

# JST news

未来をひらく科学技術

3

2025

MARCH



他者による音声・動画でのなりすましを防止  
セキュリティやプライバシー保護も実現



不安やイライラにさいなまれる子どもを支援  
独自のプログラム実装へ、活動母体も設立



## 03 | 特集1

### 他者による音声・動画でのなりすましを防止 セキュリティーやプライバシー保護も実現



## 08 | 特集2

### 不安やイライラにさいなまれる子どもを支援 独自のプログラム実装へ、活動母体も設立

## 12 | 連載 イノベ見て歩き

〈第19回〉

### 植物の代謝物質を用いた農業資材開発 菌類との共生に着目、減肥料・収量増へ



## 14 | NEWS & TOPICS

- ≫ 光に安定だが光で分解する高分子を開発
- ≫ 安価なMoS<sub>2</sub>を用いたナノリボン

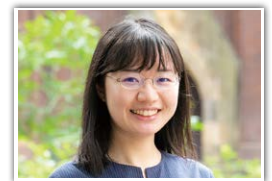
ほか

## 16 | さきがける科学人

### 自然言語処理に「形式意味論」を導入 判断根拠を提示し、信頼されるAIの実現へ

東京大学 大学院情報理工学系研究科  
コンピュータ科学専攻 准教授

谷中 瞳



## 研究セキュリティーについての公開シンポジウム開催

近年、研究のオープン化や国際化の進展に伴い、オープンな研究システムの不当利用によるリスクが顕在化する中で、国内外で研究セキュリティーの重要性が高まっています。JSTでは、この流れを受けて「研究の自由、透明性、開放性」と「研究セキュリティー」を両立するための取り組みについて議論するために、公開シンポジウムを開催します。

当日は、研究セキュリティーを取り巻く国内外の政策動向やJSTにおける取り組みについての講演の後、パネルディスカッションを行います。最新動向や研究セキュリティー確保に留意しつつ研究の自由をいかに守っていくかにご関心がある皆さま、ぜひご参加ください。

- ◆ 日時: 2025年3月12日(水) 14:30~17:10
- ◆ 場所: JST東京本部別館 1階ホール(オンライン参加も可能)

シンポジウムの詳細はこちら

<https://www.jst.go.jp/all/event/2024/20250203.html>



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.8,14下



▶ P.8



▶ P.14下



▶ P.15上



▶ P.12,14上  
15上,16



▶ P.3,8



▶ P.14上



▶ P.3,14上



▶ P.12



▶ P.3

- 編集長  
上野 茂幸  
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  
文化堂印刷株式会社

# 山岸 順一 Yamagishi Junichi

国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授  
2018年～24年 CREST研究代表者  
2024年よりAIP加速課題代表研究者



## 他者による音声・動画でのなりすましを防止 セキュリティーやプライバシー保護も実現

近年、あたかも本物であるかのように生成された偽の音声・画像・映像などの「ディープフェイク」が、サイバー犯罪に利用されるケースが散見されるようになった。このような他者によるなりすましを防止し、デジタル技術を健全に発展させるため、国立情報学研究所コンテンツ科学研究系の山岸順一教授は音声合成の領域をはじめとして、セキュリティーや個人のプライバシー保護の実現も目指してさまざまな研究開発に取り組んでいる。

## 大きく進化した音声合成技術 犯罪に悪用されるケースも

コンピューターを使ってテキストから音声を合成する技術は、時代とともに大きく進化している。現在では各種機器への組み込みなど、多分野での活用が広がっている。中でも「その人らしさ」につながる話者性を再現する音声合成モデル技術は、コンピューターの性能向上とAI(人工知能)による機械学習の進化も追い風となって急速に発展。少量の音声データで、本人そっくりの音声を作れるようになった。近年では、自分の声や既存の音声を用いてAIによる音声クローンを生成できる一般向けのサービスも多くの人に利用されている。

一方で、精巧に再現された人間の音声が悪用される懸念も高まっている。本人になりすまして音声認証システムを突破したり、特殊詐欺に利用したりするといったケースはその一例だ。2023年、米連邦取引委員会(FTC)は「親族を装った電話による詐欺事件の中には、人工音声がいれた疑いが強いものもある」と警鐘を鳴らしている。事実、この数年の間に、音声だけでなく画像や動画のクローンもAIで大量生成できるようになったが、悪意のあるディープ

フェイクが社会問題になりつつある(図1)。

また、音声合成技術の進化に派生し、インターネット上に公開された音声から個人を特定することもできてしまう。そうした状況に対して、個人のプライバシーを守るために、音声公開前に話者情報を事前に加工するような「話者匿名化」の技術が求められている。これらの「声」に関するさまざまな問題を解決するとともに、音声合成技術の可能性をさらに広げるための研究開発に取り組んでいるのが、国立情報学研究所コンテンツ科学研究系の山岸順一教授だ。

