

JST news

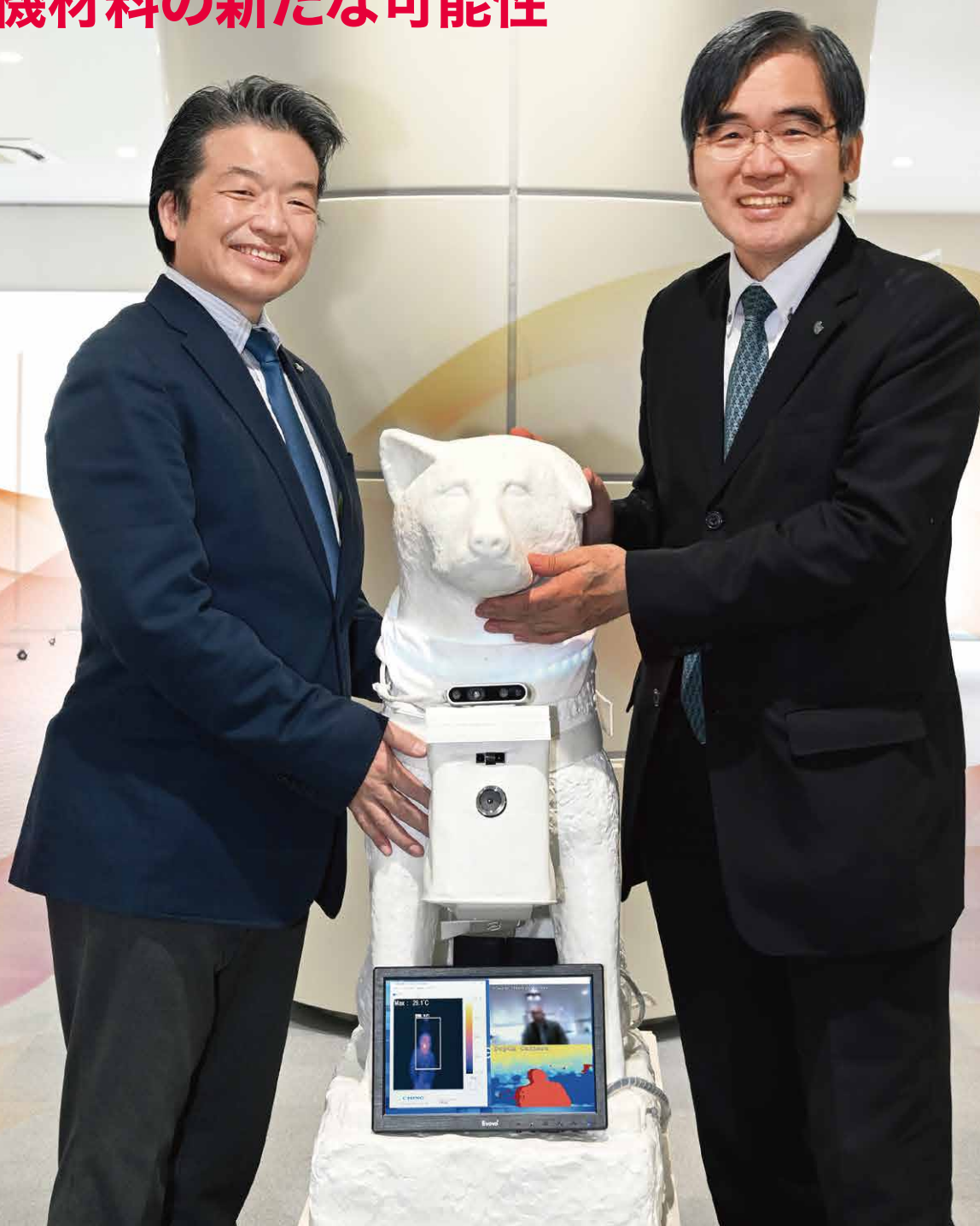
未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

