取っている。

水産研究・教育機構の中山一郎理事長が研究代表者を務めるJSTの未来社会創造事業「日本型持続可能な次世代養殖システムの開発」では、これまで日本で培われた養殖技術と革

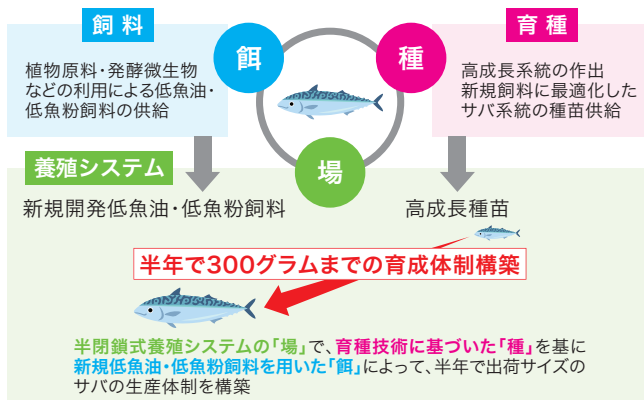


図2 中山さんらのプロジェクトでは、「餌」「種」「場」という養殖の3つの要素の研究成果を統合することで、日本に適した持続可能な次世代養殖システムの開発を目指す。

新的科学技術とを組み合わせ、多種多様な魚種の生産が可能な養殖システムを開発し、国内養殖業の復活と、国連教育科学文化機関(ユネスコ)の無形文化遺産にもなった日本の多種多様な魚を食する和食文化を守り、世界に広めることを目指している。

世界中で人気の「サバ」に着目 産業化見据え、企業が多数参加

中山さんは日本の養殖業が停滞している理由として、養殖の3要素である「餌」「種」「場」がそれぞれ課題を抱えているからだを指摘する。具体的には、南米産のアンチョビなど餌として使われる魚由来の魚粉・魚油の需要が世界的に高まり価格が上昇していること、成長が早く健康な食用魚の育種・研究開発に時間がかかること、日本の沿岸では従来の養殖方法に適した海域が限られていてす

で飽和していることなどだ。「課題解決のために多くの研究者が個別に研究を進めていますが、日本の養殖システム全体の状況を大きく変えることはできていません」と中山さんは説明する。

そこでこのプロジェクトでは、京都大学大学院農学研究科の小川順教授らのグループによる「餌」の研究、東京海洋大学海洋科学技術研究科の吉崎悟朗教授らのグループによる「種」の研究、東京大学生産技術研究所の北澤大輔教授らのグループによる「場」の研究を並行して進め、それぞれの成果を最終的に統合することで、成果の最大化を試みている(図2)。将来の産業化を見据え、複数の民間企業や大型試験施設を持つ水産研究・教育機構や自治体の水産試験所などが参加していることも特徴だ。

