

# JSTnews

未来をひらく科学技術

2023

1

January

特集

CO<sub>2</sub>から有用物質を生産し  
低炭素社会実現へ



## 03 — 新年のごあいさつ

04 — 特集 CO<sub>2</sub>から有用物質を生産し低炭素社会実現へ  
「バイオものづくり」が導く  
低炭素社会06 — 好熱性微生物の発酵を利用し  
アセトン合成08 — 「温泉」と「海」で挑む  
微細藻類の培養法確立10 — AIと代謝工学を組み合わせ  
生産株開発を加速12 — 連載 どうやって実現する? 明るく豊かなゼロエミッション社会  
第7回 情報化社会の進展とエネルギー消費

## 14 — NEWS &amp; TOPICS

◆ 世界一軽量で小型な  
1GHz超のNMR装置◆ 脾がんによる  
体重減少のメカニズムを解明

ほか

## 16 — さきがける科学人

アジアの科学技術動向を正確に発信  
魅力とポテンシャルを伝えたい!!JST アジア・太平洋総合研究センター(APRC)  
フェロー

松田 侑奈

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.16



▶ P.4, P.12, P.16



▶ P.4, P.12, P.14上



▶ P.4, P.12



▶ P.16

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。



2022年4月に理事長に就任し、初めての新年を迎えることとなりました。新型コロナウイルス感染症は日本、そして世界に多大な影響を及ぼしてきましたが、徐々に明るい兆しが見えてきました。一方、昨年は国際・経済社会にとって激動の1年となりました。復興と変革が求められる状況の中、科学技術・イノベーションへの期待はより一層高まっています。JSTが日本の科学技術・イノベーションの中核として、期待される役割をしっかりと果たせるよう、JST一丸となって取り組んでまいります。

その礎となるファンディングプログラムについては、10年後のあるべき姿を見据え、第一線の研究者の皆様方にもご協力をいただきつつ、より効果的なものとなるよう改革を進めていきます。さらには取り組みを

一層充実したものとするため、新たな人事制度を設け、研究マネジメントに関わる人材層を登用するなど、組織としての研究マネジメント力の強化を図ります。

また、大学ファンドや創発的研究の推進といった若手研究者の育成・活躍促進に向けた新たな事業などにも全力を尽くしております。そして、日本が国際社会において今以上に強いイニシアティブを発揮し、世界的な課題解決に貢献していくため、新たな2つの取り組みを開始します。

1点目は国際共同研究の推進です。国際秩序の変革と混乱の中、科学技術・イノベーション分野における日本への期待は非常に高まっています。この期待に応えるためには、先進国との間で、最先端の分野や技術開発につながる情報を取得できるネットワークを構築するとともに、次世

代のトップ研究者を育成し、世界の流れから取り残されない強固な仕組みを設けることが必要となります。国際共同研究を通じて、先進国のトップ研究者同士を結び付け、国内外研究者の知の循環を推進していきます。

2点目は革新的なグリーントランスフォーメーション(GX)技術の推進です。2050年のカーボンニュートラル実現に向け、革新的なGX技術の開発を抜本的に強化することが不可欠です。日本の強みであるアカデミアによる基礎研究力の蓄積と高いポテンシャルを生かし、オールジャパンでの研究体制を構築し、企業などにおける技術開発や社会実装と緊密な連携や協働を進めながら、研究開発を図ってまいります。

本年も皆様の引き続きのご支援、ご協力をお願い申し上げます。

令和5年1月

橋本 和正

低炭素社会と持続的な経済成長を両立するためには、全く新しい概念や科学に基づいた革新的な「ゲームチェンジングテクノロジー」が不可欠だ。その1つとして近年注目が高まっているのが、バイオテクノロジーで二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)から有用物質を生産する「バイオものづくり」だ。2017年より「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域の研究開発運営会議委員を務める神戸大学の近藤昭彦副学長に、バイオものづくりによるエネルギーや有用物質供給の可能性について聞いた。

# 「バイオものづくり」が導く 低炭素社会

近藤 昭彦 Kondo Akihiko

神戸大学 副学長／大学院科学技術イノベーション研究科 教授  
2017年より「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域 研究開発運営会議委員

## 化石燃料への依存から脱却 合成生物学の強みを生かす

CO<sub>2</sub>の実質排出量ゼロを目指す「カーボンニュートラル」は、今や世界的な潮流となっている。水素(H<sub>2</sub>)や自然エネルギー、バイオマスなどさまざまな代替エネルギーが提唱される中、JSTでは2017年に未来社

会創造事業で「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域を立ち上げ、CO<sub>2</sub>を抜本的に削減するエネルギーの安定的な確保やエネルギー利用の効率化に向けてゲームチェンジングな研究開発に取り組んでいる(図1)。

この領域でバイオテクノロジー分野の研究開発運営会議委員を務めるのは、神戸大学の近藤昭彦副学長だ。

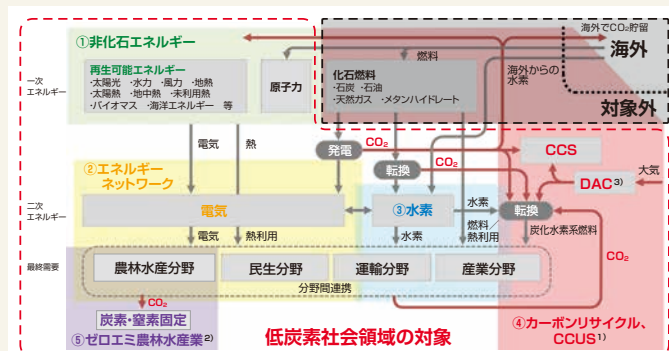
近藤さんは「合成生物学」を専門とし、動植物から生まれた生物資源であるバイオマスを原料に、化石燃料に替わる次世代燃料やプラスチック、繊維、ファインケミカルなどを製造するバイオリファ

イナリー技術の研究に取り組んできた。「工場から出るCO<sub>2</sub>は悪者とされていますが、CO<sub>2</sub>から直接有用物質を作ることができれば、状況は一変します。それを可能にするのが、合成生物学です」と話す。

バイオプロセスによるものづくりは、古くから行われてきた酵母を使った発酵食品などがすぐに思い浮かぶことだろう。また、医療・ヘルスケアの分野でも、以前から微生物や植物を利用した医薬品の開発、再生医療や細胞治療などの形で行われてきた。こうした従来にはない高付加価値なものを生み出すバイオプロセスを生かすことで、CO<sub>2</sub>を減らす、特に石油やガスといった化石燃料への依存から脱却してエネルギー供給や食料、物質生産などを行う研究開発が世界的に急務の課題となっている。

食料分野を例に取れば、餌となる牧草やトウモロコシを生産する際の温室効果ガス排出量が多いために、牛肉が畜産業の中でも最も多く

図1 イノベーション・アクションプランにおける5つの重点技術領域と低炭素社会領域の対象



出典:「革新的環境イノベーション戦略」統合イノベーション戦略推進会議決定より抜粋



温室効果ガスを排出すると言われて  
いる。耕作地も限られる中、世界人口  
の増加に併せて、人類が必要とする  
たんぱく質をいかに効率的に低環境  
負荷で生産するかは、重要な課題だ。  
「合成生物学により、近い将来CO<sub>2</sub>か  
ら直接たんぱく質のような栄養源を  
つくることも可能になり、食料問題  
の解決になると期待されます。この  
『バイオものづくり』は従来の化学合  
成では真似できないことです」と、近  
藤さんは語る(図2)。

## 複数領域をつなげ成果を生む バイオフィアウンドリの導入

微生物を使ってH<sub>2</sub>やCO<sub>2</sub>から有用  
化学物質を作り出すものづくりは、  
低炭素社会の実現に大きく貢献する  
ことは間違いないだろう。これを産  
業として成立させるためには、求め  
る機能を持つ微生物をいかに早く作  
れるかがポイントになる。しかし、目  
的の機能を持つ遺伝子を特定し、遺  
伝子操作するには、10年、20年とい  
う膨大な時間がかかるため、その時  
間を大幅に短縮させる必要がある。  
これを可能にするべく提案された生  
産プロセスが、バイオフィアウンドリ  
だ(図3)。バイオ技術にIT・AI技術、ロ  
ボティクス技術などのデジタル技術  
を融合した研究プラットフォームの  
ことで、DBTLサイクルにより構築  
される。

