

JSTnews

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

7
2025

特集
1

原料アンモニアを低温・低圧下で製造
触媒技術を生かし小型プラント実現へ

特集
2

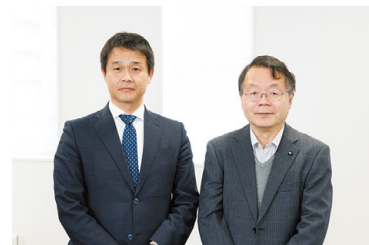
放射性医薬品で「見える」がん治療を
日本発の実用化目指して臨床試験中

特集

革新的技術で 壁を打ち破るベンチャー

04 原料アンモニアを低温・低圧下で製造
触媒技術を生かし小型プラント実現へ

08 放射性医薬品で「見える」がん治療を
日本発の実用化目指して臨床試験中



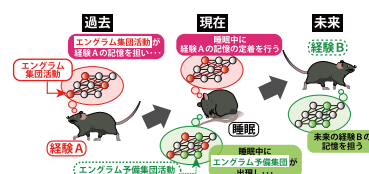
12 イノベ見て歩き

低速電動バスが導く持続可能なまちづくり
高齢化や公共交通縮小の地域課題に挑む



14 NEWS&TOPICS

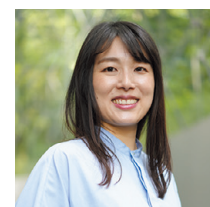
- ▶大阪・関西万博で未来社会を体験・体感
- ▶2次元COFを巻き上げてナノチューブ形成
- ▶睡眠中の脳は「未来の記憶」に備える



16 さきがける科学人

植物が免疫系を活性化する仕組みを解明
雨による病害発生を抑える農法の開発へ

名古屋大学 遺伝子実験施設 講師 野元 美佳



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。



▶ P.3、P.16



▶ P.8、P.12、P.15下



▶ P.8、P.16



▶ P.12



▶ P.3、P.12

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



特集

革新的技術で 壁を打ち破る ベンチャー

大学や研究機関の研究成果を活用して、ベンチャー企業を立ち上げる機運が高まっている。
こうした企業は革新的な最先端技術で従来の壁を打ち破るようなイノベーションを生み出し、
社会に貢献することを目指している。

今回の特集では、画期的な触媒技術により100年以上にわたって使い続けられている

アンモニア合成法の刷新を図る東京科学大学発のベンチャー企業と、

独自の「見える」がん治療薬の事業化による難治性がん克服に挑戦する

量子科学技術研究開発機構発のベンチャー企業について、

その取り組みと成果、躍進の原動力となっている研究について詳しく紹介する。



中村 公治

Nakamura Koji

つばめBHB株式会社 代表取締役CEO



細野 秀雄

Hosono Hideo

東京科学大学 総合研究院 元素戦略MDX研究センター
名誉教授・特命教授

2021年より未来社会創造事業 研究開発代表者

特集
1

原料アンモニアを低温・低圧下で製造 触媒技術を生かし小型プラント実現へ

世界の人口増加による食料危機や地球温暖化問題の解決策として、農作物の収穫量を増やす窒素肥料やカーボンフリー次世代燃料の原料となるアンモニアが注目されている。その製法として現在主流のハーバー・ボッシュ法は高温・高圧が不可欠なため、大量のエネルギーと大規模な設備が必要となる。東京科学大学発のベンチャー企業であるつばめBHB（横浜市）は、同大の元素戦略MDX研究センターの細野秀雄名誉教授の画期的な触媒技術により、低温・低圧下でアンモニアを製造できるコンパクトなプラントを実現し、すでに国内外から引き合いを受けている。

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。

ノーベル化学賞を受賞した製法 プラントは資源・先進国に偏在

世界の人口増加に伴う食料危機や、二酸化炭素（CO₂）の排出による地球温暖化を背景に、アンモニアが注目されている。現在のアンモニアの

工業的製造は、1906年にドイツのフリッツ・ハーバーとカール・ボッシュが開発したハーバー・ボッシュ法（HB法）と呼ばれる手法が主流である（図1）。これは、窒素と水素から鉄を触媒として、400～600度、200～400気圧の高温・高圧下で合成す

る手法であり、大規模な設備を使って大量生産するのに適している。

それまでは、単位面積当たりに生産できる農作物の量に限りがあり、人口増加と収穫できる農作物の量が釣り合わず、人類は常に食料不足と隣り合わせだった。HB法により、

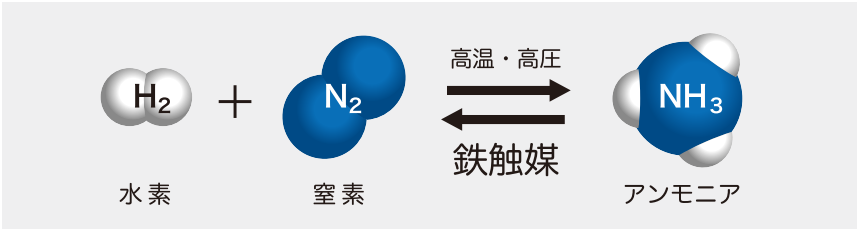


図1 HB法では、高温・高圧下で鉄触媒を用いて窒素と水素からアンモニアを合成する。

化学肥料の大量生産が可能になったことから農作物の収穫量が急増し、20世紀以降の人口爆発を支えている。この業績が評価され、ハーバーは1918年、ボッシュは31年にノーベル化学賞を受賞している。

一方で、この手法を用いたアンモニア製造プラントは、化石燃料の資源国や先進国に偏って存在しているため、そこから離れるほどサプライチェーンが長くなり費用がかさんでしまう。原料の窒素は空気から抽出するだけで安価に得られるが、水素を化石燃料から製造する際には、大量のCO₂を排出することも問題視されている。

これに対し、中村公治代表取締役CEO率いるつばめBHBは、100年続くHB法の高温・高圧反応の壁を破り、低温・低圧で稼働するアンモニア製造触媒の実用化に取り組んでいる。1カ所で大量生産という従来の常識を覆し、電力と空気と水があれば、どこにでもプラントを設置してアンモニアの製造ができるようにした(図2)。

電気を通すセメントを初合成
触媒回転数ひと桁高く

つばめBHBの構想の原動力となっているのが、東京科学大学の細野秀雄名誉教授らによる、新物質「エレクトライド」についての画期的な研究である。細野さんは東京工業大

学時代の2003年に安価なセメント材料を用いて、室温・大気中で安定なエレクトライドの合成に初めて成功。そこから物性研究に取り組んだ。セメントは一般的には電気を通さない絶縁体だが、細野さんが作ったエレクトライドは電気を通すセメントだ。現在、グリーンアンモニア合成のための高機能触媒としての利用が進んでいる。

エレクトライドとは、化合物中のマイナスイオンを電子に置き換えた物質である。単独の電子を結晶構造の中で安定して存在するようにするのは難しい。例えば、食塩である塩化ナトリウムの塩化物イオンを電子に置き換えることを考えてみれば、その難しさが想像できるだろう。だが、かご状の結晶構造の中にマイナスイオンが含まれている場合、そのイオンを電子に置き換え、電子をかごの中に閉じ込めると、安定した物質にすることができる。