プロジェクトを進めるにあたって中山さんらは最初に、モデル魚を1

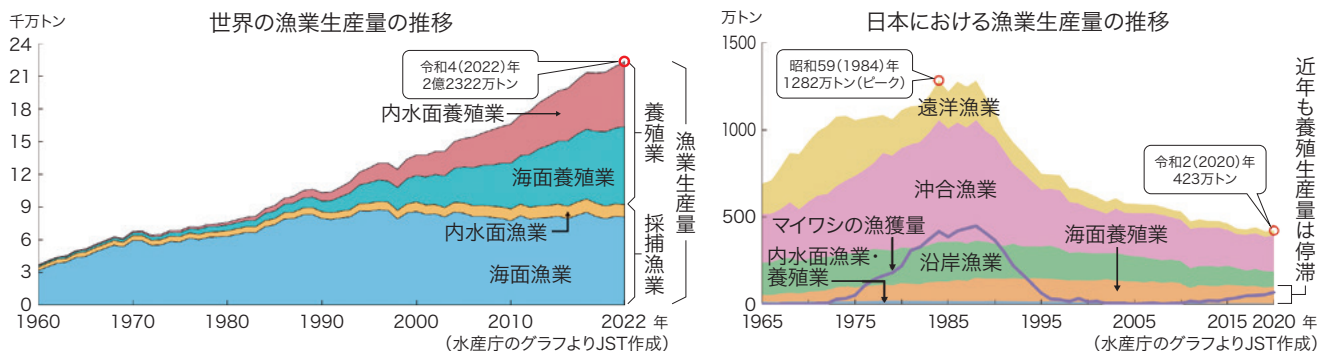


図1 国連食糧農業機関(FAO)の報告によると、世界全体では養殖生産量が採捕漁業の生産量を上回っているが、日本では養殖生産量が停滞している。

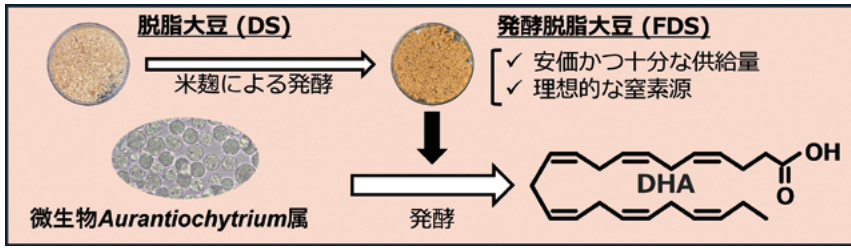


図3 脱脂大豆などの植物素材と微生物を活用することで、魚油・魚粉に依存しない新たな飼料成分を開発した。

つに絞り込むことにした。もともと「餌」グループは農林水産省が輸出戦略で注力しているブリを、「種」グループでは高級魚として人気の高いトラフグ、ニジマスを対象としていた。しかし、魚種が異なると互いの研究成果を応用しづらいため、プロジェクトとして統一する必要があるのだ。

サケやマグロなどさまざまな魚が候補に挙がり、議論の末、マグロ類やカツオ類と同じサバ科である「マサバ(以降、サバ)」をモデル魚として共通の研究対象にすることにした。サバはDHA・EPAの栄養素が豊富であり、サケなどに比べて生育にかかる期間が短い。「サバは世界中で食べられている魚なので需要が大きく、将来的に日本の輸出産業の主力になる魚だと考えました」と中山さんは語る。プロジェクトでは、通常1年以上かかる養殖期間を大幅に縮め、半年で300グラムの出荷サイズに成長させることを目標とした。

脱脂大豆由来の代替飼料開発 コスト増に対応、栄養素を確保

5年間のプロジェクトは2025年に最終年度を迎え、各研究グループは一定の成果を上げつつある。「餌」グループは、餌代による養殖コスト増加の問題や、資源循環型食料生産への移行に対応すべく、植物資源由来の飼料の開発に取り組んだ。

養殖にかかるコストのうち、魚粉など餌代が占める割合は80パーセントにも上る。その多くは海外からの輸入に頼っているが、世界で魚の養殖が盛んになり需要が増している上、主要な原料であるペルーアンチョビの乱獲や地球温暖化に起因するとされる不漁で流通量が思うように増加せず、値上がりが続いている。さらに「魚を育てるために魚を食べさせる」養殖は、コストだけでなく持続可能性という観点でも問題があると中山さんは指摘する。

海水魚の成長に欠かせない栄養素であるDHAとEPAは、これまで通常、魚油・魚粉の添加で賄われてきた。そこで「餌」グループの小川さんは専門分野である発酵技術を活用し、脱脂大豆などの植物素材を原料とした新

規高油脂含有発酵物で魚油・魚粉の大部分を代替することに成功。魚油のほぼ全量、魚粉の4割程度をこの発酵物で代替可能であることを示した(図3)。これについて「DHAを、植物資源を活用して人工的に安価に大量に作る研究が進んできたことは非常に画期的です」と中山さんは語る。

光と水温調節し短期間で成熟 不妊化技術で優良系統を保護

「種」グループでは、成長が早く健康な養殖魚の系統を作り出し、その系統保全と保存法開発を目標とした。サバの約1000個体のゲノム情報を利用して、数世代にわたり交配することでサバ優良系統の開発を進めている。

通常のサバは生殖が可能になるまでに少なくとも1年の期間が必要となるが、研究チームは日長と水温を調節することでサバを短期間で成熟させる技術を開発(図4)。オスでは5カ月、メスでは8カ月で成熟させることに成功し、育種にかかる期間の短縮を可能にした。