特 集

やわらかなロボットが示す
有機材料の新たな可能性

1

January
2021





2020年、世界は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミックに見舞われました。未曾有の危機の到来に、人類は科学技術という英知を結集して、果敢に立ち向かっています。

最大の課題は市民・社会を「護る」ことです。ウイルスを直接抑えるワクチンや治療薬の開発はもちろんですが、COVID-19と共存して経済・社会活動を維持するためには、ウイルスや抗体の存在を高感度に「見つける」技術、殺菌やウイルス不活化など「清める」技術、ウイルス感染から市民を「護る」技術が欠かせません。医療分野にとどまらず、工学、化学、情報学、ナノテクノロジーなど分野を超えた研究開発が求められています。JSTは「見つける」「清める」「護る」の技術開発を中心に、さまざまな事業でCOVID-19の特別プロジェクトを立ち上げました。COVID-19を克服する成果を速やかに社会に届け、あらゆる分野の知の結集に積極的に取り組んでいます。

COVID-19は研究開発の現場にも多大な影響を及ぼしており、日本の科学技術研究の競争力の低下が懸念されています。JSTは研究報告書の提出期限や公募期間の延

長など、厳しい環境でも研究を継続できるような制度運用や研究支援を講じました。今後も感染拡大の状況、大学など研究機関の対応を踏まえつつ、迅速かつ柔軟な支援に努めてまいります。

また、JSTは将来にわたって日本が世界の科学技術をリードし、全ての人の幸福のため、そして未来のためのイノベーションを創出すべく、従来からのプログラムの推進に加え、新たな挑戦を続けています。

特に若手研究人材の育成は我が国にとって喫緊の課題であり、JSTでは新たな2つの取り組みに着手しました。「創発的研究支援事業」では、7年という比較的長い期間、自由な発想に基づく若手研究者の挑戦的研究を支援します。また「ムーンショット型研究開発事業」では、新たなムーンショット目標の策定に向け、2050年に現役でいる若手を中心とした多様な方々からなるチームで理想的な社会像を描いていただき、その実現に必要な科学技術を調査する「新たな目標検討のためのビジョン公募（ミレニア）」を進めています。

2021年度はJSTの現中長期目標の最終年度となります。濱口プランの実現に向け全力で邁進してまいります。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3年1月

成道以弘

特集

やわらかなロボットが示す 有機材料の新たな可能性

従来のロボットの概念を覆すやわらかいロボットの開発に挑むのは、山形大学学術研究院の大場好弘特任教授、古川英光教授だ。有機材料の機能を最大限に高め実用化につなげる取り組みと並行して、個々の成果を結集して新たな基幹産業となり得る「ソフトマターロボティクス」の概念を確立し、地域も巻き込んだ一大研究拠点の形成を目指す。



ふるかわ ひでみつ
古川 英光
山形大学 学術研究院
教授
2016年よりOPERA
「ソフトメカニクス」課題代表者

おおば よしひろ
大場 好弘
山形大学 学術研究院
特任教授
2016年よりOPERA領域統括

人工絹糸発祥の地、米沢 最先端の研究開発拠点へ

山形大学工学部がある米沢市は、1915年に秦逸三が日本で初めてレーヨン（人工絹糸）を開発した地として知られる。2016年、秦逸三の起業家精神を受け継ぐ山形大学に世界屈指の有機材料システムの教育研究拠点を発足させたのは、OPERA「有機材料極限機能創出・社会システム化共創（SOFUMO）コンソーシアム」で領域統括を務める山形大学学術研究院の大場好弘特任教授だ。「私たちが掲げる有機材料システムとは、基礎研究から社会実装までの全工程を包含した概念です。有機材料のあらゆる工程で技術革新を起こし、全ての人が全ての人を幸せにする社会の実現を目指しています」。