数万通りの化学反応の組み合わ  
せから、微生物に有用物質を生産  
させるための代謝経路を設計する  
「Design」、設計した代謝経路を微  
生物へ投入し、ロボットを利用して  
低コストに構築する「Build」、構築し  
た微生物を培養して優良微生物を選  
抜、データ収集を行う「Test」、取得  
したデータを基にAIを用いて目的物  
質の生産能力向上に役立つ知識を抽  
出、整理、集積する「Learn」と進み、  
よりよいDesignへ再びつなげる。最  
終的にはTestから生産プロセスの  
開発へと進む。

「バイオフィアウンドリの概念は世  
界的には主導的なものになりつつあ  
りますが、日本は出遅れた感が否め  
ません。日本にはプロフェッショナル  
な個人研究者は多いのですが、研  
究者同士のコラボレーションが動か  
ず、そのためにバイオ産業が進まな  
い現状があります」と近藤さんは課  
題を挙げる。これを解決するのが、バ  
イオフィアウンドリというわけだ。

近藤さんが所属する科学技術イノ  
ベーション研究科では、バイオエタ  
ノール発酵に関するパイロットプ  
ラントを大学内に設置し、実証実験  
を行う他、バイオ医薬品の製造プ  
ラントも稼働している。DNAを切らな  
いゲノム編集技術にも成功した。こ  
れらの技術をもとに、20年3月に神  
戸大学発ベンチャー「バックス・バイ  
オイノベーション」を設立し、アジア

発の商業化バイオフィアウンドリを稼  
働させている。子どもの頃から科学  
が好きで、バイオマスという言葉に  
惹かれたという近藤さん。大学院時  
代は工学部で、化学プロセスをオペ  
レーションするプログラムエンジニ  
アリングを経験したことが、今に役  
立っているという。

バイオフィアウンドリは、いくつか  
の専門領域が連結することで新しい  
ものが生まれるビジョンだが、1つの  
研究室でこの仕組みを作ることは難  
しい。これは研究者にも当てはまる  
観点だ。「ブレイクスルーを起こすに  
は、研究者同士の交流も大事です。例  
えば、未来社会創造事業には難関を  
突破して集まった多彩な研究者がい  
るので、交流会などで研究者同士が  
出会って話をするだけで、共同研究  
など新しい展開が生まれ、大きな成  
果につながっています」と近藤さん  
は話す。

低炭素社会の実現に向けて、これ  
からの研究者に望むのは、夢と情熱  
を持って研究に取り組む姿勢だとい  
う近藤さん。「最近、好奇心旺盛な人  
が減っているように思います。注目  
されている研究に安易に飛びつくの  
ではなく、誰もやっていないことに  
も目を向けて、暗闇にも勇気を持っ  
て突き進む、好奇心と情熱で立ち向  
かって欲しいと思います」と次世代  
の研究者へ期待を寄せる。

(TEXT:伊藤左知子、PHOTO:伊藤彰浩)

図2 バイオものづくりによる産業革命

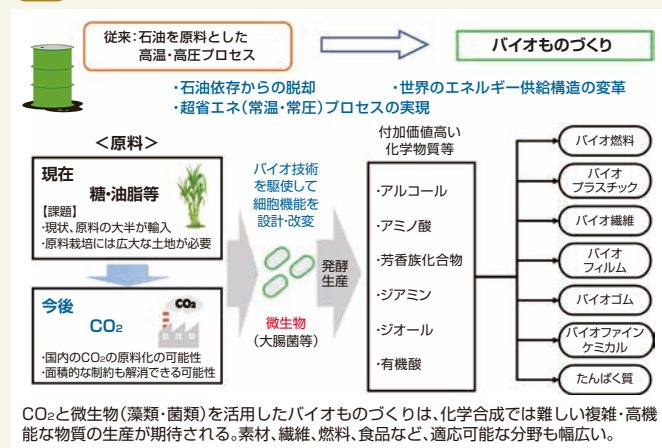
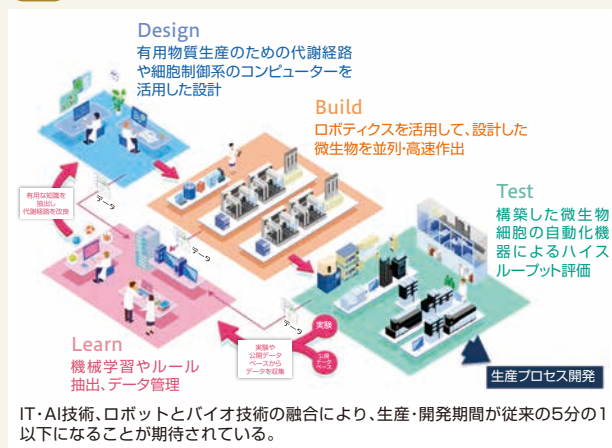


図3 微生物開発を大幅に効率化するバイオフィアウンドリ



低炭素社会の実現には、再生可能エネルギーを利用したカーボンリサイクルの技術が必要である。広島大学大学院統合生命科学研究科の中島田豊教授は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と再生可能エネルギーから生産できる水素(H<sub>2</sub>)や一酸化炭素(CO)の混合ガスである合成ガスから、好熱性微生物の発酵を利用してアセトンなどの有用な化学物質を作る合成ガス発酵技術を開発している。将来的には、化石燃料を使わずに、液体燃料や化成品原料などを製造し、使用後に再び合成ガスに戻す循環型生産プロセスの確立を目指す。

# 好熱性微生物の発酵を利用し アセトン合成

中島田 豊 Nakashimada Yutaka

広島大学 大学院統合生命科学研究科 教授  
2018年度より未来社会創造事業研究開発代表者

## 遺伝子改変で菌株を作成 培養と同時に生成物回収

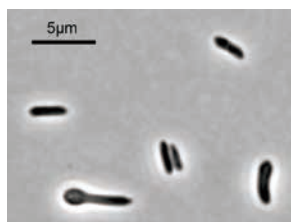
私たちが日常的に使用する製品の多くは、エチレンやプロピレンなどの化石資源から作られる。プラスチック原料や有機溶媒に広く使われるアセトンもその1つだ。従来は化学触媒を使って化石燃料から作られる。製造過程やリサイクルせずに焼却した場合、温室効果ガスのCO<sub>2</sub>を排出する。また、原料となる化石資源は近い将来枯渇するといわれており、資源の面からも、温暖化対策の面からも化石資源を使わないものづくりは重要な課題だ。

「もしCO<sub>2</sub>を原料にアセトンを作ることができれば、有用物質の生産においても脱炭素化につながります」と語るのは、未来社会創造事業「再生可能エネルギーを活用した有用物質高生産微生物デザイン」の研究開発代表を務める広島大学大学院統合生命

科学研究科の中島田豊教授だ。

中島田さんは大学院時代に化学工学を専攻した後、1995年に広島大学の発酵工学の研究室に入り、微生物を使ってバイオマスからエネルギーへ変換するバイオプロセスの技術開発研究に従事するようになった。以来、発酵工学を専門に研究を進めてきた。今回、中島田さんが着目したのは、好熱性ホモ酢酸菌という微生物だ(図1)。

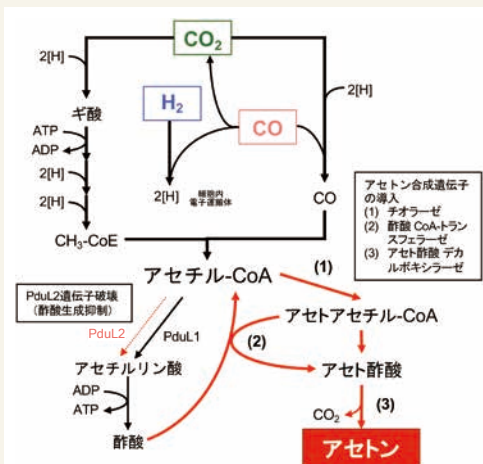
図1 好熱性ホモ酢酸菌



この菌類は高温環境下での増殖性能を持ち、合成ガスから有用物質を生産・回収するのに適している。研究では、この菌の主要生産物である酢酸を、遺伝子組み換え技術によってアセトンに変える試みがなされた。

この好熱性ホモ酢酸菌の全ゲノム配列はわかっていたものの、遺伝子組み換え技術の開発などは全く行われていなかった。本来、同菌は嫌気性で空気に触れると死滅してしまうが、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、COから酢酸を作ること

