

JSTnews

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

6
2024
JUNE



エチオピアで持続可能な土地管理目指す
住民と研究者が協働して「砂漠化」を防止



電波の反射を最適化する基礎理論構築
ストレスを感じさせない通信環境を実現



科学を支え、未来へつなぐ
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency



03 | 特集1

エチオピアで持続可能な土地管理目指す
住民と研究者が協働して「砂漠化」を防止



08 | 特集2

電波の反射を最適化する基礎理論構築
ストレスを感じさせない通信環境を実現

12 | 連載 イノベ見て歩き

〈第11回〉

個人で導入可能なメタン発酵システム
小規模・低価格化で市場展開を加速



14 | NEWS & TOPICS

- ≫ ハンダで不揮発な磁気熱スイッチングを実現
- ≫ 加齢による中年太りの仕組みを解明

ほか

16 | さきがける科学人

「生命の起源」を解明したい
RNA構造の自己複製を実証



早稲田大学 理工学術院 先進理工学部
電気・情報生命工学科 専任講師

水内 良

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
文化堂印刷株式会社



恒川 篤史 Tsunekawa Atsushi

鳥取大学 国際乾燥地研究教育機構 副機構長／乾燥地研究センター長・教授
2016～23年 SATREPS研究代表者

ヌグセ・ハラガウエイン Nigussie Haregeweyn

鳥取大学 国際乾燥地研究教育機構 教授



エチオピアで持続可能な土地管理目指す 住民と研究者が協働して「砂漠化」を防止

青・白ナイル川が合流したナイル川下流域では、上流から流れてきた肥沃な土壌が豊かな実りをもたらし、エジプト文明を産み育ててきた。しかし、エチオピア高原に発する青ナイル川上流域は、その土壌侵食が世界で最も深刻な地域の1つとなっている。エチオピア連邦民主共和国主導で「砂漠化・土地劣化」防止を試みてきたが、その持続性の面で課題が指摘される。同国の人口は、50年前と比較すると約4倍に増えており、砂漠化・土地劣化の阻止は至上命題だ。鳥取大学乾燥地研究センターの恒川篤史教授は、住民参加による土壌侵食の削減のほか、土地生産力の向上や農家所得の増加も目的に研究活動を行っている。

旧来の計画は持続性に課題
技術の科学的検証も不十分

エチオピア高原の年間雨量は日本とそう変わらないが、雨季の豪雨で土壌侵食が起きる。1994年に採択された国連砂漠化対処条約では、砂漠化を「乾燥地における土地劣化」と定義しており、土壌の侵食や塩性化などの土壌の劣化や森林減少、熱帯林の破壊などの植生の劣化に分けられる。今日、世界の土地の約25パーセントが何らかの形で劣化しており、毎年240億トンの土壌が侵食によって失われているという。土地劣化は乾燥地だけの問題ではなく、食料危機や気候変動といった多くの環境問題と密接に関係しているため、地球規模の深刻な問題である。

砂漠化の防止に向けて、77年にケニア共和国のナイロビで「国連砂漠化会議」が開催され、90年代から多くの国で「持続可能な土地管理(Sustainable Land Management):SLM)」プロジェクトが実施されてきた。SLMとは、適切な土壌や水の管理によって持続的な土地生産や生計の維持、環境の保全を実現する仕組みや技術を含んだ概念で、土地の劣化の制御や生産性を高めるSLM技術と、その技術を普及させるSLMアプローチがある。エチオピアでも、国際機関などの支援を得て、青ナイル川流域などでSLMプロジェクトが行われてきた。

「しかし、持続性の面では課題があります」と語るのは、鳥取大学乾燥地研究センターの恒川篤史教授だ。乾燥地研究センターは、鳥取高等農林学校(現・鳥取大学農学部)湖山砂丘試験地を前身として、

100年以上にわたり砂防造林や砂丘地の農業利用などを研究してきた日本唯一の乾燥地問題の研究機関である。2005年に着任した恒川さんは、08年にエチオピア人留学生を受け入れたことをきっかけにエチオピアの大学や農業研究機関などの研究者との交流が広がり、同国を訪ねてSLMの現場を調査してきた。

SLMには、農民の参画を促す参加型・協働型アプローチ、土地の生産力を高め生計の改善や女性の地位向上を目指すなどの環境・経済・社会を発展させる統合型アプローチ、行政・NGO・農民・研究者・メディアなどが連携するパートナーシップアプローチが欠かせない。しかし、エチオピアに限らず、既存のSLMプロジェクトはトップダウン型アプローチがほとんどで、住民の自発的な参画やコミュニティに恩恵をもたらす形には至っていないため、SLMが定着しない。導入したSLM技術の科学的な検証も不十分だった。

「そこで、現地の事情に合わせた統合的なSLM技術を開発し、生計の向上と結びつけることで住民が主体的に取り組む手法を築くとともに、住民と研究者が協働して現場を改善していく『次世代型SLM』の仕組みが

必要だと感じていました」と振り返る(図1)。その後、恒川さんは鳥取大学を研究代表機関として、東京大学や島根大学と連携し、エチオピアのバハルダール大学をカウンターパートとする「砂漠化対処に向けた次世代型「持続可能な土地管理(SLM)」フレームワークの開発」を掲げて、JSTのSATREPSに応募、16年に採択された。

3地域で「次世代型」を実践
侵食の修復と生計向上に貢献

プロジェクトでは、青ナイル川上流域で降雨による土壌侵食が激しい高地のグダル、中間地のアバガリマ、低地のドゥバテの3地域に試験サイトを置いた(図2)。各エリアに適した統合型管理により、①土壌侵食の削減②土地生産力の向上③農家所得の増加を目指すこととした。そして、開発・実践したSLM技術とSLMアプローチを検証することで「次世代型SLMフレームワーク」を定式化することを最終目的とした。

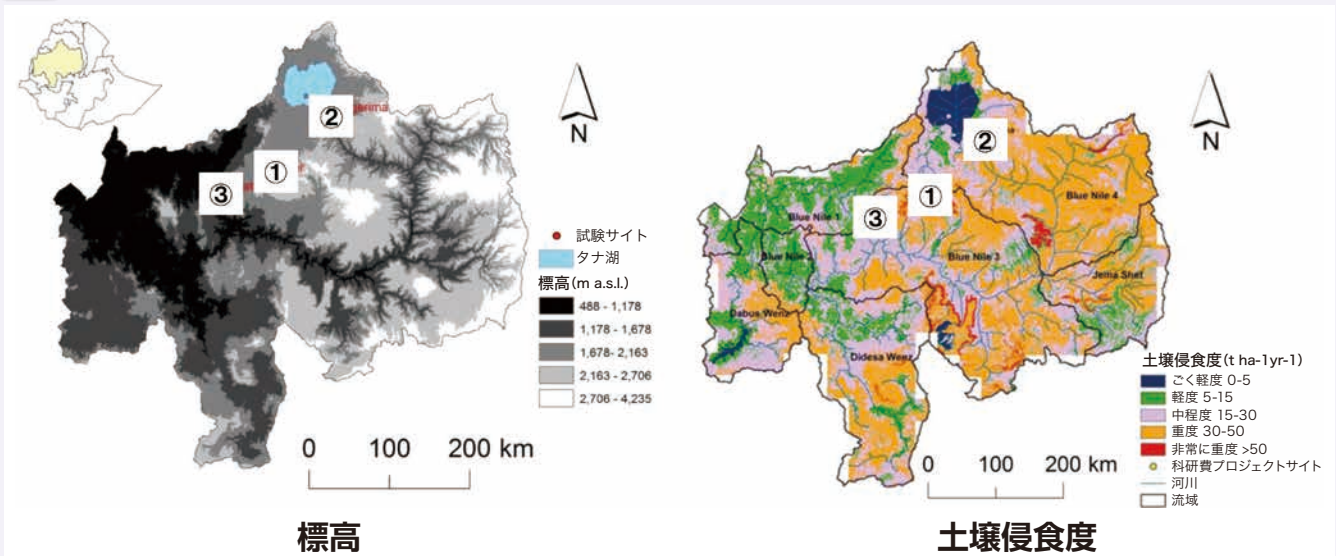
土壌侵食対策では、降雨観測や降雨シミュレーターによる実験などで土壌侵食モデルをつくり、流水の勢いを緩和する土壌バンドをはじめ、さ

