

$\begin{array}{c|c} JST & \hline & 2022 \\ \hline & August \end{array}$

()3 - 特集1

機械で拡張した能力を自在に扱う 誰もが活躍できる社会の創出へ



08 - 特集2

脳機能と情報技術をつなぐBCI 広がる治療法や診断への応用



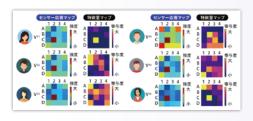
12 — 連載 どうやって実現する? 明るく豊かなゼロエミッション社会

第2回 個人ができる脱炭素への貢献



14 - NEWS & TOPICS

- ◆ 人工嗅覚センサーで個人認証
- ◆ 超音波の3次元散乱現象を捉えてき裂を発見 ^{ほか}



16 - さきがける科学人

シジュウカラの鳴き声研究から 動物言語学の創設へ

京都大学 白眉センター 特定助教 鈴木 俊貴



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.12、P.15± ▶P.12、P.15± ▶P.12、P.15±

▶P 12

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

機械で拡張した能力を自在に扱う 誰もが活躍できる社会の創出へ

稲見 昌彦 Inami Masahiko

東京大学 総長特任補佐・先端科学技術研究センター 身体情報学分野 教授 2017年よりERATO稲見自在化身体プロジェクト研究総括



細分化するサイバー空間 「マルチバース」に移行も

新型コロナウイルス感染症の拡大は、在宅勤務やオンライン会議など、非対面でのコミュニケーションを社会に一気に広げる契機となった。コンピューターネットワーク内の3次元空間「メタバース」も、もはやSFの世界ではない。オンライン会議では相手と物理的な空間を共有する必要がなく、どこにいてもメタバースに入ればアバターという「身体」を使ってサイバー空間を巡ることができる。

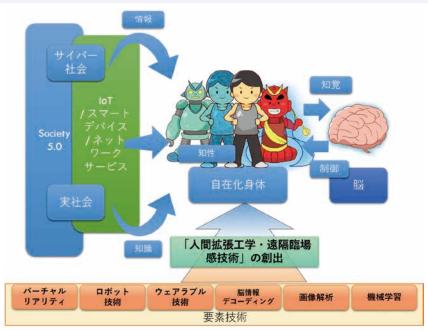
こうした情報技術の驚異的な進化により、私たちの身体は一部の物理的な制約から解放された一方、リアルなコミュニケーションの価値を認識しやすくなった。例えば、対面での会議の方が、議論が活発になると感じた人も多いだろう。生身の身体を使って人とコミュニケーションしてきた私たちにとって、身体性を伴わないコミュニケーションは、なかなかそれとイコールにならない。

今後、超スマート社会が到来すれば、ネットワーク内の活動も飛躍的に増えるはずだ。すでにメタバースでの経済活動は盛んになりつつあるが、サイバー空間はより大きな存在となり、メタバースの中で雇用され仕事をするなど、サイバー空間に軸足を置いて活動する人も現れるかもしれない。ネットワークによってより便利で高機能に働く機器も、これまで以上に当たり前になるだろう。

「現在は物理空間とサイバー空間を二項対立的に考えていますが、サイバー空間の利便性は、もはや手放せません。たくさんの国があるように、メタバースもゲーム、コミュニケーションなどに細分化された『マルチバース』になっていく可能性があります」。これからの社会をそう展望するのは、東京大学先端科学技術研究センターの稲見昌彦教授だ。

もう少し技術が進み、サイバー空間にいてもまるで現実に体験してい

図1 プロジェクト概要



超スマート社会に適応可能な「自在化身体」を構築する技術基盤の確立を目指して、VR・ヒューマンアシスティブロボット・ウェアラブルコンピューティング・脳機能イメージングなどを用いた研究開発と、社会実装を見据えた検証を展開する。

るかのような社会が当たり前になれば、あちこちの空間に同時に存在したい欲求も生まれ、身体が1つでは足りないと感じる人もいるだろう。「私も予定が重なったとき、同時にオンラインで2つの会議に出席できればどんなに便利だろうと思います。双方の内容を理解し、的を射た発言ができるようになれば理想的ですね」。

いくら情報の世界が拡大しても、 人間の身体は今と変わらず、私たち はまだ複数の場で活動することに 慣れていない。人間が機械とシーム レスに接続される社会を実現するに は、人間の身体性についての探求が 不可欠だろう。そのような問題意識 を踏まえ、超スマート社会に適応可 能な「自在化身体」を構築するための 基盤技術を確立しようとしているの が、稲見さんが率いるERATO「稲見 自在化身体プロジェクト」だ(図1)。

拡張された身体とともに 拓かれていく感覚や意識

稲見さんの専門分野は「身体情報学」である。身体を生理学や運動機能

などから捉え、情報を脳科学的な観点から会得する研究はこれまでもあったが、稲見さんは心を身体の情報部分だと考え、広く情報システムとして理解しようとしている。「肉体は物理や生理で把握できますが、自分の身体がどのような形になっているか、どのように動きを学習していくかといった『身体性』については情報だと捉えられます」。こうした考えを受け、ERATOでは身体性の編集・変容について研究するとともに、それらを把握することで何が可能になるかまで幅広く研究している。

身体性の編集・変容は「人間拡張」と言い換えられる。生身の身体では難しい大きな力が出せる、1人で2人分の身体を動かす、複数人で1つの身体を操作する、などが挙げられる。稲見さんは人間拡張のタイプを①感覚の強化(超感覚)②物理身体の強化(超身体)③心と身体を分離して設計(幽体離脱・変身)④分身⑤合体の5つに分類し、身体における肉体の部分と、その内側にある心の部分をある程度独立して設計することで、変身や分身、合体などを可能にするという。

身体の「自在化」は、工学的には人 の代用をつくることと人を支援する ことの、大きく分けて2つの潮流が ある。人の代わりに掃除をする、危険 な作業を行うなど、人の身体の代替 物をつくるロボット技術は「自動化」 といえる。しかし何でも自動化され れば良いわけではない。自分の代わ りにロボットが遊園地で遊んでも、 人は楽しくない。つまり、自動化は人 間がやりたくないこと、やらなくて もいいことを代用するのに適してい る。「自分がやりたいことをやりたい ようにできるよう、機械による能力 拡張で支援すること、そして能力を 自らの身体のように自由自在に扱え るようになることが重要でしょう。 これを身体の『自在化』と表現してい ます」と語る。

遠隔でただ強大な力を発揮するのではなく、拡張された身体とともに感覚や意識が拓かれていき、身にまとった機械を自分の身体のように使いこなすのが、稲見さんの目指す人間拡張だ。もちろん、機械を装着して、すぐに自在に動かせるということはないだろう。しかし、騎手が馬と一体化した人馬一体で得られる爽快感や楽しさといった新たな感覚が、「人機一体」によっても生まれるに違いなく、それが目標だ。

さらに、人機一体はサイバー空間と物理空間がシームレスに接続されてこそ実現する。脳と実世界を自然につなぐのは、他でもない身体自体だが、そもそも本当に機械やサイバー空間の存在を自分の身体だと思えるかさえわからない。そこでまずは、拡張された身体を人は自分の身体の一部として認識できるのか、そしてそれを思い通りに動かせるのかを知るところから研究を始めた。