## 「敵対的競争型研究」を採用 相反する技術で開発を加速

大学時代、学業とバンド活動にいそんでいた山岸さんは、演奏を通じて「音」に対する興味関心を深めていったという。音と情報処理をテーマとした研究を志すようになり、東京工業大学(現・東京科学大学)博士課程修了後の2006年に渡英し、音声技術に関する研究で長い歴史と実績を持つエジンバラ大学へと研究の場を移す。「そこで音声合成に関する研究開発に取り組むとともに、多くの海外の研究者たちとの個人的なネットワークも構築することができ

ました」と振り返る。

日本に帰国後も音声合成に関する研究開発を続ける中、2018年に米IT企業が肉声との差がほとんど生じないニューラルネットワークによるテキスト音声合成方式を発表した。山岸さんらも、この方式に対抗すべくニューラルネットワークと信号処理を融合した音声合成方式「ニューラル・ソースフィルター・モデル(NSF法)」を発表した。「この時点で音声合成と肉声の差は十分に小さく、実用に耐えうる方式が確立できました」と山岸さんは語る。

この時、音声合成技術が1つの節目を迎えたものの、次の研究の方向性を決める岐路に立たされたという。「その模索を続ける中で、音声合成の進化とともに今後は『悪用されるリスク』も増大するのではないかと思い至ったのです」。そこで、音声のセキュリティ対策とプライバシーの保護を強化する新技術創出を目的にJSTのCRESTで研究を開始した。「これまで、声のアイデンティティーに関する分野間の壁を取り除くと同時に、話者性のモデル化技術を高精度化することで、音声による生体認証の安全性と強度を高めるさまざまな研究開発を進めてきました」。

このプロジェクトのユニークな点は、国立情報学研究所、仏アヴィ

図1 社会問題化するディープフェイク

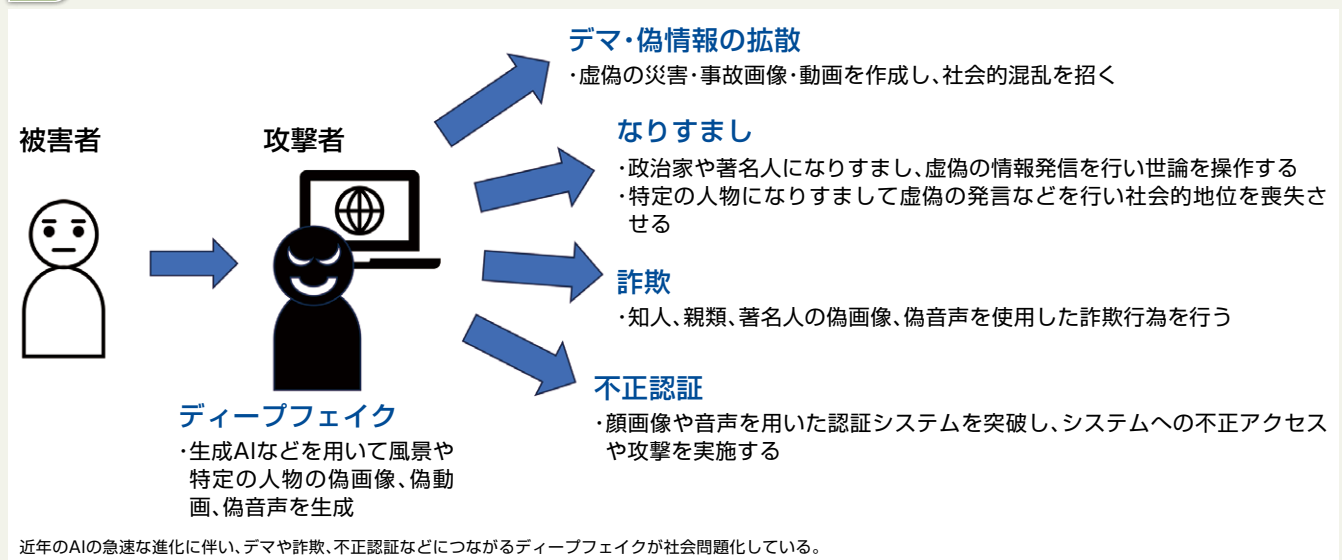
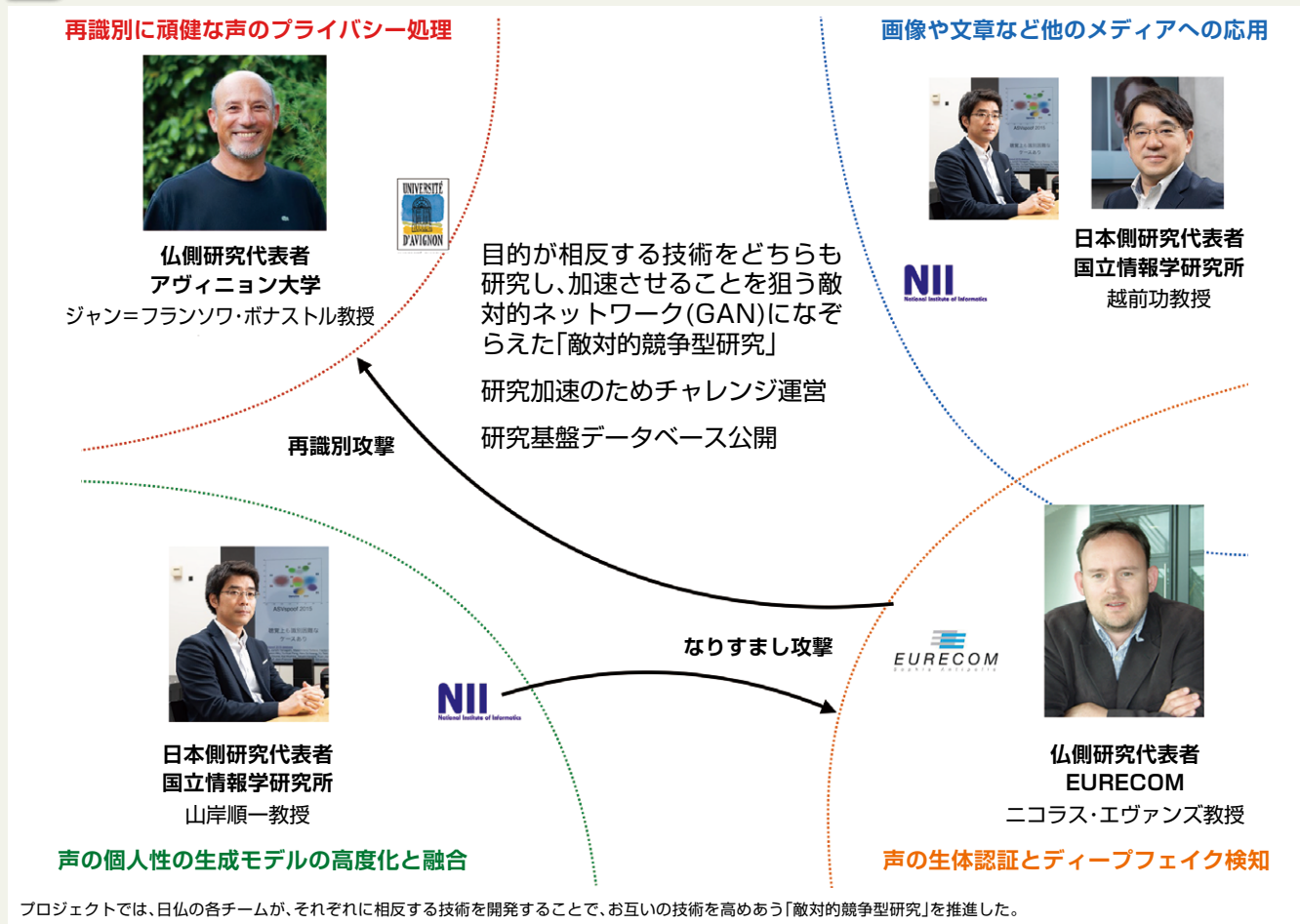