図1 旧来のSLMと次世代型SLMの比較

	旧来のSLM	次世代型SLM
農業生産システム	自由放牧に依存した伝統的な耕畜連携システム	舍飼いを基本とする新たな耕畜連携システム
農民の参加形態	多くが強制参加、無償労働	経済的インセンティブによる農民の自発的な参加
主たる目的	土壌侵食の削減	土壌侵食の削減に加え、土地生産力の向上、生計の向上、経済的・社会的エンパワーメント
実施手法	行政などによるトップダウンで実施	多様なステークホルダーが参加する協働型アプローチ
課題	不十分な土壌侵食削減効果 持続性・自主性の欠如	土地修復を生計の向上につなげるSLM技術とSLMアプローチの開発

旧来のSLMと次世代型SLMの比較表。土壌侵食の削減だけではなく、住民の経済的・社会的エンパワーメントも目的としている。

図2 試験サイト



土壌侵食の度合いが異なる高地のグダル、中間地のアバガリマ、低地のドゥバテの3地域に試験サイトを設置。ドゥバテは治安悪化のため、2地域で観測などを行った。

さまざまな土壌流出防止手法を開発・評価した。特に、グダルで実施した住民参加型の「ガリー」修復で顕著な成果を上げている。ガリーとは、土壌がV字状にえぐれる侵食のことで、過剰な頭数の家畜の放牧で草が食べつくされ、露出した表土が雨水で流出することが一因で生じる現象だ。このまま放置すればさらに悪化することを住民たちと話し合い、住民たちの自発的な意思により、ガリー周辺の放牧を禁止してアカシアを植林した。

その結果、3年後にはアカシアの森が広がり、ガリーの底も緑に覆われて侵食の進行を止めることができた(図3)。マメ科のアカシアは土壌に窒素養分をもたらし、アカシア自体も炭や木材として農家の新たな収益源になった。また、現地でのプロット実験により牧草を植栽した土手などで、土壌侵食を最大94パーセント削減できることを実証。アバガリマの対象農家では、乳牛を自然放牧から舎飼いへ転換した。当時、栄養不足で痩せていた乳牛に、新たに導入した栄養価の高い牧草を、飼葉桶で無駄なく給餌することで乳量が最大89

パーセント増加した(図4)。

農地でも、主食穀物であるテフの栽培法の改善や灌漑設備の整備などを農民たちと協力して進め、土壌侵食を抑えつつ収穫量を最大78パーセントにまで高めることができた。日本には、神社を囲むように存在する森林「鎮守の森」が存在する。土壌侵食により劣化した斜面地の修復では、この鎮守の森のように、教会を囲むように存在する「教会の森」で育まれた土壌微生物を活用することで、木の苗の定着が促進されることを確かめた。

また、農家の人々が技能を身につけ生計を向上することを目標に、女性や土地を持たない若者などの社会的に弱い立場の18人を募集。プロジェクト側が費用の7割、参加者が残り3割を負担する形で、乳量の多いホルスタイン種の雄を導入し、在来種との人工交雑により乳量を増やした。これに合わせて牛乳を集めて街で販売するための協同組合をつくり、農家が現金収入を得る道を開いた。現在では100戸以上の農家が舎飼いの酪農に転換しており、土壌侵

食のさらなる削減効果が期待されている。

ガイドラインを現地語で作成 動画やアプリへの展開も検討

プロジェクトは、決して最初から順調に進んだわけではなかった。開始早々から治安悪化による渡航制限や新型コロナウイルス感染症の蔓延などにより、スタッフの行き来はもとより機材の調達や発送も滞った。20年には、治安悪化のためドゥバテの研究サイトをやむなく閉鎖することになった。このような困難にもかかわらず研究を継続できたのは、鳥取大学に多くのエチオピア人の教員や学生が在籍し、エチオピアの研究者と長年にわたって培ってきた信頼関係があったからだ。

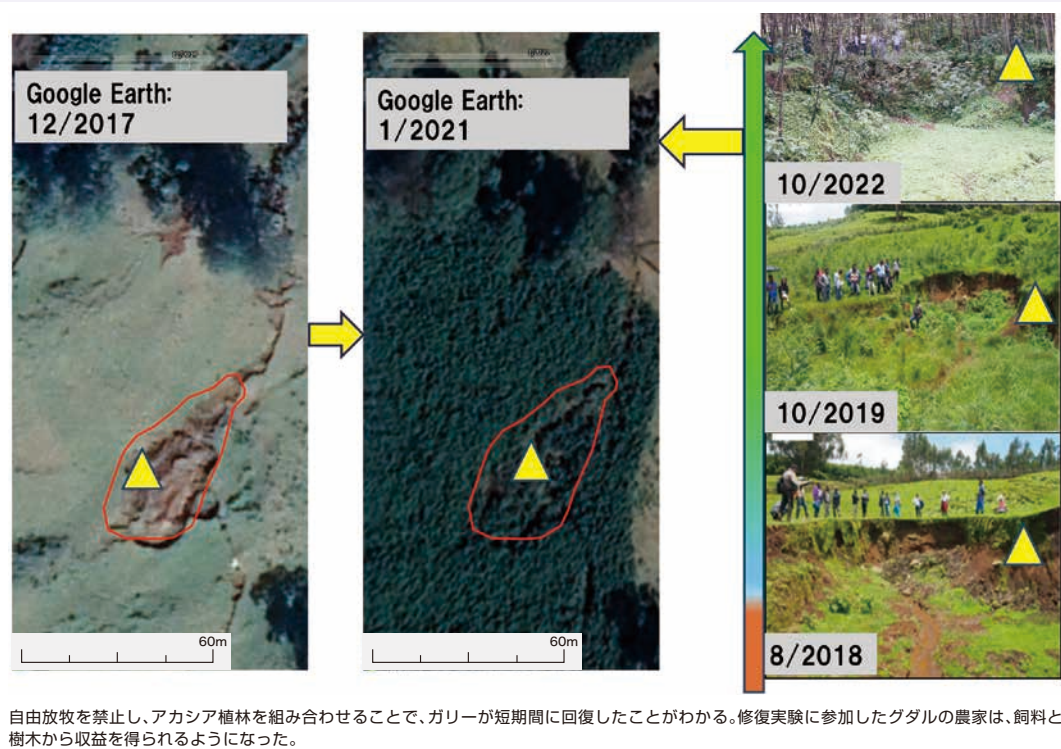
鳥取大学国際乾燥地研究教育機構のヌグセ・ハラガウェイン教授も日本とエチオピアを結ぶ架け橋の一人である。ヌグセさんは、エチオピアのメケレ大学准教授時代に当時鳥取大学に留学していたデレジュ・ツェガイエさんから論文の照会を受けたこ

とが契機となって、10年に鳥取大学の客員研究員になった。今回のプロジェクトでは、バハルダール大学の准教授となっていたデレジュさんがエチオピア側の研究代表者となり、日本側サブリーダーとなったヌグセさんと連携して、現地の人々とコミュニケーションを深めて最適なSLM技術とSLMアプローチの開発を進めた。

もう1つの成功要因は、エチオピアの農業省やア

ムハラ州農業研究所、水・土地資源研究センターなどの強いオーナーシップだ。ヌグセさんは「プロジェクトを成功に導くため、エチオピアの研究者たちが現地の農民と一緒にって解決策を考えて実施してきた結果、土壌侵食が減り、人々の生活が向上しました」と語る。ヌグセさんは、ガリー修復の際に現地住民との協働に取り組んだだけでなく、アムハラ州の農業局・農業研究所・バハルダール

図3 住民参加型のガリー修復



大学の3者によるSLMの普及に向けたパートナーシップ協定の締結にも力を尽している。

プロジェクトの最終目的である「次世代型SLMフレームワークの開発」では、効果が科学的に実証されたSLM技術やSLMアプローチを生かすべく、将来の土地利用・土地管理に向けた5つのシナリオも作成して「エビデンスに基づく持続可能な土地管理(SLM)ガイドライン」としてまと

めた。特筆すべきは、英語版だけでなくエチオピアの公用語のアムハラ語でも出版し、研修用教材としたことだ(図5)。

「翻訳に苦勞しましたが、エチオピア側から高い評価をいただきました。文字が読めない人も多いので、今後は動画やスマートフォンのアプリなどにも展開することを検討しています」と恒川さん。プロジェクトは23年3月に終了したが、その間に「次

