

JST news

未来をひらく科学技術

特集

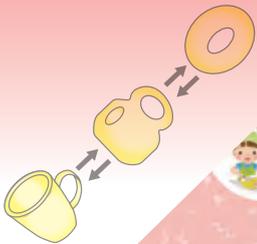
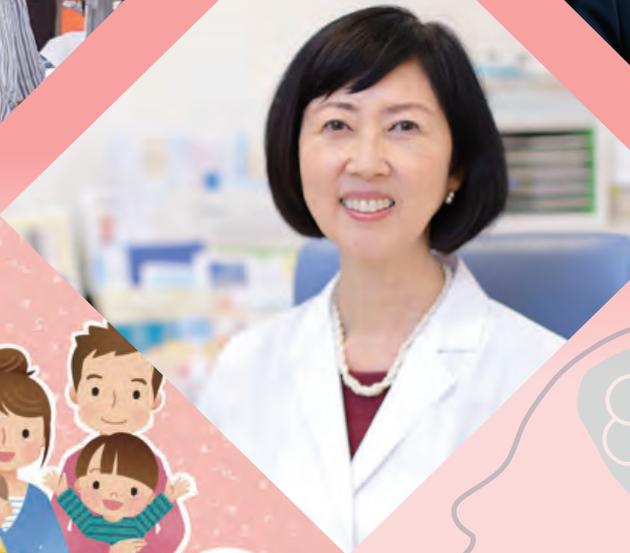
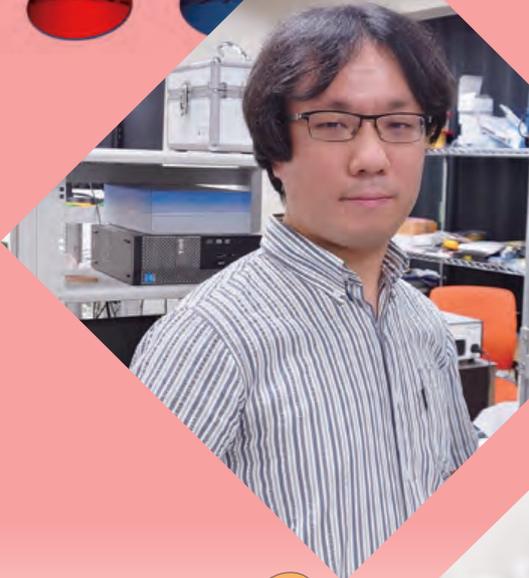
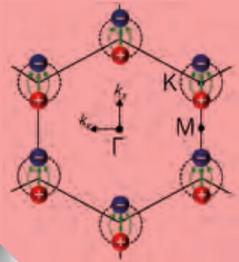
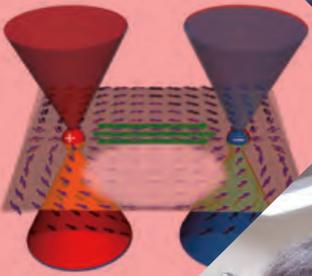
トポロジカル材料創出で目指す新データ処理 脳科学の知見を生かして子どもの虐待防止

9

September 2021

短期集中連載

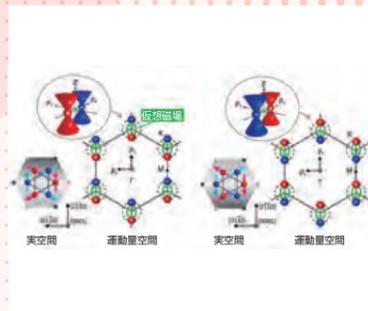
ムーンショット特別インタビュー



03

特集1

「トポロジカル材料」創出で目指す 省エネ・高速・大容量のデータ処理



08

特集2

脳科学の知見を生かし虐待防止 地域ぐるみで「とも育て」に挑む



12

ムーンショット特別インタビュー 2050年を描く 第1回

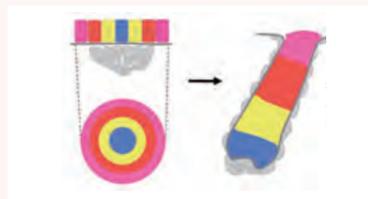
サイバネティック・アバターで実現 身体、脳、空間、時間の制約から解放



14

NEWS&TOPICS

毛包幹細胞の発生起源を解明 「テレスコープモデル」の提唱 ほか



16

さきがける科学人

Waku Wakuする気持ちがすべての源

東北大学 流体科学研究所 助教
鈴木 杏奈



特集1

「トポロジカル材料」創出で目指す 省エネ・高速・大容量のデータ処理

世界中で次世代材料の開発が加速する中、注目を集めるのが「トポロジカル材料」だ。数学の位相幾何学の概念を物性物理学に取り込み、近年これまでにない性質を持つ材料が次々と見いだされている。より革新的な機能を持つ材料の開発に挑むのは、東京大学大学院理学系研究科の上田正仁教授だ。基礎から応用まで分野横断で研究者が集い、材料やデバイスを創出することで、誰もが快適に暮らせるスマート社会の実現を目指す。

今世紀誕生した絶縁体 物性物理学の新潮流に

大容量データの超高速通信が求められる中、データ処理に掛かる負荷は増す一方だ。いずれ既存のデバイスでは対応できなくなると予測されている。またこの電力使用や発生する熱の冷却において二酸化炭素が排出され、地球温暖化に拍車をかけているとの指摘もある。そのため、低消費電力で熱を出さず、高効率な次世代材料・デバイスの開発が急務となっている。

そんな中、2005年に提唱されたのが「トポロジカル絶縁体」(図1)だ。表面には電気を通すが、内部は通さないという特徴を持つ、従来の概念を覆す物質だ。数学におけるトポロジーは、図形を連続的に変化させても変わらない性質に着目した幾何学である(図2)。この概念を物質の電子状態にも適用したことから、この名前がついたという。数年後には実験でもその存在が立証され、トポロジーに基づく材料

探索が物性物理学の新潮流となった。

東京大学大学院理学系研究科の上田正仁教授は、CREST「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」研究領域で研究総括を務める。従来の材料では不可能とされた性質が、トポロジーの概念で特徴づけられる材料では実現できるという。「小型化や高速化、低消費電力、強靱性などの特徴を有する革新的なデバイスも作り、超スマート社会の実現を目指します」と目標を語る。

競争相手となる欧米や中国の研究機関では、多額の資金を投入して開発が進められている。「CRESTでは理論から応用まで分野横断で、世界をリードするトップクラスの研究者を集めました。活発な議論が日々行われています」と上田さん。領域アドバイザーからも、高い専門性に基づいた助言が寄せられ、領域運営全体を後押しする。まだ解明されていないことが多く残る分野でもあり、成果に期待が高まる。



うへだ まさひと
上田 正仁
東京大学 大学院理学系研究科 教授
2018年よりCREST研究総括

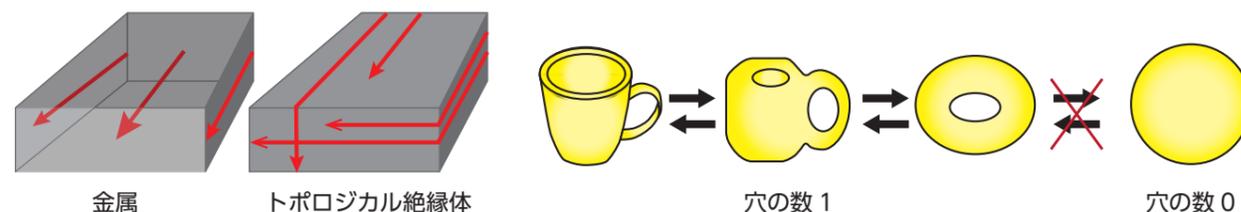


図1 金属は表面も中も電気を通す。一方、トポロジカル絶縁体は表面には電気が流れるが、内部は流れない。

図2 トポロジーでは、コーヒーカップとドーナツは穴の数が1つで同じだが、穴のないボールは違うと考える。

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：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井工文社



なかつじ さとる
中辻 知
東京大学 大学院理学系研究科 教授 / 物性研究所 特任教授
2018年よりCREST研究代表者

反磁性体のメモリーを目指すも磁化が小さく実用化には課題

CREST研究チームの1つを率いるのは、東京大学大学院理学系研究科・物性研究所の中辻知教授だ。物性物理が専門で、新しい機能を持つ磁性材料の開発やメカニズムの解明に取り組んでいる。電子には電気元となる電荷と、磁石元であるスピンという2つの性質がある。電荷を利用した計算処理を行うエレクトロニクスに、スピンの

性質も利用した、これまでにない高機能かつ低消費電力なデバイスの開発に挑む。

スピンは電子の自転運動のことで、上向きと下向きの2種類がある。スピンの向きがそろい、磁石のように強い磁化を示す磁性体を「強磁性体」、反対にスピンが互いに逆方向を向き、磁化がゼロに近い値を示すものを「反強磁性体」という。スピントロニクスの代表例であるハードディスクドライブ(HDD)では、スピンの向きを制御し

て情報を読み書きしている。磁気メモリーは外部から電気を供給しなくても情報を保持できるため、不揮発性メモリーと呼ばれ、これまではコバルト鉄合金などの強磁性体が使われてきた。

一方で、強磁性体の代わりに反強磁性体を使うと、スピンの応答速度が2~3桁速くなることが知られている。加えて反強磁性体の場合、スピンの向きが互いに反対方向を向いているため、強磁性体のような漏れ磁場が発生する心配がなく、より高速な読み書きが可能で大容量の磁気メモリーへの応用が期待されてきた。しかし反強磁性体には磁化がほとんどないため、スピンの向きを用いた情報の読み書きが難しく、実用化には至っていなかった。

マンガン化合物で異常な起電力 仮想磁場に由来する効果を発見

これに対し、中辻さんは15年にマンガンとスズの化合物Mn₃Snの反強磁性体が、常温で強磁性体に匹敵するほど大きな「異常ホール効果」を示すことを発見した(図3)。物質に電流が流れると、磁場や電流と垂直方向に起電力が生じる現象を「ホール効果」と呼ぶ。これは互いに垂直に磁場と電流を与えた際に、電流として流れている電子の運動方向が磁場によって曲げられることが原因だ。それに対し磁化を持っている強磁性体の場合、外部から磁場を与えなくてもホール効果が生じる。この現象が「異常ホール効果」だ。

また、17年にはMn₃Snに「磁気熱電効果」があることも見いだした。磁

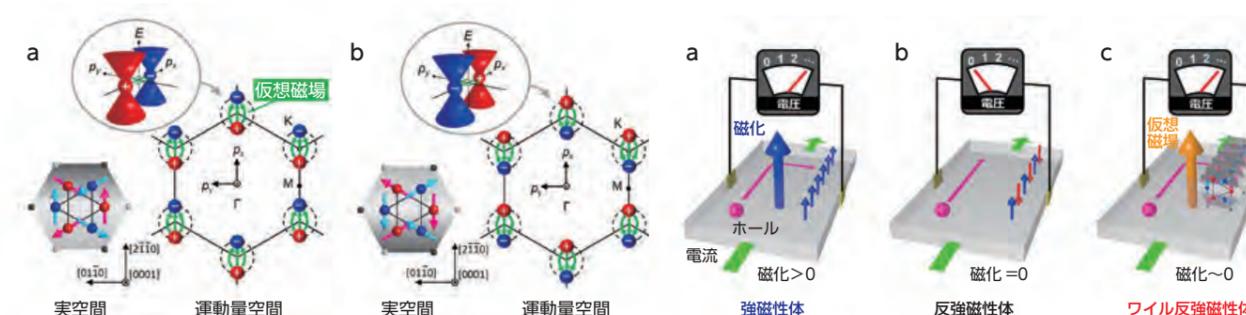


図4 ワイル反強磁性体Mn₃Snでは、実空間での反強磁性秩序の向きと運動量空間におけるワイル点の対(赤(+)と青(-)の球)、その仮想磁場の向きが対応している。図(a)と(b)は反強磁性秩序を反転させた場合のワイル点と仮想磁場の向きの概要図で、それぞれ逆方向に仮想磁場が向くことがわかる。

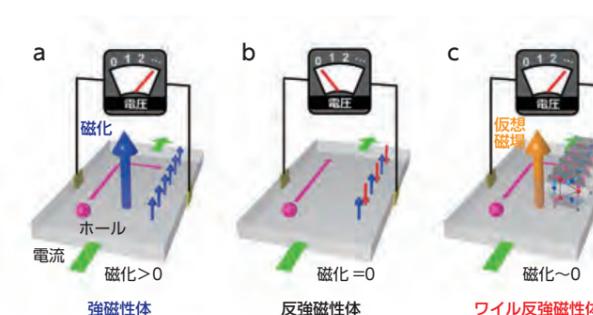


図5 大きな磁化を持つ強磁性体では異常ホール効果が現れる。一般に、磁化の大きさに比例して異常ホール効果は大きくなる(a)。反強磁性体では磁化が0、もしくは、非常に小さいため、異常ホール効果の測定は困難となる(b)。ワイル反強磁性体Mn₃Snでは、ワイル点が創出する仮想磁場の効果により、磁化が非常に小さくても、強磁性体に匹敵するほど大きな異常ホール効果が現れる(c)。

気熱電効果は従来の熱電変換と異なり、磁場・温度差と垂直方向に起電力が生じる現象だ。従来は磁化の強い強磁性体でしか実用的な熱起電力を示さないと考えられてきたが、磁化の小さい反強磁性体Mn₃Snでも強磁性体と同程度以上の大きな熱起電力が生じることを発見した。

中辻さんらはその後の研究で、これらの効果は物質のトポロジーに由来していることを突き止めた。「実は以前から有名なトポロジカル物質の1つに、素粒子分野で研究されてきたワイル粒子が磁性と伝導を担う新しいタイプの磁性体が理論的に予言されていました。ワイル磁性体では、実空間に換算すると100~1,000テスラに相当する大きな仮想磁場が作られることが知られていました。Mn₃Snはまさにワイル磁性体として確認された初めてのケースで、その異常ホール効果はワイル粒子が作る仮想磁場に由来する効果だったのです」と中辻さん(図4)。

これまでの研究では磁場を使ってワイル粒子を制御する方法は知られ

ていたが、電流を使って制御する方法は見つかっていなかった。それに対し20年4月、中辻さんらはMn₃Snと非磁性金属であるプラチナやタングステンとの多層膜からなる素子を作り、電流による制御にも成功した(図5)。「この成果はトポロジカル材料を使った超高速・大容量の不揮発性磁気メモリーの実用化に向けた大きな一歩となりました」と語る。

室温・ゼロ磁場で磁気熱電効果 安価な鉄材料で薄膜や大面積化

加えて、中辻さんらは室温で高い磁気熱電効果を発揮するトポロジカル材料の探索も進めていた。20年4月には鉄とアルミニウムの合金Fe₃Alと鉄とガリウムの合金Fe₃Gaが、鉄単体よりも約20倍も磁気熱電効果を示すことを発見した(図6)。「トポロジカル材料はやみくもに化合物を作っても、見つかるわけではありません。計算科学を使い、安価で工業的にも利用しやすい鉄材料を中心に探索しまし

た」と中辻さんは振り返る。これらは、ノーダルウェーブと呼ばれるトポロジカルな電子のバンド構造に由来する現象であることも明らかにした。

物質の両端に温度差を与えることにより起電力が生じる「ゼーベック効果」では、温度差と同じ方向に起電力が発生するため、モジュール構造は複雑になる。それに対し、磁気熱電効果の場合、温度差と磁化に垂直方向に起電力が発生し、発電方向は磁化の方向で制御できる。このため、印刷技術を使った大面積の薄膜で無接合のモジュール構造が可能だ(図7)。

近年リチウムイオン電池などでは温度上昇による発火が課題となっていることから、熱を伝達しやすい金属の性質を利用した熱流センサーへの応用も検討中だ。「熱流センサーを使って熱の流れをセンシングすることで、化学反応の異常を検知できます。発火を未然に防ぐだけでなく、バッテリーを長寿命化することができますと考えています。1日も早い実用化を目指します」と中辻さんは語る。

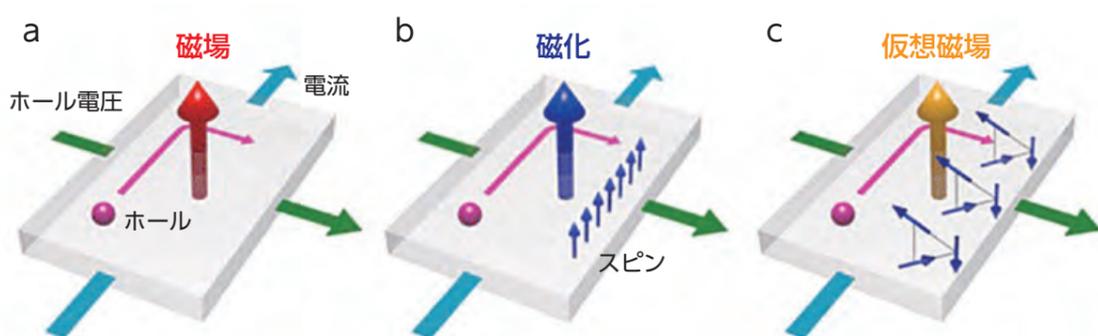


図3 通常のホール効果では、非磁性体金属に電流を流し、電流に垂直に磁場をかけると、電流と磁場の両方に直交する方向に起電力(ホール電圧)が現れる(a)。強磁性体の異常ホール効果では、自発磁化の発生とともにゼロ磁場でホール効果が現れる(b)。トポロジカル磁性体においては自発磁化のない状態(仮想磁場)でも、仮想磁場によりホール効果が自発的に現れる(c)。

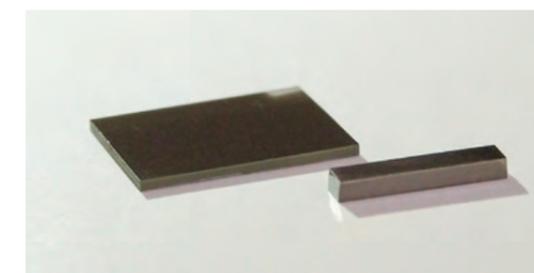


図6 中辻さんが発見した巨大磁気熱電材料Fe₃Gaの薄膜(左)とバルク結晶(右)

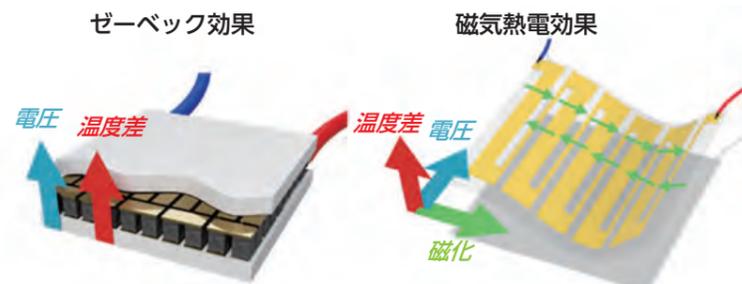
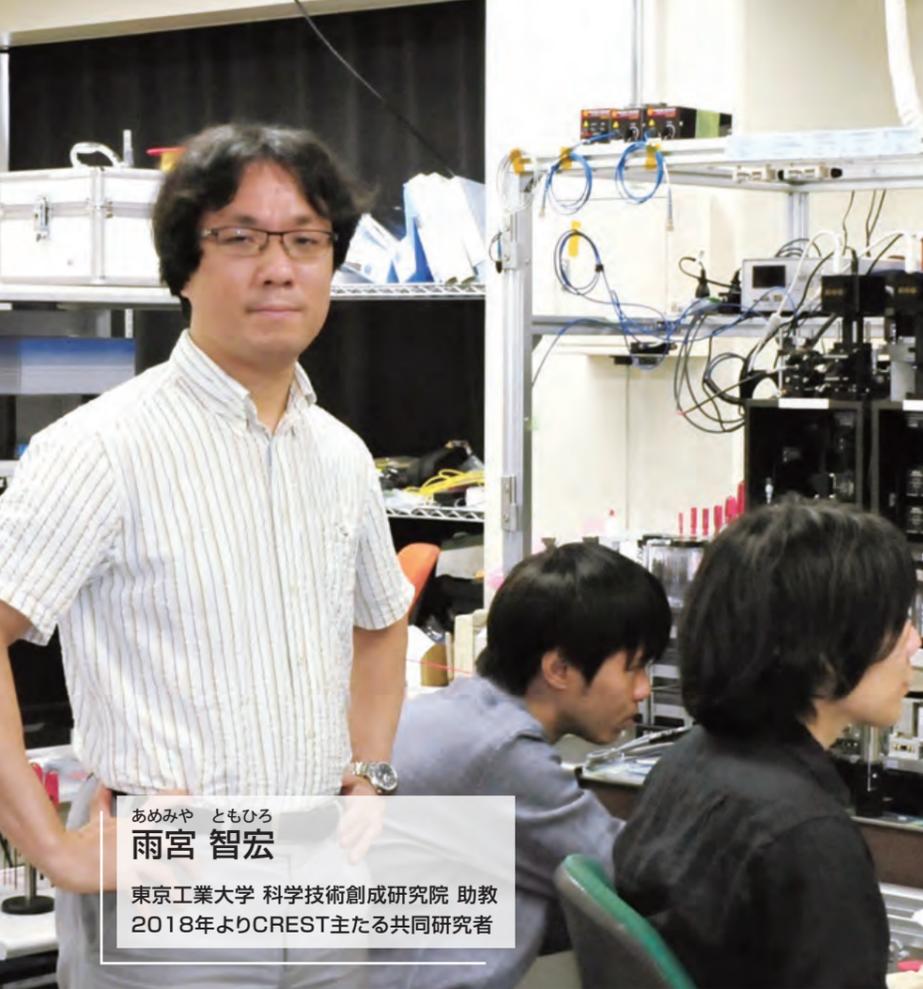


図7 従来のゼーベック効果を用いた熱電変換モジュール(左)。磁気熱電効果を用いた無接合フレキシブル熱電変換モジュール(右)



あめみや ともひろ
雨宮 智宏
東京工業大学 科学技術創成研究院 助教
2018年よりCREST主たる共同研究者

するためには、これらの情報をうまく利用することが不可欠です」と雨宮さんは語る(図8)。胡さんの理論に基づいて、実際にトポロジカル構造と呼ばれる三角形を組み合わせた微細構造を光回路に導入し、トポロジカルな情報をチップ上で制御することを目指している。

トポロジカル構造をもつ光学材料において、その特性を決める重要な指標の1つがフォトニックバンドダイアグラムだ(図9)。これを評価することで、構造内の光学現象をある程度予想することができる。従来のフォトニックバンドダイアグラム測定では、特定の方向から光を入射し、それらの透過や反射特性を評価していた。しかし、この方法はサンプルに合わせた光学系を組む必要があり、事前の設定から測定までかなりの時間を要していた。「ものづくりでは、作って評価して改良するというサイクルが非常に重要です。大学では毎年新しい学生が入ってくることもあり、誰でも使えて、すぐに結果がわかる評価装置が必要でした」と雨宮さんは強調する。

**光集積回路に適応
円偏光や光渦を利用**

物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点の胡曉主任研究者の下で、フォトニクス分野から研究を進めるのは、東京工業大学の雨宮智宏助教だ。光通信を専門とする雨宮さんは、トポロジーを利用することで、大量のデータを高速で処理できる光集積回路の開発を行っている。現在の情報化社会では、データの伝送には光ファイバーが用いられているが、その両端で情報の送受信を担うのが半導体による光集積回路だ。これはワンチップ上に無数の光学素子を集積することで、全体として必要な機能を果たすようにしたものであり、現代社会を支えるコア技術の1つである。

従来の光集積回路では、光の強度、位相、波長などを用いることで、情報を制御してきた。「光集積回路にトポロジカル構造を入れることで、円偏光や光渦といった光のトポロジー

に起因した情報も扱えるようになり、より大量のデータを高速に処理

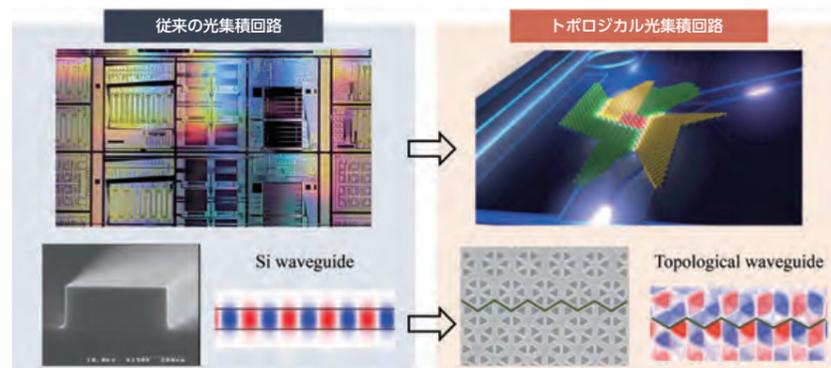


図8 従来の光集積回路では導波路が単純な構造で、規則的な信号が送られる(左)。トポロジカル光集積回路では、円偏光や光渦などの情報も1チップ上で処理できる(右)。

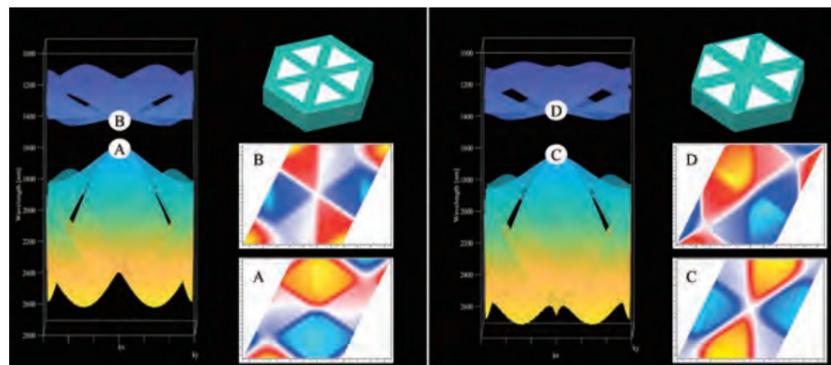


図9 三角形を端に寄せて配置することでトポロジーに起因する特性が現れる。



図10 フォトニックバンドダイアグラム顕微鏡「FA-CEED」の外観

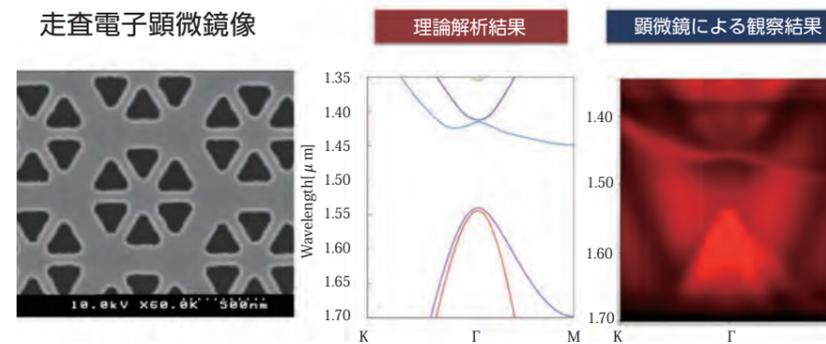


図11 トポロジカル構造を「FA-CEED」で観察した結果、理論解析結果(中央)と顕微鏡による観察結果(右)では同じバンド構造が見られた。

**企業と共同で評価機器を開発
既存の技術を使いコスト削減**

自分が必要な装置なら、他でもニーズがあるだろうと考えた雨宮さん。大学と共同で機器開発を手がけた実績も豊富な東京インスツルメンツ(東京都江戸川区)と、フォトニックバンドダイアグラム顕微鏡の開発に乗り出した。サンプルにさまざまな波

長の光を当て、その散乱光のフーリエ画像を観測し、バンドダイアグラムを再構成する設計にした。「アルゴリズムのみを新しく考え、装置自体は既存の技術の組み合わせで開発しました。おかげでコストも時間もあまりかからず、安定した品質の装置ができました」と笑顔を見せる。

完成した装置は、「FA-CEED」の製品名で既に21年6月から販売も開始

しているが、その特徴は何といても簡易かつ高速なことにある(図10)。試料ホルダーにサンプルをセットするだけで、短時間で自動的にデータがとれる。実際に「FA-CEED」を使ってトポロジカルフォトニック材料のバンドダイアグラムを観察したところ、理論解析を裏付ける観察結果を得ることができた(図11)。この装置により実験効率が向上したことで、今後は歩留まりよくトポロジカル構造を作り、効率的に光集積回路に組み込む段階に進むことができそうだという。

これまでの研究者は専門性を磨いてきたが、全く新しい概念に立ち向かうためには分野横断が欠かせないと中辻さんは強調する。「違う研究室の学生同士で議論している風景が当たり前になってきました。今後はいくつもの分野に軸足を置いた研究者が活躍していくでしょう」。

雨宮さんもプロジェクトがきっかけで、世界が広がったと口にする。「胡先生とは分野が違うということもあり、このプロジェクトにお声掛けいただく前は、学会で1度お話をさせていただいた程度で、ほとんど面識がありませんでした。今は毎週のようにオンラインでミーティングをしており、多くのことを学ばせていただいています」と語る。

上田さんは研究者同士が互いに協力し、気持ちよく研究できる体制を整えば、結果はついてくると自信を見せる。トポロジカル材料の可能性が大きく広がり、その重要性は一層高まっている。超スマート社会の実現に向けて、上田さんたちは着実に道を切り開いていく。

**CREST/ さきがけ「トポロジー」領域 連携公開シンポジウム
「トポロジカル科学の現在と未来」を開催します。ぜひ、ご参加ください。**

開催日時：2021年9月28日(火) 10:00~16:00

開催形式：オンライン開催 (Zoom Webinar)

参加費：無料(事前登録制)

開催概要：下記HPをご覧ください。

https://www.jst.go.jp/kisoken/sympo/topology_03_poster.pdf

参加申込：下記の参加登録フォームよりお申し込み下さい。

https://zoom.us/webinar/register/WN_caY3gaktTi-lwqoyrggr8Q



特集2

脳科学の知見を生かし虐待防止 地域ぐるみで「とも育て」に挑む

少子高齢化や核家族化に伴い、社会から孤立して子育てを行う家庭は多い。児童虐待は社会通念に反し、法律でも禁止されているが、通告件数は増加し続けている。脳科学の知見を元にこれらの課題解決に取り組むのは、福井大学子どものこころの発達研究センター長の友田明美教授だ。親子間での避けたいかわりを指す「マルトリートメント」が子どもの脳の発達に与える影響を明らかにし、望ましい養育のあり方を模索してきた。地域ぐるみで安心して子育てできる「とも育て」社会の構築に挑む。



ともだ あけみ
友田 明美

福井大学 子どものこころの発達研究センター センター長・教授
2018年よりRISTEX研究代表者

愛のムチで脳に損傷 感情の制御が苦手に

近年、深刻な社会課題の1つとなっているのが児童虐待だ。児童相談所の相談対応件数も増加の一途で、2020年には約19万8,000件に上った。虐待は大きく身体的虐待、性的虐待、子どもの世話をしないネグレクト、心理的虐待の4つに分類される(図1)。日本ではしつけと混同されがちな「手を叩く」などの軽微な体罰や「他者やきょうだいと比較し否定する」といった行為も虐待に含まれ、世界保健機構(WHO)では不適切なかかわりや養育である「マルトリートメント(マルトリ)」と定義している。

小児科医として脳科学者の見地から児童虐待問題に長年取り組んできた福井大学子どものこころの発達研究センター長の友田明美教授は、マル

トリはどここの家庭にも起こりうる問題だと指摘する。「最初からわが子を虐待しようとする親はいません。しつけや愛のムチといわれる軽微なマルトリが次第に激しくなり、結果的に最悪の事態をもたらします」。日本でも20年4月に改正児童虐待防止法が施行され、親からの体罰を禁止する法律ができたことは一歩前進だと評価する。

友田さんがこの分野に関わるきっかけとなったのが、救命救急センターに配属された研修医1年目に遭遇した3歳

の男の子の虐待死だ。脳出血で運ばれてきた男の子の全身には、親の虐待が疑われる打撲の痕があった。医師たちの懸命な治療もむなしく、男の子の命は助からなかったという。このように悲惨なことは起きてほしくないとの一心で、長年にわたり研究を続けてきた。その中で深刻な虐待だけでなく、軽微なマルトリであっても子どもの脳を傷つけ、成長後に心のトラブルを生む可能性があることを明らかにしたのである。

例えば、幼少期に平均8年以上の長

| | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 身体的虐待 | 殴る、蹴る、叩く、投げ落とす、激しく揺さぶる、やけどを負わせる、溺れさせる、首を絞める、縄などにより一室に拘束する など |
| 性的虐待 | 子どもへの性的行為、性的行為を見せる、性器を触る又は触らせる、ポルノグラフィの被写体にする など |
| ネグレクト | 家に閉じ込める、食事を与えない、ひどく不潔にする、自動車の中に放置する、重い病気になっても病院に連れて行かない など |
| 心理的虐待 | 言葉による脅し、無視、きょうだい間での差別的扱い、子どもの目の前で家族に対して暴力をふるう(ドメスティック・バイオレンス:DV)、きょうだいに虐待行為を行う など |

図1 厚生労働省が定める虐待の定義

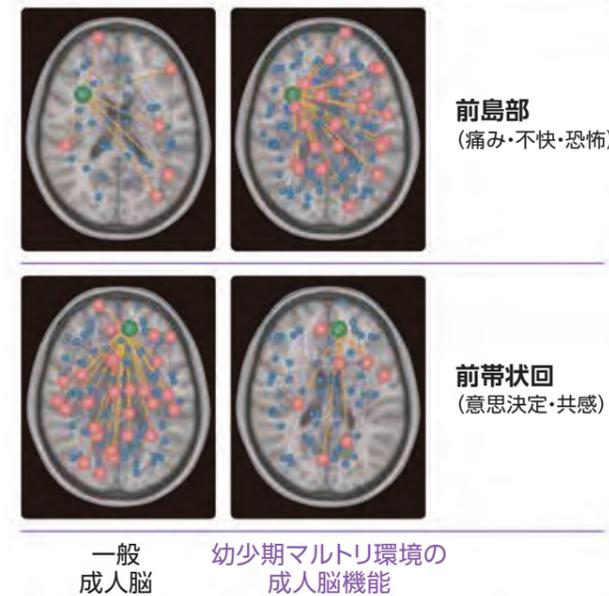


図2 幼少期にマルトリ環境にあった人の脳は、一般の人の脳と比べて「意思決定・共感」の配線が乏しく、「痛み・不快・恐怖」の脳の配線が増えていることがわかる。これにより好き嫌いや快不快、敵か味方かなどを判断する「扁桃体」が過剰に活動し、怒りなどに適度にブレーキをかける「前頭前野」の活動が低下した「感情のコントロールが苦手な脳」になり、攻撃的な行動を取ってしまう(Nat Rev Neurosci.2016)。

期間にわたって親から体罰を受けた人の脳は、体罰を受けていない人の脳と比べて、気分や感情・行動のコントロールに関わる前頭前野の一部が委縮していた。この部分が損傷すると、うつ病になったり、自己肯定感が低くなったり、薬物に手を染めたりといったことにつながりやすくなる。また身体的な暴力はないが、存在を否定されたり怒鳴られたりする「言葉の暴力」を受けてきた人の脳でも、聴覚野に変形が見られた。この部位が傷つけられると、言葉の理解力が低下したり、小さな音や他人の会話が聞こえにくくなったりする。

つまりマルトリ環境は「感情のコントロールが苦手な脳」を形成してしまうのだ(図2)。「親はよかれと思って愛のムチを施すのですが、子どもに望ましい影響を与えることは1つもないことが明らかになりました」と友田さん。マルトリのリスクに早期に気づくことが子どもの虐待を減らすために不可欠であり、予防的アプローチが重要であることを脳科学の見地から発信し続けている。

社会実装への大きな一歩 現場職員との意見交換会

友田さんは自身の研究結果を社会課題の解決に役立てるため、15年からRISTEXの「養育者支援によって子どもの虐待を低減するシステムの構築」に

参画してきた。脳科学の知見を社会に伝えながら「マルトリ」への理解促進を図り、地域全体で子育てを助けながら児童虐待を防止していく社会づくりを目指してきた。中でも「養育者支援」の重要性を訴え続けている。

マルトリが生じる背景には、経済的困難、家庭内不和、養育者の心の問題、子どもの障害などの要因が複雑に絡み合っているからだ。「虐待する親を悪者扱いして、虐待された子どもを保護すれば終わり、ではありません。子育て困難な家庭が直面する課題にも対峙し、孤立しないよう、連携して支援する仕組みが必要なのです」と語る。

しかし行政では異なる職種の連携は前例が少なく、容易なものではなかった。転機となったのは、17年7月に大阪府こころの健康総合センターで開催された「児童虐待の防止と家族支援の社会実装に関する意見交換会」だ。友田さんたち福井大学の研究チームと、大阪府内の母子保健、児童福祉、精

神保健の担当職員が一堂に会し、2回にわたって延べ81人による話し合いが行われた(図3)。

開催に尽力したのは、領域アドバイザーを務める川崎市健康福祉局総合リハビリテーション推進センターの竹島正所長だ。「研究の成果を生かして、マルトリを防ぐ取り組みを社会に実装していくためには、まず現場の関係者が寄り集まって話し合うことが大事だ」という思いがありました」と語る。

はじめに公衆衛生の専門家で竹島さんの大学の先輩でもあった、大阪府こころの健康総合センターの笹井康典所長(当時)に相談した。その後、笹井氏の後任で精神科医である籠本孝雄所長に引き継がれ、今日まで活動が続いている。「お二人とも府庁内のネットワークとコーディネート力に長けていました。どこにどんな職員がいるか、活動ぶりまで熟知しておられて、声をかけてくださいました」と竹島さんは振り返る。友田さんも「私は研究や医療の世界での活動が中心で、行政の現場の方々とつながりはありませんでした。実務に向き合う方々と話し合いの場を持つことができ、大変ありがたかったです」と感謝を口にします。

この意見交換会では、多職種連携を進める上での大きな課題が浮き彫りになった。専門分野によって、児童虐待に関わる用語や概念がバラバラだった。例えば「虐待」という言葉も、児童の一時保護や親権停止が絡む児童福祉では、かなり深刻なケースを虐待と呼ぶのに対し、予防的観点を重視する母子保健では、もっと軽微なマルトリも虐待に近いものと理解されている。「はじめはお互いに話が合わ合わない状況でしたが、現場の虐待防止への強い思



図3 児童虐待の防止と家族支援の社会実装に関する意見交換会の様子



たけしま ただし
竹島 正
川崎市健康福祉局
総合リハビリテーション推進センター 所長
2015年よりRISTEX領域アドバイザー

いは同じです。次第に互いの課題や状況を理解し、どうすれば課題を解決できるのか、話し合えるようになっていきました」と友田さんは語る。

**大阪府の2中核市と連携
対象別に啓発資料を作成**

地域が連携して養育者支援にあたるために、職種の垣根を超えた共通概念として生まれたキーワードが、「マルトリ予防」と地域が連携して協働で子育てをする「とも育て」だ。母子保健、児童福祉、精神保健を一体的に所管している中核市である大阪府豊中市と枚方市の現場職員の協力を得て、実際にどのようにしてマルトリ予防に取り組んでいくべきかが話し合われた。

マルトリの早期発見や養育者支援につなげるために、「マルトリ予防」や「とも育て」の考え方を説明した支援者向け研修資料や一般市民向け啓発資料を作ることが決まった。コロナ禍に見舞われる前のことで、友田さんら福井大学チームが何度も大阪に足を運び、資料の協働開発が進められたのである。

そうして完成した資料の1つが枚方市と共同制作した「マルトリに対応する支援者のためのガイドブック」だ(図4左)。

脳科学の知見も踏まえたマルトリに関する正しい知識を、わかりやすく解説している。また、マルトリの疑われる家庭への接し方のポイントを、具体的にアドバイスしている点も特徴となっている。友田さんは狙いをこう説明する。「私にも苦い経験がありますが、子育て困難家庭は「自分たちが責められている」と感じると心を閉ざし、公的支援から遠ざかってしまいます。マルトリは子育て困難家庭からのSOSだと受け止め、彼らに寄り添う姿勢が大切なのです」。



また、豊中市と作成した11種類の市民向けチラシは、各テーマに沿った内容がイラストとともに1枚にまとめられ、誰にでも読みやすく作られている(図4右)。これらの資料は、現在、一般社団法人日本家族計画協会(JFPA)の「マルトリ予防WEBサイト」に掲載されており、会員登録すれば誰でも無料でダウンロードできる。20年11月のサイトオープンからすでに800件以上の利用があるという。

友田さんのもとには、利用者からの活用報告が続々と届いている。生徒が心理的マルトリを受けていることに気づいたある中学校教師からは、研修資料からマルトリの重大性を理解し、児童家庭課の担当者と連携してその生徒を安全な環境に保護することができたと報告があった。

また児童福祉の若い担当者からは、イラスト入りのチラシを養育者に見せながらマルトリが脳を傷つけることを説明し、寄り添いながら早期に対処できているとの声もあった。「こうした声を聞くと、プロジェクトに関わった1人として嬉しいですね。さまざまな分野の支援者の方々に、主体的に研修会などを開いていただき、資料を使ってマルトリ予防の取り組みを広げていただくと願っています」と友田さんは話す。今後は、JFPAと連携しながら、全国への普及を図っていく考えだ。



図4 RISTEXの事業の一環で作成した支援者向けのガイドブック(左)と市民向けチラシ(右)

**プロジェクトで再認識
予防的アプローチの意義**

このプロジェクトを見守ってきた竹島さんは「自治体と研究、RISTEXのプロジェクトが効果的に連携できるという好事例」と高く評価する。また、「多くの部署が連携し『予防』に踏み込めたのは大きな一歩です。リスクは誰にでもあるという前提に立ち、予防中心で考えた方が、社会として適切な対処ができるはずです」と指摘する。

これについては、友田さんも同意見だ。「何度も虐待を繰り返すハイリスクな家庭に対するアプローチも大事ですが、虐待が起きてからでは、被害者や家族の心のケアや社会への適応、再発防止に多大なコストがかかります。最悪な事態に陥る前に適切に介入して、未然に防止することが、私たちのプロジェクトの目標なのです」(図5)。

完璧な親などいないし、どんな家庭にもマルトリのリスクはある。そしてコロナ禍の今、虐待件数の増加が示すように、そのリスクは確実に高まっている。竹島さんによれば、20年の第1回

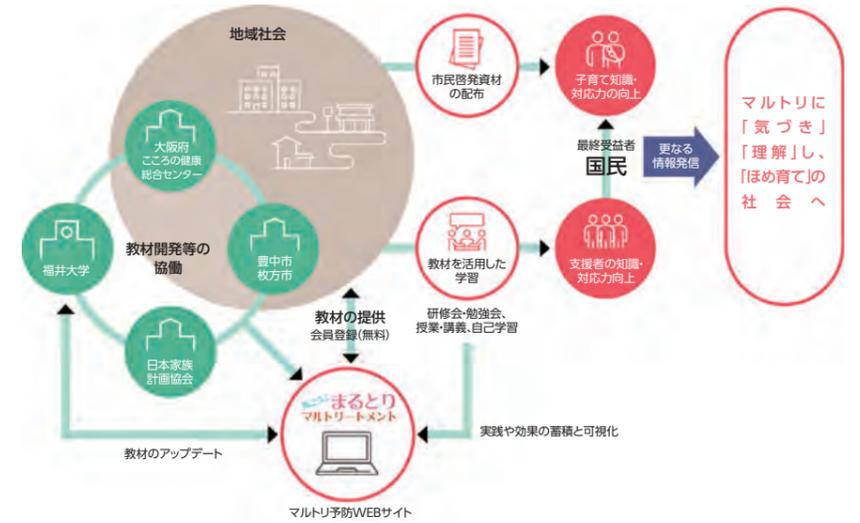


図5 マルトリ予防モデルの概要 (https://www.jst.go.jp/ristex/pp/project/h30_1.html)

目の緊急事態宣言時に行った「川崎市こころの健康に関する意識調査」では、市民の心の健康状態の悪化が見られたという(https://www.city.kawasaki.jp/350/page/0000100851.html)。

中でも、周りとのつながりの弱い人たちがより悪化していた。「このコロナ禍において、友田さんのプロジェクトをはじめ、RISTEXの『安全な暮らしをつくる新しい公/私空間の構築』領域でのプロジェクトから導き出された普

遍性のある資源や情報、技術をどう私たちが活用できるかが試されていると思います」と竹島さんは話す。

問題に直面したら、1人で抱え込まずに周りに助けを求め。困っている人がいたら、声をかけ、手を差し伸べる。誰もが安全に暮らせる地域共生の社会づくりは、私たち1人1人の「ちょっとしたお節介」と、「周囲に助けを求めよう」と、そしてそれを促す仕組みづくりにかかっている。

マルトリ予防WEBサイト

このサイトでは、マルトリ予防のための情報も提供しています。また、「資料箱」の資料は会員登録いただいた方はどなたでも無料で利用できます。ぜひ研修会などでもご活用ください。
https://marutori.jp/



こんなこと、ありませんか?

これは全てマルトリです。ポイントを参考にしながら、子どもとの関係を見直してみましょう。

「**いうことを聞かないのでかかってくる**」



ポイント どんなに軽くつねる・たたくでも子どもの心は傷ついてしまいます。
手が出そうになったら6秒数えて、大人が怒りを鎮めましょう。

「**やる気をださせるために他のきょうだいと比べる**」



ポイント ほかの人と比べることは、「あなたはダメな子」と言っていることと同じです。
人はそれぞれ個性があります。子どもと向き合う時間と、いいところを見つけていきましょう。

「**長時間スマートフォンを見せておく**」



ポイント 親が忙しいときは便利ですが、大人との貴重なコミュニケーションの時間が減り、友達と上手に話せない、集団行動がとれないことにつながりやすいです。
どうしても手が離せないとき約束して見せる。「1日1時間まで」など、事前に約束して見せるようにしましょう。

マルトリ予防サイトで提供している情報の一例

ムーンショット 特別インタビュー **2050** 年を描く 第1回

サイバネティック・アバターで実現 身体、脳、空間、時間の制約から解放

日本発の破壊的イノベーション創出を目指し、2020年からスタートしたムーンショット型研究開発事業。7つあるムーンショット目標のうち、JSTが担当する4つを順次解説する。目標1では、「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」を掲げている。そのカギを握るのは「サイバネティック・アバター」とよばれるロボットや3D映像などを示すアバターだ。1人で複数体のアバターを駆使することにより、身体などの制約を受けずに自己実現の達成が可能になるという。プログラムディレクターの大阪芸術大学芸術学部アートサイエンス学科の萩田紀博教授に、日本科学未来館科学コミュニケーターの廣瀬晶久がその未来像を聞いた。



ひろせ あきひさ
廣瀬 晶久
日本科学未来館 科学コミュニケーター

身体や認知能力を拡張 移動の概念がなくなる

廣瀬 目標1では人がさまざまな制約から解放された社会を目指していますが、なぜでしょうか。

萩田 現在の日本では少子高齢化が進み、労働力不足が懸念されています。介護や育児を担う人や高齢者は、意欲はあっても制約が多く、自由に活動するのは難しいですね。それ以外にも、さまざまな背景や価値観を持った人々が、自らのライフスタイルに応じて多様な活動に参画できるようにすることが重要です。そのために制約をなくすのです。

廣瀬 そのカギを握るのがサイバネティック・アバター(CA)ですね。映画などでも描かれている世界をイメージしましたが、実際にはどんな技術でしょうか。

萩田 人の身体的能力や認知能力、知覚能力を拡張するICTやロボットの技術を含む概念です。簡単にいうと、どこにでも移動できる自分の分身となるロ

ットです。地球にいながら宇宙空間で活動したり、複数のCAを使いこなしていくつもの会社を経営したりすることができるかもしれません。ハンディキャップをもった方も、CAを使っただけで自分の能力を拡張してスポーツができるようにしたいと思います。

廣瀬 すでにさまざまなロボット技術の開発が進んでいますね。どのような特徴があるのでしょうか。

萩田 CAの特徴は、メガネやグローブといったウェアラブルデバイスを身に付けて身体や認知などの能力を拡張するだけでなく、他の人の感覚も共有できるようになることです。プロ野球選手の时速160キロメートルの投球や人間国宝の技能を、自分のペースで体験してほしいと思います。また、サイバー空間と現実世界の違いが気にならないCAも開発したいです。最近増えてきたオンライン会議では、会議中にひそひそ話はできません。そこで、あたかも隣に座っているかのように振る舞えるCAを開発します。つまり自分がそこにいることと変わらなくなるのです。

廣瀬 そうなると「移動」という概念がなくなりそうですね。

萩田 コロナ禍で人が移動することは

激減し、物を運ぶことは増えました。CAが導入されると、人が移動する方法も時間の使い方も大幅に変わってくると思います。

CAの遠隔操作に必要な場を読み動く技術

廣瀬 目標1の研究開発では、具体的に何を實現していくのでしょうか。

萩田 大きく分けると2つあります。1つ目は、誰もが多様な社会活動に参画できるようにするために、多数のCAを動かせる基盤を作ること。2つ目は、望む人は誰でも、身体的・認知・知覚能力を拡張したCAでの生活ができるようにすることです。

廣瀬 技術的な課題は何でしょうか？

萩田 仮に複数体のCAを動かそうとしたとき、忙しそう人には声をかけないといった「場を読む」技術で、そのCAは遠隔操作から自律的な対応に切り替えます。一方、1体のCAが1つの仕事をすると、CAのいろいろな部位を複数人の遠隔操作者に分担してどのように動かすかも技術的な課題です。

廣瀬 どのような体制で研究開発を進めていますか。

はぎ た のりひろ
萩田 紀博
大阪芸術大学 芸術学部
アートサイエンス学科 学科長・教授
2020年よりムーンショット型研究開発事業
目標1 プログラムディレクター



萩田 3人のプロジェクトマネージャー(PM)と一緒に進めています。大阪大学の石黒浩教授は、利用者の反応を見て、自律的にホスピタリティとモラルのある対話行動ができる技術。慶應義塾大学の南澤孝太教授は、多様な人々の多彩な技能や経験を共有して新しい体験共有を生み出す技術。国際電気通信基礎技術研究所の金井良太担当部長は、脳の情報を読み取るブレイン・マシン・インターフェース(BMI)を利用して自分が思っただけでCAが話したり、行動したりできるようにするための技術を研究します。技術を実現させるための研究開発も大事ですが、CAを使う場合の倫理的、法的、社会的、経済的課題も考慮しなければなりません。

使われ方を想定し課題を検証 ストレス無く使うための工夫も

廣瀬 どんな社会的な課題が生じると考えられているのでしょうか。

萩田 例えばSNSはとても便利なツールですが、誹謗中傷で自殺に追い込まれるなど、開発当初は想定していなかったことが起きています。私たちのプロジェクトでは、研究の最初から法律や倫理の研究者が参加しています。



萩田さんならCAで何をしますか？

これから起こるかもしれないさまざまな課題が、個人や社会にどんな行動変容や影響を与えるか、客観的にとらえようとしています。今後は認知科学や心理学、経済学などの研究者とも一緒に進めていきたいです。

廣瀬 自分の分身が増えると、プライベートをうまく切り替えられなくなりそうです。

萩田 演劇が生まれて、俳優という職業ができました。俳優が医者や探偵など、色々な役柄を演じているように「アバター優」のような新たな職業ができるかも知れません。気持ちの切り替えがうまくできる人が活躍するのではないのでしょうか。ただ、プロの俳優でも、俳優としての顔と家に帰ってきたときの顔との切り替えがストレスになることもあるようです。ストレスをためずにプライベートとの切り替えができるようにする研究も、一緒にやっていく必要があると考えています。

廣瀬 CAを使わない人も出てきそうですが、使わないことで不利益が生じ



私は世界中の人と一緒に演奏したいですね。

る場面が出てくるようにも思います。

萩田 技術なので、どう使うかはそれぞれの個人が決めることになります。私たちの世代のCAの使い方と今の若者たちの使い方は、同じにはならないんじゃないかと思っています。各人各様でさまざまなCAから何を選ぶか、どう使うかは、個人に考えてもらいたいですね。

人工的でもほっとする CAでつくる「里山」社会

廣瀬 前職が教員だったので、教育に与える影響も興味があります。

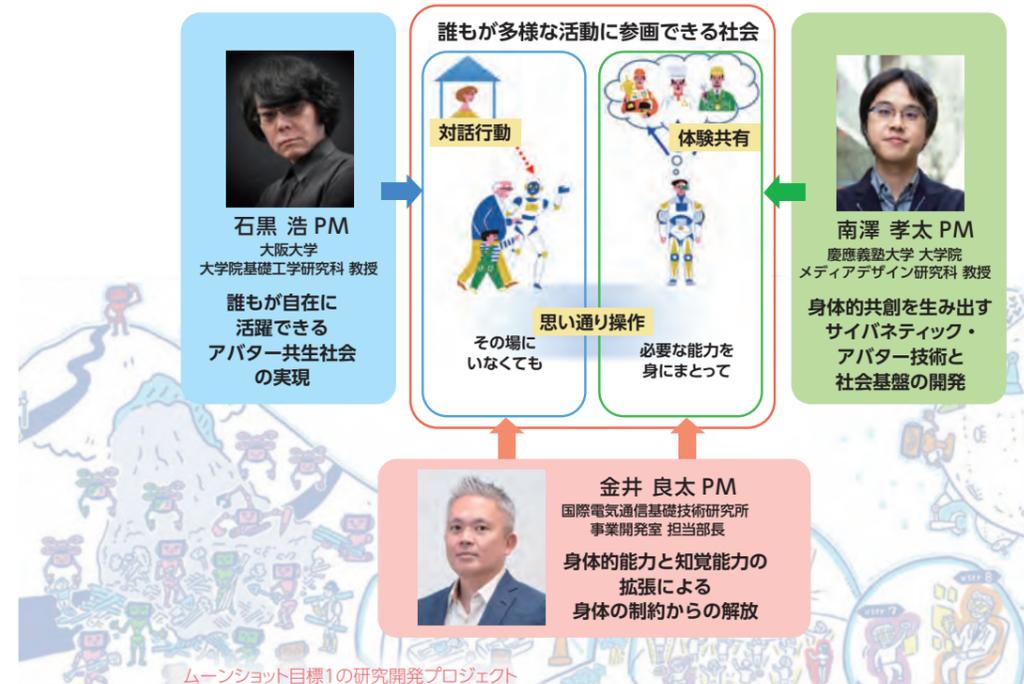
萩田 いろいろなものが、人とのインタラクションという体験型になっていくと思います。歴史の授業であれば、年表を見ながらではなく、歴史上の人物、例えば織田信長のCAとの対話を通じて学ぶといった変化が起こるかも知れません。そうすると発想力や論理的思考力をどう養うのが大事になりますね。

廣瀬 確かに体験できれば、学ぶモチベーションも向上しそうです。

萩田 他にも体験しないと伝わらない社会参画活動はたくさんあります。誰でもプロの方とサッカーをしたり、1つの大きな芸術作品を作ったりできるでしょう。

廣瀬 私を含め一般市民は、2050年に向けて何ができるのでしょうか。

萩田 CAは開発して終わりではありません。みんなに使ってもらって、改良していく仕組みづくりが重要です。例えば里山。人間が造りあげた人工的な風景なのに、訪れるとほっとしますよね。一番大事なのは地球環境や自然環境、社会とのバランスを考えながら作ったり、使ったりすることです。CAでも里山のように、人工的でも暮らしになじみ、ほっとできる社会をつくっていけるといいですね。



戦略的創造研究推進事業CREST
 研究領域「多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出」
 研究課題「体表多様性を創発する上皮-間充織相互作用の動的制御機構の解明」

研究成果

毛包幹細胞の発生起源を解明 「テレスコープモデル」の提唱

散髪やひげそりをして再び毛が伸びるのは、毛を作り出す器官である「毛包」の働きによるものです。動物のほとんどの器官は胎児の間に形成され、生まれた後に作り直されることはありません。しかし、毛包は周期的に退縮と再生を繰り返しながら、生涯を通じて毛髪を産生します。これまで毛包の再生と毛の産生を支える毛包幹細胞がどのように生み出されるかは、十分に理解されていませんでした。

理化学研究所生命機能科学研究センター細胞外環境研究チームの森田梨津子研究員、藤原裕展チームリーダーらの研究グループは、これまで考えられていた領域とは異なる場所の細胞から毛包幹細胞が誘導されることを明らかにしました。研究グループは独自の

データ駆動型手法を用いて、発生中の毛包が筒状に区画化されていること、これらの区画は毛包形成前の上皮組織では同心円リング状の細胞プレパターンとして存在すること、そして将来の毛包幹細胞はその区画の1つから誘導されることなどを明らかにしました。

同心円リング状の細胞プレパターンから、望遠鏡が伸びるようにして、筒

状の区画が形成される毛包発生の過程を「テレスコープモデル」と名付けました。このテレスコープモデルは、さまざまな生物種の体表面の器官の発生や幹細胞誘導機構に共通する仕組みとなる可能性が期待されます。本研究成果は、幹細胞生物学のみならず再生医療研究の新たな基礎知識となることを見込まれます。



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「酸素欠損型モリブデン酸化物のプラズモン光反応場を利用した革新的CO₂変換反応の開発」

研究成果

CO₂からCOを低温で効率的に合成 実用化に適した触媒技術を開発

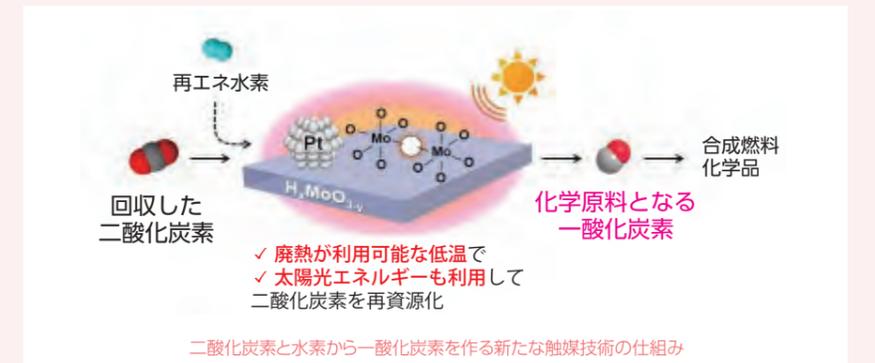
一酸化炭素(CO)は人類をはじめとする生物にとっては有害な物質ですが、化学工業においてはアルコールやガソリン、ジェット燃料などの液体炭化水素の原料として有効活用されています。地球温暖化の主たる原因物質に挙げられる二酸化炭素(CO₂)をCOに還元できれば、排出量を削減しつつ有用な物質を生み出すことができ、一石二鳥です。しかし、従来の技術ではCO₂を水素(H₂)と反応させてCOを得るには500度以上の高温が必要となるため、非効率である点が問題視されていました。

大阪大学大学院工学研究科の栗原泰隆准教授らの研究グループは、モリブデン酸化物に白金の微粒子を付着させた触媒を使い、従来と比べて低

温の約140度でCO₂からCOを高効率かつ選択的に生成することに成功しました。この触媒は酸素を含む化合物から酸素原子を取り除く脱酸素反応に有効で、触媒に光を照射すると反応速度が最大約4倍まで著しく向上することも明らかになりました。これはモリブデン酸化物に存在する自由

電子が、特定の波長を持つ光と共鳴する表面プラズモン共鳴効果によって、還元反応が促進されるためです。

この触媒技術を利用すれば工場などの廃熱や太陽光などの光エネルギーを利用し、省電力でCO₂を再資源化することも可能なため、社会課題の解決への貢献が望まれています。



センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム
 大阪大学 乳幼児からの健やかな脳の育成による積極的自立社会創成拠点

研究成果

子どもの睡眠中の歯ぎしりを解明 ノンレム段階で多発、寝返り時にも

睡眠中の歯ぎしりは単なる癖ではなく、睡眠中の異常現象の一種です。特に子どもに多く見られ、6歳頃がピークとされています。これまで夜間に子どもの研究協力を得ることが難しかったために詳しいメカニズムが解明できず、診断法や治療法の開発も積極的には進められていませんでした。

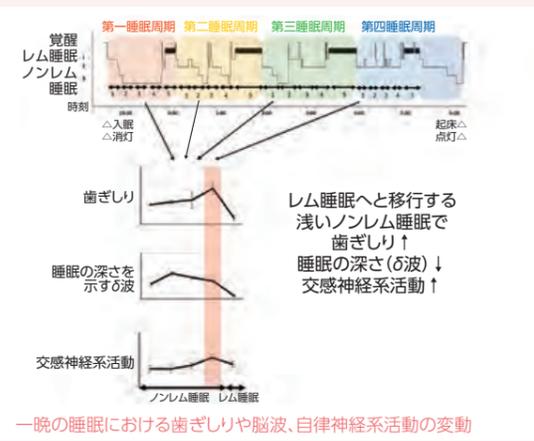
そこで、大阪大学の加藤隆史教授らの研究グループは専用の睡眠検査室を整備し、6歳から15歳までの子ども44人を対象に、睡眠中の歯ぎしりを調査しました。その結果、27.3パーセントにあたる15人から歯ぎしりが確認されました。

この15人と歯ぎしりをしなかった子どもについて脳波や心拍、体の動きを比較したところ、眠りの浅いレム

眠と眠りの深いノンレム睡眠の時間分布には差が見られませんでした。一方、歯ぎしりはレム睡眠に移行する直前のノンレム睡眠で多発していることが確認されました。また歯ぎしりをする子どもの脳波は、寝返りの回数や脳の覚醒指標となるベータ波の量が多く、歯ぎしりの約90パーセントが寝返りや短い覚醒とともに発生していることがわかりました。

これらの結果から、子どもの歯ぎしりはノンレム睡眠からレム睡眠へ移行する際に起こる脳の活動の

変化に伴って、あごの神経機構が過敏に反応することで発生していることが解明されました。今後は歯ぎしりのメカニズムに関するさらなる知見の獲得や診断法、治療法の確立が期待されています。



一晩の睡眠における歯ぎしりや脳波、自律神経系活動の変動

戦略的創造研究推進事業CREST/
 研究領域「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」
 研究課題「数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設」

研究成果

凸凹を触って生じる錯覚を解明 人間の触知覚を数理モデルで再現

人は指先で触れることで、物の形や柔らかさといった外的な情報を瞬時に認識できます。しかしこの触知覚メカニズムは視覚など他の五感に比べ、十分には解明されていませんでした。

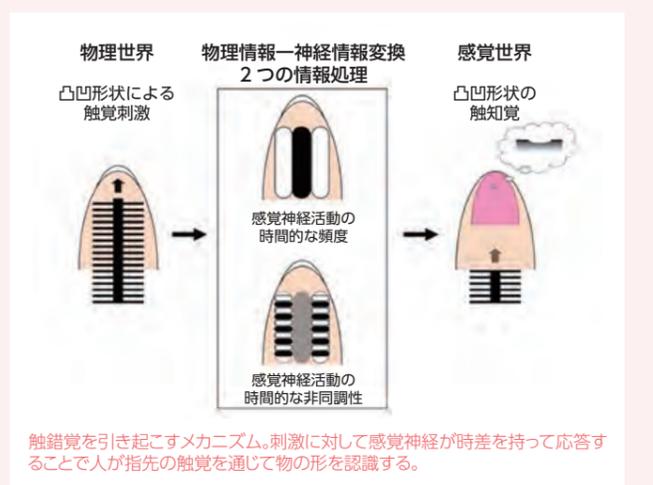
北海道大学電子科学研究所の長山雅晴教授、慶應義塾大学環境情報学部の中谷正史准教授らの研究グループは、これまでの研究で規則的な凹凸刺激を受けると、盛り上がった部分を触ってもへこんでいると感じる触錯覚が生じることを明らかにしています。今回はこの触錯覚が生じなくなる現象を世界で初めて発見するとともに、皮膚感覚の数理モデルを構築し、触覚情報を処理するメカニズムを解明しました。

人間の反応を調べた実験では、指先が物を触ったときに皮膚が伸び縮みす

る水平方向の変形を少なくすると、錯覚量が明らかに減ることを確かめました。さらに、人の指をまねた72個の触覚センサーを計算機上に設計し、数理モデルを使って指先の末梢皮膚内における感覚神経群の応答を再現しました。その結果、多数の感覚神経が同時ではなく、時間差を持って応答することで、人が指先の触覚を通じて物の形を認識することがわかりました。

この研究成果を利用し、計算機上で感覚神経応答をシ

ミュレーションすることができれば、複雑な触知覚を伝える末梢神経のメカニズムを解明することにつながります。また今後はオンライン上でも触覚を伝える技術の開発が有望視されています。



触錯覚を引き起こすメカニズム。刺激に対して感覚神経が時差を持って応答することで人が指先の触覚を通じて物の形を認識する。

さきがける 科学人

vol.107

Profile

宮城県出身。東北大学大学院環境科学研究科博士修了。博士(学術)。米国スタンフォード大学地球科学部エネルギー資源工学科日本学術振興会海外特別研究員、東京大学大学院数理科学研究科日本学術振興会特別研究員を経て、16年より現職。19年よりACT-X研究者。

Suzuki Anna
鈴木 杏奈

東北大学 流体科学研究所 助教

WakuWakuする 気持ちかすべての源

Q1. 研究者を志したきっかけは？
A1. エネルギーを生かして、みんながワクワクする社会をつくりたい

中学で進路を考え始めた頃、時代の流れに左右されず、ずっと必要とされるものは何だろうと考え、エネルギーに興味を持ったのが、この道に進んだきっかけです。学びを深めていくうちに、日本の資源を生かして人々がワクワクするような社会をつくりたいと思うようになりました。

専門分野は「地熱エネルギー」の研究です。地球の内部構造は解明されていないことが多く、興味深い世界です。地熱の流れは非常に複雑ですが、例えば「岩石の隙間を流れる熱水の流れ」を表す数式は、燃料電池やデバイス、毛細血管などの流れにも共通する部分があります。異なる現象も同じような数式で表すことができる点に数字の強さや科学の面白さ、奥深さを感じます。



留学時に訪れたイエローストーン国立公園

Q2. 震災の経験がもたらしたものは？
A2. 東北が自立するために必要なインフラの構築を目指して

地元も大学も東北なので、2011年の東日本大震災は本当に衝撃的な出来事でした。当時大学生だった私はボランティア団体を立ち上げましたが、そこで感じたのは東京の力を借りなければ立ち上がれない東北の姿でした。「自立した東北をつくる」。震災によって顕在化した社会問題に直面し、強くそう思いました。

その後、米国に留学し、離れた環境から故郷を見つめ直したとき、豊かな自然を活かすことが東北の自立につながるのではないかと考え始めました。超高齢化社会に突入した日本はネガティブな話題であふれかえっています。こうした状況を、日本の強みを活かしてポジティブなものに変えていきたい。健康な社会の実現には日本の資源であり、自身の専門である地熱・温泉を使えないだろうか。そう考えて立ち上げたのが「Waku² as Life」という活動です。

ワーケーションなどを取り入れた温泉地域での新しいライフスタイルの提案や、多様なステークホルダー同士の対話の場を設け、地域資源について意識変容・行動変容を起こすための活動を模索しています。

Q3. 今後の展開と目指す未来像は？
A3. クリエーターでありエンターテイナーとして活動の幅を広げる

「Waku² as Life」を通じて温泉地域の人々と関わったことで、研究に対する考え方が大きく変わりました。設計やデザインには「対象をどんな状態にしたいのか」という目的が不可欠です。これまで自身の研究では、「30年先まで使える地熱発電所を作る」といった開発側の立場で目的を設定していました。

しかし今では、「みんなが納得できる最大の地域資源利用は？」といった課題を社会に問い掛けながら、科学技術と共に目的を設定することの重要性を感じ、人と資源を結ぶ地域社会をデザインしていきたいと思っています。

ものを生み出すことや人を喜ばせたいという気持ちがあらゆる活動におけるモチベーションの源です。研究者という枠にとらわれず、ワクワクする社会をつくり出すクリエイターであり、エンターテイナーとして笑顔があふれる東北の未来をつくる活動を続けていきます。



Waku² as Lifeのイベントにて

リサイクル適性(A)
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

R70
百紙パルプ配合率70%再生紙を使用

JST news

September 2021

発行日/令和3年9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/



最新号・バックナンバー