工学から心理学・脳科学まで 異分野融合で成果を生み出す

それまでできなかったことができ るようになると嬉しくなるように、 身体の変容は心にも働きかける。拡張された身体を使いこなすには、機械を受け入れる人間の意識のあり方も重要なカギとなる。そのため、プロジェクトでは工学分野だけではなく、心理学や脳科学などの分野の研究テーマも設定している。プロジェクトに携わるのは、東京大学、早稲大学、慶應義塾大学、豊橋技術科学大学、電気通信大学、フランス国立科学研究センター、ジザイエ(東京都新で区)の7拠点だ。研究者は研究テーマ別に構成された5つのグループに分かれ、拠点横断的に活動している。

その1つである自在化身体構築グ ループは、物理空間での自在化を研 究するメンバーで構成されている。 バーチャルリアリティー、拡張現実 感、ウェアラブル技術、ロボット技 術、テレイグジスタンス、機械学習な どを援用した人間拡張のための研究 開発と社会実装を担当する。また認 知心理・行動グループは、認知心理学 に基づき、自在化身体がもたらす心 理と行動変容を検証し、人間の認知 と振る舞いや生理反応の解析を行 う。システム知能・神経機構グループ は、自在化身体を支える神経機構の 解析や、編集された身体性がどのよ うに神経系に表現されるかの解明、 感覚と運動連関の最適化に基づく可 制御性の向上を進めている。

さらにバーチャル身体構築グループでは、バーチャル環境における自在な身体操作を実現する基盤技術の開発や、ユーザーの実際の身体情報

 市場調査などを通じて、自在化身体に対する社会的要求と社会実装の可能性を明らかにする。

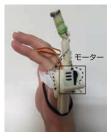
プロジェクトに適した研究者を幅広い分野から集めることは容易ではないが、異分野の融合こそ稲見さんの重視することでもある。「異なる研究文化・研究言語を持つ異分野との融合は、最初はスムーズにいかないかもしれません。しかし、このプロジェクトで育った若手研究者は、すでに複数の研究バックグラウンドを理解した『マルチリンガル』です。次のイノベーションを起こす人材の育成にもつながっているといえます」。

実は稲見さん自身、修士課程までは生物工学を専攻し、バイオセンサーの研究を行っていたが、博士課程で工学系に移り、まだ新しい分野だったVRなどに取り組み始めた経歴を持つ。若い頃から異分野融合を実践していた異色の「バイリンガル」だ。人間の身体と意識の関係を探求するプロジェクトを率い、新たな研究ジャンルを切り拓こうとしているのは必然といえるだろう。

なじんだ「6本目の指」 外したときには寂しさも

人は拡張された身体を、本当に自分の一部として認識できるのだろうか。義手や義足のように欠損を補う人工部位でなく、人間が生得的に備えていない部位を加えた場合でもそう思えるのだろうか。その答えを探

図2 独立制御可能な「第6の指(sixth finger)」





「第6の指」には、腕の筋肉による電気活動の計測結果に応じて制御されるモーターが内蔵されている。このモーターの動きに連動し、指が動く。手のひらの横の装着部位には皮膚を刺激するピンがついていて、指の曲げ伸ばしに応じた皮膚感覚がフィードバックされる。

図3 手足をランダムに配置した画像を提示する「Scrambled Body」

参加者



実際と同じ配置の手足







手足にセンサーを付けヘッドマウントディスプレイを装着した実験参加者(左)。実際と同じ位置に提示されると、身体 部位所有感と手足の間の空間に透明な全身を感じる全身所有感の両方が生じた(中央)。一方、空間にランダムに配置さ れた手足を見ると、各身体部位に対する所有感は生じたが、全身所有感は生じなかった(右)。

るために開発されたのが「第6の指 (sixth finger)」という人工指であ る。これまでも、人工指を動かすため に足を動かすといったタイプの人工 身体は存在した。これに対し、sixth fingerは小指の隣に装着し、腕の筋 肉が通常では使われない動きをした ときだけ動くように設計されてお り、他の身体部位と独立して動かす ことができる(図2)。

実際に成人18名にsixth fingerを 装着してもらい、指の曲げ伸ばしや キータッピングの練習を1時間程度 行い、感覚や行動の変化を観察した。 その結果、18名全員がsixth finger を直感的に、そして思い通りに動 かせるようになった。また、sixth fingerを身体の一部だと強く感じた 人ほど、指を装着した手の端の位置 感覚が曖昧になり、人工身体部位を 自分の一部として認識できることを 実証した。すっかりなじんだ人工指 を外した際に、寂しさを感じる人も 少なくなかったという。

では、どのレベルまでの拡張、分 身であれば、人機一体の実感を持っ て動かせるだろうか。自在だと思え ない場合には、どう支援すれば自在 だと感じられるだろうか。あるいは、 バーチャルな身体を自分の身体と同 じような実感を伴って動かすには、 何が必要なのだろうか。参加者は、サ イバー空間で手と足だけをランダム 配置した画像を見ながら全身を動か し、その手足や全身を自分のものだ と感じられるかを調べた(図3)。この 研究では、手と足に対する所有感は 生じるが、全身所有感は生まれない という結果が得られた。

他にも、人と機械が協調的に動く ときに機械側から支援する有効なタ イミングの発見や、サイバー空間に おいて2人が1つのアバターを共有 して共同作業を行う際の運動特性を 解明するなど、このプロジェクトは 数々の興味深い成果を生み出してき た(図4、5)。前者は人間の意図と機 械の動作のずれをなくし、円滑に行 動を支援できる人間機械協調システ ムの開発に応用でき、後者はVRやロ ボティクスを用いた身体の共有によ る新しい共同作業方式の提案につな がると期待される。

スポーツやアートにも展開 多くの人に成果を届けたい

稲見さんはこれらの研究成果を社 会に浸透させていくために、スポー ツや多ジャンルを融合させたメディ アアートも積極的に展開している。 その1つである「超人スポーツ」は、 運動が苦手な人や身体に障がいがあ る人、高齢者など、どんな人でも楽し むことのできる、自在化身体を用い た新しいスポーツだ(図6)。「とにか く速く走る「「感覚拡張機能を駆使し て、暗闇の中で障害物にぶつからず にゴールする」などの競技を楽しむ だけではない。参加者が体験したり 話し合いながら、これまでにない新 しいスポーツを生み出すハッカソン も実施している。すでに認定競技は 31種にも上る。

人間の運動を予測・支援する 人間機械協調システム

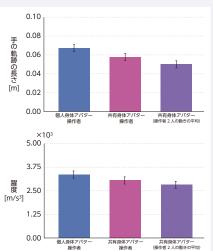


腕の動きを機械が支援するまでの時間差を計測し、機械が 適切に介入できる時間範囲を求めた。実験では、人間と機械 の動作のずれを防ぐためには、機械の動きによる知覚順応 が有効であることを確かめた。

図5 2人で1体を動かす共有身体アバター



サイバー空間において2人で1つのアバターを操作する共同作業システムを開発し、それを使用する時の人の運動特 性を明らかにした。実験の結果、アバターを操作した時の 方が、手の軌跡の長さ・躍度双方において数値が低くなる (運動動跡が短く直線的になる)ことがわかった。



稲見さんがこうし たアウトリーチを進 めるのは、より多くの 人に研究成果を届け るためだ。稲見さんは 子どもの頃から理科 好きだったが、小学校 ではその楽しさを分 かち合える友だちに はなかなか出会えな かった。同様に、研究 機関から素晴らしい 成果が出たとしても、