図4 牧草の改良と舎飼いの導入による農家の生計向上



家畜用飼料作物のもとになる牧草の生育評価実験(左)を行い、マメ科のデショやデスモジウムなどの栄養価の高い牧草を天然牧草と混作し、収穫量を増加。また、土地を持たない若い夫婦がこのプロジェクトの支援を受けて、舎飼いによる乳牛の飼育を始めた(右)。高栄養価の飼料の導入、飼料ロスの削減などにより、牛の栄養状態が改善し、自家消費だけでなく販売ができるほどに乳量が増加し、生計が向上した。

世代型SLM」に関する数多くの研究論文を公表してきた。その結果、プロジェクトは国際機関やSLMに取り組む国々の研究者などから大きな注目を集め、高い評価を受けている。

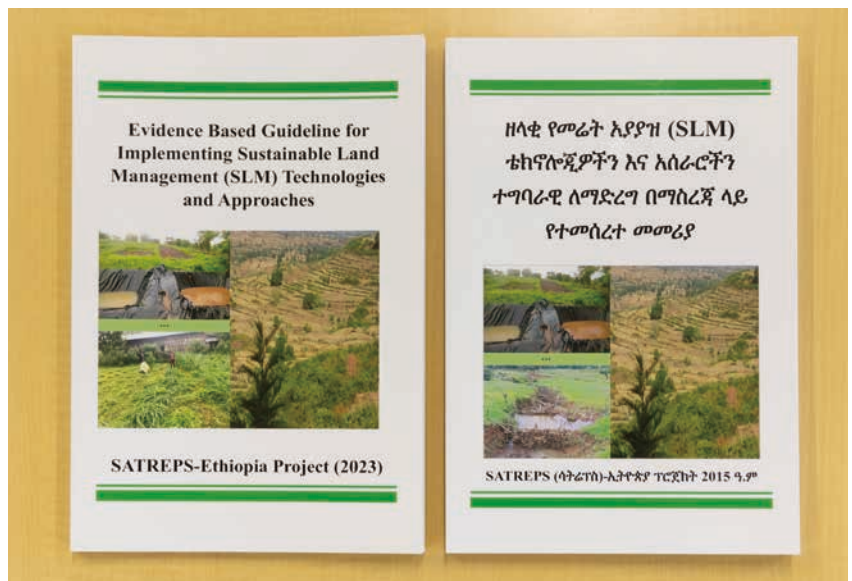
技術・アプローチ組み合わせ「虹色の革命」を目指す

SATREPSプロジェクトの成果は、24年より国際協力機構(JICA)の科学技術実装型技術協力プロジェクトに引き継がれることになった。SATREPSプロジェクトでは3~5平方キロメートルの比較的均質な小流域を対象としたが、今後はさまざまな土地利用が混在するメソスケールの流域を対象に、次世代型SLMの広域普及に取り組む方針だ。現在、世界銀行や国際NPOなどの開発パートナーとの連携も進め、普及すべきSLM技術・SLMアプローチの特定、各地域における普及方法の確立、広範な普及のための手法の開発なども検討している。

一方、ヌグセさんも文部科学省の科学研究費助成事業の研究代表者として、科学技術実装型技術協力プロジェクトと連携する形で、土壌・微生物・植物の相互作用と土壌侵食への影響の解明に焦点を当てた研究を進める予定だ。ヌグセさんは、研究と農村開発は表裏一体だと述べる。「だからこそ、科学によって真実を捉え、現実社会で検証することが重要です。私たちは『開発の中の研究(Research-in-Development)』をキーワードに、研究と農村開発に同時に取り組み、その中で得た気づきを相互に反映し、改良しながら進めていきたいと考えています」と語る。

恒川さんも「これまでの成果とエチオピアと築いた信頼関係をもとに次世代型SLMを発展させていきたい」と展望を述べる。60年代に「緑の革命」が提唱され、高収量量の品種の導入や化学肥料と農薬の適用などにより食料生産量が劇的に増えた。しか

図5 SLMガイドライン



英語版(左)とアムハラ語版(右)を作成。関係各所に配布して、研修や実践に活用している。

し、恒川さんらが目指すのは、食料生産だけでなく土壌侵食の防止や生態系の保全、農民の生計向上といった統合的な取り組みである。「私はこれを『虹色の革命』と呼んでいます。7色の虹のように複数の技術やアプローチを組み合わせることで次世代型SLMを実現したいと思っています」と恒川さんは今後の抱負を述べる。

その手始めに、世界銀行やドイツ国際協力公社、エチオピア農業省と共同で、24年8月にエチオピアの

首都アディスアベバでSLMワークショップを開催する予定だ。SLMにおける科学・政策・開発のギャップを埋め、主要ステークホルダー間の協力を促進することを目的としている。さらに、地球規模の気候変動が進めば、これまでのSLMでは対応できなくなる可能性もある。恒川さんたちは、それに備えて「気候変動対応型SLM」についても議論を始めたいと考えている。

(TEXT:森部信次、PHOTO:石原秀樹)



研究を担うのは「人」。一番大事なのは、人と人とのつながり、信頼関係だと思います。今後は、もっとたくさんのステークホルダーや研究機関に参加してもらえるようにしていきたいです。

太田 香 Ota Kaoru

室蘭工業大学 コンピュータ科学センター センター長・教授
2021年よりさきがけ研究代表者

Society5.0の実現に向け、大容量の情報を多数の端末間で高速かつ遅延なく受発信できる通信環境が求められている。そうした環境の制御を屋内で実現するものとして注目されるのが、人工物質「メタマテリアル」を使った反射板の「RIS」だ。室蘭工業大学コンピュータ科学センターの太田香教授は、ユーザーにストレスを感じさせない通信環境の実現に向け、環境制御の最適化に向けた基礎理論の構築に挑んでいる。



電波の反射を最適化する基礎理論構築 ストレスを感じさせない通信環境を実現

次世代6G、直進性が弱点に 位相ずらして障害物を避ける

スマートフォンやタブレット端末で、動画などのサイズが大きいデータを扱うのが当たり前の時代。多くの情報を迅速に受発信できない通信環境はユーザーの大きなストレスとなる。高速通信規格5Gの普及が徐々に進み、次の世代を担う6Gの整備が待たれるゆえんでもある。課題は、これらの通信規格に割り当てられる電波の周波数帯だ。28～300ギガヘルツの「ミリ波」や1テラヘルツ前後の「テラヘルツ波」などの高周波数帯は、直進性が高く、障害物があると届かない。基地局を開設すると、コストや電力需要がかさむ。

そこで登場してきたのが「電波を反射させる」という発想である。基地局やアクセスポイントからの電波を、障害物を避ける方向に反射させ、デバイスに届ける。ミリ波やテラヘルツ波を

どこでも利用できるようになれば、各種通信機器を利用する際の快適性が格段に増す。この発想に室蘭工業大学コンピュータ科学センターの太田香教授は強く惹かれた。「反射は従来、電

図1 受動反射素子の集合体「RIS」

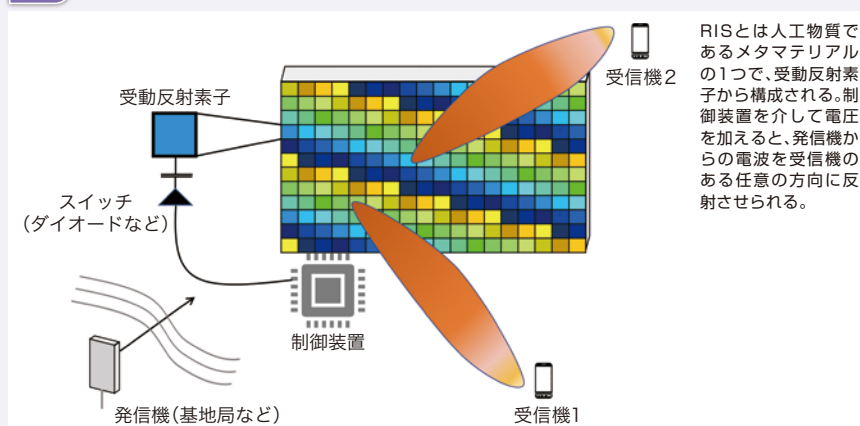
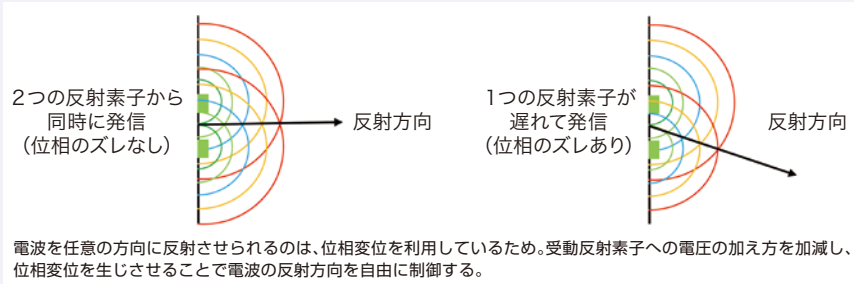