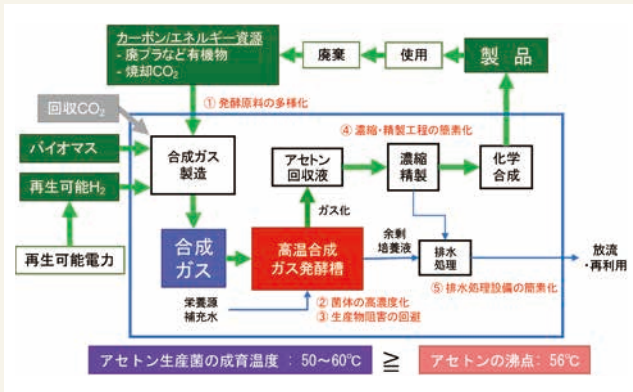
図2 好熱性アセトン生産菌の育種



好熱性ホモ酢酸菌に3つのアセトン合成経路遺伝子を導入するとともに、酢酸生成酵素の1つをつかさどる遺伝子を解除した。これにより、高温環境下でアセトンを生産する好熱性アセトン生産菌を作製した。



図3 発酵/分離を統合した合成ガス高温発酵プロセス



ができる。そこで、中島田さんは09年にA-STEPの支援で開発した遺伝子導入技術を駆使し、アセトン生成酵素の導入、さらに2つある酢酸生成酵素の1つを取り除くことで、酢酸の生成を抑えてアセトンを合成する菌株を作成した(図2)。

バイオマスや廃棄プラスチックなどを水と一緒にいぶす水蒸気改質を行うと、H<sub>2</sub>とCOの混合物である合成ガスができる。H<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>から合成ガスを作る技術もすでに開発されている。好熱性ホモ酢酸菌を使ったバイオプロセスは、この合成ガスを使ってアセトンを作るので、カーボンリサイクル技術といえる。

また、同菌は50~60度で増殖する性質を持つ。アセトンの沸点は56度なので、56度以上にすることでガス培養しながら、アセトンができると同時に気体として簡単に回収することもできる(図3)。一般にアセトンやエタノールなどの低沸点化合物は、蒸留により発酵液から分離・回収される。このとき、発酵液は生産物の沸点以上に加熱される。中温微生物はこの高温で死滅するため、分離・精製時に大量の死菌体と廃棄培地が出てくるが、沸点以上の高温発酵によるバイオプロセスであれば、菌体が生きのまま生産物を回収できるのでコスト削減につながる。

「私たちの扱っている微生物は、大腸菌や酵母などのように簡単には遺伝子操作できません。また、遺伝子操作したとしても、得られた微生物が望みの特性を持っているとは限りませ

ん。しかし、これからも根気強く遺伝子改良を行い、アセトンの生産効率を上げるとともに、量産工場でも扱いやすい微生物を作り出したいと考えています」と中島田さんは意気込む。

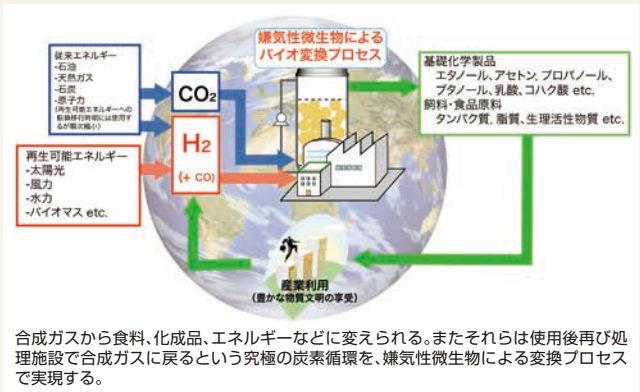
### 若手研究者とともに目指す究極の炭素循環社会の実現

ゲノム情報に基づき、好熱性ホモ酢酸菌の効率的な遺伝子導入技術を開発することで、アセトンだけでなく、さまざまな有用化合物が生成できるようになる。原料となるH<sub>2</sub>は再生可能エネルギーから得るため、現状ではコストが懸念材料とされている。しかし、水素社会の実現に向け、近い将来、今よりも安価にH<sub>2</sub>を得られるようになるだろう。また微生物の特徴を生かして、従来の石油などを使った化学的なプロセスでは難しかった複雑で付加価値の高い化合物も、CO<sub>2</sub>から微生物に作らせる時代が来ることも夢ではないという。

「来たるべき未来の社会をイメージしながら、そのときに本当に必要となる技術を考えることが大切です。合成ガス発酵はそのような技術であると信じています」と中島田さん。現在は、より優れた微生物の開発に加えて、優れた微生物をより早く作り出す基盤技術も並行して開発しているという。例えば、もっと効率の良いゲノム編集技術の開発も現在の目標の1つだ。

また、合成ガスを原料として当

図4 嫌気性微生物によるものづくりの将来像



合成ガスから食料、化成品、エネルギーなどに変えられる。またそれらは使用後再び処理施設で合成ガスに戻るという究極の炭素循環を、嫌気性微生物による変換プロセスで実現する。

り前に使う化学合成プロセスとは違うアプローチとして、バイオテクノロジーをどう生かせるのかも、この研究の面白みだという。「生物を利用することならではの利点もあります。微生物はたんぱく質でできているので、物質生産に使った後の菌体を家畜の飼料にしたり、直接食べたりできるかもしれません。もちろん、現在は抵抗がありますが、もしかするとこれが宇宙船地球号の未来の食料なのかもしれません」(図4)。

こうした究極の炭素循環を実現する研究をともに担うことになる若手研究者や、これから研究者の道に進もうと考えている人たちへの期待も大きい。「研究は本当に楽しいものです。特に自分のやりたい研究を誰にも邪魔されずに追求できる大学は、天国のような所です。自分のやりたいことを見つけ、成功までの道筋をしっかりと描きながら取り組み、おのずと道は開けます」とエールを送る。

とはいえ、常に自分の興味ややりたいことだけを追求できるわけではない。社会課題の解決に貢献することを求められたり、時には自分自身のスキル不足から思うように進まなかったりすることもあるだろう。「やりたいこと、できること、やるべきことの3つを切り分けて考えなければいけませんが、この3つが合致する道を目指して欲しいですね」。こうした考えが、中島田さんの着実な研究の歩みにつながっている。

(TEXT:伊藤左知子, PHOTO:伊藤彰浩)

将来のグリーン産業の担い手として、大きさが1ミリメートル以下という微細な藻類の利用が期待されている。藻類に有用な物質を多く作らせるためには、遺伝子改変などの改良が不可欠だ。国立遺伝学研究所遺伝形質研究系の宮城島進也教授は日本の温泉に生息する藻類に着目し、通常細胞壁を持つ2倍体の藻類から細胞壁のない1倍体を生み出すことで、世界で初めて藻類の高度な遺伝的改変に成功した。さらに、酸性化した海水を用いた屋外開放培養や増産への道を拓いた。

# 「温泉」と「海」で挑む 微細藻類の培養法確立

宮城島 進也 Miyagishima Shin-ya

国立遺伝学研究所 遺伝形質研究系 教授  
2017年より未来社会創造事業研究開発代表者

## 細胞壁のない1倍体「シゾン」 市販の温泉水を培養し発見

微細藻類は農作物と競合しないグリーン産業として期待されており、低コスト、大量生産を目指して研究が進んでいる。しかし、増産のための広い敷地を確保できる屋外開放培養は、藻類を捕食する微生物などが混入してくる問題がある。また、増産には世界的に不足している淡水が大量に必要となる。これに対し、豊富にある海水を使って藻類を屋外開放培養する方法を開発したのは、国立遺伝学研究所遺伝形質研究系の宮城島進也教授だ。

未来社会創造事業「酸性水を用いた微細藻類の培養および利用形態の革新」で研究開発代表者を務める宮城島さんが研究で扱うのは、「イデユコゴメ類」という微細藻類だ。イデユコゴメ類は酸性温泉に生息し、シゾン、シアニジウム、ガルデリアの3属が存在する。いずれも高温、強酸性の

環境下で光合成を行い増殖する。シアニジウム、ガルデリアは固い細胞壁を持つ一方、シゾンは細胞壁を持たない(図1)。

宮城島さんは、淡水産藻類である単細胞紅藻「イデユコゴメ類」のシゾンを、海水と同じ高い塩濃度に段階的になれさせ、さらに海水をイデユコゴメ類が住みやすい酸性にして培養する手法を新たに確立した(図2)。海水の酸性化という自然界にない環境をつくることで、屋外開放培養でも微生物などの混入増殖を抑制できる。

シゾンはイタリアの酸性温泉水中の微細藻類群を研究室内で培養している過程で発見された単細胞紅藻で、もともとの生息地は不明である。宮城島さんらは、日本にもシゾンがあるのではないかと、全国の市販の温泉水を取り寄せて培養したところ、大分県の温泉水からシゾンに似た藻類が見つかった。「実際に現地で