山形大学は2011年に有機エレクトロニクス研究の基礎と応用研究の拠

点、13年には事業化を見据えた実証実験拠点、さらに15年には異分野融合や学際的研究拠点を次々と立ち上げた。「16年には大学院に有機材料システム研究科を新設し、大学教員、学生、企業の技術者などを含め総勢約500人が有機材料システムに携わる一大拠点になりました」と大場さんはこれまでの変遷を語る。

最終目標から逆算で課題を設定 基盤技術を統合し産業応用へ

設備が整った16年、産学連携による新たな基幹産業の育成を目指すOPERAがスタートした。山形大学の下に22社（21年1月時点では26社）もの企業が参画し、「ソフト機能材料・デバイス」「ソフトセンシング」「ソフトメカニクス」「ソフト蓄電デバイス」のそれぞれで基盤技術を磨く。さらに産業的

革新を目指して、4つのテーマから生まれた成果を統合する「ソフトマターロボティクス」を5つ目のテーマに設定した（図1）。

従来のロボットは硬く無機質な印象を与えるものが主流だったが、人とロボットが当たり前に共存する未来に向けて、近年では安全で触り心地の良いロボットの開発が求められている。「これを実現できるのがまさに有機材料だと考えました。そこで、従来のロボット分野とは一線を画すソフトマターロボティクスという概念を作り、OPERAではロボットを有機材料のみで作ることを目指したのです」と大場さんは語る。ロボット工学は総合工学といわれるように、求められる技術は多岐にわたる。わかりやすい目標を置くことで、独立した4つの基盤研究が見事に一本化し、成果の実用化まで見通せるようになった。



OPERAでは例えば、これまでに低コストでやわらかく耐久性のある薄膜デバイスの量産技術に取り組んできた。大面積のプラスチックに3D印刷技術で回路を印刷し、続けて水分や酸素から有機半導体を守る封止膜などを張って仕上げることで、低コストでやわらかく耐久性のある薄膜デバイスが量産できるという。「印刷技術の向上だけでなく、最適な回路設計から製品評価まで一貫して行える体制が強みです」と大場さんは説明する。

他にも電解液を半固体にして安全性を高めた薄く軽量なリチウムイオン電池を開発した。寿司を握る、豆腐を持ち上げるといった絶妙な力加減を実現する小型で低消費電力の接触センサーや温度センサーの開発にも成功

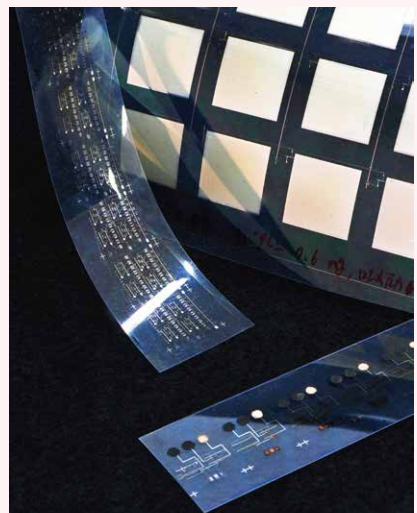


図2 薄くて軽い、折り曲げられ耐久性もある有機薄膜センサー。印刷技術を使い、低コストで大量生産できる。

した(図2)。さらに、狭い水道管やガス管内を自在に動き、故障箇所を検知する「配管探査ロボット」と、次々に成果を上げている(図3)。配管探査ロボットは配管内部の地図を自動で作りながら進み、自力で入り口まで帰ってくる。電機部品を内部に密閉してあるので水にぬれても故障しない上、小さなユニットがつながった蛇のような形は、それぞれのユニットが自由に向きや回転を変えられるようになっており、配管内部の汚れや浮遊物に絡まるのを防ぐという。いずれの技術もロボットに搭載することを目標に開発してきたが、単独でも実用化を見据えた研究に発展している。