図2 位相変位と反射方向の関係



波同士の干渉を生むので通信には好ましくないとされていました。それだけに、電波を反射させるという発想に新しさを感じたのです。

電波の反射には、自然界の物質にはない振る舞いをする人工物質のメタマテリアルである「Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)」を用いる。その面白さは、通常は物質ごとに定まる反射角や屈折率などをRISでは制御できる点にあり、反射方向も自由に定めることができる(図1)。反射方向の制御には「位相変位」を利用する。RISはいくつかの受動反射素子で構成されており、この素子に電圧を加えると、電波を反射する。その電波には、電圧の加え方によって位相変位、つまり波のズレが生じる。

受動反射素子で真正面から受け止めた電波は、ズレがない場合には同じ方向に反射される。しかしズレがある場合には、ズレに応じた一定の角度で反射される(図2)。太田さんは、このRISの制御技術を研究対象として選んだ。「どういう使い方をすると社会に役立つのか、そこではどんな制御が可能なのか。6G実用後の世界を見据えると、新しい物質だけに未解明のことが多く、基礎的な研究が必要だと考えたからです」とその理由を説明する。

高周波数帯の電波を通信の利用状況に見合う最適な形でデバイスに届けるには、RISをどう制御すればいいのか。太田さんはJSTのさきがけにこの課題を提案し、採択された。「JSTのACT-IやACT-Xの公募に応募してきましたが、ご縁がありませ

んでした。若手研究者にとって憧れとも言える『さきがけ』の公募では、研究課題に新たにRISの制御理論を据え、3度目にしてやっと念願を叶えることができました」と振り返る。

専門領域を外に押し広げ 利用環境は屋内に絞り込み

太田さんが研究者の道を歩むきっかけは高校時代にある。太田さんが高校生だった1990年代後半にインターネットが社会に普及し始めると、その斬新さに強い興味を抱いた。「それまでは電話がかかってきたら受電するといった一方向のコミュニケーションだったのが、ネット上の掲示板などを通じて、双方向に即時で意思疎通できるようになった点に面白さを感じました」。大学では情報ネットワークを専攻し、専門領域を究めていった。

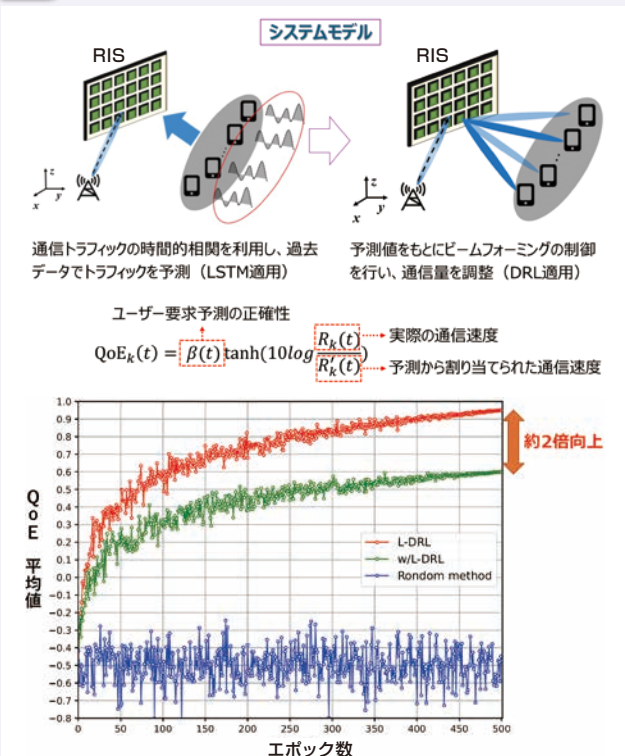
2010年に太田さんは、カナダのウォータールー大学に留学し、通信工学の研究に組み込んだ。「知人の先生から研究室を紹介していただきました。その研究室

の専門領域がたまたま通信工学だったのです」。研究室には、中国や中東からの留学生が多く集まっており、太田さんは彼らの高いモチベーションに刺激を受けながら、自らの専門領域を外に押し広げてきた。「情報ネットワークは今や、あらゆる専門領域に求められています。領域間の垣根を取り払い、それぞれを一体的に捉えようとする意義は、通信工学でも共通です」と語る。

太田さんの、専門領域の融合に価値を置く研究者としての姿勢の表れだ。さきがけでの研究を開始したこの約2年半で、RISの利用環境を屋内に絞り込んだ。それだけではなく、通信品質を高められる最適な制御理論について、一定の成果を得ることができた。研究開始当初は、屋内外での利用を想定していたが、1年ほどたった段階で利用がより現実的な屋内に利用環境を絞り込んだのだ。

理由の1つは、屋内外でRISを用い

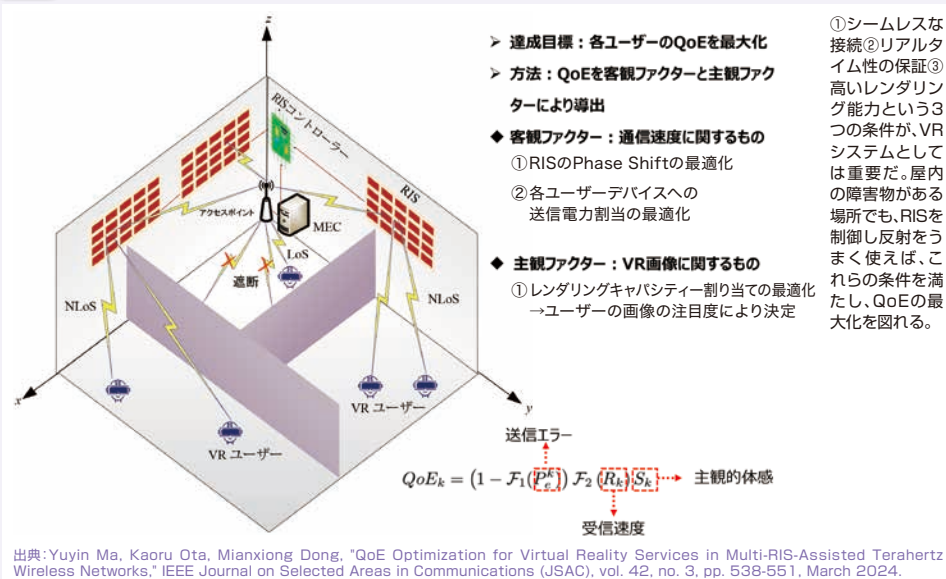
図3 異なる通信要求を持つ複数利用者のQoEを最適化



出典: Jiale Shu, Kaoru Ota, Mianxiang Dong, "Optimizing RIS Configurations for Diverse User Requirements via Network Traffic Prediction," The 8th IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud 2023), Tokyo, Japan, September 16-18, 2023.