図6 超人スポーツ認定競技「CYBER BOCCIA S®」



ボッチャ自体は重度脳性麻痺者もしくは同程度の四肢重度機能 障がい者のために考案されたヨーロッパ発祥のスポーツで、バラ リンピックの正式種目でもある。「CYBER BOCCIA S®」ではボ ッチャの良さはそのままに、3DCGによるリアルな演出やボー ルの動きに合わせた色の変化、大型ディスプレイなどを組み合わ せ、大勢の人が見ても楽しめる競技になっている。

情報に自らアクセスする人は限られ ているのが現状だ。「科学に興味のな い人にまで成果を届けるには、体験し て共感してもらうことから入るのが 良いのではないかと思います。新しい アウトリーチ手法で新しい科学リテ ラシーを醸成していくことも、このプ ロジェクトの重要なミッションです」。

成果を持続可能なものにしていく ことを目指し、ビジネス化にも注力 している。過去に成果を技術移転機 関の大学TLOを通じて企業につな げようとしたがうまくいかず、その 後はブレインストーミングの段階か ら企業と連携する方法に切り替え た。変なモノをつくる能力のある研 究者たちと、新事業を探す企業が一 緒に議論をすることで、面白いアウ トプットが出てくることを狙ったの

だ。自在化身体調査研究グ ループを中心に、スタート アップや企業との共同研 究がすでにいくつも立ち 上がっている。

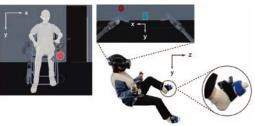
海外からも、自在化身体 は日本的な研究として認識されて

いるという。例えば、EUでは社会的 な規範により、肉体的欠損のない人 の拡張は研究テーマにしにくい側面 があるという。「普遍性を追求するサ イエンスと異なり、テクノロジーは 伝統文化やポップカルチャーと同様 に、風土に根差した研究がオリジナ リティーにつながる面があります。 日本からのアウトプットとして、自 在化身体という新しいジャンルを確 立したいですね」。

一見遊びのようにも見えるこれら

図7 身体化に成功した「第3・4の腕」





19年に作成した「MetaLimbs」(上)と、そのバーチャルリアリティー版と もいえる「第3・4の腕」(下)。足の動きと連動するところは共通している。 「第3・4の腕」ではシステムを着用し、VR上のロボットアームでボールを触るなどの練習課題を通じて、システム周囲に対する知覚(近位空間)や、 自分の腕が増えたという感覚(余剰肢感覚)を捉えることに成功した。

の研究が社会構造を変革し、新しい 社会を支える基盤になる可能性を秘 めている。22年6月には、19年に作 成した「MetaLimbs」のバーチャル リアリティー版ともいえる「第3・4 の腕」の身体化にも成功したという (図7)。機能拡張したアバターを自在 に使いこなす未来がまた一歩近づい たといえるだろう。肉体の縛りから 解放された、自由で自在な新しい身 体をまとえる日は、そう遠くないか もしれない。

(TEXT: 桜井裕子、PHOTO: 石原秀樹)

空想⇔実装 ロボットと描く私たちの未来

日本科学未来館「空想⇔実装」で「自在化身体プロジェクト」を紹介

研究開発の「いま」を見せる日本科学未来館の新シリーズ「Mirai can NOW |の第1弾「空想⇔実装 ロ ボットと描く私たちの未来」で、稲見自在化身体プロジェクトが紹介されています。

会期中には、東大LEGO部と共同開発したレゴ版「6本目の指」を使ったワークショップや、「サイバー空 間で動く身体をつくる」ワークショップなどを研究者自らが実施。8月28日(日)には、稲見昌彦×藤原 麻里菜(コンテンツクリエイター、文筆家)の対談も行われます。詳細はウェブページをご覧ください。

会期:2022年7月8日(金)~8月31日(水)※ワークショップは9月も開催予定。

会場:日本科学未来館(東京都江東区青海2-3-6)

https://www.miraikan.jst.go.jp/events/202207082532.html







JST ERATO 稲見自在化身体プロジェクト主催イベント「自在化コレクション」

稲見自在化身体プロジェクトによる5年間の「自在化身体」研究と、研究成果の先にあるアップデートされた未 来ビジョンを、一線で活躍するクリエーターたちの想像力で飛躍させた作品にして紹介します。詳細は随時公式 ウェブサイト、公式Twitterにて公開予定です。

https://www.iizaicollection.com



日程:2022年11月4日(金)18:00開場 18:30開演 会場:IHIステージアラウンド東京(東京都江東区豊洲6-4-25) 入場無料(INVITATION・ウェブ予約限定) ※2022年秋頃より、抽選応募を開始。



近年、深層学習や人工知能(AI)、検出機器の発展に伴い、こうした脳活動の解読技術や精度は飛躍的に 向上している。大阪大学高等共創研究院の柳澤琢史教授は、脳機能と文字や画像などで表示する情報技 術とを結びつけた、革新的なBrain-Computer Interface(BCI)を開発し、さまざまな疾患の治療法や 診断などへの医療応用を目指す。

脳機能と情報技術をつなぐBCI 広がる治療法や診断への応用

柳澤 琢史 Yanagisawa Takufumi

大阪大学 高等共創研究院 教授 2018年よりCREST研究代表者

福間 良平 Fukuma Ryohei

大阪大学 大学院医学系研究科 特任助教

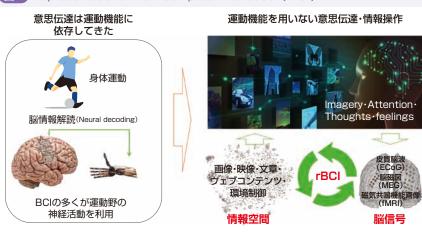
多彩な専門家チームで挑む 高精度で多様な情報の伝達

脳は人間が人間らしく生きるため の根幹をなす「心」の基盤とされ、医 学や心理学、社会学などのさまざま な学術分野で、構造と機能を明らか にする研究が行われている。その1つ が、脳の神経細胞が発する電気信号 をコンピューターに伝えるBCIだ。

医療分野では、2000年代以降に BCIの研究が盛んになってきた。13 年には大阪大学で筋萎縮性側索硬化 症(ALS)患者の脳表に電極を埋め込 み、BCIの性能を評価する臨床研究が 行われた。この時用いられたBCIは、 運動野の皮質脳波を利用するもの だった。「画期的な研究でしたが、想定 していた精度には至りませんでしたし と振り返るのは、大阪大学高等共創 研究院の栁澤琢史教授だ。

柳澤さんは当時の成果を基に、高 精度で多様な情報の意思伝達を実 現するBCIを追い求める中で、人の 想起・思考内容に対応したさまざま な脳活動に伴う脳情報と、情報を文 字や画像、映像などで表示するコン ピューター(表現空間)を結びつける 技術に着目した。脳と表現空間の共 生インタラクションを実現し、その影

representational Brain-Computer Interaction(rBCI)



rBCIは人の脳内表現空間と外部の情報空間をつなげることで、人と情報空間との新しいインタラクションを実現する。視 覚的知覚、認知、感情などに基づく脳活動を解析し、人間の能力を高めたり、活動を補助したりすることが期待されている。