図2 プロジェクト体制



ニオン大学、仏研究センターであるEURECOMの日仏共同研究チームが相反する技術をお互いにぶつけ合うことで、各々の研究開発を加速させる「敵対的競争型研究」を採用していることだ(図2)。具体的には、山岸さんらが新しい音声合成モデルを開発したら、生体認証を突破できるかも併せて検証し、EURECOMはそれを防御するより高度な生体認証技術を開発する。さらにアヴィニョン大学はその高度な生体認証技術にも特定されない音声匿名化技術を開発する、といった複数の「矛と盾」による枠組みだ。

「各チームが開発した音声合成に関する技術を用い、お互いに『闘いあう』ことで、研究の成果を高めるとともに、さらに応用範囲も広がっていくと考えました」と山岸さんはこの構想の狙いを説明する。プロジェクトは4つのテーマに分かれて研究開

発を進め、これまでに数々の成果を上げている。

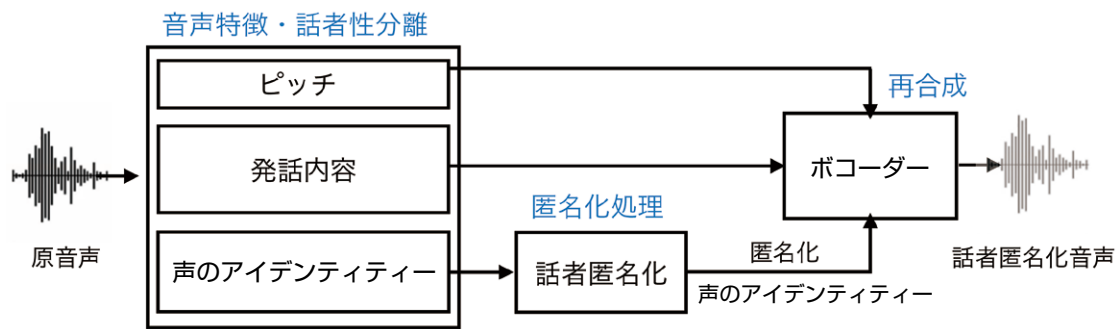
### 音声を強調・匿名化する技術 駅とテレビ番組に社会実装

1つ目のテーマは、声のアイデンティティを再現するための生成モデリング技術の融合と高精度化。音声合成・声質変換という2つの異なるタスクを同時に実施可能な生成モデルのほか、音声の明瞭性指標を活用し、雑音の中でも音声你最も明瞭に聞こえるように音声を自動変換する「音声強調」も提案している。これをさらに応用し、雑音の中でも合成した音声を聞き取りやすくするシステムも開発。同技術は、音声合成システムを提供する国内IT企業に導入され、現在、東海道新幹線の各駅ホームのアナウンスにも採用されるなど、すでに社会実装済みだ。

2つ目のテーマは、音声によるディープフェイクの検知高度化。セキュリティ上の危険性を軽減する技術を開発しており、防御技術の研究開発でこれまでも数々の成果を上げている。その一例が、ディープフェイク音声を検知するための防御モデルの学習に必要な大規模音声データベースの構築だ。「2019年に公開してから現在に至るまで約80万回ダウンロードされるなど、標準データベースとして広く利用されています」と山岸さんは語る。

3つ目のテーマは、話者匿名化による音声のプライバシー保護。公開されている音声から個人を特定したり、ディープフェイク音声を生成したりすることが容易になっている。そこで、山岸さんらは話者情報を加工してプライバシーを保護する「話者匿名化技術」を開発した(図3)。すでに日本放送協会(NHK)の番組にお

図3 話者匿名化技術の仕組み



音声をピッチ、発話内容、声のアイデンティティーの3要素に分解。このうち、内声のアイデンティティーを匿名化するために「K匿名化」と呼ばれる手法を用いる。K匿名化は、個人が特定される確率を「K分の1」に変換するもので、その値は任意に設定することが可能。ボコーダーは、音声を分析し合成するための技術や装置を示す。

いて、インタビューを受けた人の音声を匿名化するために利用されている。従来の匿名化では、まるで事件の犯人かのような低くてくぐもった音声に変化されていたが、明瞭性を維持したままの匿名化に成功した。

4つ目は、画像や文章など、他メディアへのディープフェイク対策への応用だ。ディープフェイクの対象は画像や動画などへも広がりを見せている。「そこで私たちも、さまざまなメディアを対象として、ディープフェイクを見破るためのツールを開発しています」。その成果として、ディープフェイク顔映像検知を実現するための技術を開発。さらにディープフェイク検知に必要な処理を手軽に利用可能なプログラム「SYNTHETIQ VISION」を開発し、複数社にライセンスを提供し、著名人のディープフェイク映像検知のために利用されている(図4)。

フェイクに追従可能な機械学習法の開発にも取り組んでいます」と説明する。

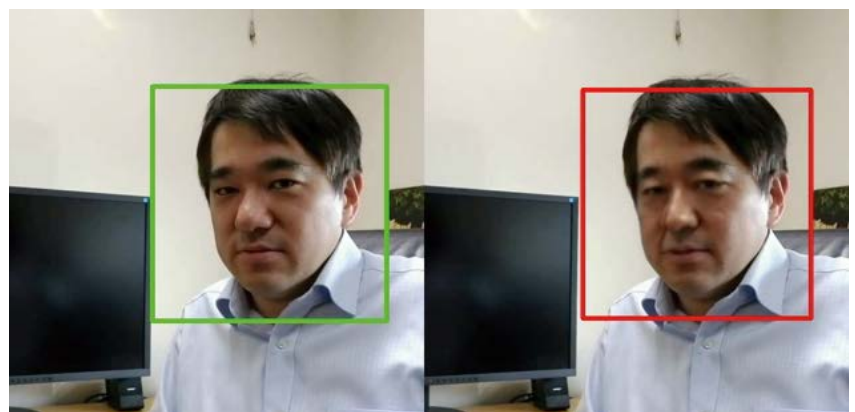
その成果の1つが、新たなディープフェイクの出現にも対応可能な機械学習アルゴリズムの開発だ。従来、ディープフェイクを検知するためのAIを実現するには、膨大なデータをAIに与え、学習させる必要がある。しかし、学習が完了した後に出現した新たな未知のディープフェイクを高精度に検出することは容易ではなく、一定の周期で検知モデルの再学習を手動で行うことが必要だったのだ。

これに対し、山岸さんらが開発したアルゴリズムは、新たに出現したディープフェイクの検知に必要なデータをAI自身が判断し、自動的にデータベースを拡張させることができる。「これにより、未知のディープ

フェイクにも追従可能な仕組みの実現を大きく前進させることができました」と新アルゴリズムの意義を語る。また、フェイクメディアを検知するための基盤モデルに関する研究成果も出ている。5万6000時間に達する人間のリアルな音声と約1億4200万枚の画像データを用いた基盤モデルを利用したディープフェイク検知モデルを構築したのだ。