イデユコゴメ類を採集して観察したのですが、不思議なことにシゾンに似た藻類を見つけることはできませんでした。改めて現地で採集した細胞壁を持つシアニジウムを持ち帰り培養すると、ある特殊な環境下で培養したときに、シゾンに似た細胞壁のない藻類が生じることがわかりました」と宮城島さんは振り返る。

研究を進めると、特殊な環境にさ

図1 酸性温泉に生息する  
微細藻類イデユコゴメ類



「シゾン」「シアニジウム」「ガルデリア」は、高温・酸性環境下でも光合成を行い増殖する一方、細胞壁の有無などに違いがある。



らすことでゲノムが2倍体のシアニジウムが減数分裂を行い、細胞壁のない1倍体のシゾン様藻類を生じることがわかってきた。また、細胞壁を持つガルデリアも、ある特殊な環境にさらすと減数分裂を行い、細胞壁のない1倍体を生じることにも明らかとなった。さらに、これら1倍体藻類を1倍体のまま安定的に増殖させることにも成功した(図3)。

遺伝的改変は外部からのDNA断片の導入を必要とするが、強固な細胞壁がDNAの導入を阻むために、固い細胞壁を持つシアニジウムやガルデリアの遺伝的改変はこれまで不可能だった。そこで細胞壁のない1倍体を用いたところ、これらの藻類においても高度な遺伝的改変を行うことが可能になった。

「この細胞壁のない1倍体は、細胞壁のある2倍体と比べ、遺伝子改変で、内容を抽出しやすいので、産業利用に向いています。また、エルゴチオネインという抗酸化作用のあるアミノ酸を含むので、家畜飼料として利用するなど、さまざまな活用が期待できます」と1倍体の強みを語る。さらに、これら新たに見つかった細胞壁のない1倍体も酸性化した海水で培養することに成功している。

## 基礎研究と社会実装は両輪 微細藻類でも有性生殖を証明

宮城島さんとシゾンの出会いは大学院時代に遡る。ミトコンドリアと葉緑体の細胞内共生による生物の進化に興味を持ち、研究を始めた宮城島さんは、単細胞藻類のシゾンを用いた葉緑体の増殖の仕組みに関する研究を始めた。しかし、大学院卒業後、しばらくはシロイヌナズナをはじめとする植物種で葉緑体の研究を続け、基本的な事象は陸上植物にも当てはまることを確認した。実は当時、シゾンを含む藻類の多くは、遺伝子操作技術が使えなかったのだ。

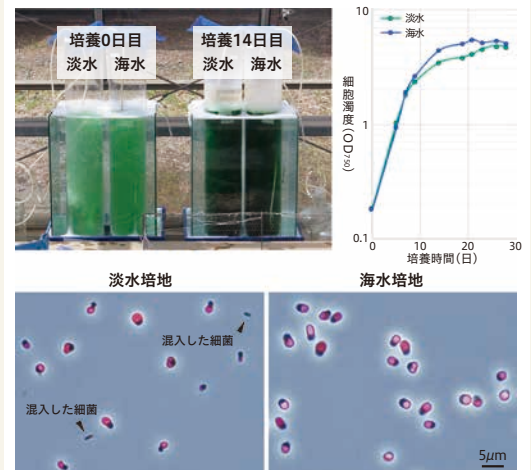
国立遺伝学研究所に着任した頃、

シゾンの遺伝子操作が可能となり、再び藻類で研究を続けることになった。「葉緑体が細胞内共生により、どのようにさまざまな系統の生物に広まり進化してきたかを研究するには、花や葉ができる植物より、単細胞藻類の均一な培養の方が扱いやすいです。植物の場合、世代を回すのにシロイヌナズナで約3カ月、遺伝子改変株を作るにも最低3~4カ月かかりますが、藻類なら数日で結果が出ます」。

また、11~17年にかけてCREST「高バイオマス生産に向けた高温・酸性耐性藻類の創出」の研究代表者を務める中で、社会実装と基礎研究が両輪となって、双方で大きな成果が生まれるという経験ができたという宮城島さん。今回も同様に、細胞壁のないシゾン様のものを作る手法は社会実装への大きな前進であると同時に、生物の進化を知る基礎研究の一步になったと語る。「実は、生物の進化の最初の方で、微細藻類には有性生殖はなく、バクテリアのように分裂して増えるといわれていたのですが、有性生殖があったことがわかり、基礎研究の成果にもつながりました」。

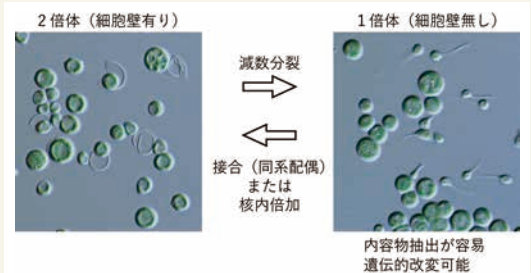
現在は、全国の温泉地からイデユコゴメ類を採取して、さまざまな国産オリジナル株を樹立中である。基礎研究としては、各微生物が進化の過程で発達させてきた多様な機構や能力を理解するためには、天然ではありえないような栄養塩が豊富な培養液中ではなく、本来の生息現場の環境を模した条件下での培養を用いた研究が必要である。そこで、研究室にかけ流しのような環境をつくり、現地の水の組成と同じ条件で観察することとしている。もともと、温泉水

図2 淡水培地と天然海水培地におけるシゾンの屋外開放培養



淡水培地と天然海水培地に高濃度塩環境に馴化させたシゾンを植え、14日間屋外開放培養した。シゾンが海水培地でも淡水培地と同等の速度でまた同等の密度まで増殖しており、海水培地では細菌も混入していないことがわかる。

図3 ガルデリアの1倍体と2倍体の関係



天然に存在する2倍体が固い細胞壁を持つのにに対し、1倍体は細胞壁を持たない。1倍体の培養では、オタマジャクシ様の細胞が成長して球形となり分裂することで増殖する。ガルデリアはイデユコゴメ類の中でも特に生産性が高いため、産業用藻類として世界でも注目されており、今回確立した1倍体の作出、培養と遺伝子改変の手法は、今後広く活用されることが見込まれる。

を採取に行く際には、現場近くに宿を取り、顕微鏡などの大きな機器は事前に宿に送って、採取したサンプルを直ちに観察している。

大変だが、宮城島さんはフィールドワークに大きな意義と期待を見いだしているという。「現場で見つかるイデユコゴメ類は全て細胞壁を持つ2倍体細胞で、自然環境中では、どのような条件下で1倍体が出現し有性生殖を行うのかは、まだわかっていません。もしかしたら竹の花のようにまれに出現するかもしれませんがね」。そんな宮城島さんが次世代に伝えたいのは「面白い」ということを研究する姿勢だという。柔軟な発想から、さらなる発見や研究成果が期待される。

(TEXT:伊藤左知子、PHOTO:石原秀樹)

藻類による物質生産では、光の自己遮蔽<sup>しゃへい</sup>効果による細胞密度の頭打ちと、光エネルギーを物質生産に集中できないことが実用化の妨げとなっていた。神戸大学先端バイオ工学研究センターの蓮沼誠久教授はこの課題解決に際し、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)吸収と代謝を維持したまま細胞分裂を停止させる細胞増殖制御因子を発見した。さらに、AIと代謝工学を組み合わせることで物質生産株の開発を加速するとともに、実験操作のオートメーション化にも取り組んでいる。

# AIと代謝工学を組み合わせ 生産株開発を加速

蓮沼 誠久 Hasunuma Tomohisa

神戸大学 先端バイオ工学研究センター 教授  
2019年度より未来社会創造事業研究開発代表者

## 莫大な情報から特徴を抽出 物質高生産化因子を発見

バイオものづくりには酵母やカビを使う方法もあるが、植物を原料として調達しなければいけない。育てた植物を刈り取って加工し、微生物が使いやすい形にすることで、はじめてバイオ生産が可能になるが、この前処理が環境に負荷をかけてしまうことが欠点だった。これに対し、微細藻類を使う場合は、自分が吸収したCO<sub>2</sub>でものづくりができるため、前処理や原料となる植物は不要だ。必要なのは太陽光と水、CO<sub>2</sub>、少しの栄養分のみで、効率的なものづくりに貢献できる。

一方で課題もある。微細藻類は光を利用してCO<sub>2</sub>を変換するが、物質生産と細胞分裂が連動するために光エネルギーの利用効率が低いこと。そして、細胞密度が濃くなると光が行き渡らなくなり、代謝効率が落ち