細野さんは、カルシウムとアルミニウムを含む化合物である12CaO・7Al₂O₃ (C12A7) の結晶の中に電子を閉じ込めた安定なエレクトライドを世界で初めて実現した(図3)。この物質は、石灰とアルミナでできている、いわばセメントだ。電気を通すセメントと表現されるゆえんである。細野さんらはさらに、電子を放出しやすいが、熱的にも化学的にも安定というユニークな性質をもつことを見いだした。電子を放出しやすい物質は、アルカリ金属のように不安定というのが一般的である。このエレクトライドの特性を最大限に生かして、高機能な触媒や電子材料への応用展開を目指した。

そして、エレクトライドの電子を与えやすく、窒素と安定な化合物を作らないという性質を利用すれば、窒素分子の結合を触媒的に簡単に切ることができるのではないかと考えるに至ったという。その後、表面の構造を走査トンネル顕微鏡で観察して、バルクの構造が表面でも保たれる条件を見いだした。これで準備が整い、アンモニアの合成触媒への適用を開始。これまでの触媒よりも、活性化エネルギーが半分で、触媒回転数がひと桁高いという実

	既存法 (HB法)	つばめBHB
ターゲット	大量集中生産 スケールメリット	小規模分散型 オンデマンド生産
一基あたり 年間生産能力	20万～120万トン	500～5万トン (目標値)
設備投資額	数百億円～	数億～数十億円 (導入する国・地域によって変動)
動作条件	200～400気圧 400～600℃	30～50気圧 300～400℃

図2 既存のHB法とつばめBHBの手法との違い。同社は低温・低圧で稼働するアンモニア製造触媒を実用化し、年間数千～数万トン規模での生産にめどをつけた。アンモニア製造のコストを下げ、グリーン燃料や肥料を安価に供給できるようにするのが狙いだ。

験結果を得ることができた。

トポロジカル絶縁体にも着目 「量子物質」の実用触媒化に道

細野さんはこれまでいろいろなエレクトライドを作ってきたが、その1つがかご状の結晶構造に電子が存在する「0次元エレクトライド」というタイプである。特に、ルテニウム(Ru)を使う触媒が良好なアンモニア合成活性を示した(図4)。その後も、さまざまなエレクトライド触媒を開発してきた。これらの成果を活用し、細野さんをはじめとする東京科学大学の教授陣、アミノ酸の原料としてアンモニアを利用する味の素、投資ファンドであるUMIが出資して設立したのがつばめBHBだ。

細野さんらはその後も、エレクトライドに関する研究をさらに進め、貴金属であるルテニウムを含まない触媒材料を複数開発することにも成功している。その中の1つは、ルテニウム触媒とほぼ同じ性能を持ち、数百時間にわたって安定した活性を示した。この研究結果を受けて同社では、数キログラム規模での工業的方法による触媒製造に着手し、試作品の性能が研究室で作った触

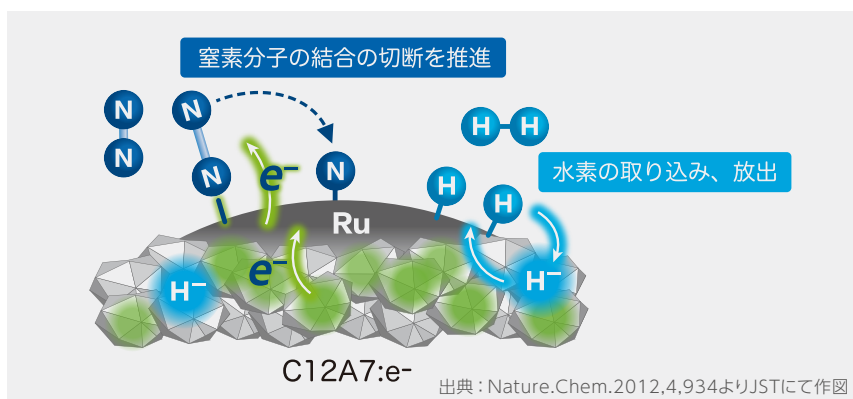


図4 エレクトライド触媒の表面。ルテニウム(Ru)のナノ粒子を担持させ、窒素分子の吸着能や水素分子の解離能を高めた。

媒の7~8割の性能を示すことを確認した。

細野さんらはさらに、ビスマス系のトポロジカル絶縁体物質のナノ粒子が、室温で高効率に有機尿素類を合成する触媒になることを発見し、古典的な物理学の範ちゅうでは扱えない新たな現象を示す「量子物質」の実用触媒としての道を開いた。トポロジカル絶縁体とは、量子効果により物質の内部は絶縁体でありながら、表面は電気を通す性質を持った物質で、表面が丈夫なことも大きな特徴である。これらは触媒応用に適していると発想し、検討を開始した。

この研究で合成する対象とした有機尿素類は、尿素分子中の水素を炭化水素で置き換えた化合物。尿素と異なり、水にすぐに溶解せず、土壌中の微生物によって徐々に分解

されて植物が吸収できる活性窒素に変わる。窒素肥料として広く使われている尿素的欠点である、水に溶けて流出しやすく、環境汚染につながりやすいという問題を解決し、環境への負荷を軽減できる物質として期待されている。

初号機は今年中にも運転開始 ブラジルからの受注に向け加速

近年、世界のどこであっても、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーを使った電気分解で「グリーン水素」を作れるようになってきている。同社の技術を利用すれば、グリーン水素の生産拠点到隣接して、小規模の「グリーンアンモニア」製造プラントを設置できるようになり、持続可能な社会の実現への寄与が期待される。

現状では、年間70万トン程度の生産が可能な大型のアンモニア製造プラントが、一部の国に偏って建設されている。その結果、アフリカなどでは肥料が不足している状態だと中村さんは指摘する。「小型でオンサイトに設置できる施設を低い運転コストで導入できれば、こうした国でアンモニアや尿素を原料とした窒素肥料を作れるようにな

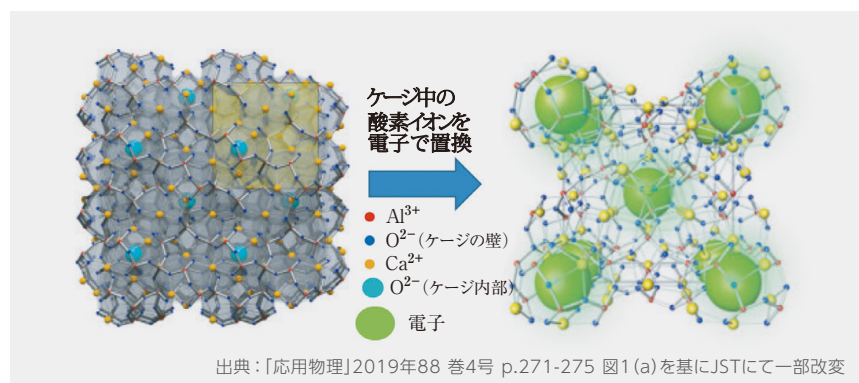


図3 C12A7のかご状(ケージ)結晶構造の中にくるく束縛されているO²⁻を、還元処理によって電子と置き換えることでC12A7エレクトライドを合成する。

り、発展途上国の食料問題を改善できます」と期待をのぞかせる。

2017年に創業したつばめBHBは、22年に大手石油開発企業であるINPEXからアンモニア製造プラントの初号機を受注。現在、新潟県柏崎市で建設を進めている。同社が担当するのはINPEXのブルー水素・ブルーアンモニアの製造プラントのアンモニア製造部分である。