「このプロジェクトではやわらかなロボットを作るという応用先をあらかじめ



図3 狭い配管を検査しながら自在に動き回る配管探査ロボット。毛を振動させて進み、汚水の中でも確実に動作できる。

め掲げたことで、研究者自身がこれまでよりも一段高いレベルで目標を設定しました。だからこそ、成果の質は必然的に高くなりました」と大場さんは胸を張る。

研究現場と社会の乖離を克服 商品開発を通じ新たな課題も

ソフトメカニクスでは、3Dプリンターを使ってソフトアクチュエーターの技術開発に取り組む。その中心を担う山形大学学術研究院の古川英光教授は「機械と違って生き物は、発熱することも大きな音を立てることもなく、ほんの少しのエネルギーで柔軟に効率良く身体を動かします。それをゲルと呼ばれるやわらかい有機材料を使って実現するのが究極の夢です」と語る。ゲルと3Dプリンターを使い、人工筋肉を作ろうとしている。

OPERAでは、3Dプリンターを使って2種類のゲルを貼り合わせ、内側と外側の熱膨張率の違いを利用して電氣を使わずにロボットが物をつかむことに成功した。「異なる素材を自由に貼り合わせる技術が発展し性能が向上すれば、低消費電力で駆動するソフトアクチュエーターの開発につながります」と古川さん。

ゲルと3Dプリンターを使って作製したロボット「ゲルクラグ」の開発秘話を、続けて古川さんが語った(図4)。「開発したセンサーや発光デバイスを詰め込んだ高性能な光るゲルクラグを作っていました。完成後は、海洋研究開発機構の海洋調査に同行して海水温や海水中の汚染物質を検知する計画でした」と当初の研究計画を説明する。研究が順調に進んでいたので実際にクラグの専門家にも見てもらおうと、クラグ展示で有名な加茂水族館(山形県鶴岡市)に試作品を持って行った。本物のクラグにそっくりだと館長から評価を得た一方で、光ったり測定したりする付加価値より、もっと本物のクラグに近いものを作ってほしいとリクエストされた。それならばと、ミズクラグをモデルに浮遊感のある動きを再



図4 ゲルクラグ。ライトアップされた水槽の中を漂う様子は、まるで本物のクラグのようだ。

現したり触手を付けたりと工夫を重ねていったという。

クラグの視覚的な癒やし効果を見込んだ企業の後押しもあり商品化の話は進んだが、企業の担当者に試作品を見せたところ不気味だという理由で触手は却下され、結局クラグの傘の部分だけが商品化された。「人間とそっくりに作られたアンドロイドを見ると人間は不気味が悪いと感じてしまう『不気味の谷』現象が知られていますが、生き物に対しても不気味の谷が起こるのかと驚きました」と古川さんは苦笑する。

発売されたゲルクラグには予想以上の問い合わせがあり、病院や介護施設、銀行の待合室を中心にこれまで25台売れ、いずれも好評だという。大場さんと古川さんはこの例から「研究者や技術者は、高性能で本物そっくりにすることをやみくもに追求しがちです。研究はそれで問題ありません。しかし、実用化を考えた時に社会は必ずしも研究者が目指す性能や理想を求めているとは限らないことを知るので。今回の製品開発でいろいろな方から意見をもらい、改良できたのは良い経験でした」と口をそろえる。

やわらかさが価値を生み出す 展示会で新たなニーズ開拓

大場さんらは産学官一体となり、ソフトマターロボティクスの実現に向けて4つの基盤技術に取り組んできた。

その集大成として開発したのが、「ゲルハチ公」だ(表紙)。渋谷ハチ公像の試作品として石こうで作られ保管されていた「鶴岡ハチ公像」を原型とした。

頭部や前足部は3Dプリンターによってやわらかなゲル素材で作られており、思わず触りたくなるように設計した。内部には触覚センサーが埋め込まれ、人が触ったりなでたりしたことを検知する。また、話し掛けてくる人の声色から人工知能を使って感情を分析するシステムを搭載した。寂しげな声だと青色、楽しげだと赤色にゲルハチ公の首輪が光ったり、鳴き方が変わったりする。19年に渋谷ヒカリエで開催された「超福祉展」に出展した時のことを古川さんはこう振り返る。「来場者は、ゲルハチ公とコミュニケーションがとれると知って驚くと同時に、さらに交流を深めようとし始めました。感情分析システムがあることで、ゲルハチ公があたかも自分に寄り添ってくれているかのよように感じてもらえたのでしょう」。