る遮蔽効果である。こうした課題に挑むのが、未来社会創造事業「細胞分裂制御技術による物質生産特化型ラン藻の創製と光合成的芳香族生産への応用」の研究開発代表者を務める神戸大学先端バイオ工学研究センターの蓮沼誠久教授だ。蓮沼さんは、CO<sub>2</sub>吸収と代謝を維持したまま細胞分裂を停止させる細胞増殖制御因子を発見し、芳香族化合物の効率的な生産において、世界トップレベルの生産量を達成した。

社会実装に向けて、さらなる生産性向上を目指しているが、新しい課題も見えてきた。生産性を上げることはできたが、藻類は生き物なので寿命がある。「夢のような話ですが、最終的には不老不死で生産だけに特化した物質生産特化型細胞を実現したいと考えています。もし、可能となれば大きなゲームチェンジングになるでしょう」と話す。

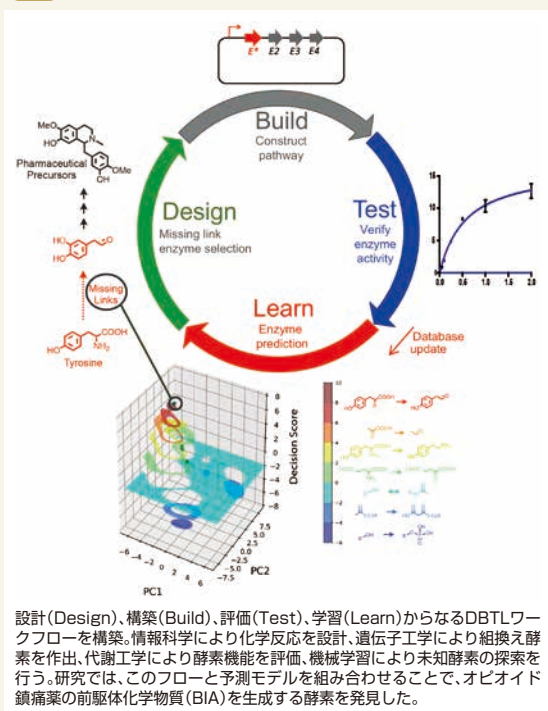
蓮沼さんは、このゲームチェン

ジンを可能にするべく、生体内に含まれる多様な代謝物質の種類や量を網羅的に分析するメタボローム解析の技術開発にも取り組んできた。膨大なデータを高精度で高速処理するシステム開発がカギになる。こうして得られた結果を、生産量や生産効率を高める代謝経路の設計に生かすことで、高機能な物質をより短期間で生産することが可能となる。

また、実験操作のオートメーション化にも取り組んでいる。1回の実験で大量のサンプルを処理でき、正確なデータを出してくれるようなロボットシステム<sup>ぼくだい</sup>の開発が生命理解を加速させる。莫大なデータを処理するための技術にAIを取り入れてきたのも強みだ。「代謝工学に、こうした基盤的な技術を組み合わせることで、生物が示している特徴をより早く抽出でき、それが物質高生産化因子の発見にもつながりました」と笑顔を見せる。



図1 AI技術を活用した未知酵素の探索



## 汽水域で発見された藻類 蓄えたデンプンをオイルに

このAIとバイオを組み合わせた手法は、未知の酵素の発見にも役立った。鎮痛薬の原料に使われるベンジルイソキノリンアルカロイド (BIA) は植物から抽出される化合物だが、大規模な栽培や工業処理が必要なために、環境的、経済的な負荷をもたらしてきた。BIAは、植物由来の遺伝子を微生物に導入して培養することで効率的な発酵生産が可能だが、代謝経路を構成する酵素の一部は未知だった。蓮沼さんは、機械学習予測モデルを構築し、未知酵素の発見に成功。大腸菌によるBIA生産も実現した (図1)。

さらに台湾の汽水域から、光合成によってCO<sub>2</sub>を固定し、油脂を生産する微細緑藻 *Chlamydomonas* sp. JSC4 を単離した。この微細緑藻の特徴として、よく増殖して多量のデンプンを蓄積すること、デンプンを蓄積しているときに、海水刺激を与えるとデンプンをオイルに変換することが挙げられる。生産量を上げることができればバイオ燃料の生産も担えるかもしれないと、蓮沼さんは

量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学部門の佐藤勝也上席研究員らと共に、微細藻類における炭素リソースを炭水化物から油脂に再分配する手法を開発した。

この新たに単離した藻類はこれまでの知見の積み重ねがなかったことから、イオンビームを照射して突然変異を誘発させることで、有用種の探索を行った。その中で、明暗周期条件でも油脂を多く生産する緑藻変異株 *Chlamydomonas* sp. KOR1 が見つかったという。通常、緑藻細胞内のデンプンは明期で増加し、暗期に分解、減少するが、完全には分解されずに多くが蓄積する。一方、KOR1はデンプン枝切り酵素の破壊により、デンプンではなく、別種の多糖類であるフィトグリコーゲンが明期で増加し、暗期で完全に分解されていた。

またKOR1では、デンプン代謝経路と油脂合成経路の中間代謝物が全体として増加していることを見いだした。「このことから、ISA1 遺伝子の破壊による油脂生産向上の代謝メカニズムとして、フィトグリコーゲンが速やかに分解され、炭素リソースが中間代謝物を介して油脂生産へと再分配されることが明らかになりま

した」と蓮沼さんは成果のポイントを説明する (図2)。

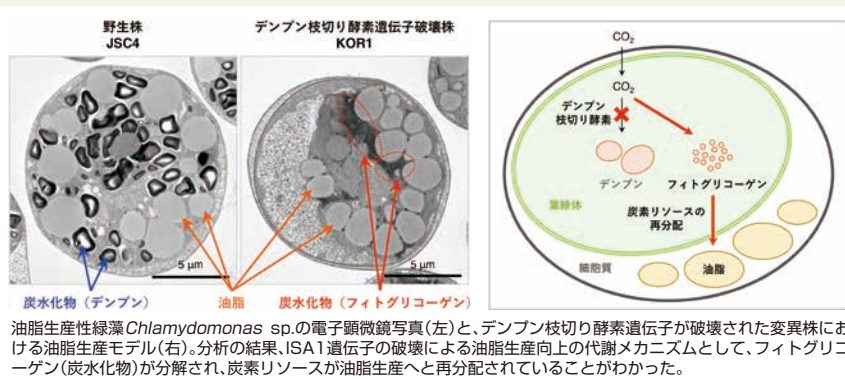
AIやオートメーション化の進歩により研究期間の大幅な短縮が図れるが、人間の作業がなくなるわけではない。AIに入れる膨大なデータは、人間が行う実験の積み重ねが必要だからだ。また、どんなデータを入れるかは研究者の知識や経験に委ねられるため、研究者には広い見識が必要になる。

蓮沼さんは「これからの研究者には、国際感覚を磨くことが大切だと考えています。私の研究室でもさまざまな文化の違いや習慣、知識と触れ合い、積極的に見識を広げられるよう、国際交流の機会を設けています」と語る。現在はコロナ禍で対面での交流は減ってしまったというが、海外の研究者とオンラインで合同セミナーを企画し、研究者同士だけでなく、学生が海外研究者や先方の学生とも交流を深められるようにしているという。

こうした多様なバックグラウンドを持つ研究者との交流から新たな発見やアイデアが生まれ、やがては国際的な研究プロジェクトへの参画、そして技術革新へと確実につながっていくことだろう。もはや既存の手法の延長だけでは、脱炭素社会の実現という大きな目標を達成できないことは明白だ。蓮沼さんは新たに育ってきた若手研究者とともに、これからもゲームチェンジングテクノロジーを追い求め続ける。

(TEXT:伊藤左知子, PHOTO:伊藤彰浩)

図2 炭水化物を油脂に変換する微細藻類



# どうやって 実現する？ 明るく豊かな ゼロエミッション 社会

森 俊介 Mori Shunsuke

低炭素社会戦略センター  
研究統括／上席研究員

三枝 邦夫 Saegusa Kunio

低炭素社会戦略センター 上席研究員

連載  
【第7回】

## 情報化社会の進展と エネルギー消費

若手商社員・皆川豊を主人公としたストーリー仕立てで、低炭素社会戦略センター(LCS)が発行する提案書を読み解く連載の第7回。今回は、再エネ発電とあわせてゼロエミッションの根幹を支える蓄電技術について学んだ皆川。今回はエネルギー消費に目を向けて、森俊介研究統括と三枝邦夫上席研究員に情報通信にまつわる電力消費の現状や、発展を続ける情報化社会を支えるための今後の技術開発のポイントについてお話を伺った。