開発した系統を保護するために、

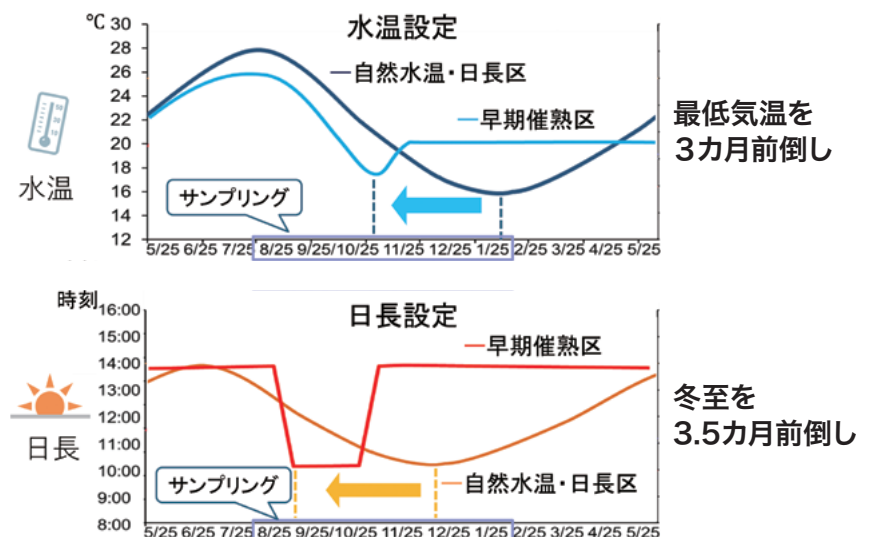


図4 最低水温や日照時間の短い時期を前倒して、1年の環境サイクルを短縮。魚に季節が進んだと思わせることにより、短期間で成熟させる。

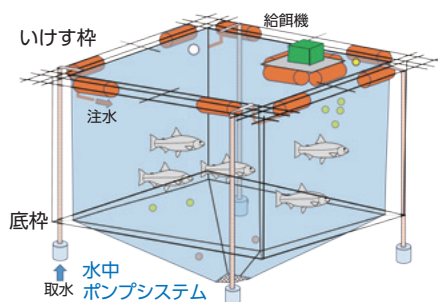


図5 海面半閉鎖循環式養殖システムの全体図(左)と茨城県那珂湊漁港での実証実験の様子(右)。キャンパスシートなど海水を通しにくい素材で作したいけすを海面に設置し、採取した海水を内部で循環させた後、魚の排せつ物とともに外部に放出する。

ゲノム編集による不妊化技術も新たに開発した。従来の不妊化の方法と異なり100パーセントの不妊化率を実現できるので「育成者の権利を守るだけでなく、逃げ出した養殖魚が天然の魚と交配して、生物多様性に悪影響を与えるリスクも防げます」と中山さんは説明する。さらに、育種による優良系統が世代交代などで途絶えることがないように、半永久的に生殖細胞を保存する技術も開発。サバ以外の多くの魚種にも展開するべく、研究を加速させている。

半閉鎖式養殖システムに成功 大規模洋上養殖や陸上養殖も

「場」グループでは、多様な環境・魚種に展開可能ないけすの実用化や、それを活用した養殖システムパッケージの構築に取り組んでいる。ノルウェーや中国では単一の魚種の大規模な養殖施設が一般的なのに対し、日本は10メートル四方程度の比較的小規模の網いけすによる養殖システムが多く用いられてきた。だが、この方法では周辺的环境水の影響を直接受けるため、温暖化による海水温の上昇や赤潮で魚がダメージを受けやすいというリスクがある。

そこで中山さんらは、海水を通しにくいシートを用いたいけすを海面に設置して、いけす設置下から採取した海水をいけす内で循環させる半

閉鎖式の養殖システムを開発した。室内実験で耐久性を検討した上で、茨城県の^{なかみなと}那珂湊漁港などで実証実験を進めている(図5)。このシステムは、夏期に海底近くから海水をくみ上げることで水温上昇を低く抑えたり、寄生虫の混入や赤潮も防いだりすることが可能だ。一方、シートが水を通さないため、台風などでいけす揺れた時に魚にストレスを与える可能性もある。実証実験では、こうした魚の行動特性の把握も含めた検証を進めている。

将来的には、食物連鎖の異なるレベルの生物を組み合わせる餌の食べ残しや魚の排せつ物を有効活用する「多栄養段階統合養殖(IMTA)」システムの構築も目指す。「このプロジェクトではサバの養殖に適していることから半閉鎖式いけすにしましたが、沖合での大規模な洋上養殖や陸上での養殖など『場』に関しても今後、さまざまな展開があると考えています」と中山さんは展望を語る。

プロジェクトでは、2026年3月の

研究期間終了に向けて、優良系統候補となる「種」を、植物素材発酵物を取り入れた「餌」によって、半閉鎖式いけすの「場」で育てるという、3グループの研究を統合した実証実験を実施中だ。日本では養殖に関する研究は多くあるが、1つの魚種で「餌」「種」「場」の3つの研究に同時に取り組んだのは初めてではないかと、中山さんは今回のプロジェクトの意義を強調する。