「これにより、リアルな人間だけが持つ特徴に基づき、ディープフェイク音声や画像を見抜く仕組みを実現できました。画像の場合、誤認識率を5パーセントにまで抑えられるなど、高精度な検知を実現しました」。このほかにも、画像や音声オリジナルであることを証明したり、ディープフェイクに使用された元画像や音声をオリジナルのものに戻したりするといった技術の開発にも取り組んで

図4 SYNTHETIQ VISIONの判定イメージ

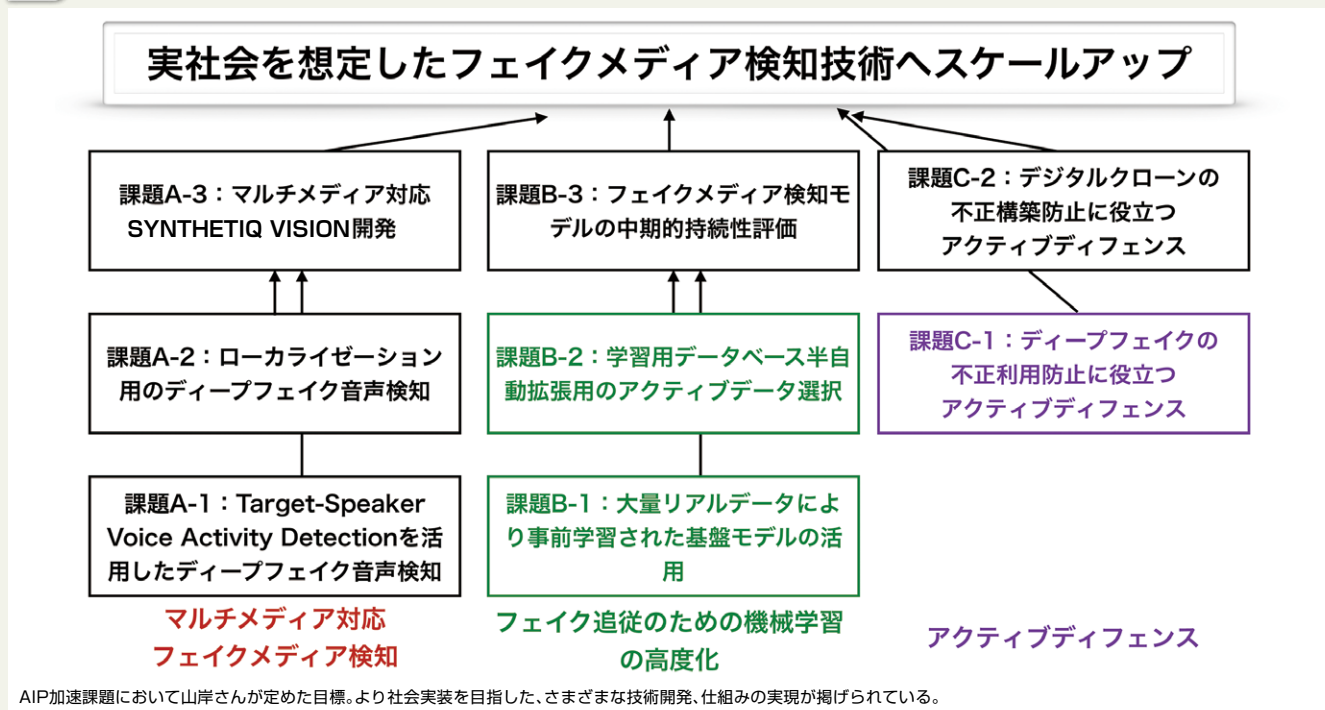


緑枠で囲まれた左側の画像が本物であり、赤枠で囲まれた右側の画像がディープフェイクで生成された偽物であると示される。人間の目は区別が付かない。

### より高度な検知手法を開発 未知のディープフェイクに挑む

そして現在、JSTのAIP加速課題において、フェイクメディア検知技術の社会実装加速と普及を目標に掲げ、さらなる研究開発にまい進している(図5)。山岸さんは「先のCRESTの強化発展として、この課題ではディープフェイク検知技術を音声と映像も融合したマルチメディアに対応させるほか、新たに出現することが予測される未知のディープ

図5 社会実装を目指すAIP加速課題の研究構想



いるという。

### 現在の研究領域に固執せず 社会での利用見据えた視野を

音声認識・合成の分野において、時代の要請に応じた先進的な取り組みに果敢にチャレンジし、数々の成果を上げてきた山岸さん。CRESTに採択された2018年から現在に至るまで、約160本もの査読付き論文を書いた。18年に発表した、ディープフェイク映像検出モデルの「MesoNet」を発表した論文は、これまでに1600回以上も引用された。ディープフェイク映像の検知と改ざん領域の特定を同時に実行可能な「Capsule-forensics」を発表した論文は、ここ5年間の中でインパクトの高い生体認証分野の論文として2回も選ばれている。