響や効果を明らかにしようと始まっ た研究が、CREST「脳表現空間イン タラクション技術の創出」である。

柳澤さんはCREST開始当初、多 くの施設と連携して大量の頭蓋内脳 波のビッグデータを形成し、高精度 の脳情報解読を実現する手法を提案 した。具体的には、脳内の視覚的情 報を情報科学的に解読し、脳と表現 空間のインタラクションによる新 しいBCIである「representational Brain-Computer Interaction (rBCI)」の実現、そしてrBCIを活用し た神経科学的メカニズムの解明など の臨床応用を探ることだ(図1)。

プロジェクトチームは、脳科学、表 現空間、てんかん外科など多種多様 なバックグラウンドを持つ研究者で 構成されている(図2)。大阪大学脳神 経外科の貴島晴彦教授、順天堂大学 脳神経外科の菅野秀宣先任准教授、 奈良県立医科大学脳神経外科の田村 健太郎講師は各機関で実際に手術 も行っており、頭蓋内脳波のビッグ データを集めるため、互いに協力し ている。後頭葉に電極を埋め込んで 視覚関連の頭蓋内脳波を得る機会は 少なく、多施設共同で行うことによ り、rBCIの開発を可能にする。

また、ATR脳情報研究所神経情報 学研究室長で、京都大学大学院情報 学研究科の神谷之康教授と大阪大学 大学院生命機能 研究科の西本伸 志教授は、磁気 共鳴機能画像法 (fMRI)を使っ た脳情報解読や 脳情報表現の研 究が専門だ。「私 はそれらの研究 を頭蓋内脳波に 適用し、rBCIの 実証を行うこと と、rBCIを用い た臨床応用を実

現することが主な役割です |と栁澤 さんは語る。

失った手足が痛む「幻肢痛」 BCIを用いた治療により軽減

はじめに、各拠点で同じ研究環境 を整備し、多拠点で計測した脳活動 の情報を人工知能で解読していっ た。得られた成果から、さまざまな疾 患の診断につながるシステムや、認 知機能と脳活動の関係を説明する定 量的な情報表現モデルを構築した。 さらに、脳と外部機器が直接つなが り、脳情報に基づいてロボットを動 かすことで、パソコンを制御できる BCIが形になっていった。

例えば、事故などで失った手足に痛

脳表現空間インタラクションの創出と解明 世界最先端の皮質脳波BCI開発チーム 栁澤グループ rBCIの開発と脳活動への影響解明 西本グループ

貴島グループ 皮質脳波の計測と総括

rBCIの臨床応用検討

図2 CRESTの研究体制図

菅野グループ 田村グループ 皮質脳波計測 皮質脳波計測

皮質脳波ビッグデータの作成 国内最大規模の皮質脳波計測チーム 神谷グループ fMRIによ

るNeural decoding技術 開発とrBCIの 神経基盤解明

fMRIを用いた 表現空間の 探索

神経基盤の解明 基盤技術の開発 世界最先端の脳情報解読チーム

みを感じる「幻肢痛」に対して、BCIを 用いた治療法を提案している。手足を 失っても、ほとんどの人が以前と同じ ようにまだあると感じるだけでなく、 50~80パーセントの人は強い痛み を感じるという。しかし、痛みを起こ している脳活動を抑えなければ痛み は消えないため、一般的な消炎鎮痛薬 や医療用麻薬では効果が得られず、有 効な治療法も見つかっていない。

そこで、栁澤さんらは鏡に健常な 手足を写して幻肢に関連した脳活動 を強める従来の鏡療法をヒントに、 脳信号を介して画面上の幻肢を動か せるBCIを開発した。健常肢を動かし たときの脳情報である脳磁図の信号 を機器に学ばせた後、被験者に自分 の失った手を動かすつもりで、モニ ターに映し出されたバーチャルな手 を握ったり閉じたりするという課題 を3日間続けてもらった(図3)。

その結果、主観的な痛みの強さを 10センチメートルの長さの線の中 に表すビジュアルアナログスケール (VAS)で45.3だった痛みが30.9に 低下し、効果が5日間持続した(図4)。 さらに、痛みを減らすためには、でき るだけ幻肢の脳情報を減らした方が 良いこともわかった。鏡療法よりも多 くの患者で効果が確認され、より簡便 な方法で実施できるよう改良を進め ている。新たな治療法として確立で きれば、幻肢痛に悩まされている多く の患者にとって福音になるだろう。

図3 実験で使用している脳磁計



被験者は幻肢を動かして、頭上に表示される映像の手を開閉する。被験者の脳波を読み取った結果が、映像に反映される。

図4 訓練前後でのVASの変化

訓練前後でのVASの変化

BCI訓練

1日目:45.3 [24.2]

4日目:30.9 [20.6] (p=0.009)

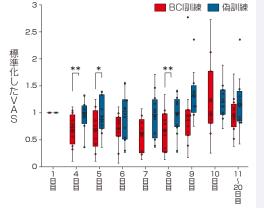
偽訓練

1日目:36.6 [18.5]

4日目:36.7 [25.0] (p=0.98)

平均値 [標準偏差]

標準化したVAS =(その日のVAS)/(1日目のVAS)



3日間の幻肢訓練を行った結果、幻肢痛が訓練後5日間、通常よりも減少する結果が得られた。赤は正しいBCI訓練を行った場合で、青は脳活動によらずに幻肢の画像をランダムに動かす偽の訓練を行った場合。

出典:T. Yanagisawa et al., Neurology, 2020

想像で画像を制御する技術 まひ患者の意思伝達に期待

続いて、頭蓋内脳波を使い、人が想像した意味の画像を画面に提示するrBCIも開発した(図5)。実験では、脳波から推定された画像を見ながら、指示された意味の画像を想像することで、想像した意味の画像を画面に提示できることが確認できた(図6)。

また、見ている画像と異なる意味の画像を想像することで、脳波が想像した画像を見た時の脳波に近づくことを明らかにした(図7)。声や言葉によらない、画像を脳波で制御するこの成果は、まひ患者との意思疎通など、さまざまな医療への応用が期待できるという。

近年は、AIやロボットを使った脳機能の再建・修飾技術や診断への応

このような実験や 解析は、高度な力が バイス開発能力、 理に支えられて る。このプロシー 学院医学系研究科が その役割を担ってい その役割を担ってい る。暗号のような脳の情報を解読した画像をオンラインでフィードバックするシステムは、福間さんが試行錯誤しながら構築したものだ。

臨床研究では協力者の患者を待たせないよう、常にミス無く行わなければならない。しかも、チャンスは1回きりであることが多い。画像を想像で制御するBCIの実験では、これまでの経験が功を奏したのか、初回から想定以上に患者が課題をうまくこなすことができたという。「思いつきがうまくいったために期待が高まり、その後はシステムの改良などさまざまな条件を検討しました。ところが、変えれば変えるほどうまくいかなくなり、1~2年ほどは暗中模索が続きました。研究室にも悲壮感が漂っていましたね」と当時を振り返る。

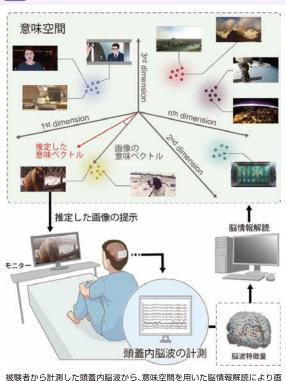
その後、最初に試した条件を整理して再度実験を行ったところ、人の画像想起に伴う脳活動のタイミングと特徴をつかむことができた。柳澤さんは「福間さんの存在と、工学との強いコネクションがあったからこそできたことです。こうした経験を踏まえ、研究はもちろん、この分野の人材育成にも尽力していきたいと考えています」と決意を語った。

週1回の外来診療も継続 常に臨床への応用を意識

ところで、柳澤さんの経歴は少々 複雑だ。高校生の頃、数理であらゆる 現象を説明する物理学や生命科学に 興味を持ち、生命現象で生じるさま ざまなダイナミクスを数理で理解し たいと考え、大学では物理学を専攻 した。大学院では非線形非平衡統計 力学の研究室に入ったが、神経細胞 やグリア細胞など複数種類の細胞が 非線形に相互作用して情報を処理す る力学系としての神経科学に興味を 持っていたという。

コンピューターシミュレーション を使って、神経系の挙動を再現する 研究をしていたが、脳科学を知らず

図5 頭蓋内脳波を用いた、想像による画像の制御



被験者から計測した頭蓋内脳波から、意味空間を用いた脳情報解読により画像を推定する。推定した画像は被験者の前に置かれたモニターに表示される。

出典: R. Fukuma et al., Commun. Biol. 2022

に研究することに 限界を感じ、同時に 数理を用いる立立な のと考え、大阪で と考え、大阪叩い と学部の門を留り と、神経科学で留り しようと準備を

しようと準備をしていたのだが、新聞記事で見かけた同学の医学部医学科の課程在籍中に医学博士も取得できるMD-PhDプログラムが転機となった。そして、脳外科でのBCI研究を知ると、医療応用を

見据えた基礎的研究に興味が移り、 研修医の課程を修了した後、現在の 研究分野に進んだのである。

柳澤さんは、研究プロジェクトと並行して、今も週1回、大阪大学医学部附属病院の脳外科でてんかん外来の診療を続けている。研究では成果を臨床応用して治療などに役立てることを目指している一方、診療は自身が臨床に根ざしていることを意識させてくれる大切な仕事だと柳澤さんは語る。「特に頭蓋内脳波を使ったBCIの開発研究は、患者さん自身には直接的なメリットがないにもかかわらず、協力してくださっています。患者さんに役立つ治療や診断技術などの臨床応用が最終目標であることを、常に意識しています」。

学生時代に医工連携を体験 相手を尊重し有益な共同研究へ

現在、CRESTで得られた脳情報解読技術は、脳波からてんかんや認知症などを診断する技術へ応用している。「今、最も力を入れているのは、体内埋め込み型の脳波計を使い、BCIを臨床応用することです」。頭蓋内に埋め込んだ装置がてんかん発作の起こるタイミングを自動検知する技術や、解析した脳波の特徴から治療へとつながっている。社会実装するためには、こうした技術開発と同時に、研究の裾野が広がっていくことも重

図6 rBCIによる画像制御実験の結果



画像制御実験では、1回の指示に対して250ミリ秒ごとに計32枚の推定画像を表示した。赤下線部が指示に対して正答となった部分。

出典:R. Fukuma et al., Commun. Biol. 2022

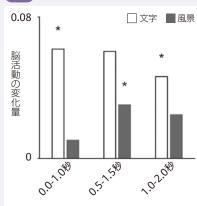
要だ。「医療分野だけでなく、産業としても発展させたいですし、同業の脳外科医にも、もっとBCIの臨床応用に興味を持って参加して欲しいと思います」と希望を語る。

頭皮脳波を用いたデバイスは市場にも登場し始めており、裾野は確実に広がっているようにも見える。しかし、安全性や有効性の評価、倫理面を含めた開発のルールなど、社会で技術をどう使っていくべきかという議論はまだ十分とはいえない状況だと栁澤さんは指摘する。「広く受け入れてもらえる産業に育てていくためにも、専門家を中心にガイドラインづくりを進めています」。一定の基準にのっとって作られた安全な機器を、利用者が安心して使える環境の実現に期待したい。

また、例えば個人情報なども多く含まれる医療データを、開発者が使える形でどう安全に整備していくかも重要な問題だ。「7年ほど前のさきがけ採択時に、頭蓋内脳波のビッグデータを多くの研究者が使える仕組みを手掛けました。CRESTも、この取り組みの中で生まれてきたテーマです」と振り返る。研究を進めるで、データにアクセスできるだけでなく、研究者同士で議論しながら、互いの知識や技術を持ち寄って共同作業をすることで、より大きな成果が生まれることもわかってきた。

となれば、医療と工学間の多様な人材交流を増やし、共同研究しやすい環境を作る必要もあるだろう。カギとなるのは「教育段階から医工連携を見据えた教育だ」という栁澤さん。工学と医学を両方学んだ自身の

図7 認知・想像実験の結果



想像開始からの時間

被験者が①文字もしくは風景の画像を見ている時と②一方の画像を見ながら他方の画像を想像している時の頭蓋内脳波を計測し、想像した内容に応じた脳活動の変化を評価した。各棒グラフが高いほど、ある画像を想像しながら違う画像を見ている時の脳活動が、想像している画像を実際に見た時の脳活動に近いことを示している。

出典:R. Fukuma et al., Commun. Biol. 2022

経験が、今の研究にも生きているという。「異分野連携では、専門用語の定義や前提条件、重視する事項が互いに異なり、すれ違うことも多いです。しかし、相手の文化を尊重しつつ目標を共有することで、有益な共同研究につなげることは可能なはずです」と連携の意義を挙げる。

柳澤さんの研究室では、医学部のみならず工学部からもインターンの形で学生を集め、同じ目標の下で研究を進めている。学術横断的な環境を学生時代に経験してもらうことが、将来の医工連携につながると考えているからだ。近年は、医学生がAI企業でインターンを受けるなど、産業との関わりを積極的に持つ傾向にあるという。rBCIがさらに完成度を増し、臨床をはじめとした幅広い分野で活用される日は、そう遠くないかもしれない。

(TEXT:吉本直子、PHOTO:石原秀樹)

どうやって 実現する? 明るく豊かな ゼロエミッション 連載 社会 【第2回】

磐田 朋子 Iwata Tomoko

芝浦工業大学 システム理工学部 環境システム学科 教授/ 低炭素社会戦略センター 客員研究員

個人ができる 脱炭素への貢献



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2回。前回、LCSの小宮山宏センター長に「脱炭素から始まる日本の活性化」について聞いた皆川は、脱炭素を自社の 中核事業に取り込むための本格的な調査に乗り出した。今回はLCSで民生部門の中長期エネルギー消費量評価モデルの開 発を手掛ける磐田朋子客員研究員に、個人ができる脱炭素への貢献について聞いた。

あらゆる活動でCO2排出 家電は新しい物ほど高効率

皆川:今日は個人や家庭レベルでの 脱炭素についてお話を伺いに来まし た。私たちは生活する上で、具体的に 何から二酸化炭素(CO2)を排出して いるのでしょうか?

磐田: それはもう、衣食住にサービス や交通など、ありとあらゆる消費活 動です。服や家のような耐久消費財 でも、製造から廃棄までの間にCO2 を排出します。

皆川:そうなんですね。あっ、でも野菜 や穀物などの農産物はむしろ光合成 をしているから、CO2を吸収している のではないでしょうか?

磐田:鋭いですね。確かに、農産物は 種をまいてから成長の過程でCO₂を 吸収します。でも収穫された後、皆さ んが食べてエネルギー源として消費 する過程で、吐く息としてCO2を排 出しているので、これだけでも排出 量はプラスマイナスゼロです。その 上、流通や販売でもエネルギーを使 いますし、特に無視できないのは化 学肥料を製造するときに排出される CO2ですね。温室栽培だと、暖房に よってもたくさん排出されます。

皆川:そうはいっても、CO2排出を削 減するために食事を減らしてくださ いとは言えませんね。

磐田: そうですよね。でも工夫次第で CO。排出を大きく減らせる項目もあ りますよ。家計の中で一番CO2を排 出しているのは何だと思いますか?

皆川:車は持っていない人もいるの で、光熱費ですか?

磐田:ご明察です!特に排出量が大き いのは熱に関わる用途、そして使用時 間の長い用途です。中でも絶対的な熱 量が大きい暖房と給湯は、影響が大き いですね。家の断熱性アップやヒート ポンプ式給湯などが効果的です。

皆川:なるほど。もう少し手軽な対応 策はありますか?

磐田:空調や給湯ほどの効果はありま せんが、冷蔵庫選びなどはどうでしょ う。買い替えの際は、少し大きめがお 薦めです。小さい冷蔵庫いっぱいに詰 め込むと、冷却効率が悪くなってしま いますからね。それに、容積は大きい 方が容量の割に表面積が小さくなる ので、断熱効率がいいのですよ。

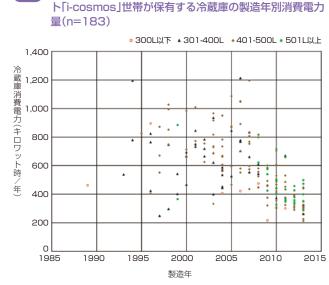
皆川:クマやトラな どの動物では、北に すんでいる種や個 体ほど大きいのと 同じ理屈ですね! 磐田:ベルクマン の法則ですね。あ とエアコンなどに も言えることです が、新しいモデル ほど効率が良く なっているので、 もし10年以上前 の古い家電製品を 使っているようで したら、最新モデ ルに買い替えれば 環境にも家計にも優しいです。

皆川:電気屋さんの回し者みたいな こと、言わないでくださいよ。

磐田:違いますよ。私が調べたデータ があるので見てください(図1)。

皆川:新しいものほど効率が良くて、容 量が大きなものの消費電力は小さな ものと変わらない、というか古い小さ な冷蔵庫より断然良いんですね。しか し、大型家電の買い替えなどの省エネ 投資は、億劫に感じる人が多いんじゃ ないでしょうか。お金もかかりますし。 磐田: そんなこともあろうかと、行動経 済学などでよく使われる「Nudge」と いう考え方に基づいた普及方法も研 究しています。床に足跡マークが貼っ てあるだけで強制されていないのに

行儀よく並んでしまったり、逆に「勉強 家庭の電力使用量見える化実験および見える化ウェブサイ

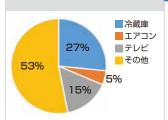


出典:民生家庭部門の省エネルギー促進からの低炭素社会実現(Vol.2)(fy2015-pp-11 図12)

図2 節電アドバイスの表示例

1コマ目 "起"

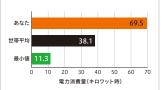
前月の電力使用量の内訳



平均的な家庭では、冷蔵庫の割 合は約14%とされています。あ なたの家ではいかがでしたか? 次の図で、他の家庭と冷蔵庫の 消費電力を比較してみましょう。

2コマ目 "承"

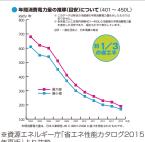
他の家庭と 比べてみましょう



あなたの冷蔵庫は省エネ世帯の 約6.1倍使用していました。 電気代に換算すると、省エネ世 帯よりも約1460円多く支払っ ています(1キロワット時あたり 25円として試算)。

3コマ目 "転"

新しい冷蔵庫は電気代の 大幅な削減に貢献!



製造年が新しいほど省エネが進

み、電気代が安くなります。

4コマ目 "結"

冷蔵庫の節電アドバイス



あなたの冷蔵庫を買い換える と、年間約18000円電気代が節 約できる見込みです

冷蔵庫は24時間稼働している ため、節電対策の効果が特に大 きい家電です。冷蔵庫を買い替 えて、電気代を節約しませんか?

出典:民生家庭部門の省エネルギー促進からの低炭素社会実現(Vol.3)(fy2016-pp-17 図1)

しなさい!」と言われてやる気をなく したりしたことがありませんか?

皆川:確かに、ありますね。

磐田:人間の思考の癖をうまく利用 することで、無理せず行動を促すこ とができるのです。この研究のため には、行動経済学などの人文社会系 研究者の協力が不可欠です。具体的 には図のようなわかりやすいアドバ イスを考えています(図2)。

家全体でエネルギー対策 光熱費ゼロも夢ではない

磐田:電化製品1台という単位ではな く、家丸ごとエネルギー対策をする と、さらに劇的にCO。排出を減らす ことができますよ。家そのものを小 さな発電所にしてしまえば、光熱費 ゼロ円も夢ではありません。

皆川:ソーラーパネルで電気を作り 出すんですね。でも太陽光発電だと、 天気のいい日中しか電気を作れない のではないでしょうか?

磐田:その通りです。確かにソーラー パネルでは日中しか電気を作れませ んが、日中余った電力を電力会社に 売ったり、蓄電池を使ったりすること で偏った電力を効率的に運用できま す。さらに、先ほどもお話ししました が、家の断熱性を高めて、空調や給湯 にはヒートポンプ式を採用すれば、 年間のエネルギー消費量ゼロを目指 すことができます。私たちは「ネット・ ゼロ・エネルギー・ハウス I、通称ŽÉĤ と呼んでいますが、ウェブで検索す ると情報もたくさん出てきます。

皆川: これは我が社にもビジネス チャンスが生まれそうです。断熱性 の高い家と聞いて思い出しました が、北海道では昔から断熱性の高い 家が一般的で、冬の室内は東京より 断然快適だそうですね。

磐田:はい。ZEHはCO2排出が少なく て光熱費が安いだけではなく、快適 でもあります。

皆川:良いことを聞きました。先述の

Nudge手法も組み合わせ、省エネ家 電やZEHの普及が進むと良いですね。 磐田:ただ本当にCO2排出ゼロを目 指すには、外部からの電力供給源の 再エネ率向上や売電のための環境整 備など、課題もありますね。

皆川:一筋縄ではいかないからこそ、 うまくいけば大きな成果になりそう ですね。発電関係で良いアイデアは 出てきているんですか?

磐田:注目されている技術の1つに、 廃棄バイオマスから気体燃料を作る メタン発酵技術があります。LCSの 岩崎博特任研究員が詳しいので、ぜ ひ聞きに行ってみてください。

皆川:次の方も紹介していただきあ りがとうございます。まずは、今日見 せていただいたレポートの内容を整 理します。本日は貴重なお話をあり がとうございました。

- なお、物語は取材を元にしたフィ クションである。

(TEXT:福井智一)



低炭素社会戦略センター 森 俊介 研究統括/上席研究員

炭素排出で家庭部門の寄与が大きいとよく言われますが、実際、 何が重要でどれだけ効果があるのかを把握するのは、意外と難 しいです。磐田教授は家庭の現場から数理モデル構築、電力シス テムまで一貫した研究をされ、普及にも注力されてきました。家 庭も電気自動車やICTの普及でさらに変化すると予想されます。 LCSでは自動車を含む家庭部門の今後が、決して「暗い我慢の炭 素中立社会」にならないよう、技術と社会を考察しています。



ワンポイントアドバイス

大阪大学 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻 下田 吉之 教授

断熱性能が高い住宅は病気になる確率も低くなることが近年の 研究により実証されており、またZEHではエネルギー価格の変 動による家計への影響を心配しなくてすむようになります。脱炭 素社会への道のりは、SDGs全体を俯瞰してシナジーを図りなが ら進めていくことが大事です。また、テレワークの普及をそれに 適した住まいの改善とともに進めるなど、ライフスタイルとハー ドが一体となった快適な脱炭素社会の実現が望まれます。

研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ 研究課題「多次元生体化学情報の収集・時空間解析へ向けた超嗅覚センサシステムの創製」

戦略的創造研究推進事業CREST

研究課題「空間的・時間的に局在化したナノ熱の学理と応用展開」

人工嗅覚センサーで個人認証

呼気ガスを機械学習し、高精度に識別

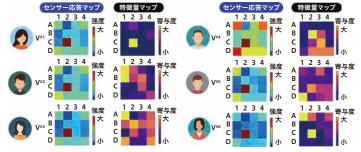
指紋や音声などの人間の身体的・行動的特徴を用いる生体認証は、パスワード認証に代わる簡便かつセキュリティーの高い本人確認方法として、利用が拡大しています。体表の皮膚から発散するガスを利用する研究もありますが、皮膚ガスに含まれる分子群の濃度が低く、全ての分子を検出できないので、この認証方法の適用には限界がありました。

東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻の長島ー樹准教授らの研究チームは、分子群の濃度が皮膚ガスよりも3桁ほど高い呼気ガスを利用し、個人認証の原理実証に成功しました。研究チームはまず、異なる性質を持つ16種類の高分子材料と導電性カーボンナノ粒子の混合物で、人工嗅覚センサーを作りました。次に、年齢・国籍・性別の異なる空腹状態の6人を対象に、同センサーを介して呼気を検出しました。人工知能による機械学習を通して得られたデータ群を分析すると、平均97.8パーセントの高精度で個人を識別できました。別の日に

呼気を採取した場合や、対象人数を20人に増やした場合の 実証実験においても、同様の識別精度でした。

この技術の実用化に向けては、食事が及ぼす認証精度への影響の確認やより大人数を対象とする実証実験が必要など、まだ課題は多くあります。しかし、一度使うと消費される呼気ガスを用いた個人認証は、情報の偽造や長期間のなりすましといった従来の認証方法の課題を克服する可能性を持つ生体認証技術として、実現に期待が高まります。

国籍・性別・年齢の異なる6人の呼気センシングにより得られたセンサー 応答マップ(左)と個人識別の特徴量マップ(右)



16個のセンサー素子は全て異なる応答を示し、個人ごとに異なるパターンのセンサー応答が得られたことがわかる。個人を特徴付けるための各センサーの寄与度を評価したところ、全てのセンサー素子が個人認証に有効であることを確認できた。

研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ 研究領域「電子やイオン等の能動的制御と反応」 研究課題「外部電場により駆動するワイヤレス電解反応システムの構築」

給電が不要な電解反応技術を開発 深海・高圧下などの極限環境での利用も望まれる

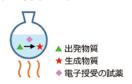
環境・エネルギー問題の解決に向けて、有害・危険な試薬を用いる化学反応から、安全で環境負荷が小さい電解反応に置き換える試みが世界中でなされています。電解反応は、物質が電気を流した電極に触れた時に、電子をやり取りすることによって反応が進みます。従来よりも試薬の種類や量を減らせるうえ、通常は熱エネルギーを必要としないといったメリットがあります。しかし、電極に給電する電源装置の導

入の手間や配線の煩わしさなどが大きな問題 でした。

東京工業大学物質理工学院応用化学系の 稲木信介教授らは、本質的に外部から給電が 不要な電解反応技術を開発しました。研究グ ループはまず、マイクロ流路に希薄電解液を 送る際に電位差が生じる現象に着目。流路の 材質をはじめ、さまざまな有機溶媒と電解質 の組み合わせや濃度を検討し、電解反応を行 うのに十分な3ボルト程度の電位差を発生さ せました。実際に、芳香族化合物を送液して電解重合を行ったところ、導電性高分子膜が得られました。これは流路の上流または下流に設置した電極が陽極となり、酸化反応が進行したことを示唆しています。

この成果は、さまざまな溶媒や電解質の組み合わせでも、マイクロ流路に電解液を送液するだけで、電解反応を利用できることを示しています。現時点では高圧での送液が必要ですが、低圧でも効率よく反応するよう、改良を進めています。将来的には、ファインケミカル合成・有害物質の分解などの電解反応への適用や、深海・高圧下などの極限環境での利用も望まれます。

従来の化学反応



電解反応



今回:給電しない 電解反応



- ② 危険な試薬・廃棄物
- ⊕ 危険な試薬不要

 - ・ 電気エネルギー利用
- ❷ 煩雑な装置・配線
- ⊕ 危険な試薬不要⊕ 送液エネルギー利用
- ⊙ 給電不要

従来の化学反応法と今回開発に成功した給電しない電解反応法の違い

超音波の3次元散乱現象を捉えてき裂を発見

非破壊評価技術を科学的に最適化

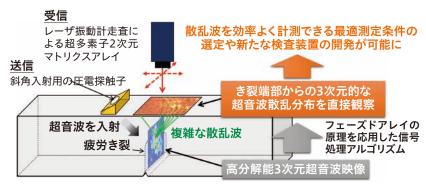
構造物や工業製品は、劣化によって表面や内部にき裂が 生じることがあります。航空機や発電プラントではこうし たき裂が甚大な事故につながる可能性があるため、一般的 には対象物を壊さずに調べる非破壊検査で内部構造を日々 調査しています。中でも幅広く用いられている超音波検査

法では、欠陥端部などを起点として四方八 方に飛び散る散乱波から複雑な内部構造 を推定しますが、これまで3次元的な散乱 現象を調べる方法はありませんでした。

東北大学大学院工学研究科の小原良和 准教授らの研究グループは、レーザーが 照射された局所領域の振動情報を非接触 で計測できるレーザードップラー振動計 の2次元スキャンと圧電探触子送信を組 み合わせた3次元超音波映像法「PLUS」 をベースに、3次元超音波散乱現象の観察 法を開発しました。研究では疲労き裂を微 視的な散乱源に分解し、受信点までの伝搬 時間情報を活用した信号処理アルゴリズムを構築すること で、き裂で発生する散乱波がどのように分布しているかを 直接観察することに成功しました。

これにより、熟練者の経験に頼っていた検査基準や精度 を科学的に最適化し、効率よく計測できる新たな超音波検 査装置の開発が可能になりました。欠陥測定の精度を高め ることで、航空機や発電プラント以外にも、自動車、橋、トン ネル、高速道路などの広範な分野において、安全・安心で持 続可能な社会の実現を目指します。

3次元超音波散乱現象の観察法



超音波送信機と、レーザー光のドップラー効果を利用した振動計を組み合わせた3次元超音波映像法 PLUS (Piezoelectric and Laser Ultrasonic System)により、散乱波を3次元的に捉えることに成功した。

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究課題「超解像3次元ライブイメージングによるゲノムDNAの構造、エピゲノム状態、転写因子動態の経時的計測と操作」 次世代研究者挑戦的研究プログラム「SOKENDAI特別研究員(挑戦型) |制度による次世代研究者の支援・育成の推進

生きた細胞内でDNAのゆらぎを観察

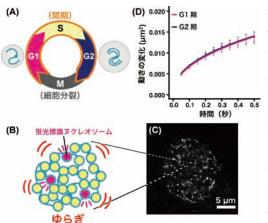
細胞の異常やヒト遺伝疾患解明のカギに

ヒトの体は約40兆個の細胞から成り立ち、細胞の核には 生命の設計図とも称される全長約2メートルのゲノムDNA が収納されています。ゲノムDNAはたる状のたんぱく質の ヒストンに巻かれ、直径約11ナノ(ナノは10億分の1)メー トルのヌクレオソームを形成しています。ヌクレオソーム は、らせん状に規則正しく折り畳まれて階層構造を作るとさ れていましたが、国立遺伝学研究所の前島一博教授らは規 則正しい階層構造は存在せず、ヌクレオソームは不規則か つダイナミックに収納されていると2008年より提唱し てきました。しかし、ヌクレオソームの微少な動きを正確 に捉えることは従来の光学顕微鏡ではできませんでした。

今回、飯田史織総合研究大学院大学大学院生 (SOKENDAI特別研究員)と前島教授らの研究グループ は、細胞1個に約3000万個存在するヌクレオソームをま ばらに蛍光標識し、個々のヌクレオソームの動きを超解 像蛍光顕微鏡で正確に観察する手法で、ヒト細胞が成長 する際に観察される微少な「DNAのゆらぎ」を生きた細胞 内で捉えることに成功しました。また、DNAは細胞の成長

過程で一定のゆらぎを保ち続けることがわかりました。ゆら ぎの程度がさまざまなたんぱく質のDNAへの近づきやすさ に直接関連するため、ゲノム情報の読み出しやすさにも影響 すると考えられます。

さらに、ゲノムDNAが損傷すると、ゆらぎが一過的に上昇 することを見いだし、損傷修復に関わるたんぱく質がDNA に近づきやすくなることで、修復を促す可能性を明らかに しました。こうした研究成果は、DNA修復不全による細胞の 異常や関連した遺伝疾患の解明に役立てられます。



A:細胞は細胞周期と 呼ばれる成長と分裂 の過程を繰り返す。 B:マクレオソーム(苗 色)をまばらに蛍光標 識したヌクレオソー ム(ピンク)の動きの みに注目することで 「DNAのゆらぎ」を 調べることが可能に なる。C: 超解像蛍光 顕微鏡による核内の ヌクレオソーム画像。 D:G2期にはDNAの 量および核の大きさ はG1期の2倍になる が、それにも関わら ず、G1期、S期、G2期 のDNAのゆらぎはほ とんど同じであった。

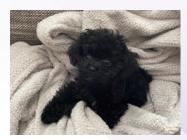
さきがける

vol.118

鈴木 俊貴 Suzuki Toshitaka

京都大学 白眉センター 特定助教

東京都出身。2012年立教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(SPD)、東京大学教養学部学際科 学科助教などを経て、19年より現職。22年より創発 研究者。



最近飼い始めた愛犬「くーちゃん」です。飼い 主の気持ちを理解しているような行動に、 いつも驚かされます。



「ヒヒヒ(タカだ!)」という仲間の鳴き声を聞いたシジュウカ ラが空を見上げる様子。天敵の種類ごとに異なる警戒の鳴 き声を使い分け、情報を共有しています。

Q1. 研究者を志したきっかけは?

A1. 幼少期から生き物に夢中 卒業テーマを求め各地へ

子どもの頃から、生き物が世界をどの ように見ているのかを知りたいと思って いました。小学校の自由研究では、毎年ヤ ドカリや昆虫など対象の生き物を1つ決 めて1年間観察し、日記にまとめ提出し ていました。生き物への好奇心や感じた 疑問を解き明かしたいという思いは幼い 頃から今までずっと一貫しています。

大学2年の時に動物行動学という分野 を知り、興味を持ちました。卒業研究で は、多くの学生が指導教員から研究テー マをもらう中、僕は本当に研究したいと 思えるテーマを探すために、いろいろな 地域へ出かけました。そこで出会ったの がシジュウカラです。

音楽経験があり耳が良かったせいか、 シジュウカラの鳴き声の種類が他の鳥よ りも多いことに気づき、状況に応じて鳴 き声を使い分けているのではないかと 考えるようになりました。この疑問が卒 業研究のテーマとなり、今の研究につな がっています。

Q2. フィールドワークの特徴は?

A2. 天敵との遭遇を剥製で再現 森林の中で毎日10時間以上も

動物行動学では、高度な言語能力はヒ トだけが持つ性質であり、動物の鳴き声 は単なる感情で、単語や文法は存在しな いとされてきました。しかし、僕はシジュ ウカラの鳴き声を分析していく中で、そ の考えに疑問を抱くようになりました。

ヒトの言語は、モノを指し示したり、文 法のルールを当てはめたり、過去や未来 を想像するなど、さまざまな認知能力の 集合体です。その個々の能力に着目すれ ば、ヒト以外の動物においても言語の機 能を見いだせるはずだと考えました。そ こで、認知科学や言語学、動物学を融合さ せた新しい枠組みである動物言語学を打 ち立て、研究を進めることにしました。

フィールドワークでは主に、シジュウカ ラがどのような状況でどのような鳴き声 を使うのか、さらに、各鳴き声を聴かせた 際に、どんな反応をするのか調べていま す。天敵との遭遇など、滅多に見られない 状況で発する鳴き声に関しては、ヘビやタ 力などの天敵の剥製を呈示して、人為的に ある状況を作り出す工夫もしています。森 林の中での調査は毎日10時間以上に及 びますが、地道なデータ収集の結果、シ ジュウカラの鳴き声には天敵の種類を示 す単語や、異なる鳴き声が組み合わさっ た文章があることがわかってきました。

Q3. これから研究者を目指す人に一言

見たもの、考えたことを大切に 「失敗」ではなくて、新しい発見かも

本や論文に書いてあることは、過去に 誰かが見て考えた世界の解釈の1つで す。皆さん一人一人違った価値観や観察 眼があるはずです。もちろん本や論文で 学問の流れを勉強することも大事です が、自分で見たもの、考えたことを大切に して探究を続けることが、独創的な研究 につながると信じています。

もちろん、思った通りの結果が得られな い時もあるでしょう。しかし、それは失敗 ではなくて、既存の知識では予想できない 新しい発見が隠れているのかもしれませ ん。僕は、研究を続ける上で、そういった姿 勢を忘れないように心がけてきました。

シジュウカラのことを知れば知るほ ど、研究の楽しさと興味が増しますし、誰 も知らない世界への扉を開いたような気 持ちになります。論文として発表できた 時は、毎回達成感が得られます。







August 2022

発行日/令和4年8月1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/