20年にはゲルハチ公の改良版を再び超福祉展に出展した。新型コロナウイルスの感染防止対策が強化される中での開催だったため、触り心地以外の強みを探ったという。「首輪に赤外線センサーを付け、さりげなく来場者の体温を測る機能を追加しました。ゲルハチ公には、自然に人が集まり交流が生まれるという効果があることが前回の出展でわかっていましたから、それを利用しました」と古川さんは狙

いを明かす。小学校や施設の入り口に設置しておけば、不快感なく検温に協力してもらえるだろうと、展示会での手応えを語る。「触り心地が良いため、多くの来場者がゲルハチ公に触れたがりました。物はやわらかくするだけで非常に大きな価値を生み出すのです」と大場さん。展示会でユーザーから評価を聞けて、やわらかい材料が持つ力や有機材料の可能性を強く実感したという。

20年11月には癒やし効果をさらに高めたゲルハチ公の改良版「ゲルハチロイド」も発表した(P3写真)。体を触るとやわらかさと温かさが感じられ、新たに開発したゲル素材の目からは涙を流す。より生き物らしさや愛着が感じられる設計で、介護施設や家庭での活用により近づいた形だ。今後もユーザーの声を基に、一緒に暮らしたくなるロボットを目指して研究を続ける。

地域一帯で人材育成 世界の研究拠点に

成果の事業化を加速させる計画も進行中だ。20年度でOPERAは大詰めを迎えているが、山形大学では学生、企業の若手研究者や技術者も含め、幅広い人材が一体となって研究プロジェクトに柔軟に参画できる体制を維持するという。「世界をリードする研究と研究人材育成に向けて、さらに体制を充実させていきます。これまでの商品開発を通じて、大学の周りにはさまざまな技術を持った人たちが多くいることもわかりました」と大場さんも古川さんも口をそろえる。

これまでに大学と接点が無かった人々も巻き込むことができれば、事業化に向けてより視野の広い研究開発ができる。仕組み作りの途中だが、産学官民が多層的に連携して課題を解決するオープンイノベーション2.0を志向した市民参加型のプロジェクトを進めていく。山形大学を中心とした地域全体を有機材料システムの世界的なプラットフォームにするために、大場さんと古川さんは歩み続ける。

南極大型レーダーで探る大気大循環 観測データから乱流特性を高精度に計算



図1 高さ3メートルのアンテナ1045本からなるPANSYレーダー。2015年の本格稼働以来、昭和基地の上空約100キロメートルまでの風向、風速などを常時測定し、極域の大気の流れや大気波動の研究に貢献している。(提供:国立極地研究所)

地球の環境は、太陽から受ける入射エネルギーと、宇宙に出す放射エネルギーのバランスで安定が維持されています。入射エネルギーは緯度によって大きく異なりますが、海流や大気の流れがこれを再分配する役割をします。このエネルギー収支の現象は、赤道から高緯度地域に向けて熱を運ぶ大気大循環のように、地球規模の気候などにも影響を及ぼしています。

大気の流れで運ばれる運動エネルギーは、向きや速度が不規則に変化する大気乱流によって熱へと変換されます。エネルギー収支の解明には、速度のばらつきなど乱流の特性を観測結果から正確に得ることが必要ですが、これまでは大気乱流と観測データの間に成立する理論的関係が不明でした。