利用者がどのような情報をやり取りするかによって通信トラフィックは異なる。それを通信履歴から予測し、その結果を基にRISを制御。各利用者の通信量を調整し、QoEを最適化した(上)。QoEのシミュレーション結果(下)。赤線は通信トラフィックの予測結果を基にRISを制御した場合、緑線はトラフィック予測せずにユーザーの現在の電波強度のみを考慮してRISを制御した場合、青線はランダムにRISを制御した場合。赤線と緑線の差は最大で約2倍に達する。

図4 テラヘルツ波を利用したVRシステムでのRISの利用



とからテラヘルツ波を用いる。さらにアクセスポイントの近くにはネットワークの末端に存在するコンピュータである「エッジサーバー」を置き、あるデータを処理することで画像や映像を表示させる「レンダリング」をそこで行う。テラヘルツ波を使えば電波の指向性はおのずと高まるため、通信速度を十分に得るためにはRISの制御を最適化する必要がある。

そこで利用者の位置情報をエッジサーバー上で随時更新し、最適制御に生かした。通信速度を左右する要素として、各デバイスにワイヤレス伝送する電力やレンダリング能力にも着目し、

割り当ての最適化を図った。VRシステムは、利用者が注目する画像の一部を高い解像度で生成する必要があるが、注目しない部分は低い解像度で問題ない。注目度はVRシステムを通じてデータとして取得可能なため、その取得データを基に割り当ての最適化を図ることができる(図4)。

VRシステムで電波を使う場合、QoEの値を決める要素は大きく2つある。「RISの制御や伝送電力の割り当て」という通信速度に関する客観要因と「レンダリング能力の割り当て」

た実験を行った先行研究の成果にある。この研究では「屋外は障害をもたらす電波が多く、反射の成果は得られなかった」と結論付けている。同時に、自身も同じ感触を得ていた。「屋外では電波を届ける範囲が限定されないため、巨大なRISを数多く設置することになります。しかし、それは現実的ではないので、屋外では局所的な利用にとどめるのが妥当であると考えました」と説明する。

満足度を体感品質で評価 用途別制御の有用性を確認

屋内での利用を前提に最適な制御理論を探る上で、太田さんは2つの状況を想定した。1つ目は、異なる「通信要求」を持つ場合だ。動画やテキストなどデータ量の異なる用途で電波を使う際、いつ、誰が、どのようなデータを利用するのがあらかじめわかれば、RISの制御を通じて限りの通信の資源を適切に割り当てることができる。そこで生まれたのが、通信履歴を基に一定時間にネットワークに流れるデータ量である「通信トラフィック」を予測し、その結果をRISの制御に生かすことで、通信資源を適切に割り当てるという発想だ。

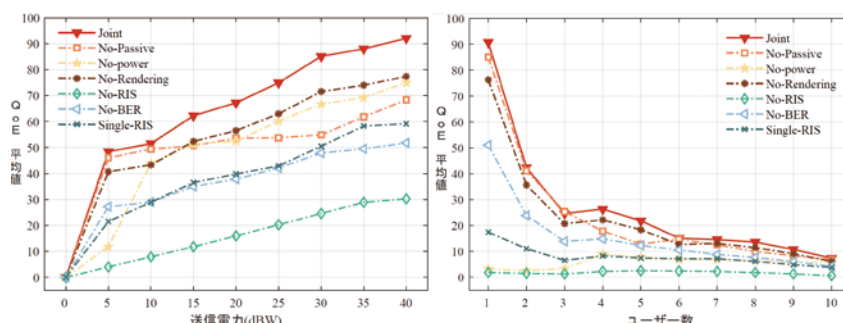
満足度を評価する指標には「体感品質(QoE)」を用いた。通信トラ

フィック予測の正確性、予測結果を基に割り当てられた通信速度と実際の通信速度との開き、この2つを関数として値を求める。QoEの時間推移を試算すると、通信トラフィックの予測結果を基にRISを制御した場合、予測結果とは無関係にユーザーの現在の電波強度を基にしてRISを制御した場合では、約2倍の差が生じた。つまり、予測結果を基にRISを制御する有用性が確認されたのである(図3)。

2つ目は、仮想現実(VR)システムで電波を使う場合である。通信の接続にリアルタイム性が求められるこ

図5 VRシステムでのQoEのシミュレーション結果

Joint: 提案手法/No-Passive: ランダムビームフォーミング/No-power: 電力割当最適化なし
 No-Rendering: レンダリング割当最適化なし/No-BER: BER最適化なし



vs. アクセスポイントからの送信電力

➤ エネルギー効率の良い通信を実現

vs. システム内のユーザー数

➤ ユーザー数が増えても性能に優位性

出典: Yuyin Ma, Kaoru Ota, Mianxiang Dong, "QoE Optimization for Virtual Reality Services in Multi-RIS-Assisted Terahertz Wireless Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), vol. 42, no. 3, pp. 538-551, March 2024.

アクセスポイントからデバイスであるVRゴーグルへ使用電力をワイヤレス伝送することを前提に「信号強度ごとのQoE」(左)と「VRシステム内の利用者数ごとのQoE」(右)を求めた。いずれも、RISの制御に加え、伝送電力やレンダリング能力の割り当てを最適化した場合にQoEの最大化を実現できることが確認できた。

という主観要因だ。通信速度と画像品質の2つからQoEを定義づけ、シミュレーションした。その結果、客観・主観要因の割り当てがいずれも最適化し、QoEの最大化を図ると、エネルギー効率の良い通信が可能になることが明らかになった。さらに、利用者数が増えたとしてもQoEの優位性に変わりはないことも確認できた(図5)。

既存環境を補完して利用 AI組み合わせ、きめ細かく

通信の資源は有限なので、利用者全員に等しくは配分できない。「だからこそ、通信容量を場所や利用者、時間に応じて変化させ、QoEの向上を図る必要があります。そのアルゴリズムを検証できました」と太田さんは2つの成果の意義を総括する。RISの基礎理論を一定程度構築した太田さんは、RISに関する研究を今後どのように発展させるのか。将来展望としては大きく2つの方向性を描いている。

1つ目は、より複雑なモデルを想定したアルゴリズムの検証だ。現在、RISは反射だけでなく透過の機能を持つ360度対応のハイブリッド型も検討されている。そうしたRISの利用を念頭に置いたより複雑な通信環境下でのシミュレーションを実施するという方向だ。2つ目は、センシングシステムへの展開である。すでに電波の反射速度を観測して人間の動作のセンシングに役立てる技術は存在する。「RISを用いた反射も同じように活用できるとみています。画像を使用しないため、プライバシーの保護という観点からも評価できる技術です」と説明する。

RISの制御をどのような空間で、いかにして利用することが考えられそうか。そのイメージは、研究を進める中で徐々に具体像を結ぶようになった。さきがけでは、原則として年2回、領域会議が開催され、研究総括や領域アドバイザーの先達らと議論を重ねる。その場がイメージ固めを促したというのである。「想定しているの

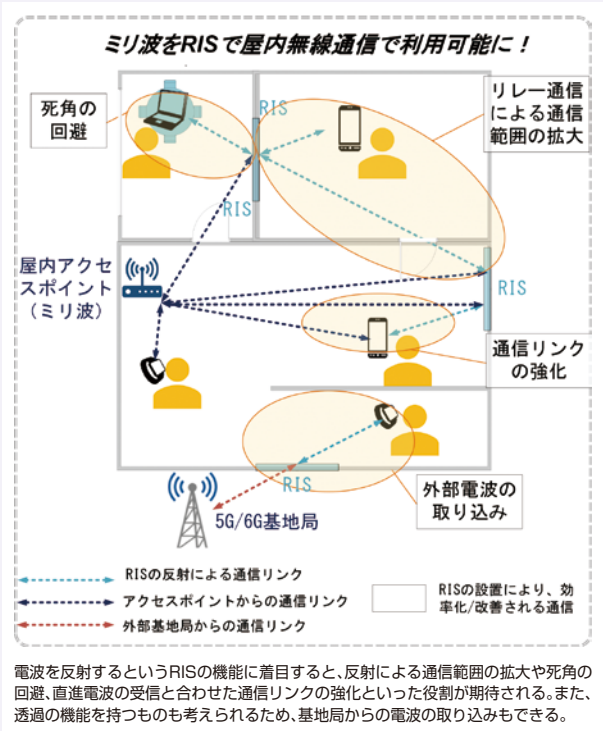
は、データ量が局所的に増える場合に、既存の通信環境を補完する利用です。具体的には、大型商業施設やスタジアムなどでイベントが開催され、大人数がそこで通信機器を使用する例が考えられます」。

RISは基地局の代わりではなく、既存の通信環境を補完するもの。それが、RISに対する太田さんの現在の見方だ。「通信容量の不足を補った通信範囲を一時的に広げたりするものと考えています」(図

6)。将来は、RISをより高度に制御するため、急速に発展する人工知能(AI)の利用も検討している。さきがけでは、通信の遅延をなくすためにシンプルなアルゴリズムを提案し、計算量を抑えた。「AIを組み合わせることで利用者の位置や通信要求を予測した結果も踏まえた、さらにきめ細かな制御も期待できます」と展望を語る。

とはいえ、社会実装に向けた役割分担が学界と産業界の間にはあるというのが、太田さんの基本的な構

図6 通信環境の改善に向けて期待されるRISの役割



えだ。「まず学界が10年くらいかけて技術を成熟させた上で、産業界が社会実装していく。今はまだ学界で成熟させる段階と受け止めています」。太田さんはRISの研究だけではなく、札幌医科大学と共同で、加齢にともなう排尿障害を調べるための尿量検査測定を非侵襲でできないかといった医工連携も進めている。幅広い分野の基盤となりうる技術の発展を追究してゆく、太田さんの今後の活躍からますます目が離せない。