これまでの成果を基に、今後はサバから多様な魚種への展開が見込まれる。世界の中でも、特に多品種の魚を食べている日本人にとって、多くの魚の養殖を可能にして、天然の魚と合わせて安定的に供給されることは非常に大きな意味がある。中山さんは「日本でも農業と同じように人間が食べるものは人間が作っていくといった養殖業が当たり前になるでしょう」と語り、養殖技術によって水産国日本を復活させ、世界の食料の安定供給にもつなげていきたいと意欲を見せる。

(TEXT: 肥後紀子、PHOTO: 島本絵梨佳)

水産研究・教育機構では「おいしさかなをいつまでも」をキーワードとして掲げています。古くから日本には魚食文化があり、今では世界中に広まっています。この文化をしっかりと引き継いでいける次世代の研究者に育ってほしいと願っています。多種多様な水産物がいて非常に面白いし、しかも社会の役にも立つ研究です。他の大学、研究機関、民間企業とも連携を強化して頑張っていきます。



小中高生の「探 究 心」を大きく伸ばし育てる

次世代科学技術チャレンジプログラム

JSTが実施する理数系分野で優れた意欲や能力を持つ児童・生徒を対象とした「次世代科学技術チャレンジプログラム」。学校の勉強の範囲にとどまらない探究心を大きく伸ばし、未来の科学技術・イノベーションを担う人材を育成することが目的だ。その概要と2025年11月に開催された研究発表会である「サイエンスカンファレンス2025」の様相を紹介する。

大学や高専、多彩な講座を実施 最先端研究にアクセスする機会

「次世代科学技術チャレンジプログラム(STELLAプログラム)」は、これからを担う若い世代から科学技術・イノベーションをけん引する人材を育成するために、2023年度に始まったプログラムだ。Society5.0の実現において、未来を創造する科学技術人材の体系的

育成や、才能ある児童・生徒が最先端の研究にアクセスする機会の充実は不可欠である。

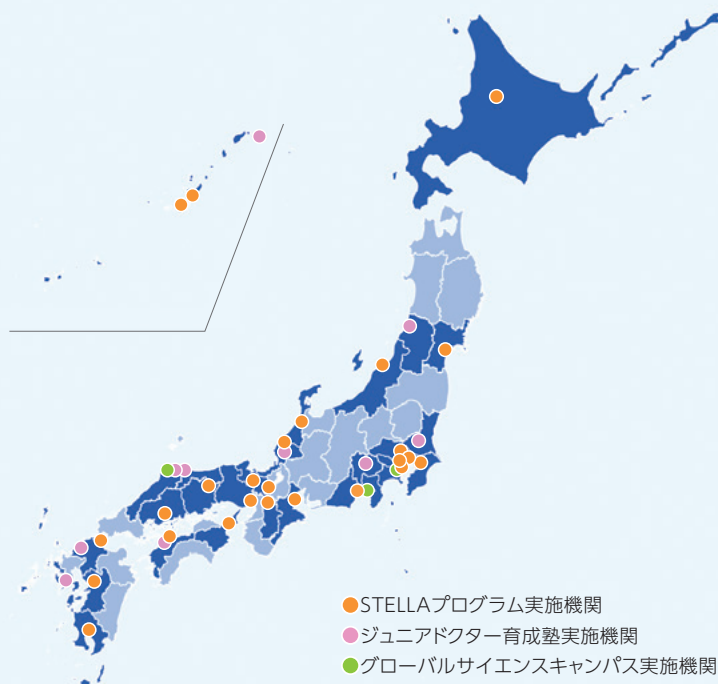
STELLAプログラムは、理数系分野に優れた意欲と能力を持つ小学校高学年から高校までの児童・生徒を対象としている。児童・生徒の興味に応え、能力をさらに伸ばしていくために、採択された大学や高等専門学校、公的研究機関などの各機関が、多様な育成プログラム

を開発・実施する。小学5年生～中学3年生を対象とした小中型、高校段階相当の生徒を対象とした高校型、小学5年生～高等学校・高等専門学校3年生を対象とした小中高型の3タイプがある。

希望者は、興味のある機関に応募し、選考を経て参加する仕組みだ。講義や実験・実習、グループワーク、研究発表などを通じて、大きく成長できる機会を得られる。

日本各地の機関で さまざまな取り組みを 実施中

STELLAプログラムと、その前身の「グローバルサイエンスキャンパス(GSC)」「ジュニアドクター育成塾」は、各地の大学や高等専門学校など全国38機関で実施中だ。機関によって、文理融合教育を展開するものや情報分野に特化したもの、小中高生が一堂に会して学び合うものなどさまざまな取り組みがあり、原則居住地に関係なく応募が可能となっている。