計画的に研究開発を進めてきたように思えるが、決して常に見据えて研究活動をしてきたわけではないという。「大学生の時には、サウンドエンジニアに憧れていて、スタジオで働こうと考えたこともあるんです」と笑って打ち明ける。自身が持つ

音と情報処理に関する知識を生かせる研究職の道を歩むことになってからも、2018年には音声合成技術が一定のレベルに達したことで一度は研究が行き詰まった。

しかし、そこでディープフェイクに対する検知・防御という新たな目標を探り当てたことが、現在につながっている。この経験から、若手研究者には、現時点での自分の研究分野

やスタイルに固執せずに「これから自分が向かう先に何があるのか」を常に考えつつ、日々の研究活動にいそんでもらいたいと語る。「基礎研究に専念するだけでなく、実際に社会で利用してもらうために必要な努力を惜しまないでほしいと願っています」。山岸さんは、次代を担う研究者に向けてそう語った。

(TEXT: 佐宗秀海、PHOTO: 石原秀樹)



今やディープフェイクは、大きな社会問題となっています。これまでも音声合成を軸にさまざまな防御のための技術を実現してきましたが、引き続き、現在のプロジェクトを加速させ、企業や日本社会のディープフェイク対策に貢献していきたいと考えています。

高橋 史 Takahashi Fumito

信州大学 教育学部 准教授  
青少年のための心理療法研究所(JICAP) 代表理事

石川 信一 Ishikawa Shin-ichi

同志社大学 心理学部 教授  
青少年のための心理療法研究所(JICAP) 理事  
2020年~24年 RISTEX研究代表者

岸田 広平 Kishida Kohei

関西学院大学 文学部 受託研究員  
青少年のための心理療法研究所(JICAP) 社員



不安やイライラにさいなまれる子どもが増えている。専門家による相談・支援の仕組みは用意されているが、相談件数も多く、手が回り切らないのが実情だ。そこで、支援の基盤として認知行動療法の知見を基にメンタルヘルス予防教育プログラムを独自開発し、学校教育側に導入を提案してきたのが、同志社大学心理学部の石川信一教授を代表者とする共同研究チームだ。京都府内を皮切りに全国各地に展開、その実績は100校以上にのぼる。社会への本格実装を目標に、活動母体の一般社団法人も立ち上げた。



## 不安やイライラにさいなまれる子どもを支援 独自のプログラム実装へ、活動母体も設立

### 気持ちの大きさを測る技法 マンガ教材で無理なく学習

同志社大学心理学部の石川信一教授、信州大学教育学部の高橋史准教授、関西学院大学文学部の岸田広平受託研究員らのチームは、メンタルヘルス予防教育プログラム「ココロあつふタイム」の実装に向けて活動している。心の問題で困っている時に、自身の力で元気になったりリラックスできたりする技法を身に付けるためのものだ。教材は1話1テーマのマンガ形式で、プログラム全体

は全12話で構成されている(図1)。

マンガ教材では、小学6年生の3人のキャラクターを中心に物語が進み、各回のテーマに関する学びを深める。この3人は、子どもたちがよく示すメンタルヘルスの問題である「イライラ」・「不安」・「うつ」をそれぞれ持っている。赤丸くん、青助くん、キミちゃんがそれぞれ抱える問題で困っていると、発明博士の白じいさんが自らの発明品で救いの手を差し伸べる。例えば、第1話のテーマは「気持ち」。「うれしい」や「幸せ」などのポジティブな感情も「心配」や「困った」な

どネガティブな感情もある。それをまず認識してもらう。

発明博士が3人に差し出した発明品は、その大きさを計測する「きもちセンサー」だ。自らの気持ちと、その大きさを測るための道具である。「こうした道具を登場させることで、自らの気持ちを見つめ、大きさを測定する技法を無理なく教えます。認知行動療法の基本的なスキルで『セルフモニタリング』と呼びます」と石川さんは解説する。マンガ教材で無理なく学べるが、その内容は実際の心理療法でも利用されている本格的なものなのだ。



図1 メンタルヘルス予防教育プログラム「こころあっぷタイム」の教材



間枠を確保する必要がある(図3)。最終的には府内小学校31校でのデータ収集と効果検証を実施。支援プログラムが終了する2020年度までの間に、木津川市や福知山市がメンタルヘルス予防教育をその後も継続することを決めるなど、一定の成果を上げてきた。

**SDGsの理念で全国展開を進め対象年齢や媒体にも広がり**

さらに次のステップとして、石川さんは2020年にJSTのRISTEX「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム」の採択を受け、社会実装に向けた取り組みを拡充した。石川さんが研究代表者を務め、大学院時代の教え子である岸田さんが協働実施者として加わった。応募の狙いを、石川さんは次のように語る。「1つは、社会実装を京都府外に広げていくため。もう1つは、メンタルヘルスの問題をSDGs視点で捉え直すためです」。

メンタルヘルス予防教育は、教育課程に含まれていないように、その必要性がまだ十分に認識されていないのが現状だ。「誰一人取り残さない」というSDGsの理念と重ね合わせることで、必要だという認識をさらに高めていくことを狙った。社会実装を京都府外に広げていくにあたって、石川さんらは対象年齢を広げ、中高生版・幼児版・タブレット版

**顕在化する子どもの心の問題改善には予防教育が必要**

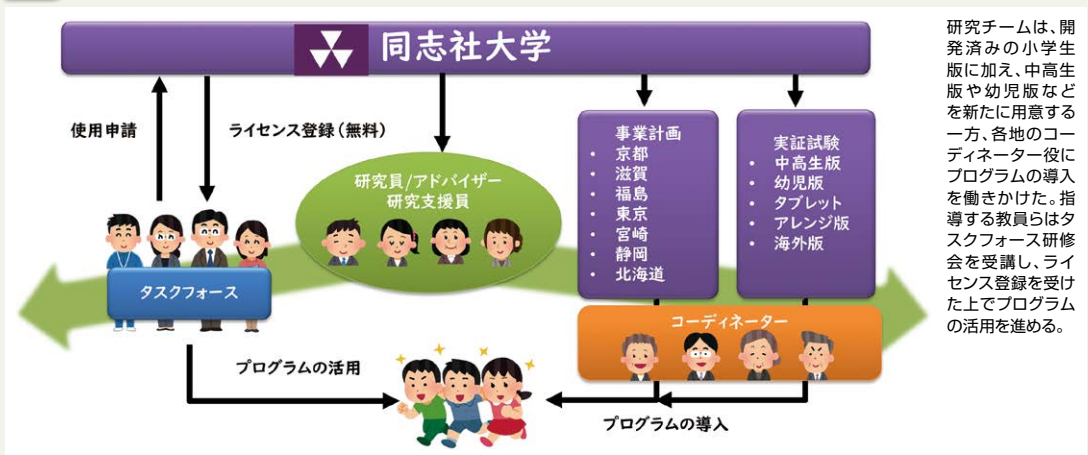
石川さんは、児童・生徒が自身の置かれた環境なども踏まえながら、自らの認知や行動をより良い方向にセルフコントロールできるよう支援してきた。取り組みの背景には、いじめや不登校、自殺といった子どもの心の問題が顕在化する一方、リソース不足から対応が遅れがちな現実がある。「児童思春期の専門外来を受診しようにも数カ月、半年待ちが当たり前前の時代です。全ての子どもが予防教育を通じてメンタルヘルスの基礎を学ぶことができるような支援を充実させた上で、必要な児童・生徒は個別に専門機関を受診する体制を整えるべきです」。

宮崎大学に在籍していた2010年頃に、石川さんは研究者や教員の先輩や仲間たちと小学校4～6年を対象とした「こころあっぷタイム」の原型を作った。その後、

同志社大学へ移り、17年にJSTの「研究開発成果実装支援プログラム」(20年度終了)の採択を受けると、完成させていたメンタルヘルス予防教育プログラムの社会実装に乗り出した。京都府教育委員会と連携を取った上で府内の小学校を訪問し、導入を働きかけた。プログラムは無償提供で、現場の教員が「こころあっぷタイム」を用いて子どもたちに指導するという提案だ(図2)。

ただ、メンタルヘルス予防教育は、文部科学省の「学習指導要領」では教育課程に含まれていない。導入するには「特別の教科(道徳)」や「総合的な学習の時間」などをやり繰りし、時

図2 「こころあっぷタイム」事業の全体像



研究チームは、開発済みの小学生版に加え、中高生版や幼児版などを新たに用意する一方、各地のコーディネーター役にプログラムの導入を働きかけた。指導する教員らはタスクフォース研修会を受講し、ライセンス登録を受けた上でプログラムの活用を進める。

図3 「こころあっぷタイム」の授業計画例

## 授業計画例

	授業のねらい	概要	割当授業時間の一例
1	導入	プログラム導入 心の教育の説明	総学①
2	快活動を探る	自分が楽しめる活動や落ち込んだときにできる活動を見つける	学活①
3	温かい言葉かけを身につける	友達に温かい言葉かけをかける練習を行う	学活②
4	適切な主張を身につける	自分と相手を大切にしたい主張を練習する	学活③
5	リラクゼーションを身につける	リラクゼーションの方法について学ぶ	保体①
6	自分の強みを見つける	自分と他者の良いところ気づく	道徳①
7	自分の考えに気づく	自分の考え方のくせに気づく	道徳②
8	自分の考えに挑戦する	より適応的な考え方をを見つける	道徳③
9	段階的な行動形式を行う	苦手なことについて挑戦する準備を行う	総学②
10	段階的な行動形式を行う	苦手だったことに段階的に挑戦する	総学③
11	問題解決的な技法を学習する	これからの問題に対処する方法を学ぶ	総学④
12	これまでの技法をまとめる	これまでのまとめと復習を行う	総学⑤