ブルー水素とは、天然ガスを改質して水素を製造し、その際に発生したCO₂を地層中に埋め戻してカーボンニュートラルにした水素を指す。ブルー水素を原料として製造するのがブルーアンモニアだ。年間500トンのアンモニア製造能力を持つ同社の小型プラントは2025年中の運転開始を予定している。

2024年には、国内2機目となる工業用向け小型アンモニア製造設備(図5)を受注し、続く25年4月にはブラジル企業との間でグリーンアンモニア水製造設備プロジェクトに向けた基本同意書を締結。後者では27年をめどにグリーンアンモニア水を年間2万トン生産し、年間約1万1000トンのCO₂の排出量削減効果を見込んでいる。ブラジルは再生可能エネルギーが豊富で、グリーン水素を得やすい。「小型であ

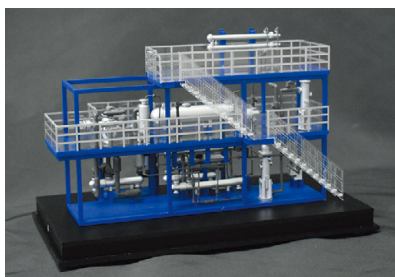


図5 工業用向け小型アンモニア製造設備のイメージ。高さは8.4メートルとコンパクトな構造になっている。

ればコンテナサイズのアンモニア製造プラントもできます。奥地でも導入可能ですし、実際にニーズも多いようで、国外からも問い合わせを頂いています」と中村さんは語る。

分解膜を使って省エネ化推進 大型プラントの提供も目指す

アンモニア製造プラントの実装を目指すつばめBHBは、触媒以外の技術の導入も手がけている。その1つが、アンモニア分離膜だ。平衡反応であるアンモニア合成は、アンモニアの濃度が一定の濃度に達すると、アンモニアの合成と分解が釣り合ってしまう、それ以上は合成されなくなる。一般的なアンモニア製造プラントでは、リアクターの後で合成されたアンモニアが含まれた気体を冷やして液化し、アンモニアを取り出している。

だが、冷熱を作り、冷やすにも工

ネルギーが必要だ。そこで同社では、アンモニア分離膜を使って水素や窒素とアンモニアを分離することで、省エネ化を推進している。アンモニア分離膜を使いやすいことも低温で反応するアンモニア合成触媒や小型プラントの良さだという。

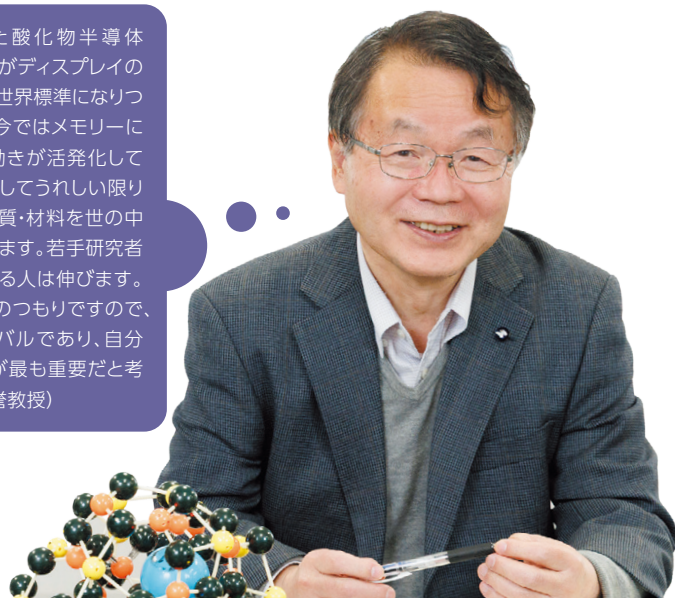
一方で細野さんは「アンモニア合成のHB法は、非常に優れた合成法で、だからこそ100年以上も使われているのです。アンモニアを大量生産するのであれば、これにとって代わる方法はないと思います」と指摘する。とはいえ、中村さんはアンモニアの大量生産にも意欲を見せる。

地球温暖化問題においてグリーンアンモニアは、火力発電や船舶の代替燃料としても注目されており、そのためには大型プラントを建設して大量生産する必要がある。同社はこれまで主に小型のプラントを受注してきたが、2025年からは年間1万トンを超える中型プラントの受注も目指すという。さらに、年間50万トン以上のアンモニア生産が可能な大型プラントについても、30年以降、ライセンスを提供していく形で展開したいという。つばめBHBがこれからどのように羽ばたいていくのか、目が離せない。

(TEXT:本橋恵一、PHOTO:島本絵梨佳)



2004年に発表した酸化物半導体IGZOのトランジスタがディスプレイの駆動に広く応用され、世界標準になりつつあります。また、昨今ではメモリーにも応用しようという動きが活発化していることは、研究者としてうれしい限りです。さらに新しい物質・材料を世の中に出していこうと思います。若手研究者は黙っていても、伸びる人は伸びます。いまだ現役の研究者のつもりですので、年齢は関係なくライバルであり、自分の研究を進めることが最も重要だと考えています。(細野栄誉教授)



吉井 幸恵

Yoshii Yukie

リンクメッド株式会社 代表取締役社長

2020年～22年 大学発新産業創出

プログラム (START) 研究代表者

22年より創発研究者

特集

2

放射性医薬品で「見える」がん治療を 日本発の実用化目指して臨床試験中

がんの放射線治療は、装置を使って体外から放射線を当てる方法と、放射性医薬品という薬剤を投与して体内から放射線でがんを攻撃する方法の2つがある。日本発の放射性医薬品の実用化を目指して臨床試験を進めるリンクメッド（東京都中央区）の吉井幸恵代表取締役社長に研究開発の現状や起業に至った経緯を聞いた。

大学発新産業創出プログラム (START) プロジェクト
推進型 起業実証支援 (旧名称: プロジェクト支援型)

事業プロモーターのマネジメントのもと、大学などの技術シーズに関して、事業戦略・知財戦略等を構築し、成長する大学等発ベンチャー創出を目指す研究開発プロジェクトを推進する。