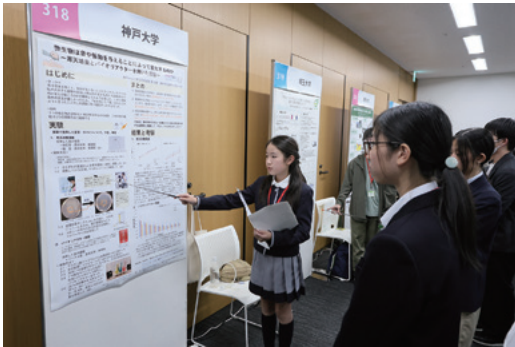


詳細は各プログラムの
ウェブページをご覧ください

- ▶ 次世代科学技術チャレンジプログラム <https://www.jst.go.jp/cpse/stella/>
- ▶ グローバルサイエンスキャンパス <https://www.jst.go.jp/cpse/gsc/>
- ▶ ジュニアドクター育成塾 <https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/>

**イベントで小中高生100人が発表
ハイレベルな研究多く、交流盛ん**

2025年11月1日から3日まで、東京都の日本科学未来館で「サイエンスカンファレンス2025」が開催された。このイベントはSTELLAプロ



小中の部のポスター発表の様子。

グラム、GSC、ジュニアドクター育成塾の受講生約100人が、これまで取り組んできた研究を発表する場だ。

小中の部ではポスター発表があり、審査の結果、特に優れた探究活動に贈られる「ジュニアサイエンス賞」の受賞者3人などを表彰した。

また、高校の部はポスター発表による1次審査の後、口頭発表による2次審査があった。2次審査では質疑応答を含め1人15分の持ち時間で研究内容を発表し「文部科学大臣賞」をはじめとする各賞を決定した。

小中の部、高校の部とも受講生同士の交流が非常



審査員だけでなく、受講生からも多くの質問が寄せられた。

に盛んだった。「サイエンスカンファレンスでの経験を通して、さらに成長してくれることを願っている」と小中の部の神崎亮平審査委員長は語った。高校の部の大路樹生審査委員長は「レベルの高い研究が多く、口頭発表では受講生から数多くの質問が寄せられ、活発な議論だった」とコメントした。

**サイエンスカンファレンス
2025**

高校の部・文部科学大臣賞 受賞者インタビュー

「ゲンゴロウ類の形態の進化に対する流体力学的考察」

**数値化して証明しなかった
プログラミングで試行錯誤**

「現在生息しているゲンゴロウの形態には何らかの適応や機能があるはず」という思いで研究を始めたという宮嶋^{かい}権さん。「好きな昆虫の進化を調べたいと思った時に、生物学的なアプローチだけではなく数値化して証明したいと思いました。学校でさまざまな研究を進める中で、ゲンゴロウがどのように進化してきたかシ



宮嶋 権 さん
Miyajima Kai
市立札幌開成中等教育学校5年次
東京大学「UTokyoGSC-Next」受講生



何度も練習して本番に臨んだ口頭発表。

ミュレーションする際に流体力学を活用できるのではとひらめきました」。しかし、数学とプログラムコードの知識が必要で、高校の授業や独学では限界があったため、東京大学が実施するSTELLAプログラムの企画「UTokyoGSC-Next」に参加した。

「最も苦労したのは流体解析のためのプログラミングです。研究指導の先生からのアドバイスでオープンソースも活用しながら試行錯

誤を繰り返しました。2年越しでうまく解析できた時は本当にうれしかったです」と宮嶋さんは振り返る。「UTokyoGSC-Nextに参加している方と出会うことができ、専門的な知識や研究手順だけでなく研究発表の方法など幅広く学べました。今後も、興味関心を突き詰めながら、自分なりの軸を持って研究を続けていきたいと思います」。



北大総合博物館にて至福のひと時を過ごす（時間を見つけては博物館に通い、ゲンゴロウの分類作業を行っている）。

(TEXT: 肥後紀子、PHOTO: 島本絵梨佳)

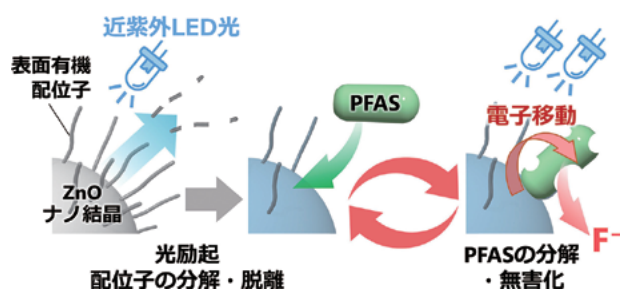
有機フッ素化合物PFASを手軽に分解 低毒性で安価なZnOナノ結晶の光触媒特性を活用