南極昭和基地大型大気レーダー(PANSYレーダー)は、強い電波ビームを空に向かって打ち、乱流から散乱されて戻ってくる電波を測定します

(図1)。乱流は風に乗って流されているので、戻ってくる電波の周波数のドップラー効果から風速を推定できます。しかし、大気レーダーから発射される電波ビームには広がりがあり、大気も移動していることから、観測される風速には相対速度による見かけの加減速も含まれてしまい、乱流による速度のばらつきのみを直接観測す

ることは不可能です(図2)。

これに対して、情報・システム研究機構の西村耕司特任准教授、東京大学大学院理学系研究科の佐藤薫教授らは、乱流特性と観測値をつなぐ端的でシンプルな理論関係を見だし、PANSYレーダーなどの大気レーダーによる観測データから大気乱流の速度のばらつきを正確に計算できる理論式を導き出すことに成功しました。また、この理論関係式を解く計算アルゴリズムを構築し、乱流による速度のばらつきを高精度に推定できることを数値シミュレーションで示しました。

乱流特性の正確な算出は、大気の流れで運ばれる熱が生じる仕組みの理解に重要です。この成果によって地球の大気大循環に関わるエネルギー収支を探索する研究の加速が期待できます。また示された理論はあらゆる大気観測用レーダーに適用可能なので、気象予測などに用いるレーダーの観測データでも精度の向上を見込めます。

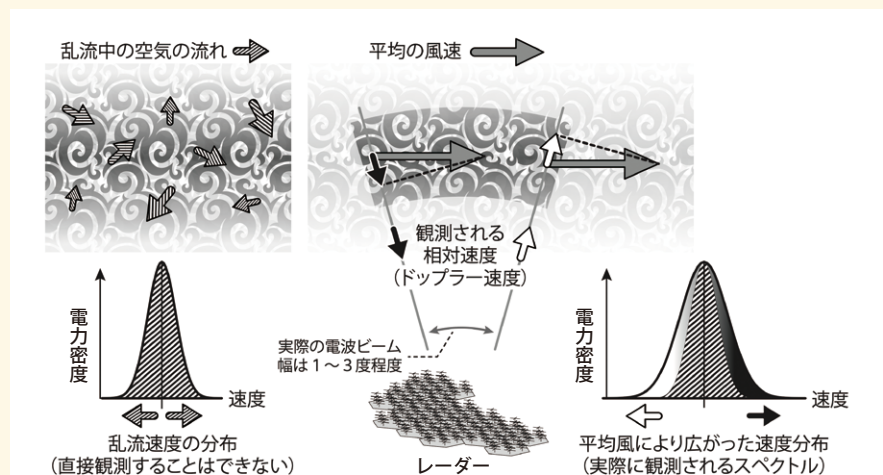


図2 大気乱流と観測データ(速度スペクトル)の関係

口や喉の渴きを調整する脳機能を発見 多飲症や水中毒の治療法確立に期待

ヒトを含む脊椎動物では体液のナトリウムイオン濃度が一定に保たれています。こうした体液恒常性は生命維持に必須で、水を飲む行動の適切な制御によって支えられています。しかし、水を飲む行動を抑制する仕組みについてはわかっていませんでした。

東京工業大学科学技術創成研究院の野田昌晴特任教授らは、これまでに脳弓下器官で飲水と塩分摂取行動の誘導をそれぞれつかさどる神経細胞(水ニューロンと塩ニューロン)とその神経回路を明らかにしてきました。脳弓下器官では、水分・塩分の摂取や血圧を制御しています。体液のナトリウムイオン濃度が低下すると、神経伝達物質であるコレシストキニン(CCK)が分泌されて水ニューロンの活動が抑制されます。野田特任教授らはマウスの脳弓下器官において、この神経伝達物質を分泌し、抑制性の神経細胞を介して、水ニューロンを抑制する神経細胞を同定しました(図1)。