創発的研究支援事業

若手研究者による既存の枠組みにとらわれない自由で挑戦的・融合的な多様な研究を、研究者が研究に専念できる環境を確保しつつ長期的に支援する。

銅同位体から「ミックス照射」 1つの薬で画像診断も可能に

がんは日本人の2人に1人がかかる病気である。がんの主な治療法には、手術、薬物治療、放射線治療がある。このうち放射線治療では、細胞中のDNAに傷をつける放射線を照射して、がん細胞を攻撃する。現在の放射線治療では、体の外からX線を当てる外部照射という方法がよく行われている。しかし、正常な細胞にもダメージを与え、副作用が現れることも珍しくない。

外部照射以外にも放射線を使った治療法があり、その1つが「核医学治療」である。核医学治療とは、放射性医薬品と呼ばれる薬剤を体内に投与してがん細胞に届け、集中的に攻撃するというものだ。リンクメッドの吉井幸恵代表取締役社長は、日本発の放射性医薬品の実用化を目指し、日々奔走している。

吉井さんが研究開発を進めているのが、銅の放射性同位体 ^{64}Cu である。質量数が64の ^{64}Cu は、いくつかある放射線のうち、ベータ線とオージェ電子という粒子線を放出する

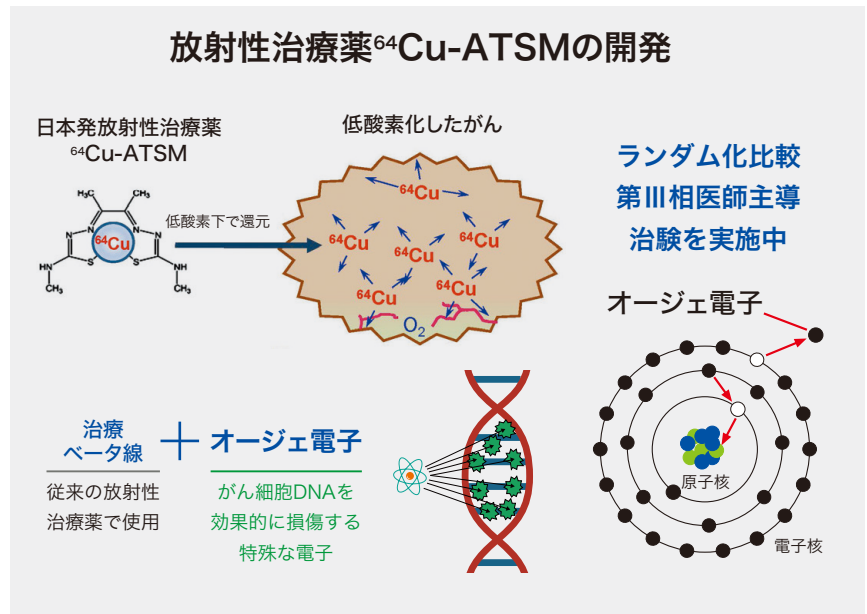


図2 患者に静脈投与した ^{64}Cu -ATSMは、がん組織に特徴的な低酸素環境で ^{64}Cu を切り離し、患部に集積する。実際に、悪性脳腫瘍の増殖を抑制し、生存率が改善することを非臨床試験で確認済みである。

(図1)。ベータ線は、体内で細胞数百個分にあたる数ミリメートルの距離を飛ばす。それに対してオージェ電子の飛距離は細胞1個分にも満たないが、DNAを切断する性質が非常に高いという特徴がある。ベータ線とオージェ電子の2つの放射線を当てることを、吉井さんは「ミックス照射」と呼んでいる。「飛距離とエネルギー量が違うミックス照射をすることで、悪性脳腫瘍など治りにくいがんに対して効果があると考え

ています」。

現在、放射性医薬品として ^{64}Cu の承認に向けて、悪性脳腫瘍の中で最も治療が難しい「悪性神経膠腫」を対象としたランダム化比較第III相医師主導治験を国立がん研究センター、神奈川県立がんセンターと共同で進めており、薬品承認に向けた最終段階である。悪性脳腫瘍は抗がん剤が届きにくいだけでなく、患部中に酸素が少ない状態になり、体外から放射線を当てる外部照射が効きにくいという課題がある。そこで吉井さんは、悪性脳腫瘍に ^{64}Cu が届くよう、ATSMと錯体を形成させた低分子化合物「 ^{64}Cu -ATSM」を体内に投与する治療法を開発。「ATSMは低酸素環境で ^{64}Cu を切り離す性質があるため、脳の奥深くの腫瘍でもベータ線とオージェ電子によってがん組織を攻撃できます」と解説する(図2)。

また、 ^{64}Cu は陽電子という粒子を放出する性質もあり、陽電子放射断層撮影(PET)検査で、画像診断で可視化できる性質もある。つまり、薬

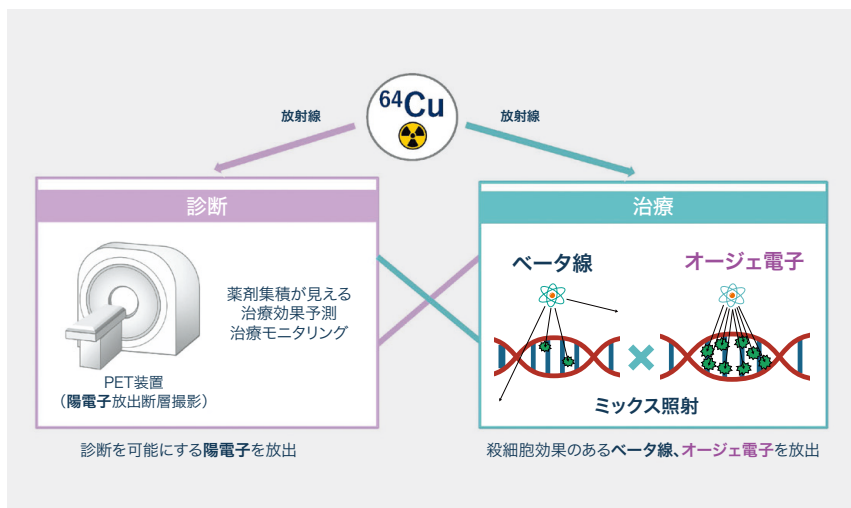


図1 ^{64}Cu を使えば、PET検査で患部にどれぐらい薬が集積しているのかを画像で確認できる。また、飛距離が長いベータ線と飛距離が短くDNAへの攻撃力が高いオージェ電子を組み合わせることで効果的ながん治療が見込める。

剤の動きを体外から追跡できるといことだ。現在のがん治療薬は、がんが届いているかを確認することが難しいが、 ^{64}Cu を使えば1つの薬で診断と治療の両方が可能になる。これが、吉井さんが掲げる「革新的な『見える』がん治療」というキーフレーズにつながっている。

START事業の支援受け起業 「運べる」千葉に工場建設

吉井さんが ^{64}Cu と出会ったのは、2000年代に福井大学で生物学の研究をしていた時だった。当時は低酸素環境で生きる原始生命の代謝を研究していたが、指導教官から「がん細胞も低酸素環境で生きている」と聞き、自分の研究ががん治療に応用できるかもしれないと衝撃を受けたという。そのころ、同大の高エネルギー医学研究センターでは ^{64}Cu -ATSMを使ったPET画像診断の研究が行われており、この物質を活用すれば低酸素環境