炭素-フッ素結合(C-F結合)を多数含み、極めて高い安定性を示す有機フッ素化合物(PFAS)は、幅広い産業分野で利用されてきました。しかし、環境中で分解されにくく、環境残留や生体蓄積を引き起こすことから、世界的に規制や管理が強化されています。従来のPFAS分解法は、高温処理や強力な酸化剤、深紫外光といった過酷な条件を必要とすることから、新たな分解技術の開発が急務となっています。

立命館大学生命科学部の小林洋一教授らの研究グループは、低毒性で安価かつ大量合成が可能な酸化亜鉛(ZnO)ナノ結晶の光触媒特性を活用することで、持続可能で実用化に直結するPFAS分解技術を開発しました。研究グループは、PFASの中でも特に分解が困難なペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)を溶かした水溶液に、酢酸イオンで表面を修飾したZnOナノ結晶と正孔捕捉剤としてトリエタノールアミンを加え、その懸濁液に波長365ナノ(ナノは10億分の1)メートルの近紫外LED光を照射し

ました。その結果、室温・大気圧下でPFOSが効率的に分解されてC-F結合がフッ化物イオン(F⁻)まで還元され、10時間の照射でPFOSの残存率を0.5パーセントまで減らせることがわかりました。

今回の技術は、水処理施設や産業排水処理、PFASを吸着したフィルターの再生など、幅広い応用が考えられます。生成したフッ化物イオンはカルシウムイオンを添加することで原料鉱石であるホタル石として容易に分離・回収できるため、環境浄化と資源循環を両立させる技術としても活用できそうです。(TEXT:中條将典)



有機分子を配位結合したZnOナノ結晶に近紫外LED光を当てると、光エネルギーを吸収して有機分子が分解・脱離することで電子と正孔が発生。この電子がPFASに移動してC-F結合を切断し、フッ化物イオン(F⁻)へと分解する。

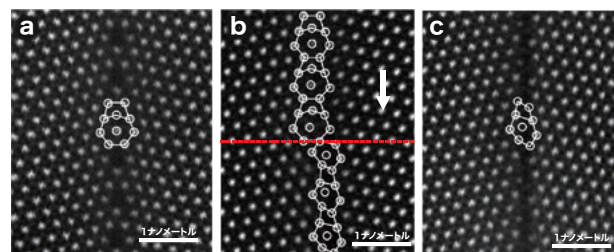
セラミックス添加元素の「二段階拡散」が存在 結晶粒境界の原子構造を電子顕微鏡で直接観察

材料開発では、融点より低い温度で加熱して焼き固める焼結という処理を通じて、さまざまな元素を添加することで反応を促進し、微細構造を制御します。セラミックスは原子配列の向きがそれぞれ異なる領域である「結晶粒」が多数集まった構造をしており、添加した元素は焼結の進行に伴って、結晶粒の境界面に沿って拡散することがわかっています。しかし、境界の中のどの原子位置を通過するのかについては、これまで明らかになっていませんでした。

東京大学大学院工学系研究科のフウビン特任准教授、柴田直哉教授らの研究グループは、原子レベルの分解能を持つ電子顕微鏡法を用いて、チタン(Ti)原子がセラミックス材料であるアルミナ結晶粒の境界を拡散する際にどのような原子位置を通過するのか、拡散先端における境界の原子構造がどのように変化するかを調べました。その結果、非対称な原子構造を持つアルミナ結晶粒の境界にTi原子が拡散して濃度が増すと、境界の原子構

造が非対称構造から対称構造へと変化することを発見しました。さらに拡散速度を比較したところ、対称構造におけるTi原子の拡散速度は、非対称構造の10倍以上に達することが判明しました。すなわち、粒界が対称構造に転移した瞬間に拡散が急激に加速される「二段階拡散現象」が存在することを初めて示したのです。

この成果は、セラミックスにおける最適な焼結条件の設定や、形成される微細構造の予測に活用できる可能性があります。今後、効率的で高性能な多結晶材料の開発につながるが見込まれます。(TEXT:中條将典)



表面近傍1マイクロ(マイクロは100万分の1)メートル以内はTi原子が多く存在し原子構造は対称構造であるが(a)、境界である深さ約1マイクロメートルでは赤点線部分で非対称-対称の構造変化が起き(b)、それより深い位置では非対称構造になる(c)。