### 情報量は2050年に4000倍\*に 電力も現世界消費量を上回る

**皆川:** 今日ではよろしくお願いします。2022年秋に大手IT企業が日本でのデータセンター開設を発表するなど、多くの企業が情報通信分野に投資する姿が見られます。LCSでは、情報化社会の進展と将来の消費電力量の関係や脱炭素への影響を分析されているそうですね。

**三枝:** 私たちは「通信トラヒック」と呼ばれるネットワーク上で送受信される情報量とエネルギー消費の関係を試算しています。19年に行った試算では、シスコ社による過去の世界の通信トラヒックの成長を将来に延長すると仮定すると、30年には現在の30倍、50年に4000倍に増加し、必要な電力は現在の世界全体の消費

量を上回る結果になりました。

**皆川:** 現在の電力量で賄いきれなくなるのでしょうか？

**三枝:** 通信トラヒックの増加率は現状の延長、関連するIT機器の省エネ技術は現状水準のままと仮定した推定値(※)なので、この通りにはならないと思いますが、IoTの普及やAIの利用が加速し、将来的にトラヒックが増えるのは確実です。そこで、定量分析のために情報通信技術を構造化してモデルをつくり、今後必要な技術開発を明らかにするための分析を行いました。

**皆川:** 情報通信技術を構造化するとはどういうことでしょうか？

**三枝:** 簡単に言うと、情報通信システムを、「エンドユーザー」、「インフラ」に分けて考え、インフラは計算処理

を行う「データセンター」、情報のやりとりを行う「ネットワーク」のパートから成ると考えます(図1)。

**皆川:** 電車の乗り換えを例にとると、私というエンドユーザーがスマートフォンにデータを入力すると、データセンターで最適経路の計算を行い、ネットワークを通じて

結果が返ってくる、というイメージでしょうか？

**三枝:** そうです。それぞれのセクターで電力消費の主要素となる設備・機器を洗い出し、各要素の電力消費量を推定します。電力消費が大きい要素は、大幅な電力量削減の余地があるので、その要素の技術開発が省エネに有効だとわかります。

データセンターを例にとると、まずセンターの構成要素をサーバー、ストレージ、スイッチ、電力供給に分け、関連するIT機器の製品出荷数などからそれぞれの電力消費量を見積もります。空調設備などの電力消費も加えると、18年の国内のデータセンターの推定消費電力は14テラ(1兆)ワットになりました(表1)。

### 専門家も妥当性を検証 客観性のあるシナリオに

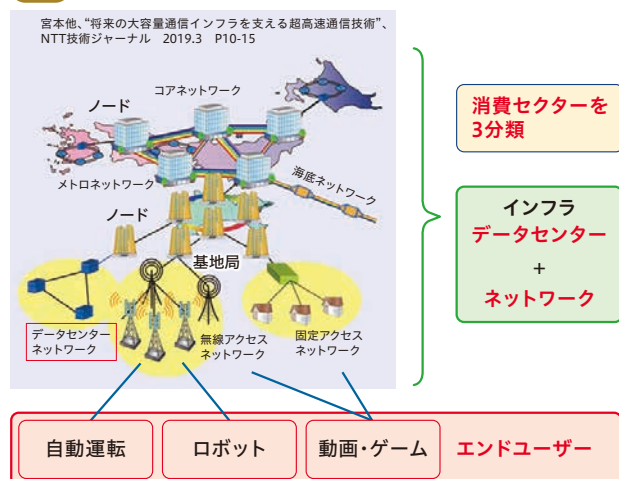
**皆川:** 表を見ると、データセンターの電力消費の大半はサーバーが占め、中でも演算機能を担うCPUの影響が大きいですね。

**三枝:** いいところに目を付けましたね。試算を細分化することで、演算装置の省電力化が電力削減に効果的だとわかります。

**皆川:** こうして情報通信の電力削減に必要な技術開発が見えるのですね。

**三枝:** 情報通信システムモデルにあったネットワークについても、同様のアプローチで試算し、無線基地局とルーターに関わる研究開発などが消

図1 情報通信システムの構造化



出典: 2022年度LCSウェビナー「2050年、ゼロエミッションの社会像〜シナリオとプラン〜」  
情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(データセンターについて)  
(<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/webinar20220624-5.pdf>)より抜粋



費電力削減に有効だとわかりました。将来的には、既存の機器の省エネだけでなく、量子コンピューターの導入や情報通信を光信号で行うネットワークを構築することで、大幅な省電力・大容量通信を目指す構想もあります。

**皆川**：分析の中で構成要素の機器の綿密な推定を積み上げていることに驚きました。

**三枝**：その通りです。実際には各機器の仕組みや技術開発動向の理解が必要です。そのため、使用している統計情報の妥当性について専門家の意見を聞き、客観性のある分析に努めています。電力消費量の推定のみを目的とするなら、通信会社の契約者数などから見積もることもできますが、有効な技術開発を示してこそLCSの意義があると考え、あえて難しいアプローチをとっています。

### 情報技術で生活の質も向上 必要な技術開発には対価を

**皆川**：エンドユーザー側の推定についてはいかがですか？

**森**：これについては私からお話しましょう。エンドユーザーの需要は通信トラフィックの増減を左右するので重要な分析ではありますが、情報通信技術の利用場面は医療、輸送、娯楽など多岐にわたるので、利用分野を絞った試算を検討中です。その前に、近年の通信コンテンツ需要の推移やコロナ禍での生活の変化から将来のトラフィックを考察した研究があるのでご紹介しましょう。

**皆川**：将来予測のために過去の需要の推移に学ぶということですね。

**森**：近年のエンドユーザーの需要の変化を見るために動画・音声・テキストのコンテンツ種別に通信トラフィックの推移を算出したところ、動画コンテンツが近年の急激な通信トラフィックの増加要因だとわかりました。この傾向が続くと、トラフィックは30年までに年率20パーセントの勢いで増加します。また、コロナ禍のテ

表1 データセンター消費電力の現状と将来

|                      | 国内    |       |        | 世界    |       |         |
|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|
|                      | 2018年 | 2030年 | 2050年  | 2018年 | 2030年 | 2050年   |
| データ通信量(IPトラフィック)(ZB) | 0.7   | 11    | 1,400  | 11    | 170   | 20,200  |
| データセンターの消費電力(TWh)    | 14    | 90    | 12,000 | 190   | 3,000 | 504,000 |
| サーバーの消費電力(TWh)       | 7     | 46    | 6,500  | 113   | 2,190 | 384,000 |
| CPU                  | 4     | 32    | 4,500  | 77    | 1,600 | 284,000 |
| メモリー                 | 1     | 9     | 1,230  | 19    | 300   | 50,000  |
| 電力供給など               | 1     | 5     | 810    | 17    | 290   | 51,000  |
| ストレージの消費電力(TWh)      | 2     | 29    | 3,700  | 27    | 430   | 51,000  |
| スイッチの消費電力(TWh)       | 0.1   | 1     | 70     | 2     | 20    | 3,400   |
| 電力供給、空調など(TWh)       | 5     | 11    | 1,500  | 43    | 400   | 66,000  |

出典：情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.2)ーデータセンター消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題ー(fy2020-pp-03 表10)より筆者編集

レワークが通信トラフィックに与える影響の分析では、仮に業務の40パーセントをリモートワークにした場合、最大33パーセント通信量が増加する結果になりました。

**皆川**：それは消費電力も相当増えそうですね。

**森**：国内では人口減少による需要低下もあり得ますが、例えば動画配信がVRに置き換わればユーザー数は同じでも通信トラフィックはさらに増えます。コロナ禍での移動代替やセキュリティなど、トラフィック増加必至な社会変化に備えるためにも、情報通信の省エネ化が不可欠です。また、金銭面も無視できません。世界の通信キャリアはユーザー1人当たりの売上額低迷に苦しんでおり、サービス拡大も制約されるかもしれません。適切なユーザー需要を形成するためには、通信技術を使うべき場面を考え、必要な技術には対価を払うという心構えも必要です。