(TEXT:茂木俊輔、PHOTO:伊藤彰浩)



イノベ 見て歩き

連載：第11回

個人で導入可能なメタン発酵システム 小規模・低価格化で市場展開を加速

豊橋技術科学大学 資源循環工学研究室
豊橋バイオマスソリューションズ

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 応用化学・生命工学系 大門裕之教授(中)、
豊橋バイオマスソリューションズ 熱田洋一代表取締役社長(右)、金子光瑠大学院生(左)

社会実装につながる研究開発現場を訪ねる「イノベ見て歩き」。今回は、家畜ふん尿など有機性廃棄物のメタン発酵システムを小規模低価格化することで、個人経営の農家でも導入を可能にした豊橋技術科学大学資源循環工学研究室と、その市場展開を進める大学発ベンチャーの豊橋バイオマスソリューションズの取り組みを紹介する。

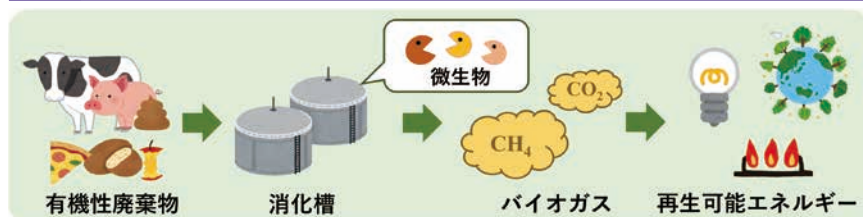
下水污泥は貴重なバイオマス 地域内での活用構想を提唱

愛知県豊橋駅から南へ30分ほど車を走らせると、丘陵に広がる豊橋技術科学大学のキャンパスが見えてくる。1976年の創立からまもなく50周年を迎える同大学は、半導体センサー・デバイス、ロボット、IoTなどの研究で知られ、産学連携・異分野融合研究が盛んだ。豊橋技術科学大学大学院工学研究科応用化学・生命工学系の大門裕之教授が指揮する資源循環工学研究室も、メタン発酵技術を軸に産学官民連携に力を入れてきた。

有機性廃棄物を微生物の働きで発酵させ、メタンを含むバイオガスを製造する技術(図1)により、大都市の下水処理場ではバイオガス発電システムが普及している。しかし、多くの中小都市の下水処理場では費用面から導入が難しく、污泥を焼却などで処分しているのが現状だ。大門さんは「下水污泥は貴重なバイオマス資源であり、この現状を見過ごしては真のパラダイムシフトにつながらない」と考え、当時下水污泥の活用方法を探っていた豊川浄化センターをフィールドとして「豊川バイオマスパーク」構想を提唱した。

この構想は、下水污泥から生成したバイオガスで発電し、発生した廃熱は温室栽培へ供給、さらに副産物と

図1 メタン発酵システムの概念図



家畜ふん尿や食品廃棄物といった有機性廃棄物を微生物によってメタン発酵させ、発生したメタンガスや二酸化炭素、廃熱を利活用する。

して出る二酸化炭素も陸上海藻工場の光合成促進に利用するというものだ。同時に、メタン発酵の過程で出た残渣は堆肥化し、市民農園で活用する。大門さんたちは、文部科学省の科学技術戦略推進費を得て、2011年から下水処理場に導入を促進するバイオガス発電システムの実証実験を開始した。これを見学した地元のプラントメーカーから「家畜ふん尿の処理にもこのシステムを導入できないか」と声がかかったのが、小規模普及型を開発するきっかけとなった。

豚のふん尿から売電収入 「におい」の問題が軽減

バイオガス発電システムはビール工場や食品工場などにも導入されているが、大規模な施設を導入するためには、10億円規模の投資が必要だ。そこで、同研究室の熱田洋一特任准教授(当時)が中心になって、中規模養豚農家でも導入できるようシス

テムのスケールダウンに取り組んだ。その際に意識したことは、高効率化や自動化を追求しすぎず、安定運転を可能にすること。システムや資材など工夫を凝らすことで、数千万円規模の投資で実現可能とした。

16年に、熱田さんたちは国内初の小規模普及型メタン発酵システムを養豚農家に導入した(図2)。今まで、養豚農家はふん尿処理に費用を払っていたが、これによって売電収入が得られることになり、それ以上に家畜ふん尿から発生する「におい」の問題が軽減され、排水がきれいになったことが大きなメリットとなった。その後も熱田さんたちのサポートの下、農家自身がプラントの改善に取り組んだことで、メタンガス発生量が開始当初から約4倍に増えるなど、現在ではさらなる収益向上が図られている。

本格的な普及には自ら事業を起こすことが必要と考えた熱田さんは、この成果を基に、21年に大学発ベ

図2 バイogas発電システムの概念図と導入事例



棄物への対応を進めている。窒素分の多い家畜ふん尿に対し、発酵助剤や発酵触媒を開発することで、発酵の安定性や効率向上、発酵時間の短縮を図っている。博士課程2年の金子光瑠さんをはじめ、研究

ンチャーとして「豊橋バイオマスソリューションズ」を設立した。「建設業の大学発ベンチャーはあまり例がありませんが、地元のプラントメーカーなどと連携し、農家との対話からニーズを引き出して最適なシステムを設計・施工しています」と熱田さんは語る。すでに、養豚農家だけでなく長芋工場や酪農家など10件の納入実績をあげており、今後は海外への展開も視野に入れている。

途上国への技術移転を意識 脱炭素社会の生きた教科書に

23年11月には「STI for SDGs」アワードの科学技術振興機構理事長

賞を受賞した。受賞にあたり、大門さんは「家畜ふん尿、食品廃棄物などの処理は途上国でも深刻な課題ですが、彼らが自分の力で運営でき、生活向上につながる持続可能なシステムを提供することが重要であり、それを『誰ひとり取り残さない社会の実現』という言葉に込めました」と語る。この背景には、日本が主に注力する先端分野の科学技術は社会実装までに時間がかかることや、先進国が持つ高度な技術を途上国に移転しようとしても現地が対応できないケースを見聞した大門さんの焦燥感が込められている(図3)。

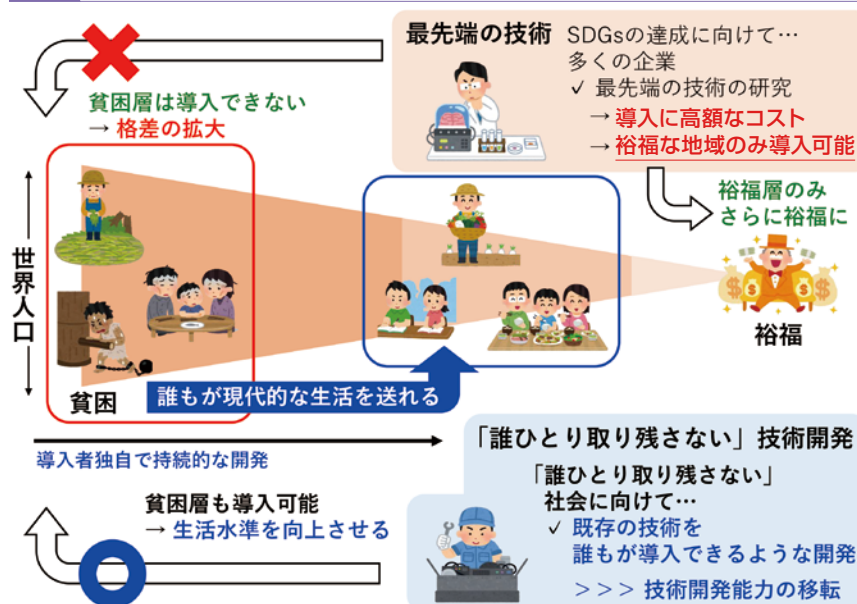
研究開発においても、システムの小規模化・高効率化とともに食品廃

室に所属する学生は、豊橋バイオマスソリューションズの事業にも積極的に参加しているという。「現場に立つことで自分の研究が世の中に貢献できるという確信が生まれました」と金子さんは目を輝かせる。