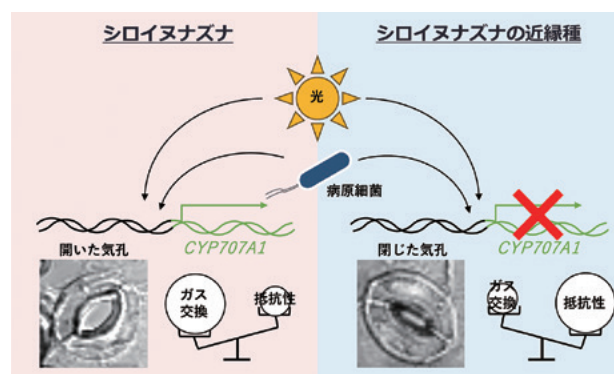
病原細菌が気孔を開かせ侵入する過程を解明 ゲノム編集用い抵抗性作物の作成にも道

植物の葉の表面に存在する気孔は、光合成に必要なガス交換を担う重要な器官であると同時に、細菌の侵入口にもなります。植物は気孔を閉じることで細菌の侵入を防ぎますが、病原細菌は閉じた気孔を再び開かせることが知られています。しかし、その仕組みの詳細は不明でした。

京都大学大学院農学研究科の峯彰准教授らの研究グループは、病原細菌が植物の遺伝子発現制御の仕組みを利用することで、気孔を再び開かせることをシロイヌナズナの実験で見いだしました。植物の気孔はホルモンの一種であるアブシジン酸によって閉じますが、シロイヌナズナはアブシジン酸を分解するCYP707A1遺伝子を持っています。研究グループは、病原細菌の作り出す毒素であるコロナチンが、同遺伝子の発現を高めることで、閉鎖した気孔を再び開かせることを発見しました。さらに、CYP707A1遺伝子はシロイヌナズナが朝の光に応じて素早く気孔を開くのに役立つことを証明し、病原細菌がガス交換を促す同遺伝子の発現制御の仕組みを利用して気孔を開かせて

いることを示しました。アブラナ科には、この遺伝子発現制御が起こらない代わりに細菌に対する抵抗性を持つ種類もあり、「気孔を速やかに開く能力」と「病原体への抵抗性」の間に進化的なトレードオフがあることもわかりました。

病原体による作物の損失は、毎年5億人分以上の食料に相当するという試算があります。この成果は、育種やゲノム編集を用いて、病原細菌に抵抗性を持つ作物を作り出せる可能性を示しています。(TEXT:中條将典)



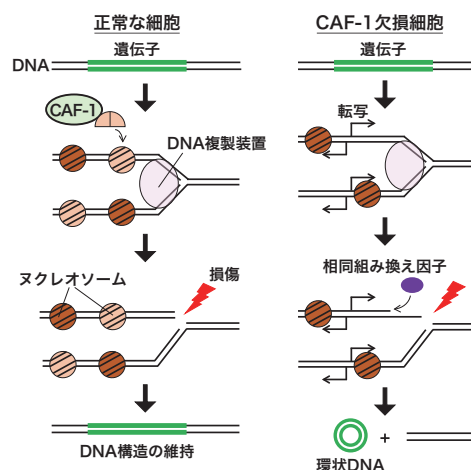
シロイヌナズナのCYP707A1遺伝子の発現制御の仕組みは気孔を素早く開いてガス交換するには有利だが、その仕組みを利用する病原細菌に対する抵抗性の点では不利になる。この遺伝子の発現制御を起こさないことで抵抗性を示す近縁種もある。

出芽酵母を用いて環状DNA生成の仕組みを解明 がん細胞での異常発生の理解に寄与

私たちの遺伝情報は染色体DNA上に記録されていますが、がん細胞では染色体の一部が切り出されて環状化したDNAが蓄積しています。この環状DNAはがん化を促進する遺伝子を含み、がんの発症や進展、抗がん剤の効果が低下する薬剤耐性に関与します。しかし、環状DNAがどのようにして生成するのかは長年わかっていませんでした。

国立遺伝学研究所の佐々木真理子准教授と東京大学定量生命科学研究所の小林武彦教授らの研究グループは、CAF-1というたんぱく質に着目し、ヒトを含む真核生物を代表するモデル生物である出芽酵母を用いて実験をしました。CAF-1は複製のためにほどかれたDNAが再び巻き取られてヌクレオソームを構築する際に働きますが、これが失われると、リボソームRNA遺伝子領域から多数の環状DNAが生成することを確認。この環状DNAは、複製が止まり二本鎖DNAが損傷して切断された際に、本来は正確に修復されるべき過程で誤ってできることがわかりました。

CAF-1が環状DNAの生成を抑制する仕組みの解明は、将来的にがん細胞での異常発生の理解に寄与します。さらに、出芽酵母を用いた実験系は、基礎研究から応用研究への橋渡しとなり、創薬や医療の発展に貢献することが期待されます。(TEXT:中條将典)