**皆川**：コロナ禍で導入が進んだオンライン診療やリモート授業は定着しましたね。

**森**：情報通信がこれまで気づけなかった「不便さ」を解消したい例ですね。情報化社会の進展は環境負荷を増やす側面がある一方で、生活の質を向上させる面が確実にありますし、電力需給の最適化や移動の削減など、環境負荷を減らす効果もあります。

**皆川**：暮らし方の満足度や環境負荷低減の面も加味してシナリオを描くのも面白そうですね。

**三枝**：コロナ禍での変化の分析は、人の移動、電力、社会的生産性の専門家が加われば、より綿密な推定ができると思います。LCSの提案書はこれまでもにも総務省の情報通信白書に用いられるなど、社会的関心の高まりを感じるので、さらに現実的な試算ができるよう研究を続けます。

**皆川**：電力消費量推定の信頼性を高めるだけでなく、今後どのような技術開発に注目すべきかもよくわかりました。今後の分析も楽しみにしています。本日はありがとうございました。ーなお、物語は取材を元にしたフィクションである。(TEXT：高橋麻美、PHOTO：石原秀樹、楠聖子)



奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授  
中島 康彦

### ワンポイントアドバイス

汎用性のある計算基盤であるほど、電力消費量が多くなる傾向があります。つまり、楽にプログラムできる計算システムを使って、電気代をたくさん払っても、儲けが伸び続ける限り、わざわざエネルギー効率の良い計算基盤に移行することは考えにくいのです。このままでは、ITの電力消費を抑えることは困難でしょう。本気で脱炭素を考えるならば、そのような、使いやすいけれども電力効率の悪い計算機システムには、何らかのペナルティーを課す仕組みが必須になると思います。

## 研究成果

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型

技術テーマ「エネルギー損失の革新的な低減化につながる高温超電導線材接合技術」

研究課題「高温超電導線材接合技術の超高磁場NMRと鉄道き電線への社会実装」

## 世界一軽量で小型な1GHz超のNMR装置

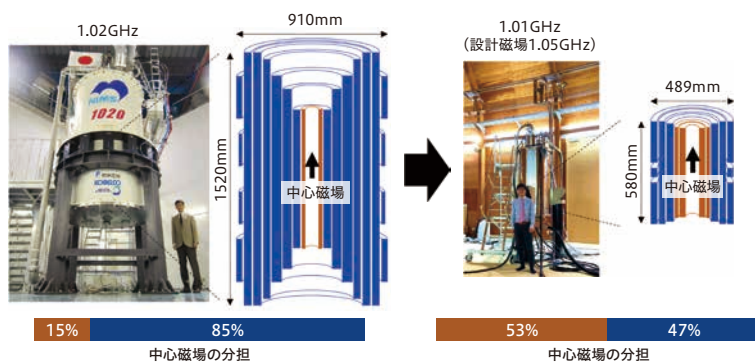
希少な液体ヘリウムの継ぎ足しも不要

物質の分子構造や物性の解析を行う核磁気共鳴(NMR)装置は、生命科学や食品、材料科学といった幅広い分野で利用されています。磁場が大きくなるほど計測の性能は高くなるため、2015年に周波数が1ギガヘルツ(ギガは10億。GHz)を超えるNMR装置が開発されて以降、世界の研究開発は一層激化しています。しかし、磁場を発生させるマグネットのサイズが大型かつ高価な上に、希少資源の液体ヘリウムを多量に消費するため導入できる機関は限られていました。

理化学研究所生命機能科学研究センターの柳澤吉紀ユニットリーダーらは、重量を従来機の約10分の1に抑えた世界一軽量かつコンパクトな1GHz超のNMR装置の開発に成功しました。具体的には、マグネット内部の高温超電導コイルの電流密度を1.5倍、磁場分担を50パーセント以上に増やし、狭い空間に大電流を集中させています。このような条件下では、高温超電導コイルの中心部に合計100トン超の重量に相当する電磁力がかか

るため、通常であればコイルは壊れてしまいます。そこで、今回新たに高強度金属で補強した高温超電導線材を緻密に整列させて巻く技術を開発しました。さらに約2ヶ月間の運転において、液体ヘリウムの継ぎ足しが不要なことも確認しました。

研究チームは、並行して開発を進めている高温超電導接合・永久電流などの技術も組み合わせ、1.3GHzの世界最高磁場NMR装置の開発を目指します。また、開発したNMR装置を用いて、アルツハイマー型認知症に関わる超微量試料の構造解析も進めており、こうした先端研究の進展も期待されます。



2015年の1GHz超のNMRマグネット(左)と今回開発に成功した1GHz超のコンパクトNMRマグネット(右)。総重量は15トンから1.6トンに減り、必要な液体ヘリウムは1600リットルから260リットルまで小さくなった。オレンジ色は高温超電導コイル、青色は低温超電導コイルを示しており、高温超電導コイルの中心磁場分担を53パーセントまで増やした。

## 研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「生体における微粒子の機能と制御」

研究課題「白髪治療に向けたメラニン微粒子の輸送システムの解明」

## 高効率に長毛を生む毛包オルガノイド

メカニズムを一部解明、毛髪再生医療への応用に光

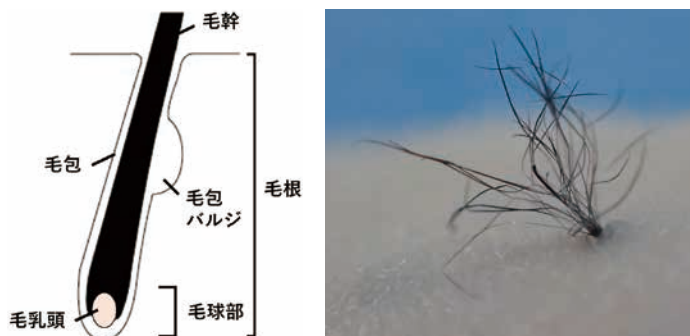
臓器移植に代わる治療法として期待される再生医療では、幹細胞からミニ臓器「オルガノイド」を作る研究などが進んでいます。体外培養で複雑な3次元組織を作るカギとされるのが、体表面を覆う表皮などに由来する「上皮系細胞」と、細胞を結合させる働きなどをする「間葉系細胞」の相互作用です。しかし、いまだ解明が進んでおらず、典型的なモデルである毛包を用いた研究でも、成熟した毛包を得ることはできていませんでした。

神奈川県立産業技術総合研究所の景山達斗研究員らは、生体外で高効率に成熟した長毛を生み出す毛包オルガノイドを作製する方法を開発しました。研究チームはまず、マウスの上皮系細胞と間葉系細胞が培養初期に形成する凝集体の空間配置パターンに着目。その結果、異種排他的な構造では毛包がほとんど再生しないのに対し、異種間の接着性が強い構造では毛包がほぼ100パーセントの効率で再生することを発見しました。

今回「ヘアフォリクロイド」と名付けた毛包オルガノ

イドを免疫不全マウスに移植すると毛包が皮膚に生着し、少なくとも1年間は繰り返し毛が生え替わることを確認しました。髪色変化に関する実験では、毛幹の着色に用いられるメラノソームの動きを可視化し、毛の色を濃くする薬剤の効果も評価できました。

この成果により、毛包を生体外で再生するためのメカニズムの一部が明らかになりました。ヘアフォリクロイドは、生体現象理解のための培養モデルや白髪・脱毛症の治療薬のスクリーニングツール、そして毛髪再生医療のための移植組織など、さまざまな用途への応用が望めます。



毛の構造(左)とヘアフォリクロイドの移植で再生した毛髪(右)。産生された毛幹の長さは約3ミリメートルまで達し、ピンセットで操作できる長さとなった。



## 研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「細胞外微粒子に起因する生命現象の解明とその制御に向けた基盤技術の創出」

研究課題「細胞外微粒子の1粒子解析技術の開発を基盤とした高次生命科学の新展開」

## 膵がんによる体重減少のメカニズムを解明

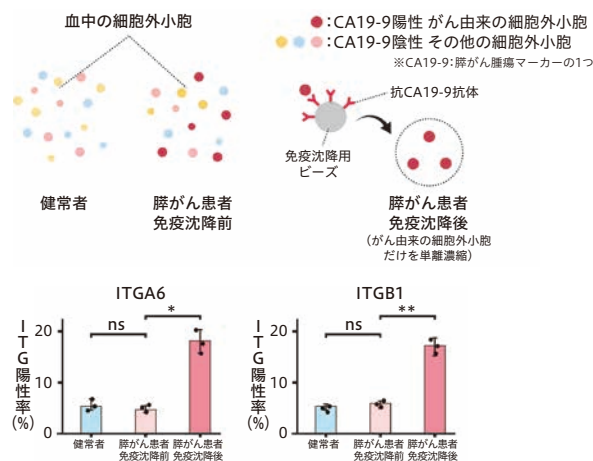
### がん由来の細胞外小胞を単離解析する手法を確立

日本人の2人に1人は罹患すると言われるがんの多くは、進行すると全身の脂肪や筋肉が萎縮し、体重が極端に減少することが知られています。一方、膵がんは病巣が局所に留まっている段階でも体重減少が起きますが、そのメカニズムは解明されていませんでした。