豊橋市を含む東三河地方では、トマトやメロンなどの果物や野菜・花卉の温室栽培が行われ、全国シェアトップのウズラの卵など養鶏業も盛んだ。家畜ふん尿からバイオガス発電を行い、廃熱や液肥を温室栽培に利用することができるこのシステムは、廃棄物問題に対する地域社会の関心を高め、脱炭素・循環型社会づくりを理解する生きた教科書と言える。システムの導入者が自身の状況に合わせて自ら技術を発展させていけることこそが、真の「持続可能な開発」と言えるのではないかと、大門さんたちは強調する。

(TEXT: 森部信次、PHOTO: 石原秀樹)

図3 「誰ひとり取り残さない」社会を目指して



日本では最先端の技術開発が進むが、その恩恵が貧困層に還元されるまでには時間がかかる。大門さんらが提唱する「誰ひとり取り残さない」技術開発では、既存の技術を用いて誰もが導入できるものを目指している。

「STI for SDGs」アワード
2024年度 エントリー受付中!
締切 2024年7月8日(月)

「STI for SDGs」アワードは、科学技術・イノベーションの活用で社会課題解決を目指す取り組みを対象とした表彰制度です。持続可能な未来のために、皆さまの日々の取り組みをぜひご応募ください。詳細はWebサイトをご覧ください。

【主催】JST
【後援】文部科学省
【詳細】<https://www.jst.go.jp/ristex/sdgs-award/index.html>



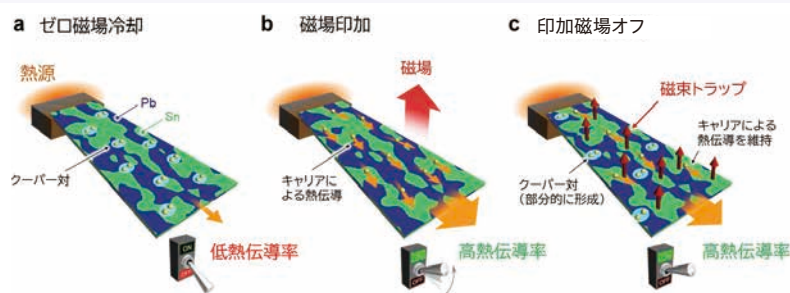
ハンダで不揮発な磁気熱スイッチングを実現 磁場で能動的に熱伝導率を制御可能

さまざまな電子デバイスの高性能化に伴い、磁場や電場などで熱伝導率を変化させる材料の開発が求められています。その1つである、磁場や磁化による「磁気熱スイッチング」の新材料開発が進められています。しかし、磁場印加によって生じた熱伝導率変化を、磁場を切っても維持できる「不揮発磁気熱スイッチング」の実現は困難でした。

東京都立大学大学院理学研究科の水口佳一准教授らの研究チームは、スズ(Sn)と鉛(Pb)が完全に分離した複合材料のSn-Pbハンダに着目。外部磁場のない状態でハンダを約マイナス265度以下に冷却したところ、超伝導の特徴である、外部磁場を物質中から完全に排除する「完全反磁性」が試料全体で見られ、同時に熱伝導率が低くなりました。その後、磁場を加えるとSnとPb共に超伝導でなくなり、熱伝導率が高くなりました。通常、この状態から磁場を取り除くと再度超伝導状態に戻ります。しかし、SnとPbが完全に分離しているハンダの性質により、Pbは超伝導に戻りましたが、Snは消磁後も一部の磁束が外部

に排出されずに残る「磁束トラップ現象」によって、超伝導性を失い磁石となりました。このことから、消磁後もSnの高い熱伝導率によりハンダ全体が高熱伝導率状態を維持し、不揮発磁気熱スイッチング材料となることがわかりました。

この現象は、ハンダが2種類の超伝導体からなる完全相分離系複合材料であることで生じているため、ハンダに限らず、超伝導を示す複合材料でも発現する可能性があります。今回の結果は、ハンダの超伝導転移温度である約マイナス265度以下でのみ生じるものですが、この技術を超伝導転移温度の比較的高いものに応用することで、より高温でも動作可能な新たな熱スイッチ技術の創出が期待されます。



Sn-Pbハンダを冷却して超伝導状態(a)にした後、磁場を加えて超伝導でない状態(b)にし、そこからさらに磁場を取り除いた状態(c)を表した概念図。Snに磁束トラップ現象が生じ、超伝導性が失われて磁石となることで、Pbの超伝導とSnの磁石の性質を併せ持った不揮発磁気熱スイッチング材料となることが解明された。

CO₂吸収でエラストマーをちぎれにくく 高圧にも耐久力、硬軟自在のポリマー開発へ

近年、温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)を回収し、バイオ燃料やコンクリート製品の生産に有効活用するための技術開発が進められています。さらに、CO₂で材料の機能を制御することができれば、CO₂利用の新しい可能性が開けます。

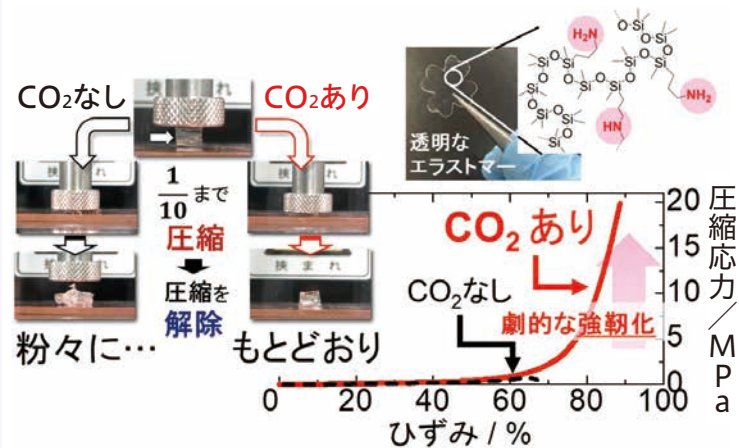
岐阜大学工学部の三輪洋平教授らの研究グループは、CO₂をはじめとする特定の気体に応答し、よく伸びてちぎれにくくなる「シリコンエラストマー」を開発しました。エラストマーとは、ポリマー分子を架橋して得られるポリマー材料のことで、ゴム弾性を示すため、乗り物のタイヤや輪ゴムなど、私たちの生活に広く使われています。

開発したエラストマーは、アミンを持つポリジメチルシロキサンを架橋することで容易に作成できます。このエラストマーではアミンがCO₂と素早く反応し、そこで発生したイオン成分が集合して、クッションのように振る舞うことで破壊が抑制されて強靱になり、約20メガパスカル(MPa)(≒200気圧)の高圧にも耐えることができるようになります。20MPaとは、1円玉の上に

軽自動車に乗せた場合の圧力に相当します。

このエラストマーは、低濃度のCO₂や塩化水素、酢酸などの酸性ガスにも応答します。またこの技術は、ポリエチレンなど他のポリマー材料にも適用可能です。現在、研究グループはCO₂に反応して硬くなるポリマー材料の開発も進めており、今後はCO₂で硬さや軟らかさを自在にコントロールできるポリマー材料を実現し、CO₂有効活用技術の開拓を目指します。

開発したシリコンエラストマーの外観とCO₂による強靱化挙動



加齢による中年太りの仕組みを解明

生活習慣病の予防法や治療法の開発に期待

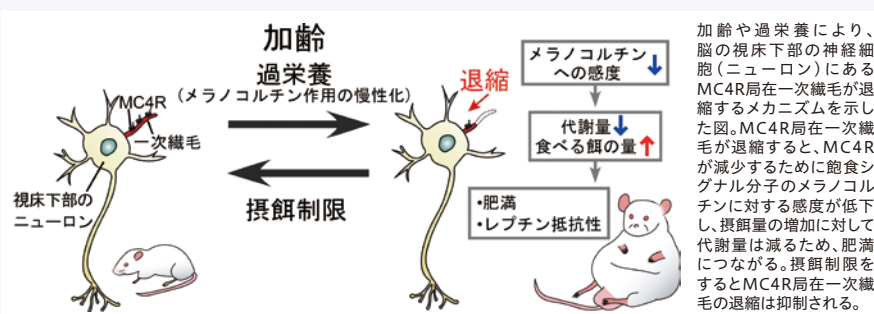
糖尿病や高血圧など生活習慣病のリスクを高める加齢性肥満、いわゆる中年太りの原因は、基礎代謝量の低下とされています。しかし、加齢に伴い代謝の落ちる原因やメカニズムはこれまで解明されていませんでした。