(左) DNA複製が停止して損傷が起きて、正確に修復される。
(右) 複製後にヌクレオソームが正しく再構築されないと、普段抑制されている転写が活発に起こるようになり、環状DNAが作られる。

浮遊性有孔虫で地球史と生命進化の謎に挑む 目に見えない光共生ネットワークの全貌解明へ



プライベートでは
3児の母です。

Q1 研究者を目指したきっかけは？

A1 「火の鳥」の壮大な世界観に心奪われ

幼少期から、地球や宇宙などに漠然と興味がありました。特に、手塚治虫の「火の鳥」に夢中になり、過去と現在が交錯する壮大な世界観に心を奪われました。高校では自然科学を学びたくて理系を選びましたが、選択科目ではあえて物理を選び、生物は自分で勉強しました。

大学でこそ地学を学ぼうと、地球科学を専攻しました。研究室選択の際には、フィールドワークができ、かつ生き物に関われる古生物学・古環境科学の研究室を選びました。そこで「浮遊性有孔虫」という海を漂う単細胞生物の化石の研究に出会い、以来このテーマで研究を続けています。

炭酸カルシウムの殻を持つこの生物は、化石として地層に残るため、白亜紀の地層からも見つかります。修士課程の時に、有孔虫に「光共生」という生態があることを知り、興味を惹かれました。光共生とは、光合成をする微細藻類を細胞内に共生させることです。化石からも共生の痕跡を探ることは

できますが、光共生という現象そのものの理解を深めるため、現生の有孔虫を扱うようになりました。

高木 悠花

Takagi Haruka

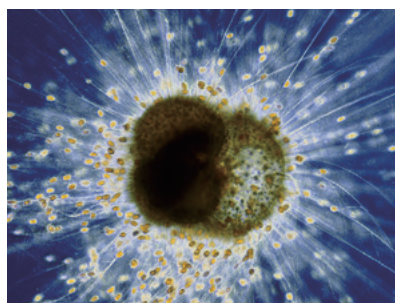
すべての「出会い」
を大切に！

Q2 現在取り組んでいる研究は？

A2 光共生の進化史や制御遺伝子の特定

多くの有孔虫は細胞内に微細藻類をすまわせています。宿主の有孔虫も共生藻もそれぞれ単細胞でありながら、共生藻は光合成で作った有機物を有孔虫に渡し、有孔虫は代謝産物を共生藻に提供する光共生の関係を築いています。

研究を進める中で、放散虫という別のプランクトンでも、有孔虫の共生藻と同一の藻類を共生させていると報告されていることがわかりました。私は、共生藻を介して異なる種類のプランクトンがつながり、目に見えないネットワークが海の中に形成されているのではないかと考え、このネットワークの全貌を解き明かすことを目指しています。最近では、浮遊性有孔虫における光共生の進化史を解明し、強固なパートナーシップが長い進化の中で形成されてきたことを示しました。



光共生している浮遊性有孔虫の写真です。

東京大学 大気海洋研究所 海洋生命システム研究系 海洋生態系科学部門 准教授
静岡県出身。2016年早稲田大学大学院創造理工学研究科地球・環境資源理工学専攻博士課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員(PD)、千葉大学大学院理学研究院助教などを経て、24年より現職。21年～24年ACT-X研究者、22年より創発研究者。

また、光共生を制御する遺伝子の特定にも取り組んでいます。浮遊性有孔虫の遺伝子発現解析は世界でもほとんど例がなく、RNAの抽出方法を検討するところから始めましたが、現在は遺伝子を解析するためのデータを得るところまで進んでいます。

Q3 研究者を目指す人にメッセージを

A3 手法を限定せず、挑戦を続ける

今でも忘れられない運命的なエピソードがあります。修士課程の時に、当時読んで感銘を受けた論文の著者である米スクリプス海洋研究所のリチャード・ノリス氏が率いる研究航海に参加する機会を得たのです。

船上で自分の研究を発表する機会があり「あなたの論文を読んで、この研究を始めた」とノリス氏に伝えるところ、若い研究者にインスピレーションを与えられたことを心から喜んでくれました。私もいつか若い研究者の道しるべのような存在になれたらうれしいですね。

有孔虫の光共生は、世界でも研究者の少ない分野です。見つけた現象の多くが「世界初」の発見になるのが醍醐味です。私は、出会いを大切にすることで、熱中できる研究対象に出会えました。研究手法を限定せず、必要だと思えば何でも試してきました。有孔虫は、化石になっても、生きている姿も、とても美しいです。顕微鏡の向こうに広がる小さな宇宙の美しさに、今日も心を奪われながら挑戦を続けています。(TEXT: 畑邊康浩)