まずCCKの産生場所を探索するために、体液のナトリウムイオンを欠乏させたマウスを用いて、血中および脳弓下器官でCCKの濃度を測定しました。

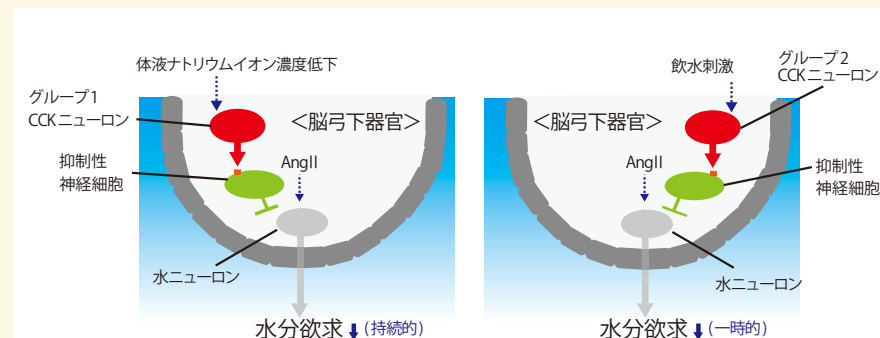


図1 脱塩状態では体液中のナトリウムイオン濃度は低下しており、水ニューロン(水分摂取)は抑制される(左)。また水ニューロンが活性化している脱水状態でも、水分欲求は水を飲むたびに一時的に抑制される(右)。どちらもCCKニューロンが抑制性神経細胞を介して水ニューロンの活動を抑制している。

その結果、血中のCCKの量はナトリウムイオン欠乏時と通常時で同程度だったのに対し、脳弓下器官では通常時の約9倍に増加していることがわかりました。

またCCKを分泌する神経細胞を蛍光たんぱく質で可視化した結果、脳弓下器官内で水分摂取の抑制に関与しているCCKニューロンの存在を突き止めました。そして体液のナトリウムイオン濃度の低下に応じて持続的に活性化する集団と、飲水行動に反応して一時的に活性化する集団の2種類が存在することを発見しました(図2)。

さらにこれらのニューロンの活動

を人為的に活性化させると脱水状態でも水分摂取量が減少し、逆に、活動を抑制すると飲水行動が誘導され、局面に応じて2種類が役割分担して水分の過剰摂取を防いでいることがわかりました。

水ニューロンの活動調節の仕組みを解明したことで、口や喉の渴きの異常に由来する多飲症や水中毒など、過剰な水分摂取を伴う疾患の治療や予防法の確立への貢献も期待されます。野田特任教授は「塩分の欲求をコントロールしている詳細な仕組みについても明らかにしたい」と今後の抱負を語ります。

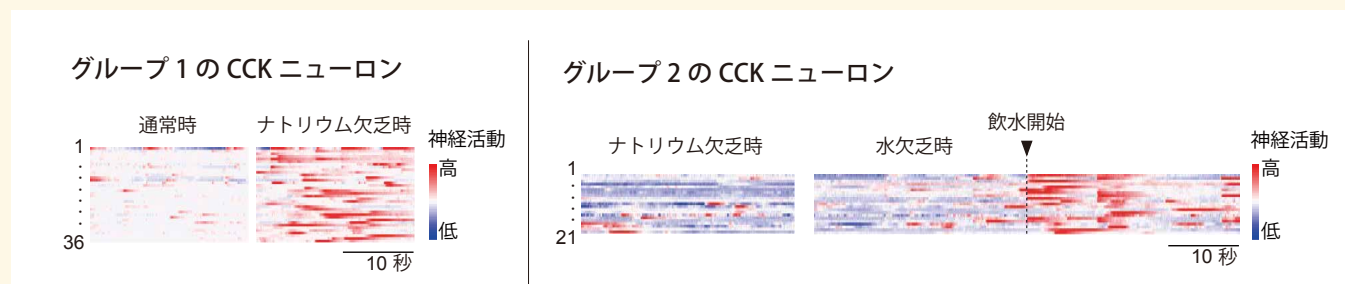


図2 2種類のCCKニューロンの活動状態を示している。グループ1(36個のニューロン)はナトリウム欠乏時に常に活動している一方、グループ2(21個のニューロン)は飲水刺激によって活性化する。