東京大学医学部附属病院消化器内科の大塚基之講師、柴田智華子病院診療医らの研究グループは、さまざまな生理活性物質を含む細胞外小胞に着目し、膵がん由来の細胞外小胞が全身の脂肪細胞に働くことで、脂肪分解を引き起こしていると仮説を立て、検証を進めました。その結果、膵がん細胞株のうちPanc-1やMiapaca-2由来の細胞外小胞は、脂肪細胞の分解を引き起こすことを確認しました。

さらにPanc-1由来の細胞外小胞は、脂肪や肺に取り込まれやすいことも明らかにしました。これはPanc-1由来の細胞外小胞に、脂肪細胞や肺と接着しやすいITGB1とITGA6が多く発現しているためです。また研究グループは不均一な細胞外小胞群の中から、膵がん由来と考えられる細胞外小胞だけを単離し、解析する方法も確立しました。この方法

を用いることで、従来の一括解析ではわからなかった詳細な分析が可能になり、膵がん患者血清由来の細胞外小胞の中でも、膵がん由来の小胞は、他の組織由来の小胞と比較してITGA6とITGB1を発現する割合が有意に多いことを示しました。膵がんでの体重減少メカニズムの一部が明らかになったことから研究チームでは今後、がん由来の細胞外小胞を標的とした新たな治療法の開発や創生を目指します。



免疫沈降(単離濃縮)前のがん患者由来の細胞外小胞集団の解析では、健康者と比較してITGA6とITGB1の発現に差が見られないのに対して、免疫沈降後には発現の陽性率が高いことがわかる。

## 研究成果

戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究領域「AI活用で挑む学問の革新と創成」

研究課題「フード3Dプリンターと人工知能を使用して食事体験を向上させる計算フードテクスチャ」

## 食べられるデータの埋め込みを実現

### フード3Dプリンターで食品のDXへ貢献

食品の賞味期限や含有アレルギーなどの情報は、包装などの食品以外に印字されることが一般的です。食品自体に情報を書き込めれば、食べる直前まで情報を確認できるようになりますが、食品表面に印字すると見た目が変わってしまいます。一方、ITやロボットなどの最新技術を食に活用するフードテック分野では、ペースト状の食材で食品を3次元的に「印刷」し、内部構造を自在に設計できるフード3Dプリンターの開発が進んでいます。

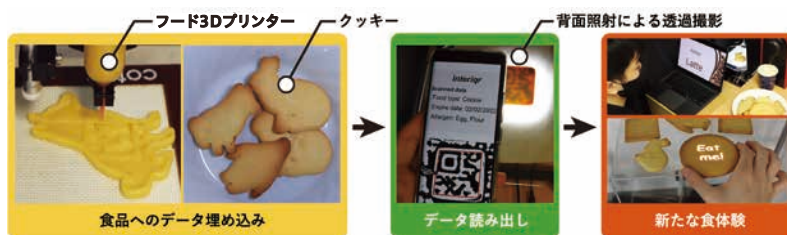
大阪大学大学院基礎工学研究科の佐藤宏介教授、ブンボンサノン パリヤ助教らの研究グループは、フード3Dプリンターで食べられるデータの埋め込みを初めて実現しました。具体的には、クッキーを作る際に異なる色の生地を配置したり、空白を設けたりすることで、食感や強度には影響を及ぼさずに、食品内部に2次元コードなどの空間コードを埋め込む技術を開発しました。

またデータを読み取る際には、新たに開発

した透過撮影技術を用い、クッキーの背面から光を照射して内部の空間コードを表面に浮かび上がらせ、コードを撮影します。白黒の細かな市松模様を照射すると、よりくっきりとコードを撮影することができます。

この研究成果は、食品のDX(デジタルトランスフォーメーション)を可能とし、食品トレーサビリティ拡充による食の安全性向上、食品ロスの低減に寄与できます。クッキーにさまざまなグラフィックスをプロジェクションマッピングで貼り付けるなど、拡張現実感と組み合わせた新たな食体験の可能性も広がりそうです。

### フード3Dプリンターによる食品内部へのデータの埋め込み



クッキー生地を焼いたときに内部の2次元情報パターンが表出せず、食感や強度にも影響しないような内部構造設計技術を開発した。例えばクッキーへベアリング情報を埋め込んでおけば、IoTコーヒーメーカーと連携し、最適なコーヒーを提供できるようになる。

さがける

## 科学人

vol.123

松田 侑奈 Matsuda Yuna

JSTアジア・太平洋総合研究センター  
(APRC)フェロー

## Profile

中国出身。2020年慶應義塾大学法学研究科博士課程修了。博士(法学)。慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュートプロジェクトメンバーを経て、21年より現職。



8年ほどヨガを続けています。仕事・育児の息抜きにもなる、自分にとって大事な時間です。

## Q1. アジアに興味を持ったきっかけは？

A1. 欧米より少ない比較研究に疑問  
法学分野から科学技術の道へ

私は中国で生まれ育ち、高校までバイリンガル学校でハングルを勉強してきたこともあり、自然とアジアに興味を持っていました。北京師範大学の法学部で法学を勉強していると、欧米に比べてアジアとの比較研究が非常に少ないことに気づきました。その時に「研究する価値はないのか？」と疑問に感じたのが、アジア研究に着目したきっかけです。

いざ研究を始めたらアジアの魅力やポテンシャルに惹きつけられ、大学院で研究を深めることを決心。博士号取得後は、JSTのアジア・太平洋総合研究センター(APRC)に就職しました。科学技術はこれまで学んできた法学と分野が大きく異なるので不安も

ありましたが、好きなアジア地域を引き続き研究ができることがうれしかったです。また、法律もAPRCの仕

事も国の方針に基づくという点で共通していましたし、何より自分が得意とする「調べる」研究を生かせると思いました。

## Q2. APRCでの研究について

A2. 中韓の調査・分析を担当  
政治や経済の理解も不可欠

APRCは、アジア・太平洋地域と日本の科学技術の相互理解や協力、国際交流基盤の構築を目的として、さまざまな分野の調査研究・情報発信を行っています。その中で私は、主に中国・韓国の科学技術イノベーション政策や、研究開発動向などの調査・分析・情報発信に従事しています。

一口に科学技術の動向と言っても、背景には複雑な社会事情があり、その国や地域の歴史、文化、政治・経済状況を理解しなければなりません。先入観にとらわれないようにするため、各国の官公庁などの信頼できる情報源を確認し、その国の状況を正しく伝えることを心掛けています。

調査を重ねていくと「その国らしさ」が見えてきて、非常に面白いです。例えば、中国は政策の変化が非常に早く、ある分



アジア地域の情報を正確に発信できるよう、各国の官公庁・研究機関などのリリースや報告書の検索・分析をこまめに行っています。

野を強化していても、一年後には異なる分野に注力していたりします。どこを目指しているかの分析は、難しくもやりがいがあります。

報告書の中で何を中心に据えるべきか悩み、原稿を何度も書き直すことも少なくありません。しかし、私の発信した調査報告書が官公庁や企業のレポートに引用され、人の仕事の役に立ったり、APRCの存在を広く知っていただく機会にもなったりしたと聞くと、とてもうれしいですね。

## Q3. 研究者を目指している人に一言

A3. メジャーでなくても大丈夫  
開花の時期は必ず訪れる

研究地域としてのアジアは欧米よりマイナーです。しかし研究の間口が広く、人材育成における発展も著しい大きなポテンシャルを持つ地域だと感じています。APRCでの調査研究を通じて、多くの人にその魅力を伝えていき、日本とアジアの相互理解や協力の促進に少しでも貢献できればと考えています。アジアの研究と言えばAPRCと言ってもらえるよう、今後も正確で有用な情報の発信に努めます。

研究者を目指す人は、自分の興味があることがメジャーでなくても大丈夫です。「マイナーな研究はニーズがあまり高くない」と私は周囲から言われ続けてきました。ですが、粘り強く黙々と研究していけばそれが新しい道になり、開花の時期はいつか必ず訪れます。ぜひ自分に自信を持って、研究に取り組んでいってください。

(TEXT:横井まなみ)

アジアの科学技術動向を正確に発信  
魅力とポテンシャルを伝える!!