にあるがんを可視化し、治療ができると考え、研究を開始した。

放射性医薬品開発に向けてさまざまな試験を実施し開発を進めてきたが、ヒト臨床試験に進むにあたり懸念となったのが、生産体制だった。 ^{64}Cu は、ニッケルに陽子ビームを当てて作る。初めは研究施設で1つ1つ作成していたが、実用化のためには生産工場を持つ企業の力が必要になる。吉井さんは複数の企業に相談したものの、なかなか前向きな返事はもらえなかったという。

「ならば、一番の専門家である自分がやるしかないと思い、起業を決意しました」。そこで吉井さんが応募したのが、JSTのSTARTプロジェクト支援型（現・プロジェクト推進型起業実証支援）だった。起業実証支援では大学等発のスタートアップ企業設立を目指し、事業化ノウハウを持つ事業プロモーターによる支援を受けられる。採択後、この事業プロモーターとの出会いが転機になったという。「悪性脳腫瘍は治

療が難しいからこそ、最先端の科学技術でトライする価値があると言葉をかけていただき、とても勇気づけられました」と振り返る。

また、事業プロモーターのアドバイスを受け、プレゼンテーションのスタイルも工夫するようになった。学会の研究発表では成果を理論的に説明することが求められるが、必ずしもそのスタイルが投資家の心を動かすとは限らない。「こんな世の中になったらうれしいよね、と聞いた人を感動させるような工夫をするように心がけています」。

その後、吉井さんは千葉県のビジネスコンテスト「CHIBAビジコン2021」で千葉県知事賞を受賞（図3）。このコンテストで出会った方から出資を受けたことを機に2022年にリンクメッドを設立し、予定よりも早く起業実証支援を卒業した。現在、千葉県に工場を建設中だ。「当時所属していた量子科学技術研究開発機構の研究所が千葉にあったので、地元のビジネスコンテストに応募しました。 ^{64}Cu の半減期は13時間であるため、オーダーメイドで作って患者さんに直接届ける必要があります。治療薬を迅速に運ぶために、空港が近い千葉県は今振り返るとぴったりの場所でした」と吉井さんは笑う。

がん特性に合わせ個別医療 人のつながり社名に込める

現在、吉井さんはリンクメッドを経営しながら、JSTの創発的研究支援事業において ^{64}Cu の未知なる領域の研究にまい進している。 ^{64}Cu はATSMだけでなく、さまざまな分子に結合させることで、複数種類のが



図3 吉井さんは「CHIBAビジコン2021」の千葉県知事賞の他にも、JSTと新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が主催する「大学発ベンチャー表彰2024」の大学発ベンチャー表彰特別賞を受賞している。

んに対応できる可能性がある。東京大学アイソトープ総合センターに研究室を設け、⁶⁴Cuの新たな可能性を模索し破壊的イノベーションの創出を目指している。

がん組織は、がんによって変異している遺伝子が異なれば、がんの特性や薬の効き方も変わる。患者から採取したがん検体をマウスに移植し、どうすれば⁶⁴Cuをよりがん組織に届けやすく、効果を発揮しやすくなるのか、検討を進めている。「患者さん由来のがん検体を使うことで、がんの特性に合わせた個別化医療につながります。その前段階としての動物実験を実施しているところ です」。

創発的研究支援事業で大切にしていることは、多くの研究者との交流だと話す吉井さん。「私が所属するパネルには、幅広い医学分野の研究者が所属しています。その方々と議論することで、全く予想しなかった研究の方向性が生まれることがあります。研究、技術、臨床など、立場の違う人たちが集まって初めて物事は成功するものだと思います」。

パネルを統括するプログラムオフィサーにも励まされたと語る吉井さん。「起業やこれからの自分が研究者としてどう進むべきか悩んでいた時に、いつも背中を押してくれました」と語る。立ち上げたリンクメッドの社名に「リンク」が入っているのは、こうした人々のつながりを信じているからだという。会社のモットーは「Link for life」。最先端科学と患者・医師をつなぎ、新しい医療を創成することを目指し、社名に思いを込めている。

モダリティ	適応症	探索研究	非臨床	臨床		
				第Ⅰ相	第Ⅱ相	第Ⅲ相
低分子	悪性神経膠腫					
	転移性脳腫瘍／PCNSL／髄膜腫					
	固形がん					
抗体	膵がん(診断)					
	膵がん(治療)					
	固形がん					
低分子	胆管がん					

図4 ⁶⁴Cuを用いた試験の進行状況。

臨床試験後は海外展開も視野に 研究も経営も本に答えはない

吉井さんの目の下の目標は、⁶⁴Cu-ATSMの第III相臨床試験をクリアし、放射性医薬品として承認を得ることだ(図4)。将来的には海外にも展開し、⁶⁴Cuを用いた「見える」がん治療を世界中の患者に届けたいと考えている。

他社との共同研究にも意欲的だ。リンクメッドでは、自社のみでパイプラインの開発を進めるのではなく、他社が持つ抗体やペプチドを使って、新しい治療薬を開発できないか、日々検討を行っているという。自社開発と共同研究の両輪で研究を進めるビジネスモデルを、吉井さんは「ハイブリッドモデル」と呼んでいる。

研究者と経営者の二足のわらじを

履く吉井さんは「どうやって研究者から経営者にもなったのか」とよく聞かれるそうだが、吉井さんの中では研究もビジネスも一緒だという。「研究もビジネスも、本の中に答えはありません。仮説を立てて検証し、次に進んでいくというステップは共通していることに気づき、これなら研究者の自分でもビジネスができると思いました」。研究では考えられる選択肢を全て検証できる一方で、ビジネスでは最適な選択肢を選ぶという違いはあるものの、自分の中でも何も変わっていないと、研究者としてのスタイルを貫いている。

取材中、よく笑うことが印象的だった吉井さん。周囲を巻き込みながら、日本発の放射性医薬品の実用化を目指し、これからも突き進む。

(TEXT:島田祥輔、PHOTO:島本絵梨佳)



研究とビジネスでは垣根を感じることがあると思います。しかし、科学技術が進展して多くの人が助かり、国が豊かになるのなら、垣根を気にしている場合ではありません。垣根を乗り越え、多くの人と交流することが大切です。

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21回は、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センターの天谷賢児センター長や桐生市の島田良明課長補佐らが開発・運用に関わっている低速電動バスの地域実装の取り組みを紹介する。高齢化や公共交通サービスの縮小といった地域課題を解決することで、持続可能なまちづくりを下支えしている。

天谷 賢児(左)

Amagai Kenji

島田 良明(右)

Shimada Yoshiaki

群馬大学 次世代モビリティ
社会実装研究センター
センター長／教授

桐生市
産業経済部 商工振興課
課長補佐

低速電動バスが導く持続可能なまちづくり 高齢化や公共交通縮小の地域課題に挑む

CO₂排ガスの削減目指す 流体力学の知見がお役立ち

古くから織物の町として栄えてきた群馬県桐生市。昔の織物工場や土蔵など絹織物に関わる建造物が多く見られ、市の一部は国の重要伝統的建造物群保存地区に選定されている。この趣ある町並みをゆっくりと走るのが「MAYU」の愛称で親しまれる低速電動バスだ。このバスは、単なる移動手段としてだけでなく、地域の新しいコミュニケーション手段の1つとしても期待されている。

バスの開発は、脱炭素に取り組みながら地域の活性化を目指す、2008年に採択されたJST社会技術研究開発センター(RISTEX)のプロジェク

トからスタートした。当初からこのプロジェクトに携わっていた群馬大学の天谷賢児教授は「プロジェクトではさまざまな二酸化炭素(CO₂)削減策を検討・実施しましたが、その中心となったのがCO₂の削減効果が大きい低速電動バスの開発でした」と振り返る。さらに、桐生市では住民の高齢化や人口減少といった地域課題もあり、バスはそれらの解決にもつながる手段だったという。

現在は次世代モビリティ社会実装研究センター長を務める天谷さんだが、元々の専門は環境流体力学。一見、スローモビリティとは無関係に思えるが、流体力学には交通の流れを研究する「交通流」という分野があり、その知見が低速で走るバスが周りに与える影響を調べるのに役立っている。「今は交通流のシミュ

レーターを使った実験も進めています。今後このバスを導入したいという地域にとって、シミュレーションで低速走行の影響を検証できるのは大きなメリットです」。

乗客の会話が弾む対面式座席 企業やSSH校、住民らも協働

2011年に電気自動車メーカーのシンクトゥギャザー社(桐生市)が開発した10人乗りの低速電動バスeCOM-8は、通常の路線バスとは異なる特長を備えている(図1)。最高速度は時速19キロメートルと非常にゆっくりで安全性が高い。また、側面には窓ガラスがない。天谷さんは「暑さや寒さなど周囲の環境を直接感じられるようなものにした」と、概念設計を行いました」と説明する。技術面では、タイヤとモーターをユニット化したインホイールモーターを開発。高齢者が乗りやすい低床化を実現できた。大人2人で付け替えられるほど軽量の、交換式のバッテリーも新たに開発。フル充電すれば市内40キロメートルを走行することが可能だ。



図1 鮮やかな色の車体が目を引く「MAYU」。計5台ある車体管理は桐生再生社が担っている。eCOM-8の改良型であるeCOM-8²(右)は、営業車両の登録ができるように車内の寸法を調整したほか、将来的に自動運転することも想定し、必要なカメラを取り付けるためのスペースも用意している。

もう1つ、このバスには大きな特長がある。それは、乗客同士のコミュニケーションを促す機能があることだ。設計段階からコミュニケーションが取れる空間を目指して座席を対面式にしていたが、実際に運行してみると予想以上に会話が弾んだという。座席間の距離や配置には、空間配置がコミュニケーションや人間関係に与える影響を研究する「近接学」の知見が生かされている(図2)。



図2 車内では自然と乗客同士の会話が生まれる効果もあるという。2025年度は実際に会話の質と量を調査し、科学的に分析する予定だ。

2016年の運行実験の際には、乗車しない人までバス停に集まり会話をし楽しむ光景も見られ、バスをきっかけにしたコミュニケーション活性化という相乗効果も生まれたそうだ。

低速電動バスで地域課題を解決するという取り組み全体に目を向けると、大学や市だけでなく、複数の企業やスーパーサイエンスハイスクール(SSH)指定校の群馬県立桐生高等学校などが協働していることも大きな特長だ。また、天谷さんが主導し桐生市や地元企業、各種団体などが自由に参加できる会議を、月に1回程度でこれまでに100回近く開催。地域創生に携わる人たちが集まり、情報を共有・交換している。

「MAYU」が桐生市に登場して10年以上が経った。現在は、無料バスとして週末に市内の歴史的建造物や遊園地・動物園を含む3つの観

光コースを走っているほか、地域のイベントなどにも貸し出している。また、住民らが運行設計に携わり、病院や商店など行きたい場所を調整しながら走らせる実証実験も続けている。

大学連携推進担当(当時)として、群馬大学と共に長く取り組んできた桐生市役所の島田良明課長補佐は「当初は、低速電動バスが交通の障害物扱いされるのではという懸念もありました」と語る。しかし、桐生市民にとって群馬大学は自分たちの地元の大学という意識が強く、大学と地域で作ったバスであるという意識がある。大学が関わるバスの取り組みに協力的で、応援もしてくれているという。

評価されて全国20カ所に導入 課題は持続性確保、模索続く

2024年10月には、科学技術・イノベーションによって社会課題を解決する取り組みをJSTが表彰する「STI for SDGs」アワードの優秀賞を受賞。地域に根差した住民の新しい交通手段であり、コミュニケーションツールでもある低速電動バスを活用した地域活性化の取り組みは、各方面から評価されている。また、このバスは富山県黒部市の宇奈月温泉など全国約20カ所にも導入されている(図3)。

ただ、バスの地域実装には課題もある。天谷さんが最大の課題と指摘するのは、持続性の確保だ。現在は行政の支援とレンタカー事業などで成り立っているが、行政の支援なしに公共交通のように日々運用することは、経済的に難しいという。そこで解決策の1つとして講習を実

低速電動バスを導入している地域	
群馬県	桐生市
	みなかみ町
	玉村町
	前橋市
	富岡市
富山県	黒部市
	富山市
千葉県	野田市
	四街道市
大分県	由布市
	大分市
東京都	豊島区
宮崎県	宮崎市
静岡県	沼津市
茨城県	日立市
栃木県	日光市
岩手県	陸前高田市
神奈川県	横浜市
北海道	登別市

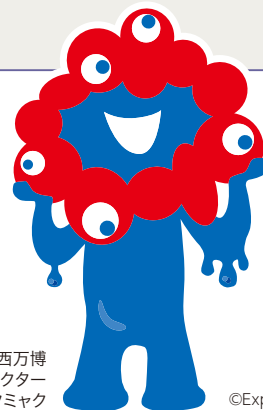
図3 導入にあたっては、必ず実証実験を行い住民から受け入れられる環境を整える必要がある。天谷さんは、導入した地域同士で情報交換したいと考えていて、今後はシンポジウムの開催なども検討中だ。

施して住民が運転手を担う取り組みを進めているほか、通院用の乗り合いバスとして利用するなど1台のバスをさまざまに活用することなども検討している。

どのような方法が最善なのかまだ結論は出ていないとしながらも、1つの方向性として「ゆるく続ける」という方法があるかもしれないと話す天谷さん。旅客運送事業として常に決まった時間に走るのではなく、例えば住民の合意のもと、ある程度自由に運行する。自分たちで制御できる範囲で管理を行うことで、長く続けられるのではないかと考えている。