vol.99



Hoshino Ayuko
星野 歩子

東京工業大学 生命理工学院
准教授



Profile

千葉県出身。2011年 東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了。博士（生命科学）。米国コーネル大学医学部小児科研究員、インストラクター、兼任助教、東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構講師を経て、20年より現職。19年よりさきがけ研究者。

You can only do what you can do
—ただ精一杯やるだけ—

Q1. がん研究に取り組んだきっかけは？

A1. 小児病棟での出会いから生命科学へ

高校の授業で元素周期表を知り「この世のあらゆる物がたったこれだけで表せるとは」と感動して、大学では化学を専攻しました。ところが大学2年の時友人が骨肉腫にかかりました。お見舞いに行くと、大部屋には小中学生ばかり。小児がんだったのです。多くの子が闘病の末に亡くなりました。短く輝いた命、その体内で何が起こっていたのかと強烈に駆り立てられ、がんの研究ができる大学院へ進みました。

がんは転移によって死亡率が高まります。転移先はあらかじめ決まっている特定の臓器に転移の準備をするという「前転移ニッチ」を知ったのは、デイビッド・ライデン教授の講演です。招待された科学者だけが参加できる国際シンポジウムでしたが、修士1年の私は幸運にもベル係として会場にいました。「これこそ、多種多様で複雑ながん



の共通メカニズムかもしれない」と希望を持ち、博士課程の最後の年からライデン教授の研究室に移りました。

Q2. 研究者を目指す人へのメッセージ

A2. 良い悪いは考え次第

これまでの研究で、細胞が放出する微粒子「エクソソーム」が他の細胞に取り込まれるメカニズムが前転移ニッチに関わっていて、エクソソームからがんの種類や原発巣を特定できることを解明しました。現在は脳転移や自閉症を対象に、エクソソームが診断マーカーとして予測や病態理解に役立つ可能性を探っています。脳に行くエクソソームを異なる疾患で比較することで、共通の原理が見いだせるのではないかと考えています。

実験は1つ1つ時間がかかり、その日できることを精一杯やるしかありません。予想外の結果も、良い悪いは考え次第。見つけた真実は全てが前進です。当初はエクソソームも「細胞が出すごみ袋」程度に思われていて研究資金がなく、自分たちの給料を捻出するために手分けして多方面に提案書を出しました。そうして始まったのが自閉症のテーマですが、続けてきたことで今の展開につながっています。

Q3. 米国での経験をどう生かしますか？

A3. 一緒に世界へ出て行ける研究室を

米国では若手でも挑戦できる研究助成の枠が多く、ポストドクが周りにたくさんいて、ステップアップしていける道筋が見えていました。また、女性研究者は当たり前に出産して戻ってきます。産休と育休を合わせてもせいぜい6週間なので、出産の間際まで働きます。保育料は高く手厚い制度もないのに、搾乳するための部屋は研究棟のあちこちにあり、「当たり前」の違いを感じました。

日本には職人的で優れた研究者がたくさんいます。米国で経験した「世界から人が集まるラボ」を自分でも作り、一緒に世界へ出て行きたい。そうしたいから日本の若手研究者を米国に受け入れてきましたし、これからも世界で活躍する研究者を育てていきたいと思っています。



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。



P3



P3



P3

編集 長：安孫子満広
科学技術振興機構（JST）広報課
制作：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井文工社



JSTnews
January 2021

発行日／令和3年1月7日
編集発行／国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）総務部広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3サイエンスプラザ
電話／03-5214-8404 FAX／03-5214-8432
E-mail／jstnews@jst.go.jp JSTnews／https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー