

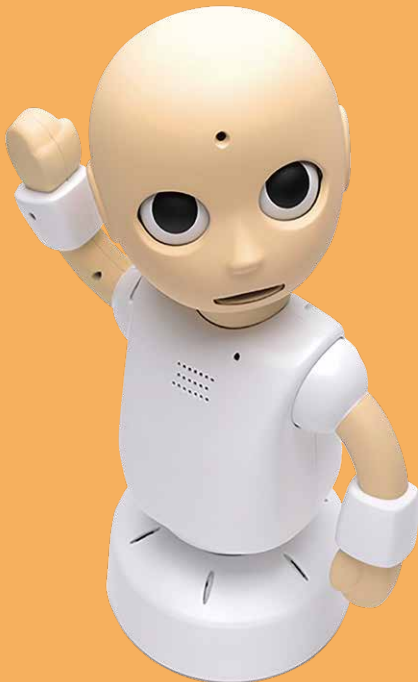
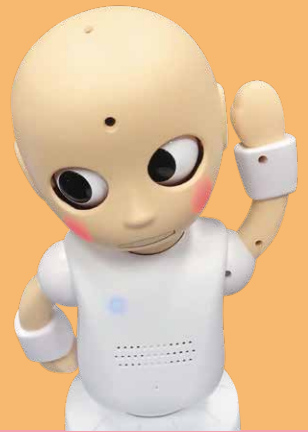
JST news

未来をひらく科学技術

NEWS & TOPICS

6

June
2020



一緒に話そう 対話ロボット「CommU」

スマートスピーカーなど機械との対話は、今や私たちの生活に溶け込んでいる。しかし、こうした技術を使っても自然に対話できるロボットの実現は難しい。対話ロボットに求められるのは、身振りや表情など非言語情報を使う、複数の人間と話す、といった複雑で社会性の高いコミュニケーションだからだ。人間らしい自然な対話を研究するため、大阪大学大学院基礎工学研究科の石黒浩栄誉教授と吉川雄一郎准教授は卓上型の対話ロボット「CommU (コミュニー)」を開発した。

対話感を生む振る舞いを探る

研究プロジェクトが目指すのは、自然な対話ができる自律ロボットが共に暮らし、生活を支える社会だ。音声認識はすでに普及しているが1対1での一問一答の域を出ず、人間同士のように聞き手が相づちで話の続きを促したり、聞き手と話し手が役割を変えながらやりとりしたりといった連続した対話は実現できていない。社会の中でロボットと人間が関わり合う場面では、十分な機能とはいえないのである。実社会で想定される3者以上による継続的な対話を研究するために開発されたのが、CommUだ。人形のような姿なので、複数体が並んでも圧迫感を感じにくく、対話の失敗を人間が受け入れやすいという利点もある。

特徴は2体以上のCommUの対話に人間を巻き込み、「対話に参加している感覚(対話感)」を生み出すこと。豊かな身振りや表情も使って、人間が仲間外れにされたと感じないように視線を送ったり、「ねえねえ、どう思う?」と話し掛けたりしながら対話を続ける。こうしたロボットの振る舞いへの人間の反応を分析することで、自然で人間らしい対話とは何かを明らかにしようとしている。

人間らしい曖昧さで対話を継続

ロボットとの対話で問題になるのが、言葉に詰まったり、文脈を理解せずに無関係な発言をしたりすることだ。音声認識による対話では避けられないが、「ロボットとは話づらい」と思われて話が續かない。人間同士の場合は文脈から外れても誰かがさりげなく話題を戻し

たり、曖昧に流したりして対話が續く。それに倣ったのが、「音声や意図を認識しない対話」という斬新な戦略だった。発言者と発言の切れ目を認識できれば、

発言者に向かって「ふ～ん、そうなんだ」と曖昧に返答したり、CommUたちが交代で新しい話題を提供したりして話を続けられる。人間の回答が理解でき

名前のCommUはCommunication Unity (Unityは一体感の意)から。

英語による対話も可能。海外の展示会に参加したことも。

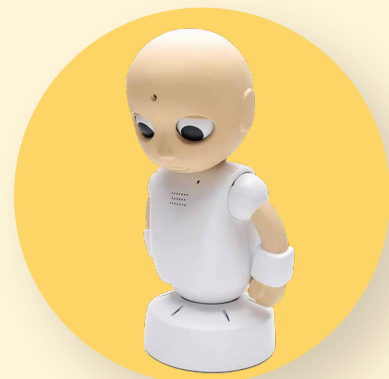
吉川准教授が「かわいがられるロボットにしたかった」と話す、赤ちゃんのような見た目。

カメラ

マイク

スピーカー

高さ：30.4センチメートル
重さ：928グラム



多彩な視線の動きや表情を表現可能だ。



ない時でも「そうかもしれないね、ところで」と同意しつつ話題を変えたり、別のCommUに「君はどう思う」と問い掛けて文脈に合った回答を得たりといった工夫で、違和感を減らして対話を継続できた。音声を上手く認識しなかった場合でも対話を破綻させない技術として活用が期待される。

実証実験で広がる活躍の場

ホテルやファミリーレストラン、科学館などで対話実験をしてきた。さまざまな場面での対話データを蓄積して対話

技術を発展させるとともに、応用の可能性を探るためだ。日本科学未来館では、3体のCommUの雑談に体験者が加わり対話するという展示実験も実施した。「ロボットは人より賢くなってよいか」といったテーマについて、CommUたちは「賢くなると便利になるよね」といった意見や「吉川君もそう思わない?」「え～、そうかな」といった応答を挟みながら対話し、体験者の多くが高い対話感を得た。高齢者施設や療育現場での実証実験も進められており、いろいろな場所でCommUの活躍を目にする日は近いだろう。

ロボットを通じて人間に迫る

石黒栄誉教授は「ロボットは人間の心を映し出す鏡」だと表現する。ロボットの人間らしさを追求することは、人間とは何かを見つめ直すことだからだ。

情報通信技術の発達や少子高齢化、新型コロナウイルスの感染拡大などにより生活様式は大きく変化し、他者との関わり方も変わろうとしている。対話ロボットの研究は、新しいコミュニケーションの在り方についてもヒントを与えてくれるに違いない。



頬には赤色のLEDが入っていて顔を赤らめることもできる。

まぶた：1 自由度
眼球：3 自由度
口：1 自由度

首：3 自由度

腕：2 自由度 × 左右

腰：2 自由度

ロボットが関節などを動かすことができる方向や回転を1自由度と数える。CommUは全身で14自由度を持つ。



ファミリーレストランでの実験ではCommUが各テーブルで接客をした。CommUが参加することで来客同士の対話が促進されることも狙い、タッチパネルを活用して、客の好みに合った料理の紹介やゲームなどを行った。



日本科学未来館で実施された展示実験「ロボット談話室」の様子。1万人以上の来館者が参加し、対話の継続性や対話感を評価した。

「やり抜く力」を脳の特徴から予測 目標達成を助けるツールに



勉強、スポーツや楽器の練習、ダイエットやリハビリなど、人生のさまざまな場面で「やり抜く力」は不可欠です。この能力は個人差が大きく、目標達成まで粘り強く取り組むことを苦にしない人もいれば、三日坊主になりがちな人もいます。

東京大学大学院総合文化研究科の細田千尋特任研究員らは、脳の一番前にある前頭極（図1）という部分の構造的特徴が個人のやり抜く力の定量的指標になることを発見し、脳の画像から予測する手法を開発しました。

最初に、健康な65人の脳の構造をMRI（磁気共鳴画像）で撮影し、それから短期的な目標達成課題として数十分程度のパズルを出題しました。先に撮影しておいた脳の画像を比較すると、

パズルを最後までやり抜いた34人は途中で諦めた31人よりも、前頭極で灰白質の体積が大きく、白質の神経線維の密度を表す拡散異方性が高い傾向が明らかになりました（図2）。

この2つを指標としてやり抜く力の予測モデルを開発し、1カ月間の指運動、3カ月間の英語学習という異なる2つの長期的な課題について、参加者が最後までやり抜くか否かを予測しました。その結果、80パーセント以上という高い精度で的中し、課題の内容や達成までの期間に関係なく、前頭極の構造がやり抜く力の予測に寄与していることが示されました。

さらに、予測されたやり抜く力が同等になるよう参加者を2つのグループに分け、一方には最後までひたすら

取り組む通常の設定、もう一方には目標を細分化して小さい目標ごとに達成感を与えるという設定条件で同じ指運動課題を実施しました。実際、前者ではやり抜けないと予測された人のほとんどがやり抜けず脳構造に変化は見られませんでした。ところが後者ではやり抜けないと予測された人でも多くが課題をやり抜き、やり抜いた後には前頭極の灰白質の体積が約4パーセント増え、白質の拡散異方性も高くなりました（図3）。目標の細分化が脳構造の変化を促し、達成の助けになると考えられます。

この発見は教育、スポーツ、医療などさまざまな分野で、個人の特性に合わせた目標達成の支援法の開発に貢献すると期待されます。

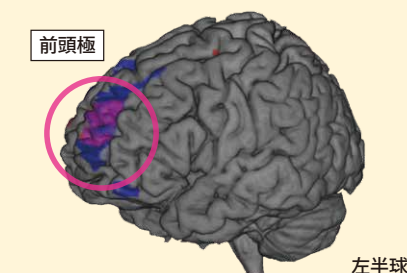


図1 前頭極は脳の一番前にある。

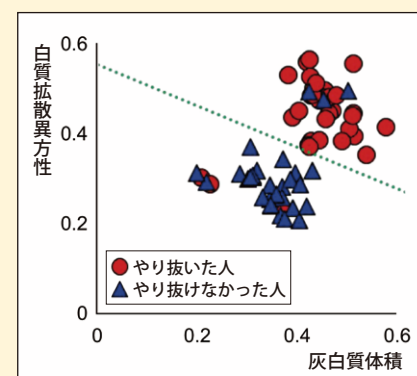
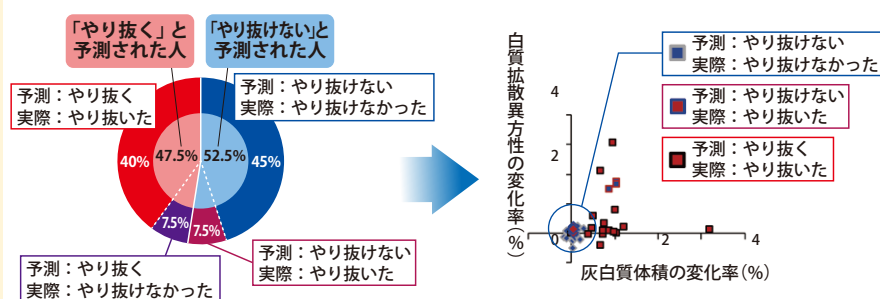


図2 課題をやり抜いた人とやり抜けなかった人では、前頭極の構造に明らかな差があった。

通常の設定で学習した場合（最後までひたすらやり抜く）



目標を細分化して学習した場合（小さな目標達成ごとに達成感を付与）

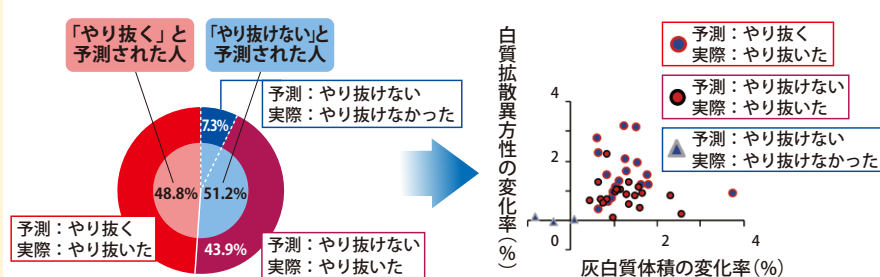


図3 前頭極の構造から課題をやり抜けないと予測された人でも、目標を細分化した設定条件で学習するとやり抜くことができ、前頭極の構造にも変化が見られた。

高性能なn型有機半導体を開発 軽くて柔らかい次世代デバイスへ



スマートフォンやパソコンに使われている半導体は、シリコンなどの無機化合物でできています。無機半導体は原子間で電子を共有する共有結合を介して電荷が輸送されるため、高い電荷移動度を誇りますが、その反面、重い、硬い、デバイス作製に約300～1000度の高温を必要とするといった問題点があります。

これらを解決しコストや環境負荷を減らせる素材として有機半導体に期待が寄せられていますが、有機半導体は隣接する分子間の分子軌道の弱い重なりが電荷輸送を担うので、電荷移動度が低くなってしまいます。近年、正孔輸送性(p型)有機半導体では高い移動度と実用可能なレベルの環境ストレス耐性を併せ持つ材料が開発されました。高度なデバイスの実現にはp型と同等の性能と安定性を兼ね備えた電子輸送性(n型)半導体が求められますが、その開発は困難を極めていました。

東京大学大学院新領域創成科学研究科の岡本敏宏准教授は、ペリレンジイミド骨格の2つの炭素サイトを窒素で置換したベンゾイソキノリノキノリンジイミド(BQQDI)骨格を持つ有機分子が電子輸送性に優れることを発見しました（図1）。特にフェチネル基（-C₂H₄Ph）をこの骨格へ付けたPhC₂-BQQDIは、トランジスタに組み込んだところ、高い電子移動度と信頼性に加えて、熱や連続使用のストレスに対する耐久性にも優れていました。分子内で電子を引き寄せやすい窒素を最適な位置に導入することで、大気下で安定したn型有機半導体の骨格を

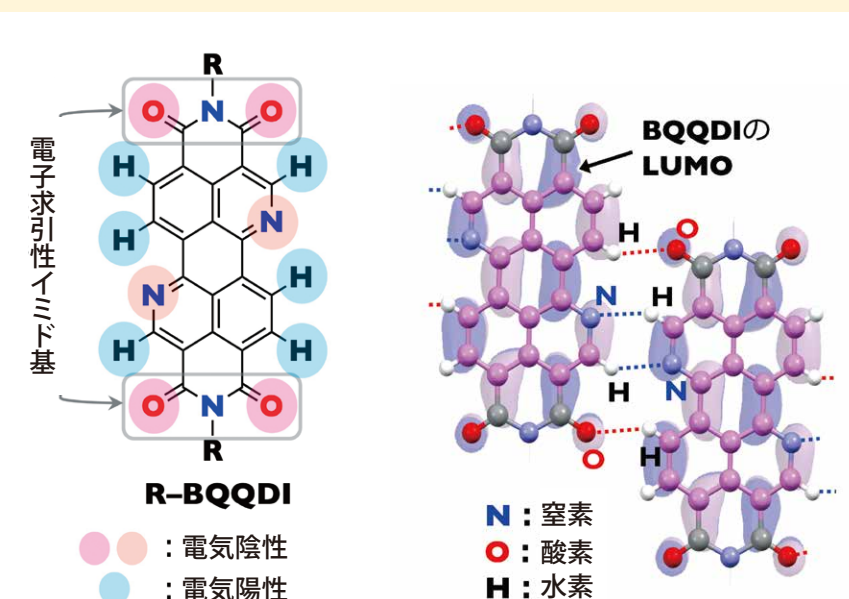


図1 開発したn型有機半導体BQQDI。(左)分子構造、(右)単結晶中で隣接する2分子。

実現し、多点で水素結合させる設計により分子間振動を抑制して電子移動度と耐久性の向上につなげたのです。

「今回の分子設計のように窒素を主骨格に導入する有機合成化学は発展途上にあり、BQQDI骨格の開発には苦労しました。次の段階では、優れた半導体特性を実現するため、電荷輸送に適した集合体構造を形成させる必要がありました。さまざまな置換基を検討した結果、フェネチル基が極めて有望だとわかったのです」と振り返る岡本准教授。「今回の成果は序章に過ぎません。今後も最先端の知見を果敢に取り入れて発展させ、性能のもう一桁向上を目指します」と意気込みます。

開発したPhC₂-BQQDIは試薬として発売されました（図2）。BQQDI半導体は、n型有機半導体、ひいては

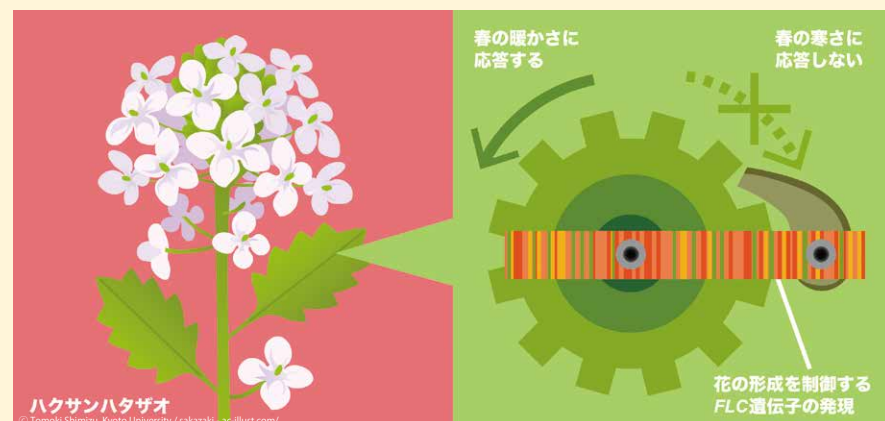
次世代エレクトロニクス研究を加速するだけでなく、ディスプレイ、電子タグ、マルチセンサー、熱電変換素子、薄膜太陽電池など、多種多様な製品の実用化に貢献することが見込まれます。



図2 富士フイルム和光純薬から発売された試薬PhC₂-BQQDI。



春の植物は暖かさを感じ寒さに鈍感 季節を区別して花が咲く仕組みを解明



と活性型ヒストンの量の季節変化を生化学的手法で明らかにしました。遺伝子発現量や気温の変動データとともに数理モデリング手法を用いて解析したところ、これら2種類のヒストンの相互作用がFLC遺伝子の発現を調節し、長期的な気温の傾向にตอบสนองしていることがわかりました。

さらに野生個体を低温条件に移植しFLC遺伝子の働きを確かめると、夏に移植した個体は時間の経過とともにFLC遺伝子の働きが低下したのに対し、春に移植した個体では働きにほとんど変化がありませんでした(図2)。これは夏の間は抑制型ヒストンが少なく低温によくตอบสนองするのに、春には冬の間に蓄積した抑制型ヒストンによって低温へのตอบสนองが抑制される、つまり寒さに鈍感になっていることを示しています。ハクサンハタザオはこの仕組みによって、春の寒さに惑わされることなく花を咲かせる時期を決めていると考えられます。

この研究は実験室の環境で明らかになった分子的な仕組みを、自然環境における生態学的機能に結び付けました。今後さまざまな生物種を解析することで、生物が環境の長期的な変化を捉えて適応する仕組みの解明が期待されます。

太陽の光が一層輝きを増して、植物が一斉に芽吹く春。冬の寒さを耐え忍んだ桜や菜の花など多くの植物が、待っていましたと言わばかりに咲き誇り、気持ちを明るくしてくれます。

春と秋は気温や日照時間の長さなど環境が似ていますが、多くの植物は春に開花し、秋に越冬の準備をします。しかし、春は昼夜の気温差が大きく冷え込むことも少なくありません。複雑に変動する環境に惑わされず、春に開花するためには、春の寒さを無視して長期的な気温の傾向にตอบสนองする必要がありますと考えられています。

実験環境のシロイヌナズナでは、花の形成を抑制するFLC遺伝子の発現がヒストンと呼ばれるたんぱく質に

制御されることが知られています。ヒストンは抑制型と活性型を取り、そのバランスがFLC遺伝子の働きを決めます。植物が長期間低温にさらされるとFLC遺伝子領域に抑制型ヒストンが蓄積し、FLC遺伝子の発現が低下します。京都大学生態学研究センターの工藤洋教授、西尾治幾研究員らは、自然環境において、抑制型ヒストンの蓄積によってFLC遺伝子の発現が長期的な気温の傾向にตอบสนองし、かつ春の寒さへのตอบสนองが鈍くなると考え、日本に自生するアブラナ科の植物ハクサンハタザオを2年間にわたって調査しました(図1)。

調査では自生する個体から葉を採集し、FLC遺伝子領域における抑制型

図1 ハクサンハタザオの花。多年草で3～4月に花茎を伸ばし、4～5月に開花する。

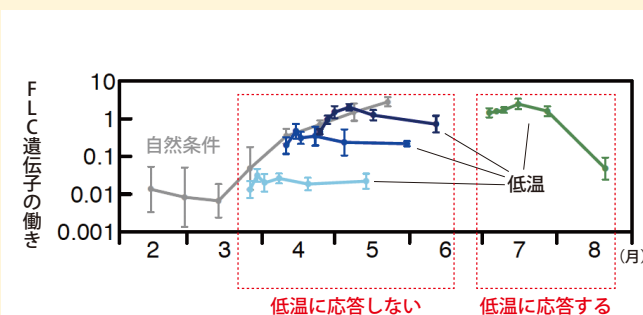


図2 ハクサンハタザオを野外から低温環境に移植した実験結果。抑制型ヒストンが多い春に移植すると、低温になっても遺伝子の働きは鈍らないことがわかった。各折れ線は、灰色は自然条件下、水色・紺・濃紺・緑はそれぞれ3月末、4月中旬、4月末、7月に低温に移植した場合の遺伝子の働きの変化を示す。



少ない肥料で米の収量を増やす新技術 マダガスカル食糧問題や貧困の改善を目指す

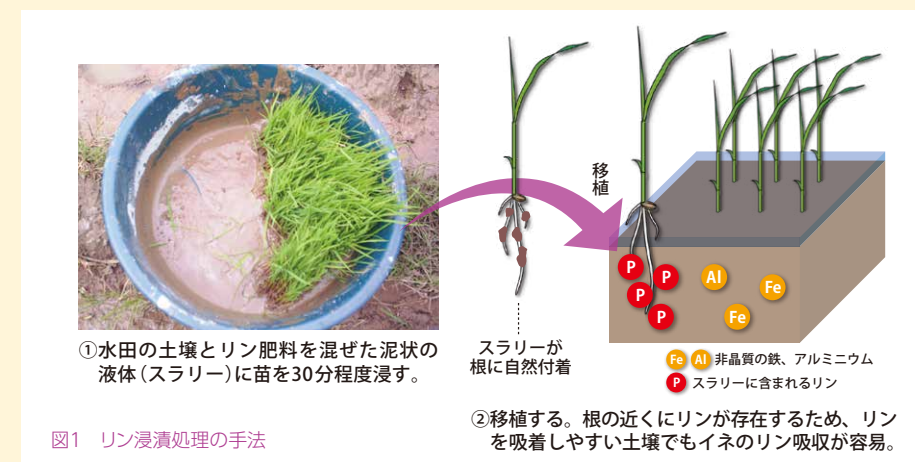


図1 リン浸漬処理の手法

アフリカのマダガスカルは国民1人当たりで日本の2倍以上の米を消費する国ですが、生産性が低いため食糧不足や農村地域の貧困といった問題を抱えています。生産性が向上しない理由の1つが土壌の性質で、作物の生育に必要なリンの含量が少ない上にリンを吸着しやすいため、イネに吸収されにくいのです。小規模農家にはリン肥料を大量に購入する資金はないため、イネの生産性も貧困も改善されない状態が続いています。

この問題の解決に挑んだのが国際農林水産業研究センター（国際農研）の辻本泰弘主任研究員です。揉付という日本伝統の手法から発想を得て、マダガスカルの研究チームと共同で少ない肥料で効率良く収量を向上させる画期的な施肥技術を開発しました。揉付はリン肥料やリンを多く含む骨粉を苗の根に揉み込むように付けてから水田に移植する手法で、マダガスカルと同様にリンが吸着しやすい土壌で実践されていました。

開発したリン浸漬処理では、リン肥料と水田土壌を混合して作られた泥状の液体に苗の根を30分ほど浸して



図2 リン浸漬処理の効果

に気温が下がり種子の十分な発育を妨げていましたが、生育期間を短縮することで低温による発育不全を回避し収量の向上が望めます。施肥法の違いによる生育期間の短縮や収量の改善について生産現場で実証したのは世界でも初めてで、現地のメディアでも広く取り上げられ、行政機関からも注目されています。

この技術の普及は米の増収や安定生産につながり、マダガスカル政府が目標として掲げている2023年までの米の自給達成に向けて大きく前進します。同様の課題を抱えるアフリカ諸国にも展開されれば、より広い地域で食糧問題や貧困の改善が期待できます。「貧困に苦しむ子供たちを助けたい」という思いを胸に10年以上にわたりアフリカの農業発展に取り組んできた辻本主任研究員の活動は、着実に実を結んでいます。



図3 研究チームと現地の農家が協力してプロジェクトを推進している。

JSTnews2019年3月号「さきがける科学人」で、研究を始めたきっかけなどを紹介しています。
https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2018/201903/pdf/2019_03_p16.pdf



塩味を感じる細胞の情報伝達を解明 おいしい減塩で目指せ健康長寿

塩は料理のおいしさを引き出す万能の調味料です。それもそのはず、塩は生命を支える糧なのです。食塩の主成分である塩化ナトリウムは体液量や細胞機能の維持に必須ですが、体内では生成できない栄養素なので食べ物から摂取しないとはいけません。

甘味、うま味、酸味、苦味、塩味を感じるのは、舌の表面に並ぶ味蕾と呼ばれる約100個の味細胞の集合体です(図1)。5つの基本味ごとに味細胞が存在し、その先端には味覚センサーがあります。どの味細胞がどのように甘味、うま味、酸味、苦味の情報を交換して脳に伝えるかはわかっています。しかし塩味だけは、味覚センサーが上皮型ナトリウムチャンネル(ENaC)であることが30年以上前に発見されて以降、謎のままでした。その謎を解き明かしたのが、京都府立医科大学大学院医学研究科の樽野陽幸教授です。

塩味細胞を見つける早道は、塩に含まれるナトリウムイオンがENaCから入ってくると応答する細胞を探すことです。ナトリウムイオンは正常な細胞

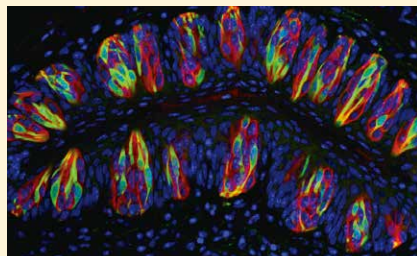


図1 マウスの舌表面に並ぶ味蕾細胞。文字通り花のつぼみの形に似ている。

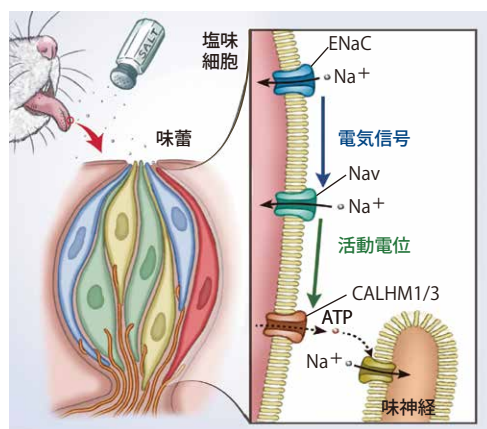
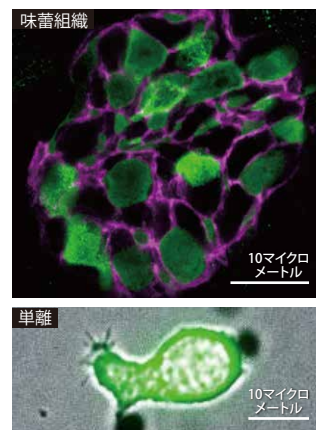


図2 ENaCを持つ細胞が緑色に光る遺伝子改変マウスを作製した(右上)。緑色に光った味蕾細胞を1つ1つ生きたまま採取し(右下)、塩味によってENaCが活性化した時の細胞応答を解析した。ENaCからナトリウムイオン(Na+)が味蕾細胞内に流入すると電気信号が発生する。この電気信号をNavチャンネルが活動電位に変換することでCALHM1/3チャンネルが活性化し、神経伝達物質(ATP)が細胞外へ放出されて味覚情報が脳へと伝えられる(左)。



機能の維持にも必要なため濃度を変えられず、細胞応答の測定は困難でした。樽野教授は、味蕾細胞にENaC阻害剤を作用させてENaCを抑制状態にし、瞬時に阻害剤を取り除くことで、ナトリウムイオンの流入が再開してENaCが活性化した時の細胞応答を測定できるに違いないと考えました。

マウスの味蕾細胞の解析によって、樽野教授は塩味のおいしさを感じる細胞の正体はENaCとCALHM1/3チャンネルを持つ細胞であることを発見し、さらにその情報変換と伝達の仕組みも突き止めました(図2)。ナトリウムイオンがENaCから塩味細胞に取り込まれると、電気信号の発生に伴って細胞の電位が大きく変化します。すると

CALHM1/3から神経伝達物質が味神経へ放出されて、塩味情報を脳に伝えていることがわかりました。

製塩技術が普及していなかった昔は塩不足が健康を脅かしましたが、豊富な種類の塩を料理に合わせて楽しめる現代では、塩分の取り過ぎが動脈硬化や心筋梗塞の引き金となります。健康長寿のためとはいえ、薄味の料理に物足りなさを感じることも多いでしょう。「減塩食品は他の味付けを活用して薄味で調理するなど経験的戦略に頼ってきましたが、塩味を感じる細胞や分子を標的として、科学的効果のある減塩食品を開発できます」と樽野教授は語ります。減塩料理の満足度が高くなる、まさに「おいしい」朗報です。

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。



P7



P7



P7

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

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
古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

JSTnews

June 2020

発行日/令和2年6月15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