名古屋大学大学院医学系研究科の大屋愛実助教、中村和弘教授らの研究グループは、代謝促進と食欲抑制によって肥満を防ぐ働きをする「メラノコルチン4型受容体(MC4R)」に着目。MC4Rを可視化できる抗体を世界で初めて作製することで、脳の神経細胞が持つMC4R局在一次繊毛の長さが「痩せやすさ」を決定し、それが加齢や過栄養によって短くなることが中年太りの原因になることを明らかにしました。

MC4Rが局在する一次繊毛の変化をさまざまな週齢のラットの脳で観察したところ、加齢とともに徐々に退縮し短くなりました。さらに過栄養状態ではこの退縮が加速しましたが、摂餌量を制限すると退縮は抑制されました。また遺伝子技術を用いて若い

ラットのMC4R局在一次繊毛を強制的に退縮させると、飽食シグナル分子であるメラノコルチンへの感受性が低下し、代謝量と脂肪燃焼量が減る一方、摂餌量は増えて肥満になり、反対に退縮を抑制すると体重の増加が抑えられました。この結果、MC4R局在一次繊毛の長さが痩せやすさに影響し、加齢や過栄養により短くなることが中年太りの原因となっていることがわかりました。また、加齢により消失したMC4R局在一次繊毛は、摂餌量を制限すれば再生することにも明らかになりました。

今後はラットの肥満メカニズムがヒトでも同様に起きているのかを検証する研究が必要です。MC4R局在一次繊毛の退縮を防ぐ医薬品開発など、肥満による生活習慣病の未病段階での予防法や治療法の開発が期待されます。



肺胞形成のメカニズムが明らかに

COPDや感染性呼吸器疾患の治療に道

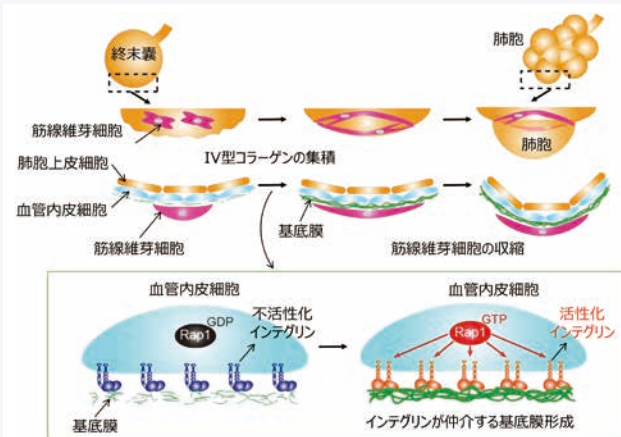
呼吸で酸素と二酸化炭素を交換する肺の組織「肺胞」は、気管支の末端にある小さな袋状の構造をしており、肺の中には数億個も存在します。慢性閉塞性肺疾患(COPD)のような重い肺疾患になると、肺胞が破壊されて呼吸困難から死に至ることもあります。しかし、これまで壊れた肺胞を再生する方法は確立されていませんでした。

肺胞の形成には強い収縮力を持つ肺胞筋繊維芽細胞が関与しています。これまでの知見から同細胞が袋状の終末嚢に巻き付き、収縮してくびれを作ることによって肺胞が形成されるというモデルが提唱されています。日本医科大学先端医学研究所病態解析学部門の高野晴子教授と福原茂朋大学院教授らの研究グループは、肺胞を構成する細胞の1つであり、酸素や二酸化炭素(CO₂)のガス交換を担う血管内皮細胞に着目し、同細胞にて細胞内情報伝達分子のRap1遺伝子を破壊したマウスでは、肺胞の形成が抑制されることを発見しました。

この結果、血管内皮細胞がRap1たんぱく質の働きにより、細胞接着因子であるインテグリンを活性化してIV型コラーゲンを集めることで基底膜を形成すること、また、この

基底膜が筋繊維芽細胞の足場として働くことで同細胞の収縮を誘導し、肺胞形成を促進することが判明しました。

今回の研究成果を応用した肺胞の再生技術が開発されれば、COPDや感染性呼吸器疾患などの治療法を生み出す可能性があります。また、試験管の中で臓器を模倣して作る肺胞オルガノイドにおいても、従来含んでいなかった血管内皮細胞が合わさることで一層機能性が増し、疾患の原因解明や治療法の開発への貢献が見込まれます。



血管内皮細胞は、細胞接着因子であるインテグリンを活性化してIV型コラーゲンを集めることで、筋繊維芽細胞の足場となる基底膜を形成し、筋繊維芽細胞の収縮を誘導して肺胞の形成を促す役割があるとわかった。

さがける 科学人

vol.140

水内 良

Mizuuchi Ryo

早稲田大学 理工学術院
先進理工学部 電気・情報生命工学科
専任講師

大阪府出身。2018年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。米ポートランド州立大学博士研究員、東京大学特任助教などを経て、23年より現職。19年～23年さがけ研究者。同年より創発研究者。

PROFILE



初めての研究室の集合写真です。これから学生と一緒にどんな研究成果を生み出せるのか楽しみでなりません。

「生命の起源」を解明したい RNA構造の自己複製を実証

Q1. 研究の道を志した経緯は？

A1. 大学の授業で感動、生物学に興味

子どもの頃から難しい問題を解くことが好きで、将来は研究者になりたいと思っていました。もともとは数学者になりたかったのですが、高校の担任の先生からのアドバイスもあり、自然科学を幅広く学べ、入学後に進路を決めることができる大阪大学工学部応用自然科学科に進学しました。

転機が訪れたのは、大学で初めて本格的な生物の講義を受けた時です。私は、高校の選択科目で生物を選んでおらず、大学で初めて深く勉強したのですが、自分の体が目に見えない細胞中の複雑な反応によって形作られているということに感動し、生命の神秘に魅せられました。

しかし、どのように生命が生まれ、いかにしてさまざまな機能を形成するに至ったのかはいまだに解明されていません。勉強する中で、一番の難題とも言える「生命の起源を解き明かしたい」と考えるようになり、研究の道に進むことを決めました。

Q2. 現在取り組んでいる研究は？

A2. 無秩序集団が進化する過程を探る

私は、生命の起源において一番大きな飛躍は、非生命体である単純な分子から「生命らしい何か」が生まれたときだと考えています。地球の誕生は約46億年前、最初の生命が生まれたのは約40億年前と言われています。原始地球で最初に生

まれた「生命らしい何か」は、自己複製する機能を持ったRNAであるという仮説があり、生命の起源を解明するためには、いかにして自己複製するRNAが生まれえたのかを知ることが必要です。

創発では、この過程を検証すべく研究に挑んでいます。最近では、20塩基という非常に短いランダム配列のRNA集団から特定のRNA配列と構造が自発的に出現することや、それらの近縁となるRNAが自己複製することを実証しました。これは、原始地球に存在した可能性がある、自己複製する最小のRNAです。もし、このRNAを持続的に複製することができれば、新しい配列を獲得するなどして複雑な機能を持つように進化する可能性もあり、進化に必要な条件を解き明かすことにもつながっていくはずです。

しかし、この発見は生命の起源を探る第一歩にすぎません。私が本当に知りたいのは「無秩序なRNAの集団から自己複製するRNAが自発的に生まれ、維持され、進化の一続きの過程」です。この点についても研究を進めていきたいです。



継続は力なり

Q3. 後進の研究者にメッセージを

A3. 「何を一番やりたいか」を追求して

自分がやりたいことを実現する時に難しいことは「やりたいこと」自体を見つけることだと思います。今は誰でもあらゆる情報にアクセスできるため、行動せずとも何でもできるように感じてしまいます。しかし、本当にやりたいことは待っていても降ってきません。たくさん勉強し、さまざまな人の話を聞くなど自分から積極的に動いて初めて、本当にやりたいことが見つかると思います。

私は学生時代に米国航空宇宙局(NASA)に留学しました。留学前はとても遠い存在に感じて憧れていましたが、行ってみると多くの科学者が研究に励む、意外と「普通の」研究所でした。この経験から確信したことは、NASAや有名な大学で研究すること自体を目的にするのではなく、その先に自分が本当は何を一番やりたいのかを追求することが大事だということです。今は日本にいながらでも、その気になれば世界中の研究者とつながることができる時代です。ぜひ本当にやりたいことを見つけるためにも、積極的に行動してください。

(TEXT: 村上佳代)



研究室にある、自分の実験台です。いつまでも現役で実験したいです。

