

産
総
研

LINK

04

2018 APRIL

No.18

技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン



TOP MESSAGE

産総研と農研機構が起こす農業イノベーション P02
 農工連携で「新しい農業」をつくる!

Ryoji Chubachi
 Tokio Imbe

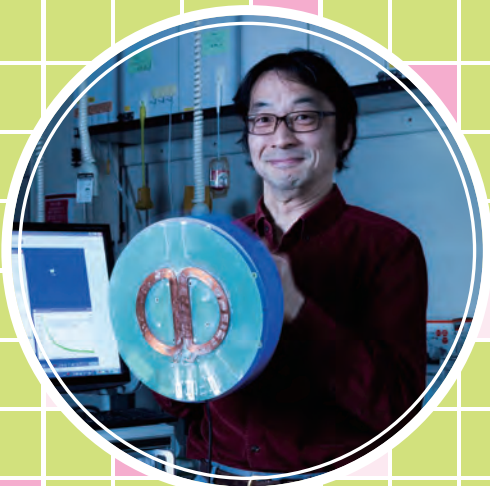


NEW TECHNOLOGY

電磁波で測る P08

農産物の水分量を、切らず、つぶさず
 わずか1秒で簡単に計測

Masahiro Horibe
 Seitaro Kon



NEW TECHNOLOGY

片側開放型NMRで測る P12

牛の霜降り状態が、
 飼育中に十数秒で測れる

Yoshito Nakashima

農工連携で「新しい農業」をつくる!

産総研と農研機構が起こす農業イノベーション

国立研究開発法人
産業技術総合研究所
理事長

中鉢 良治

Ryoji Chubachi

1977年東北大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。同年、ソニー株式会社入社。社長・副会長を経て、2013年4月独立行政法人(現・国立研究開発法人)産業技術総合研究所理事長に就任。



司会進行

国立研究開発法人
産業技術総合研究所 理事
兼 生命工学領域 領域長

松岡 克典

Katsunori Matsuoka

人手不足など課題の多い今こそ 農工連携のチャンス

—松岡 「アグリテクノフェアin北海道」は、農業等の第一次産業や、それらを活用した食品加工業、流通業等関連産業などの生産性向上、付加価値の創造などを目的に、産総研と農研機構の先端研究シーズを関連企業の皆様へ橋渡しする機会とするものです。両機関が日本の第一次産業・アグリビジネスの発展に向け、最先端技術を企業や農林水産業の現場に橋渡しするためにどのような取り組

産総研と農研機構、ともに国立研究開発法人である両機関には、それぞれの担当分野で基礎から実用化までの研究開発を一体的に推進し、成果の最大化を図り、国際競争を勝ち抜く産業力の強化に貢献することが求められている。

2018年3月、両機関は、農林水産業が全国一の北海道で、生産性向上と付加価値創造を目的に、「アグリテクノフェアin北海道」を共催した。

これを機に両機関の理事長に、最先端技術を企業や農林水産業の現場に橋渡しする取り組みや課題について話していただいた。

国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）
前理事長

井邊 時雄

Tokio Imbe

1976年京都大学農学部卒業、農学博士。同年、農林省に入省し、稲の品種改良に従事。国際稲研究所(IRRI)派遣、九州沖縄農業研究センター所長、農研機構理事を経て、2014年農研機構理事長に就任、2018年3月に退任。



この対談は2018年3月に行いました。4月より、井邊氏に代わり久間和生氏が農研機構理事長に就任されました。

みをしているのか、そこに至る課題認識も含めてお話しください。

井邊 農研機構は農業・食品産業技術を中心に研究開発を行っています。農業をはじめとする第一次産業では高齢化が非常に進み、担い手の減少が問題になっている一方で、生産規模の拡大が進んでいるという現状があります。私たちは、これを農業の構造改革を進めるチャンスだと考えています。人手不足に対応するにはロボットの導入やICT（情報通信技術）の活用などによる作業の無人化が必要であり、そのためには異分野との連携が不可欠になります。農研機構にもAIの研究者はいますが、自

前ですべての研究ができるわけではありませんから、産総研はじめICTやAIの得意な研究機関、民間企業との連携が非常に重要であると考えています。

また、日本の農業分野では法人の生産規模が非常に小さく、自前で研究開発する能力がないという課題があります。私たちはそのような生産者と組み、私たちの、あるいは大学や民間の技術を生産者となぐ橋渡しの役割を果たす必要があります。近年はこのような現地での取り組みを最重要課題と考え、私たちの成果を現地に移植し、生産者や食品産業の皆さんとともに実証実験に取



り組むことも増えています。こういった取り組みは全国約500カ所、テーマも500以上に上ります。農研機構には地域農業研究センターが5カ所ありますが、中でも北海道農業研究センターは、農研機構の研究成果を現地に発信していくフロントラインの中心的な役目を担っています。食品産業については、研究開発機能をもつ大手メーカーとの共同研究を行うとともに、そういった機能をもたない中小メーカーともニーズに沿った研究を進めています。

中鉢 産総研は2001年に当時の15の国立研究所と計量教習所が統合されて、現在の産業技術総合研究所となりました。グリーンテクノロジー、ライフテクノロジー、インフォメーションテクノロジーを中心に、産業技術を開発し、企業に橋渡しすることを重要なミッションの一つとしています。産総研といえば鉱工業関連技術に取り組んでいるイメージが強いのか、ライフテクノロジー分野の認知度は低く、第一次産業を営む方々との接点はまだあまり多くありません。しかし、井邊理事長もおっしゃったように、最近は第一次産業でも、ICTやIoT、AIなど、これまで鉱工業やエレクトロニクスのコア技術だと思われていた技術のニーズが高まっており、新たな農工連携の機会が出始めているフェーズにあると思います。

農工連携ということでは、産総研の北海道センター内の植物工場ではイヌの歯周病薬の材料となる遺伝子組み換えイチゴを栽培するなど、アグリテクノロジーの研究も進めています。今回のアグリテクノフェアは、第一次産業の盛んな北海道で、私たちにはどのような技術があり、どのようなソリューションを提供できるかを農研機構とともに示す、非常に意義のある機会だと考えています。

井邊 私たちが異分野融合を進める背景には、農政の動きもあります。これまでの農業は補助金で支えられてきた面がかなりありますが、今は農業でも一般産業の視点が重視されるようになって

できました。他の産業界との結びつきは、これからより重要になっていくでしょう。2017年12月に農研機構は日本農業法人協会と経団連との間で「農業技術革新連携フォーラム」を開催しましたが、このようなことを通じて一般産業、あるいは異分野との結びつきをより一層強めていく必要があると考えています。

中鉢 産総研はバイオテクノロジーの研究も行っており、IoTやAIだけではなく、育苗や育種のところでもお手伝いできるのではないかと思います。

先端技術の社会実装には 連携が不可欠

—松岡 2008年11月に産総研と農研機構は、共同研究などによる研究開発や研究交流を促進する協定を締結し、連携を進めてきました。産学官の連携や国際競争力の向上という点ではどのような取り組みをしているのでしょうか。

井邊 独立行政法人になって以来、農研機構は研究開発成果の社会実装の強化に取り組んできました。しかし、人員や予算などの研究資源が限られている中で、すべてを自前でやっていくことには限界があるため、他機関とそれぞれ得意な分野をもち寄って共同研究をすることが原則になっています。連携はある意味で農研機構のモットーにもなっているのです。

シーズについては大学や理研といった基礎研究を行う機関と組んで橋渡しし、私たちの成果をどのように社会実装していくかという面では、さまざまな民間企業や生産者と連携していくことが考えられます。産総研と私たちの立場は共通するところがありますので、お互いの経験を生かしながら一緒に進めていきたいと考えています。

特に農業は、これからは規模を拡大する中で生産コストを下げ、国際競争力を高めていく必要があります。そのためには先ほども申し上げましたが、ロボット技術やIoT、AIなどが不可欠でしょう。

また、日本の農産物は



おいしいと他国からのニーズも高いので、その得意なところを生かし、さらに品種開発を進めたりバイオテクノロジーで付加価値を高めたりすることで差別化を図っていくことが重要だと考えています。バイオテクノロジーによる差別化の例としては、産総研との連携によるアレルギー除去卵の開発が実を結びつつあります。このような農産物の付加価値を高める方向の連携が、この先、私たちの生命線になるでしょう。

中鉢 基礎研究や発明をイノベーションに結びつけていくには、学界から始まる科学の成果を産官学連携によってテクノロジー化し、それを社会に変革をもたらすものに変えていく仕組みがなければなりません。さらに言えば、産学官「金」とも言われるように、金融界のお力添えも必要かもしれません。そのようなリソースを投じて社会に反映させていく役目を、農研機構、産総研、大学、そして産業界は担っていると思います。

そんな中で、産総研では産業界のニーズをもっと聞こうということで、イノベーションコーディネータという企業連携の専門部隊が、さまざまな企業を訪問しています。彼らは、北は北海道から南は沖縄まで、今この瞬間も企業を訪問してニーズをお聞きし、答えを出すという活動をしています。個々の企業ニーズに合う技術を提供するために、私たちはオール産総研でソリューションを探し、それで足りないところは大学や他の研究機関、あるいは海外との連携も含めて答えを探す、ということをやっています。

また、産業界に関しては、ニーズをより早く聞くために、「冠ラボ」と称した企業研究室を産総研内に設置し、自社の研究所の

ように産総研を使っていただいています。現在、8つの冠ラボが活動中です。

そして、大学はイノベーションの芽を育てる大切な機関ですので、そこでの知見をいち早く取り入れるため、大学内に「オープンイノベーションラボラトリ(OIL)」という産総研の研究所を設置する取り組みを進めています。現在、東京大学、京都大学、名古屋大学など7つの大学に設置し



ており、例えば名古屋大学であれば天野浩先生の窒化ガリウムの研究室と組む、東北大学であれば新規材料の開発期間を短縮する計算科学のラボをつくるなど、大学と産総研の互いの強みを融合させる連携を行っています。

こういった大学の先端的な成果をいち早く取り入れて産業化に向けて橋渡しをすることは、国際競争力を高めることにもつながっていくと考えています。

バイオテクノロジーで農業革新を

—松岡 2018年1月には、政府がバイオ技術の活用戦略として、民間企業が参加する共同研究プロジェクトの推進、産学官連携を整備して生物や植物を活用した新素材を製造業や医療分野の成長につなげていくこと、そして人材育成支援などを盛り込むことを発表しました。ゲノム編集技術の発展により、薬や化粧品に利用できるカイコや、杉花粉の花粉症を改善する効果をもつコメなど、さまざまな新しい生物資源も生まれていますが、今後の農業の発展に関して感じていることをお話しください。

井邊 今、「ゲノム編集」という画期的な技術が広がりつつあります。これはターゲットとなる遺伝子のみを選択的に改変できるもので、現在、農業分野でも農研機構を中心に、日本のさまざまな作物においてゲノム編集が可能だということを実証しつつあります。この技術の活用法の一つとして、私たちの遺伝子品種改良センターは米の収量の増加を提案しています。現在、ゲノム編集したイネの新しい系統を、いよいよ自然の条件下で実証実験する段階にきているのですが、最新データによると、実際に米の収量



が増加することが明らかになっています。

また、先ほど話に出たアレルゲン除去卵ですが、これはニワトリの遺伝子をゲノム編集して、ある1つのアレルゲンの遺伝子を欠損させた卵を産ませるという研究です。このようにゲノム編集技術は新しい農産物をつくる方法の一つであり、さまざまな方面の農業革新に結びつくことを期待しています。

ただ、こういった研究が産業に結びつくまでには長い道のりがあります。ニワトリの例では、まずは1種類のアレルゲン遺伝子をもたないニワトリを確立させ、次にそのニワトリが産む卵がそのアレルゲンをもたないことを確認する。さらに、そのニワトリや卵が本当に人間にとって安全なのかを検証する。そして、企業に使っていただく段階では、除去したアレルゲン以外のアレルゲンをどうするかなどの問題も踏まえて製品の材料にさせていただく。そこで初めて産業化に結びつくわけですね。新しい農産物は産業化するまでに非常に多くのクリアしなければいけないステップがあります。その長い道のりの中で、多様な仕事に関して産総研と連携していけたらと考えています。