島田さんによると、桐生市はこれまでの価値観を転換し、ゆっくりした時間の中で人々が触れ合う社会を理想とする「ゆっくりリズムのまちづくり」を提唱していて、その中ではバスの活用も位置付けられているという。利便性の追求だけではない、新たな価値とは何かを探りながら、低速電動バスの地域実装と課題解決の模索はこれからも続いていく。

(TEXT:肥後紀子、PHOTO:島本絵梨佳)



大阪・関西万博
公式キャラクター
ミヤクミヤク

©Expo 2025

大阪・関西万博で未来社会を体験・体感 「フューチャーライフエクスペリエンス (FLE)」にて期間展示

25年後の未来に向けた「ムーンショット型研究開発制度」の研究開発の現状を紹介する「ムーンショットパーク」が、この夏、大阪・関西万博に出現。JSTのムーンショット型研究開発事業部では、研究者の協力を得て、体験・体感型の展示を行います。

▶ 見どころ紹介

2050年の未来社会に向けた多彩なテーマを、入れ替わりで展示します。身体能力を拡張するサイバネティック・アバターや健康を見守る最先端技術、ロボットとの共生、量子コンピューター、フュージョンエネルギー、気象制御技術、地球温暖化や食料問題の解決など、革新的な研究開発を体験し、学べる場です。ゲームや体験型アクティビティーを通して、未来の暮らしを想像しながら、自分らしい未来像を描いてみませんか？ 技術と共創する新たな時代と一緒に探求しましょう。

▶ 展示概要

日 時	7月23日(水)～9月15日(月) 10:00～21:00 20:30 入場終了 展示入れ替えなどのため休館日があります。また、都合により閉館時間が早まる場合があります。午前中に内閣府が企画する見学イベントが実施される際、入館をお待ちいただく場合があります。	大阪・関西万博 全景図 ムーンショットパーク
会 場	大阪・関西万博 Future Life Village内 フューチャーライフエクスペリエンス期間展示会場 (フューチャーライフゾーン)	
展示主体	内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局	提供:2025年日本国際博覧会協会 画像はイメージです。無断転載・複製禁止。 2025年日本国際博覧会協会提供画像を加工して作成。
実施主体	科学技術振興機構 (JST)、 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、 生物系特定産業技術研究支援センター (BRAIN)、 日本医療研究開発機構 (AMED)	

会場展示以外に楽しいステージイベントも。
最新の情報は、内閣府のウェブページで
ご確認ください。

<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/expo2025/exhibition.html>

同時開催予定 アバターを操作して、メタバース空間で10のムーンショット目標について学べる「MOONSHOT Academy」も、同時公開予定です。

▶ 展示スケジュール

展示期間	展示タイトル	担当
7月23日～7月28日	「Cybernetic being life in 2050」～身体的共創が生み出す未来社会～	目標1 南澤孝太プロジェクト
	生体内サイバネティック・アバターと歩む未来の健康社会	目標1 新井史人プロジェクト
	慢性炎症ハンターズ～100歳まで健康に生きられる未来へ～	目標7 AMED
7月30日～8月4日	「Cybernetic being life in 2050」～身体的共創が生み出す未来社会～	目標1 南澤孝太プロジェクト
	挑戦を後押しする未来のロボットパートナー	目標3 平田泰久プロジェクト
	ようこそ！ロボットと共に歩む2050年の未来へ	目標3 下田真吾プロジェクト
8月6日～8月11日	ロボットに触れて、人・ロボット共生社会を体験しよう	目標3 菅野重樹プロジェクト
	街中に溶け込んだ未来の健康診断を体験しよう	目標2 片桐秀樹プロジェクト
	きみなら、月にどんな未来を描く？	目標3 吉田和哉プロジェクト
	量子コンピューターってどんなもの？	目標6 JST
	フュージョンエネルギーで実現する未来社会を考えよう	目標10 JST
8月13日～8月18日	ロボットに触れて、人・ロボット共生社会を体験しよう	目標3 菅野重樹プロジェクト
	脳波で、こころの中をのぞいてみよう	目標9 筒井健一郎プロジェクト
	アバターランドで楽しもう！～サイバネティック・アバターと共に生きる未来社会～	目標1 石黒浩プロジェクト
8月20日～8月31日	脳波でゲームをコントロール！ ブレインピック体験	目標1 金井良太プロジェクト
	未来のてるてる坊主ってどんなカタチ？	目標8 山口弘誠プロジェクト
	台風を脅威から恵に	目標8 筆保弘徳プロジェクト
9月2日～9月15日	未来の地球は変えられる！～技術の力で解決しよう(温暖化や食料問題)～	目標4 NEDO、目標5 BRAIN

※ムーンショット目標1/2/3/6/8/9/10をJSTが担当 ※PD:プログラムディレクター

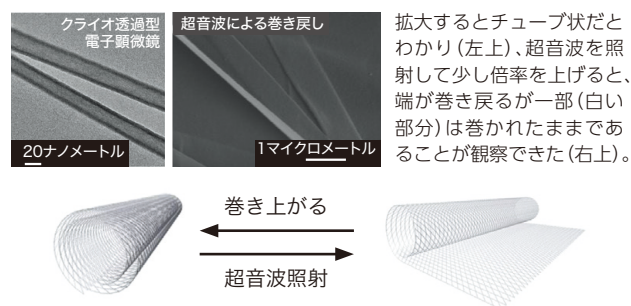
2次元COFを巻き上げてナノチューブ形成 世界最高レベルのプロトン伝導性を確認

共有結合性有機構造体(COF)は2005年に初めて報告された新材料であり、近年研究が進んでいます。有機分子が共有結合でつながった2次元あるいは3次元の結晶性材料であり、多数の微細な穴を持つことから、触媒やバッテリー材料、ガス吸着などさまざまな分野で応用が検討されています。COFでナノチューブ構造を形成できれば、1次元性に起因する特徴的な性質が現れると考えられますが、これまで同構造を得た例は非常に限られていました。

京都大学大学院工学研究科の関修平教授らの研究チームは今回、ピレン($C_{16}H_{10}$)の炭素原子のうち2カ所を窒素原子で置換したジアザピレンと呼ばれる有機分子を骨格とする2次元シート状のCOFが、2つの液体の境界で自発的に巻き上がることで1次元ナノチューブ状の構造になることを見つめました。さらに、このナノチューブを分散した液体に超音波を当てると、巻き上がったナノチューブ構造から元のシート構造に戻ることを確認。併せて、同ナノチューブのプロトン(水素イオン)の伝導特性を評価し、世界最高

レベルの伝導性を示すことを明らかにしました。

研究チームはこれまでにジアザピレンで、平面に近い構造を持つCOFを形成することに取り組んできました。今回、COFを合成する際に、使用する溶媒の比率と温度を変更すると、シートとは決定的に異なる構造になることを発見。そのままでは「COF合成の失敗作」として見逃してしまうところを、合成した物質の超微細構造を詳細に追跡し、1次元のナノチューブになっていることを突き止めました。同ナノチューブは、共有結合による高い安定性を持つと同時に、電子・プロトン伝導性が共に極めて高いことから、膜やグリーンエネルギー材料など、さまざまな場面での利用が期待されます。(TEXT：中條将典)



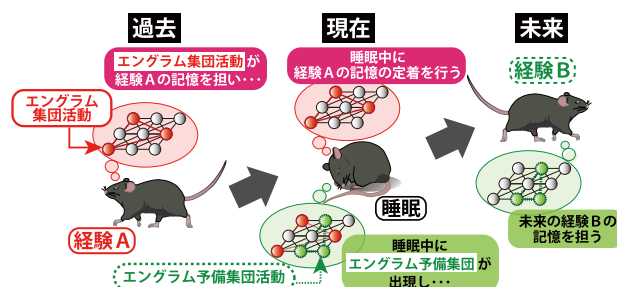
睡眠中の脳は「未来の記憶」に備える 潜在的な能力を引き出せば、記憶力向上も

睡眠と記憶の関連を調べたこれまでの研究から、記憶は「エンGRAM細胞集団」と呼ばれる記憶を担う神経細胞集団が経験をした後の睡眠中の再活動によって定着することがわかっています。富山大学学術研究部医学系の井ノ口馨卓越教授らの研究チームは、神経細胞の活動を光で観測する独自技術を使って、脳内で記憶をつかさどる領域である海馬の細胞集団が、新しい出来事の経験中やその前後の睡眠中にどのような活動をしているのかをマウスで観測。睡眠中に、過去の記憶の定着と、未来の記憶を獲得する準備という2つのプロセスが並行して進行していることを明らかにしました。

研究チームは、新しい空間Aにマウスを置いて探索させ、その翌日、睡眠から覚めたマウスに空間Aを再経験させた後、新しい空間Bを探索させて、その前後の睡眠中に海馬の中の細胞集団がどのような活動をするかを調べました。すると、未来の経験の記憶を担う「エンGRAM予備細胞集団」が、その経験をする前の睡眠中に既に脳内に準備され

ていることがわかりました。さらに、同予備細胞集団は、前の経験を記憶した後の睡眠中に、その記憶のエンGRAM細胞集団と同時に活動して出現することも判明しました。

同チームは続いて、神経回路モデルによるシミュレーションを実行。エンGRAM予備細胞集団が出現するためには、前の記憶のエンGRAM細胞の再活動の影響を受けてそれ以外の細胞で起こる睡眠中のシナプスの変化が重要であることも示しました。睡眠中の脳が日々の記憶を秩序立てて獲得する仕組みが明らかになったことで、睡眠中の脳活動や睡眠法への介入によって、脳の潜在的な能力をより引き出せば、記憶力を向上させる方法につながることも期待されます。(TEXT：中條将典)



植物が免疫系を活性化する仕組みを解明 雨による病害発生を抑える農法の開発へ



趣味は登山で、昨年から雪山にも挑戦しています。厳冬期のハヶ岳連峰の硫黄岳(長野県)に登頂した時の写真です。

Q1 研究者を目指したきっかけは？

A1 授業で生物の面白さを感じた

私は鹿児島県の大隅半島東側にあり、自然豊かな^{きもつきぐん}肝属郡で育ちました。植物や畑に囲まれていたおかげで、生き物全般に興味を持ちました。高校で生物を学ぶうちに、幼少期から抱いていたさまざまな疑問が解消されていくことに面白さを感じました。

大学受験の時に、学部の方に大学院があることを知り、より深く勉強をしたいと考えるようになりました。大学進学後、学部時代から今まで一貫して同じ分野の研究をしています。学部生の時に、細胞が自ら死ぬことで最後の役目を果たそうとする細胞死に興味を持ち、植物にも同様の作用である「免疫応答」があることを知りました。

植物は自分では動けないため、常に外界の脅威にさらされていますが、身を守って生きようとする力を備えていることに驚き、面白いと感じました。当時、香川大学に着任した多田安

臣教授が植物の免疫を研究していることを知って研究室に入り、今も多田先生の元で研究を続けています。

野元 美佳
Nomoto Mika

日々は鍛錬

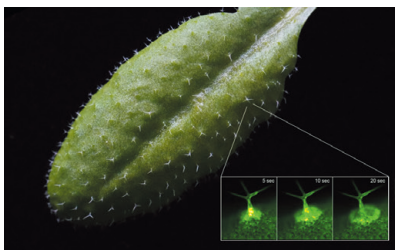
Q2 現在取り組んでいる研究は？

A2 植物は葉への刺激で感染防除

現在は、シロイヌナズナを材料に植物が雨を感知して免疫系を活性化させる仕組みを研究しています。雨は植物の成長に不可欠ですが、雨水に含まれる病原菌に感染する原因にもなります。そこで植物は感染リスクに備えて、雨に打たれると免疫系を活性化させることで、菌が侵入してきた際に早く、強く戦えるようにしています。

私はこの反応が、単に水に濡れたからではなく、雨が葉に当たるといった機械的刺激によって起こることを明らかにしました。葉の表面にある「トライコーム」と呼ばれる毛が雨によって曲がると、カルシウムイオン濃度の上昇が同心円状に広がり、免疫系を活性化して病原菌の感染を防除しているのです。

こうした免疫応答の仕組みを解明することで、従来の農薬を使わなくても、



シロイヌナズナの葉の表面にある250マイクロメートルほどのトライコームが雨の機械的刺激を感じ、カルシウムの流入(緑色に光っている部分)を介して免疫系を活性化させます。

名古屋大学 遺伝子実験施設 講師
鹿児島県出身。2018年名古屋大学大学院理学研究科生命理学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員、名古屋大学遺伝子実験施設助教を経て、23年より現職。16年に同大学発のベンチャー企業「NUProtein」を設立。22年よりさきがけ研究者。

雨に伴う病害を抑制する農法を開発できる可能性があります。私は農家の多い地域で育ったこともあり、この研究がゆくゆくは病気に強い作物の開発につながればと思っています。

Q3 研究者を目指す人にメッセージを

A3 自信と挑戦心を持ち、客観的に

これから研究者を目指す人には、自分に限界を設けずに挑戦し続けてほしいです。私は博士課程の時、実験に使うたんぱく質を合成する試薬を開発しました。初めは自分の研究のために開発していた技術が多くの人役に立つと知り、それを販売する会社を設立し、研究の成果によってはビジネスにつながることを知って、将来の選択肢が広がりました。「できたらいいのに」でとどまらず、自分で新しい手法を追求してみる姿勢が重要だと気づきました。

研究は1人ではできません。人脈を作り、お互いに助け合う必要があります。学生に教える中でも、一方的に指示を出すのではなく、お互いを尊重しながら信頼関係を築き、日々のコミュニケーションを大切にすることで、物事が円滑に進むと実感しています。

私たちを取り巻く環境は日々変化し、あっという間に世界の研究は先に進んでいきます。そのため、毎日コツコツと取り組み、常に新しい知識を得て戦えるよう、自分自身をアップデートしていくことが大事だと感じています。

(TEXT: 畑邊康浩)