中鉢 農研機構の扱う第一次産業は非常に歴史が長く、野生動物を捕らえるところから考えると、縄文時代に端を発するとも言えるでしょう。植物からデンプンや糖をつくるメカニズムも今日まで生き続けています。一方、農作業の労力は、その時代の技術を取り入れて変化し、かつては人力か家畜で行っていた作業を、近代以降はトラクターなどの機械を用いるようになりました。そして現在では、IoTやAI、ロボット技術、広い意味での情報技術や遺伝子組み換え技術など、産総研の有する技術との多様な組み合わせが可能となっています。まさに今は、連携するのによりフェーズだと言えるでしょう。

農研機構の長い歴史をもつ技術と、私たちの近代以降の技術が組み合わせることで、何かが起こるという期待感が私にはあります。それがうまく実現できれば、社会を大きく変えていける可能性もあるように思います。

ただ、先ほど井邊理事長もおっしゃったように、新しい技術の成果を使っていくときに、それが人間にどのように役立つかは吟味が必要であり、その検証も併せて進めていく必要があるでしょう。アレルゲン除去卵については創薬への適用の可能性が考えられており、それはすでに現実の取り組みになり始めています。新しい成果が出ると、そこを中心にさまざまな新しい産業が出てくるわけですね。私たち国立研究機関への社会の期待は、新しい技術をいかに新しい産業につなげるかという点にあると思いますので、出てきた成果を大きく育てるところまで確実に取り組んでいく必要があると考えています。

農工連携が期待される3分野

—松岡 お互いのもつ知見を生かし連携を進めることは、社会の要請に応えていくことにもなりますね。それではより具体的に両機関が連携できる分野はどのようなものがあるでしょうか。

井邊 私たちは次の3つの連携分野があると思っています。1つ目は何度も話に出ているロボットやAIです。この分野に関しては、すでに農業現場でGPSガイダンスつき農業機械や自動操舵の農業機械が販売されています。GPSガイダンスつき農業機械の方は2008年から2016年の間に8600台が販売され、購入地域は8割程度が北海道です。また、自動操舵の農業機械は販売数約3000台のうち、9割が北海道です。この分野では北海道の生産現場で連携を進めていけるでしょう。

2つ目はバイオです。この分野はゲノム編集等さまざまな可能性を秘めています。反省点もあります。遺伝子組み換え技術は世界的には農業イノベーションとして大きな位置を占めており、すでに世界で4億ヘクタール規模の生産が行われています。しかし残念ながら、日本では遺伝子組み換えに関する社会的コンセンサスが形成されておらず、作物は生産できていません。ゲノム編集はこれを踏まえ、社会的理解を積極的に求めながら進めることが前提になると思います。

そして3つ目はスマートフードチェーン、すなわち食品の生産から商品として販売されるまでのプロセス全般のシステム化です。育種から始まり、栽培、収穫、加工、それから私たちのお腹の中に入る健康のところまで一貫通でシステム化するイメージです。この中で、流通プロセスにおいて生じる温度ギャップが衛生管理の面から非常に問題になっており、このあたりの課題解決を産総研と一緒にやっていきたいと考えています。

中鉢 私も農研機構と産総研が連携することで、今はまだ私たちも気づいていないような可能性が出てくると考えています。北海道はフード・コンプレックス国際戦略総合特区に指定されているので、それを追い風にスマートフードチェーンについても進めていきたいですし、科学的なエビデンスを伴う機能性食品なども開発できればよいと思います。

持続可能な社会の構築のために

—松岡 社会的課題の解決のために、特に2015年に採択された国連の「持続可能な開発目標(SDGs)」の達成に向けて取り

組まれていることをご紹介しますか。

井邊 SDGsには科学技術が社会的貢献を果たせるということが明示されており、私たちもそれを意識して、農業や食品等の産業と技術革新をつないでいきたいと考えています。

特に私たちが取り組むべきテーマに気候変動があります。例えば温暖化による米の品質や収量の低下があり、それに対する適応策を考えていく必要があります。一方で、農業自体が温室効果ガスを発生させている面もあり、その発生を抑制することも取り組んでいくべき課題です。

さらに、私たちは陸上の生物の多様性にも貢献できると考えています。農研機構の農業環境変動研究センターでは気候変動や生物多様性に関する研究を行っていますが、それは生物多様性も農業にかかわっているからです。天敵や病害虫抵抗性品種により農薬を使用しない環境保全型農業により、生物多様性が非常に富んでいる地域で生産された農作物は、里山や生物多様性に関心のある消費者にとって非常に高い付加価値がつくと思います。大規模化が難しい地域で農業を活性化するには、生物多様性などの環境問題に取り組むことも一つの方法となると考えています。

中鉢 産総研の初代理事長である吉川弘之先生は、2001年の産総研発足時、産総研は持続可能な社会のためにあるということを確認に憲章に示し、職員も「社会の中で、社会のために」の方針のもとで研究活動をしてきています。それもあって、グリーンテクノロジー、ライフテクノロジー、インフォメーションテクノロジーを

研究分野の柱に据えているわけですが、これらの進展により科学や技術はSDGsの達成に貢献できると考えています。

技術が複雑化し、多様化している現代においては、社会を変える技術開発は、研究者個人の力だけではなかなかできません。一人の研究者が大発明をするのも重要ですが、これからはそれ以上に、連携できる人が社会を変えていくのではないかと感じています。私たちもそうですが、企業の皆さんにも自前主義を捨てていただき、国立の研究機関はもとより、国際連携、地域連携や学界、産業界、金融界との連携など、さまざまなパートナーと連携していく必要があるのではないのでしょうか。

今こそ、知を結集して人類共通の問題に取り組むべき時だと、私は考えています。何千年何万年の知見を蓄えている農研機構と私たちのナレッジとで、何か新しいものを生み出し、日本の発展のために役立てられればと願っています。

—松岡 SDGsに対する両機関の取り組みは非常に重要であり、その中ではお互いの連携が必要になってくることが、今後いくつも出てくるでしょう。

本日のお話を通じて、両機関ともに連携の重要性を強く意識していること、連携により単に技術をつくるだけでなく、新しい農業をつくること、そして技術を社会に定着させることが重要だと考えていることがよくわかりました。今後も両機関が力を合わせ、さらなるイノベーションの創出と社会的課題の解決に邁進していくことを期待します。本日はどうもありがとうございました。

産総研と農研機構の連携事例



▲鶏卵アレルギーの原因物質の一つであるオボムコイド遺伝子をゲノム編集技術で欠失させたニワトリを開発した。詳しくは産総研LINK No.16をご参照ください。(産総研、農研機構、信州大学による共同研究)



▲殺虫剤をどれくらい使用すると土壤中に殺虫剤分解菌が増殖し、どれくらいの殺虫剤散布の頻度で害虫カメムシが土壤中の分解菌を体内に取り込んで殺虫剤抵抗性になるのかを明らかにした。殺虫剤抵抗性の発達を未然に防ぐ新たな農地管理技術につながる。(産総研、農研機構、沖縄県農業研究センターによる共同研究)



▲運動性の精子を誘導するとともに、泳ぎの形によっても選別ができる運動性精子選別器具を開発した。これにより、受胎に有利な健全性の高い精子を捕集でき、家畜の繁殖性改善が期待できる。写真は、本器具で捕集した精子により人工授精し誕生した子牛第一号。(産総研、農研機構を含む8つの研究機関による共同研究)

農産物の水分量を、切らず、つぶさず わずか1秒で簡単に計測

多様な分野に応用できる電磁波センシング技術



KEY POINT

これまで培ってきた電磁波計測技術を応用して、
農産物の水分量を非破壊で、簡単、迅速に計測できる技術を開発。

エレクトロニクスの評価技術を 農産物の水分量計測に使ってみよう

手のひらサイズの金属製のボックスからケーブルが伸び、その一部は芯線がむき出しになっている。驚くほどシンプルな外見だが、実はこれが農産物の水分量計測のあり方を一変させ、アグリビジネス界にインパクトを与える可能性を秘めた画期的な装置なのである。

物理計測標準研究部門 電磁気計測研究グループでは、これまでスマートフォンの回路素子のパラメータ評価技術をはじめ、主にエレクトロニクスと通信分野の部品性能や品質評価技術を開発してきた。それが農産物と結びついたのは、どうしてなのだろうか。

研究グループ長の堀部雅弘は、発案当初を振り返る。

「数年前、研究室に見学に来た計測器メーカーの方から、米国にはトウモロコシや大豆などの穀物の水分量を計測する技術のニーズがあると聞きました。同じ頃、農研機構からも似た話が寄せられ、農産物に材料計測の技術を応用できるのではないかと考え始めたのです」

早速、農研機構から水分含有量を調整した数パターンの米粒を提供してもらい、米の水分量計測技術の開発をスタートさせた。

もちろん、それまでも水分量計測技術は存在していた。しかし、それらはサンプルを抜き出した上で粒を破壊したり、加熱して水分を飛ばしたりと、米の変質を伴うもので、時間もかかるものだった。もっと簡単に、破壊も変質もさせずに水分量の計測ができる方法はないものか、堀部はそう考えたのだ。

工業製品の方法論は 農産物には通用しない

電磁波を農産物に当てて信号の変化を見れば、内部の水分量を測定できると堀部は考えたが、米はそれまで扱ってきたエレクトロニクス材料とはあまりにも違っていった。人工物であるエレクトロニクス材料は、計測時に重要な情報となる形状や密度などを製造段階で人間が調整できる。

「ところが米は人間が調整できるものではありません。粒の大きさも1つ1つ違いますし、計測の際にコップに詰めても納まり方を均一にはできず、米と空気の割合も毎回異なります。そのようなものをどうやって測ればよいのか、非常に悩みました。少なくとも、エレクトロニクス材料と同じ感覚でやっているのはダメだということは明らかでした」（堀部）

つまり、その時はまだ、エレクトロニクス材料計測の感覚から離れられておらず、測定にあたっては均一に米を詰めてあること、すなわち定量性が前提とされていたのだ。しかし、現実には米を均等に詰めることは不可能なので、計測しても結果にバラつきが出てしまい、実用に耐えるレベルには到達しなかった。解析方法も従来のエレクトロニクス材料と同じ方法論が使えないことから、研究は行き詰ってしまったという。

体積を無視できる解析方法が ブレイクスルーを生んだ

そんな時、1980年代に行われていた電磁波を使った水分量

農産物を切ったり、つぶしたりすることなく、迅速に水分量を計測したい。

農業に携わる人たちのニーズを受け、

産総研は工業製品などの品質検査に使われてきた電磁波センシング技術を応用した、

新しい水分量の計測技術を開発した。

農産物の水分量は品質を決めるときの重要な指標となるが、

これまで簡単に短時間に計測する方法がなかった。

対象物に手を加えることなく、わずか1秒で水分量の計測を完了させるこの技術は、

農産分野のみならず、食品や建設などさまざまな分野から注目され、応用先が広がりつつある。

▲シンプルな測定装置。箱状の部分(a)から電磁波を出し、先端(b)まで届いて戻ってきた電磁波をキャッチする。むき出しになった芯線(c)部分に米などをセットする。

計量標準総合センター
物理計測標準研究部門
電磁気計測研究グループ
主任研究員

昆 盛太郎

Seitaro Kon

計量標準総合センター
物理計測標準研究部門
電磁気計測研究グループ
研究グループ長

堀部 雅弘

Masahiro Horibe

計測の資料を調べていた堀部はあることに気が付いた。通常、電磁波を使って測定するときは、電磁波の強さと同時に速度として読み替えることのできる位相を計測するのだが、当時の実験では位相情報をとっていないことがほとんどで測定結果はバラついていた。つまり、形や密度が一定ではない米に、定量性があることを前提とした計測・解析方法が使われていたことが結果にバラつきを生じさせる原因だったのだ。そこで堀部は、解析方法は定量性がないことを前提にする必要があると考えた。

「私たちは位相情報も使った解析方法に変えることで、形や密度が一定でない米を計測できる可能性があるのではないかと考えました」

堀部は、試料を電磁波が通過したときの信号の強さの変化を理論的に示した数式、そして、位相の変化に関する数式を上下に並べ、これらと向き合い続けた。そして1ヵ月後、ある規則性に気づいた。どちらの数式も分数のかたちをしているが、いずれの式にも分母に試料の体積が入っている。このときの体積とは、米と空気の混ざったトータルとしての体積のことだ。ということは、電磁波の強さと位相を割り算すれば、この情報を消せるということではないか。この発見がブレイクスルーにつながった。

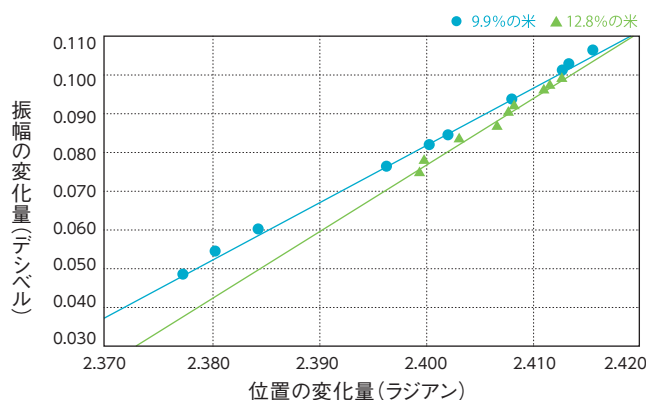
「消えてしまうのなら、コップ内の米と空気の割合がどうであっても関係ありません。理論上は、どんな詰め方であっても、あるいは、米が1粒でも1俵でも関係ないのです。この解析方法に気付いたことで、開発は一気に進みました」(堀部)

体積の情報が不要で、電磁波の強さと位相だけを測ればよいのなら、米のような粒状のものでも、カップや袋に詰めたものでも電磁波を通すだけでよい。計測は一瞬で済むので、出荷ラインに流しながらでも計測ができる。

従来のようにサンプルを抽出する必要もなければ、サンプルを壊す必要も、変質させてしまうこともない。サンプルが変質すればその農産物は出荷できなくなるが、この方法であれば出荷

に支障が出ることはないので、全数検査をすることも可能になる。これは農産物の水分測定には画期的な技術と考えられた。しかも、測定に必要な装置はシンプルだ。箱状の部分から電磁波を出し、先端まで届いて戻ってきた電磁波を受信する。ケーブルの芯線のむき出しの部分の上を米などが通ると、それによって電磁波の強さや位相が変化するが、水分含有量が多いものは乾燥したものより位相が遅れるので、発信時と戻ってきたときの電磁波の強さや位相の差がより大きくなる。その変化量の比を見ることで水分量が計測できるというわけだ。

「乾燥した米と水分を含んだ米を計測すると、水分量の違いが線の傾きで表れてきます。この傾きの角度から、計測した対象の水分量がわかるのです」(堀部)



▲水分量が異なる2つの米を、置き場所を変え10回測定すると、測定値はそれぞれ傾きが異なる直線状に分布する。この傾きから水分量が測定できる。

砂の水分量から農産物の糖度、酸度、ポリフェノールまで

長い間待ち望まれていた「農産物の簡単・迅速な水分量計測」を実現したこの技術のインパクトは大きかった。電磁波は紙、布、ビニールを透過するので、フィルムや紙袋などで包装してあっても検査ができる。出荷前の完成品をそのまま測れるということのメリットは大きく、2016年にこの技術を発表して以来、企業からの問い合わせが数多く来ているという。すでに5～6社と共同研究開発がスタートしている。

研究対象は、農産物だけとは限らない。例えば、コンクリート製造に使う砂の水分量測定。砂の水分量はコンクリートの強度にかかわるため、測定自体はこれまでも行われている。しかし、測定には一晩置く必要があるなど時間がかかるため、砂袋に入った状態で、一瞬で水分量を計測できる迅速性へのニーズは高いという。

「水分量以外の成分を測りたいという要望もいくつも寄せられています」と語るのは、水分量以外の計測法の開発を担当する、



同グループの昆盛太郎だ。農産物の糖度、酸度、塩分、それにポリフェノールのような機能性成分まで、多種多様なものについて、測る対象を変質させることなく迅速かつ簡単に計測したいという声が届いているという。

例えば糖度を測るとき、従来は光を使って計測していたが、表面(果物であれば皮)の色に測定結果が左右され、精度が出にくいことが課題だった。

「電磁波を用いることでより正確に計測できれば、サイズだけではなく糖度などの味による等級分けが容易になります。それによって農産物の付加価値をあげることができるわけです」(昆)

また、健康志向で機能性食品の分野が盛り上がっているが、農産物に含有するポリフェノールの含有量がわかれば、高含有のものを高機能食品として売り出すこともできるかもしれない。現在、この新しい計測技術の多様な分野への展開を図っており、生産現場で容易に計測ができることによって農産品に新しい価値が生まれる可能性があるということだ。

とはいえ、これらの測定では水分量計測の技術をそのまま使えるわけではない。そもそも水分量計測にしても、米と砂では同じようにできるわけではない。電磁波の強さやセンサーの回路構造、感度の調整などを、計測するものに合わせて最適化する必要があるため、現在は企業と共同で、対象ごとに最適な解析方法や計測装置の開発を進めているところだ。

「私たちが他の研究テーマのために考えていた回路が使えるなど、他の研究の成果とリンクするところも多く、電磁波の性質に関して理論的に解析して培ってきた産総研の実績とノウハウを役立てることができています」(堀部)

もう一つ、反響が大きかった分野がある。加工食品内の異物混入検査というニーズだ。異物混入検査の主流であるエックス線検査は、金属は検出しやすいがプラスチックやビニールなどは見つけにくく、この点を解決できるのではないかと期待されている。こちらはまだ研究が始まったばかりで、「異物の種類とベースの食品の組み合わせにより、検出しやすい電磁波の強さや、位相の変化の仕方が異なるので、現在は理論と実験でそれを網羅的に調べている段階です」(昆)ということだ。



生産物の安心・安全や 付加価値の向上にも貢献

多種多様な分野への応用が期待される計測技術だが、今後どのように展開されていくのだろうか。昆は「これまで電磁波の技術に力を入れてきましたが、画像を用いた計測技術、検出技術とこの技術を組み合わせることで、より優れた計測技術ができるのではないかと考えています。多様な技術の組み合わせによって、正確で応用範囲の広い計測・検出技術をつくって産業に役立てていきたいです」と語る。

一方の堀部は、農業の未来を予想する。現在、ベテラン農家の方は稲を刈り取る時期を判断するのに、稲穂を握ったり米粒をかじったりして水分量を見ているのだそうだ。しかし、そのような“匠”の技をもつ生産者の高齢化は急速に進み、その一方で後継者は減少の一途をたどる。

「専門性の求められる現場で私たちの評価技術が手軽に使えれば、意欲のある若者が農業に参入しやすくなるし、収益も上げられるようになるでしょう。この技術を農業人口の減少と高齢化という産業全体の課題解決にもつなげていきたいですね」

計測・検出の技術は製品や生産物の安心・安全につながるだけでなく、生産効率をあげ、付加価値を高めることにも貢献できる。

「農業だけでなく、ご自身の業務で水分量測定や成分測定に課題をもっている方、ぜひ産総研にお声がけください。皆さんのニーズに合った測定や検出技術を一緒に考えていきましょう」と堀部は笑顔で言う。

お気軽に
お問い合わせ
ください!

産総研 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門

〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3

🖥️: unit.aist.go.jp/ripm

✉️: info-ripm-ml@aist.go.jp



関連動画

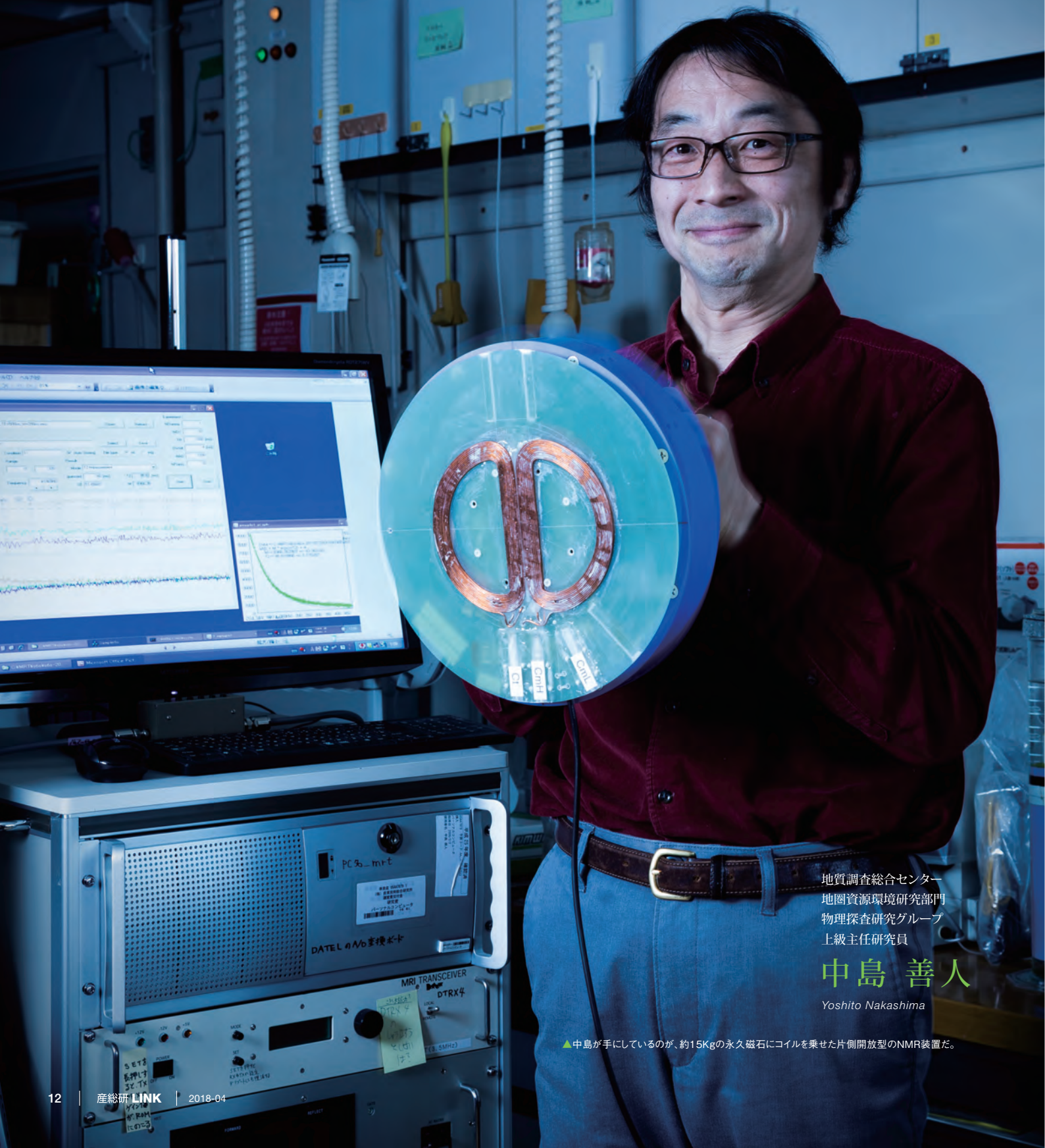


ウェブサイト

NEW
TECHNOLOGY

牛の霜降り状態が、 飼育中に十数秒で測れる

核磁気共鳴法で水分・脂質を非破壊計測



地質調査総合センター
地圏資源環境研究部門
物理探査研究グループ
上級主任研究員

中島 善人

Yoshito Nakashima

▲中島が手にしているのが、約15Kgの永久磁石にコイルを乗せた片側開放型のNMR装置だ。

日本人は霜降り牛肉やマグロの大トロを好むため、これらの食材には高値がつく。

市場で肉牛を適正に格付けし、値付けをするためには、

個体ごとに霜降り具合を計測・数値化する必要があるのだが、これまではそれが難しかった。

産総研は、飼育中の牛の霜降り状態を、個体を傷つけることなく、わずか10秒程度で計測できる技術を開発した。

この技術は肉用牛の市場での適切な価格評価に役立つほか、

マグロの脂身や牛乳の乳脂肪分測定など他の食品にも応用が可能だ。

さらに、油汚染土壌の計測、歴史的建造物や仏像など文化財の非接触診断など、さまざまな分野への応用が期待できる。



KEY POINT >>

土木建築物の測定のため開発された片側開放型核磁気共鳴 (NMR) 装置。非破壊、短時間、高精度に大きなものが計測できるという特徴を生かして、まずは食品分野で花開こうとしている。

老朽化した建物内部の水分を 表面からスキャンして定量化

飼育中の牛の霜降り状態を計測し、定量化できる。マグロも尾を切り落とすことなく、牛乳もパックのまま数十秒で脂肪含有量が測れる。2017年に産総研が開発したのは、そのような画期的な非破壊計測装置である。しかし、開発者である中島善人の所属は地質調査総合センターという畑違いの分野なのだ。地質の研究者が、なぜ牛肉やマグロの脂肪量を測る装置を開発したのだろうか。

「私は地球物理学が専門で、火山のマグマの状態を調べたり石油探査をする技術の研究開発を行っていました。石油探査の場合、地下に液状のものと把握できたとしても、価値が高いのは地下水ではなく石油なので、そこにあるのが水か油かを識別することが重要なわけです。牛肉の霜降り状態の計測も、牛の肉から筋肉中に含まれる水分と脂肪分を識別することには変わりはないので、地下資源探査の手法をそのまま適用できると考えたのが今回の開発のきっかけです」

その手法とは、核磁気共鳴(NMR)装置を利用したものだ。永久磁石の近くに高周波コイルを置き、高周波コイルの中に試料を入れると、試料中に含まれる水素原子の中の陽子が磁力を受けて回転し高周波コイルに誘導電流を発生させる。試料の原子核は磁場の強さに比例する周波数で回転するのだが、その係数は原子によって定まっており、たとえば0.1 T(テスラ:磁束密度)の磁場での水素原子核の回転速度は約4 MHzである。そのような物理現象を利用して試料中の特定の原子の発するシグナルを捉えるのが、NMR装置なのである。医療用のMRIもこの現象を利用した画像診断法だ。

資源探査などの専門家である中島は、当初この技術の応用先として、自分の専門に近い土木分野を考えたと言う。

「土木分野には、現場で水分を計測したいというニーズがあります。例えば、コンクリートが老朽化して亀裂が生じれば、そこに地下水や雨水が入り込み、中の鉄筋が錆びて強度が落ちる原因になります。さらに、その水分が凍れば体積が増え、亀裂はさらに広がります。そのため、コンクリート内部の水分量を知ることは重要であり、橋やトンネルなどの建築物を壊すことなく、表面から水分量をスキャンして定量化できる装置のニーズはあると考えたのです」

老朽化した建築物に限らず、打設したばかりのコンクリートの固化にともなう水分量減少のモニタリングにも、この技術は有効だと考えた。そこで中島は、表面から聴診器のようになぞることで物体内部の水分量を測れる装置を開発することにした。

片側開放型NMRなら 大型のものもスキャンできる

中島が選んだNMR装置は「片側開放型(ユニラテラル)」という方式のものだ。医療で使われているMRIは国内に数千台はあるが、それらは本質的には2つの磁石を用いる「バイラテラル」というタイプがほとんどで、強力に均一な磁場がつくれ、シグナルを高精度で得ることができる。しかし一方で、2つの磁石の間に入るサイズのものしか測定できないというデメリットもある。土木用途であれば大きなものの測定が前提であるため、中島は片側を開放する方式を選択した。

片側開放型NMR装置の場合、バイラテラルの磁石の一方をなくし、残った磁石の表面近くに高周波コイルを近づける。コイル



の前の空間は開放されており、試料はそのコイルの前に置くことになる。試料のサイズに制限はないが、測定できる磁場は弱く不均一になりやすく、得られるシグナルも弱くなることが懸念された。そのため中島はまず、片側を開放してもシグナルがとれるかを調べることにした。

「最初に用いたのは直径10cm、重さ2kg程度の永久磁石です。シグナルはとれましたが、とても微弱で、しかも表面から数mmのところをとるのがやっとだったのです。片側開放型NMR装置の宿命として外部ノイズに対しても「開放」的なため、ノイズも非常に大きく、得られる数値には大きなバラつきがありました。この点はノイズシールドを設けたことにより解決しましたが、いずれにしても、もっと深部まで測るために、より大きなシグナルを得られる大型磁石を用いることにしました」

牛肉やマグロの非破壊計測に ニーズがあると確信

大きな磁石をと考え始めたその頃、中島は、大きな物体内部の非破壊計測の需要は、土木以外にもっとあるはずだと考えるようになっていた。試料の切り取りが許されない大きな物体中の水と油の含有量を測る必要のあるものには何があるだろうか？そこで思いついたのが農水産物、すなわち牛やマグロというわけだ。

「牛肉の霜降り状態を測ろうと着想したのはよかったのですが、そこからが大変でした。何しろ地球物理学出身の私は、牛についてなんの知識もありません。解剖学的な知識も肉の部位の名称も知りませ

んでした」

牛もマグロも測れる装置にできるだろうかと一から調べていくうちに、内部の脂肪量は外見からではプロでも簡単には判断できないということがわかった。牛の肉質等級はロース芯の断面を見てから決めるし、マグロも切り落とした尾の脂ののり具合から価格を決めている。それが、非破壊計測装置なら切らずに計測ができる。これは大きなメリットではないか。

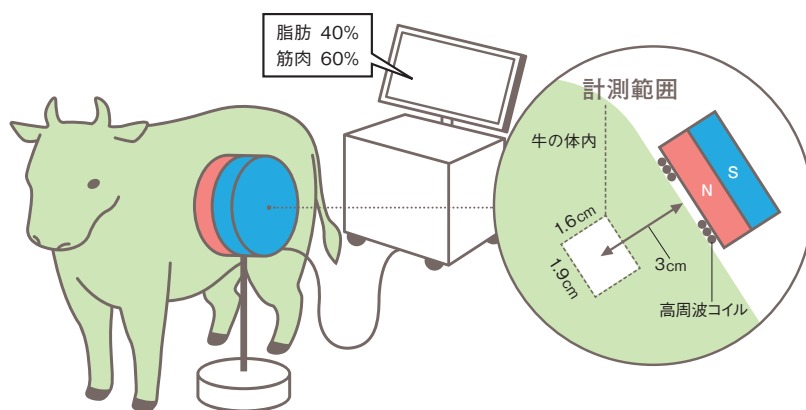
さらにこの装置を使えば、飼育中に霜降り状態が計測できる。農家は牛を育てるとき、餌の質などを経験から判断しているが、子牛の頃から定期的に測定をしてそれぞれの時点の霜降り度を知ることができれば、霜降り牛として育てる効果的な方法が科学的に裏付けられることになる。

「脂肪量はおしさ、ひいては価格にもかかわってきますから、食品分野でのニーズはあると確信しました」

わずか10秒で高精度の計測が完了

トンネルのコンクリートにしても牛やマグロにしても、測るべき箇所は表面より数cm以上奥にある。そこを計測するために試行錯誤を繰り返し、2015年、直径30cmの円柱形の永久磁石の端に高周波コイルを載せ、コイルの上部が開放された形状のプロトタイプをつくりあげた。表面から3cmの深さにある $1.9 \times 1.9 \times 1.6$ cmの直方体が計測範囲だ。この探索深度3cmは、生きた牛の僧帽筋やサーロインの位置をほぼカバーしている。

これを用いて、牛肉の僧帽筋、サーロイン、テンダーロイン、赤身、脂肪の塊など、計17個の牛肉ブロック試料を計測。測定時間は、1試料あたりわずか10秒ほど。脂肪組織の中の脂肪分子と



▲片側開放型NMR装置

生きたままの牛にこの片側開放型NMRを当てると、体表から3cmほど奥にある肉の霜降り状態を、短時間かつ高い精度で計測できる。

筋肉組織の中の水分子を水素原子核の緩和時間の長短で識別し、そこから牛肉の脂肪の含有量をわずかな誤差で推定することができた。

「10秒というのがポイントです。これほど短時間で計測が終わるのであれば、長くはじっとしていられない家畜でも、鎮静剤や麻酔薬を注射せずとも計測することができるでしょう」

しかし実用性の面で問題もあった。直径30cmの大型磁石は、重量が43kgもあるのだ。医療用MRIに比べればはるかに軽いはいえ、中島がつくりたいものは、もっと気軽にあちこちに運んでいける装置だ。そのためにはより小型軽量化を進める必要があるが、その一方で、強くても均一な磁場も得なければならない。両立させることが難しい二つの機能をもたせるため、中島は実験を重ねていった。

「コイルをどのようなサイズや形状にするのか、磁石のサイズや厚さ、磁場の方向はどうするのか。そしてそれらをどう組み合わせれば、よい結果が出るか。組み合わせをシミュレーションしては試し、さらにサイズを変えては試しながら、最適なものを探していきました」

そういった磁石サイズやコイル配置の工夫を重ね、また、強い磁場をつくれるネオジム磁石を導入したことで、2017年、約15kgの磁石で求める精度や探査深度を実現する装置が完成した。ようやく、ニーズのある場所に運び、計測ができる非破壊計測装置が完成したのだ。

建物の老朽化診断から文化財の非接触診断まで多様な用途が期待

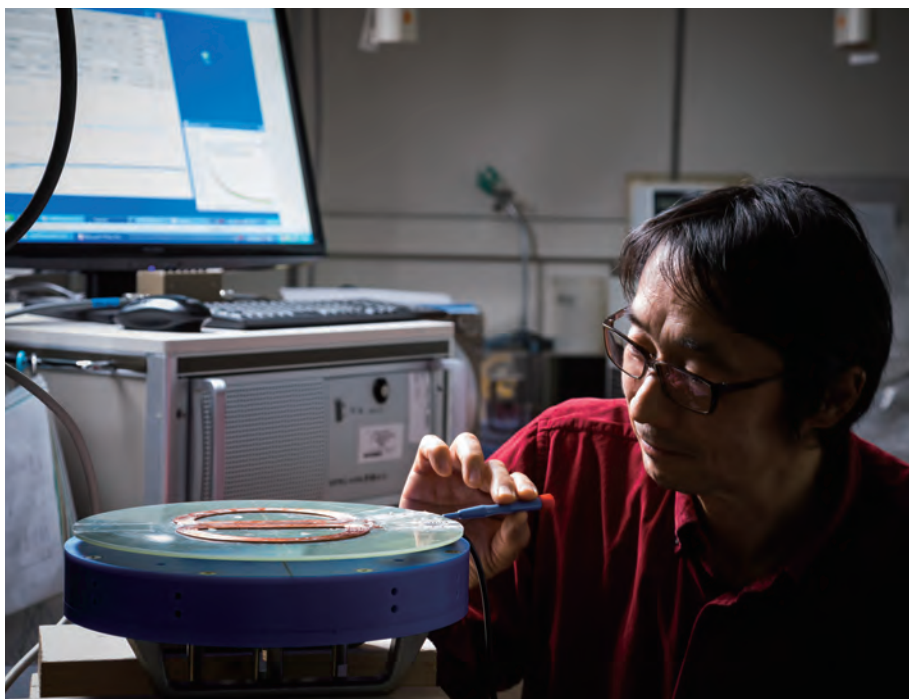
この装置を農業関連技術の展示会などで発表したところ、マスコミや企業の反応は大きく、日本人の食への関心の高さを実感したという。とはいえ中島は、この装置を農業分野だけに限定するつもりはない。

「測る対象が液体・ゲル・ゴムなどであれば何でもあってもすべて同じ方法で計測できることが、この

装置の大きな特徴です。もともと想定していたトンネルなどの老朽化診断のほか、油汚染土壌の計測、歴史的建造物や仏像など文化財の非接触診断、ヒト用MRIに入りきらない象やキリンなどの大型動物の病気診断など、さまざまな用途に応用が可能だと考えています」

現在はトラックの振動の影響を受けにくい運搬用具を用意するなど、装置を安全に輸送して操作できる体制を整えているところだ。牧場から牧場へ、そしてそこから市場やトンネルへと、常にニーズのあるところに移動し、そこで計測しては次の現場に向かっていく。そのような使われ方を、中島は想定している。

「いろいろな用途が期待できる装置なので、橋渡し先としても計測器メーカーだけではなく、多様な分野の企業が候補になるでしょう。短時間で非破壊計測のできるこの装置を、ぜひ実用化につなげていきたいと思っています。非破壊検査を業務とされている会社の方、この装置で測ってみたい対象物がある方など、どうぞ気軽にご相談ください」



お気軽に
お問い合わせ
ください！

産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

☎ : unit.aist.go.jp/georesenv/

✉ : geore-web-ml@aist.go.jp



関連動画



ウェブサイト

- サイエンスと技術をLINKする産総研
- 科学技術とビジネスをLINKする産総研
- 人々と科学技術をLINKする産総研

LINKの先にあるのは「技術を社会へ」
そんな思いをのせた
コミュニケーション・マガジン「産総研LINK」を
お届けします

産総研 LINK

技術を社会へつなげるコミュニケーション・マガジン

産総研LINK No.18 平成30年4月発行

編集・発行 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
問い合わせ 企画本部 広報サービス室 出版グループ
〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1
TEL : 029-862-6217
FAX : 029-862-6212
E-mail : prpub-ml@aist.go.jp