「こころあっぷタイム」は全12回。授業計画では、特別の教科(道徳)や総合的な学習の時間(総学)、学級活動(学活)などの時間を振りわけるとしている。

などを新たに用意した。もちろん、認知行動療法の技法を学ぶという基本は共通だ。

この段階では、プログラム導入の意義を理解してくれるコーディネーターとの連携を心掛けた。「導入を広めるには、彼らのようなキーパーソンが不可欠です。理解してくれる方は各地に存在はしていますが、実際に連携を取れるようにすることは容易ではありませんでした」と石川さんは当時の苦勞を語る。コーディネーターの活動拠点は、教育委員会や学校現場はもとより、保健行政や研究機関にまで広がりを持つ。

「社会実装に向けたアプローチ方法をいくつか開発できないかという思いから、多様な属性の人に当たっていきました」。好例の1つは、滋賀県守山市だ。同市は2020年度以降、研究チームの働きかけを受け、モ

デル校4校で小学校4年生を対象に「こころあっぷタイム」を導入してきた。21年度には同志社大学との間で研究協定書を交わし、共同研究体制を構築。23年度には、市内全小学校での導入が達成された。この取り組みでは、中学校の元校長がコーディネーターとして手腕を発揮した。

### 一般社団法人で指導者育成 持続可能な提供体制づくり

研究チームでは、社会実装を府外にも広げると同時に「こころあっぷタイム」の指導者育成に取り組んだ。「予防教育としての質は、プログラムの内容と指導者の質の掛け算で決まります。質の確保には指導者の育成が不可欠です」と石川さん。育成の場では石川さんや岸田さんが講師を務め、プログラムの概要や指導方法を丸1日掛かりで教える。研修修了者には指導者用テキストを配布し「こころあっぷ指導者」として認定する。

指導者育成の全国展開を図る中、効果が上がる授業には、子どもたちと教員が授業を心から楽しんでいる

という共通点があった。「子どもたちは楽しいと感じる時に、より多くのことを学びます。そこで、先生たちにもこころあっぷタイムの授業を自ら楽しむように伝えることを心掛けました」と岸田さんは振り返る。教材マンガに出てくる発明品を手作りするなど、創意工夫を凝らす教員も多い(図4)。石川さんらは、プログラムの質の確保という観点から、指導者用テキストの要点を押さえつつ、教員独自のアイデアを組み込むことも推奨している。

研修修了者は2024年3月時点で581人。これらの研修修了者が小中学校86校を中心に全国110施設で「こころあっぷタイム」を実践している。この指導者育成をさらに推進する役割を担うのが、21年12月に立ち上げた「青少年のための心理療法研究所(JICAP)」である。代表理事は高橋さん。理事には、関西学院大学文学部の佐藤寛教授と石川さんの2人が名を連ね、岸田さんも構成員として参画している(図5)。

石川さんらは大学勤務の研究者として、メンタルヘルス予防教育の普及に努めてきた。ただ、限界も感じていた、と高橋さんは率直に振り返る。「大学教員である以上、時間の面で制約があります。そうした状況下で普及を加速するには、新たな枠組みが必要ではないかと考えていました」。JICAP立ち上げは「こころあっぷタイム」の導入を全国各地に広めていくため、温めてきた構想を実現に移した結果なのである。持続可能な提供体制づくりに向けて踏み出した第一歩ともいえる。

「大学教員である以上、時間の面で制約があります。そうした状況下で普及を加速するには、新たな枠組みが必要ではないかと考えていました」。JICAP立ち上げは「こころあっぷタイム」の導入を全国各地に広めていくため、温めてきた構想を実現に移した結果なのである。持続可能な提供体制づくりに向けて踏み出した第一歩ともいえる。

### 大人と子どもの共通言語へ 生徒指導提要にも盛り込み

2023年度でRISTEXでの取り組みは終了したが、研究チームは今「こころあっぷタイム」の実践成果をど

図4 「こころあっぷタイム」の授業計画例



小学校では学級担任などの教員が「こころあっぷタイム」を受け持つ。黒板右手に見えているのが、自らの気持ちや大きさを知るための発明品「きもちセンサー」。

う見ているのか。岸田さんは、児童・生徒に対する効果をこう整理する。「メンタルヘルス上のリスクを抱える子どもは改善効果が明確ですが、そうした子どもはクラス全体では少数派。全体で見ると、そこまで効果が明確ではありません。全員に必要な技法ですが、効果には個人差があります」。

一方で『「こころあっぷタイム」』の授業だけ、手を挙げる生徒がいる。それによってクラスの雰囲気は良くなった」といった意見も教員から聞かれた。石川さんらは効果検証も重要だが、学校現場では定量的なエビデンスばかりが求められるわけではないと感じている。現場の教員は、児童・生徒との日々のコミュニケーションへの有用性を重視することが多いからだ。「教員は日常の関わりの中で児童・生徒の心を支える技法を模索しています。誰にでもわかりやすいこのプログラムは、そうした現実の中で大人と子どもの共通言語になり得るものです」と高橋さん。

もう1つの成果は、社会を動かす可能性も見込めるという点だ。石川さんは、文部科学省が作成する「生徒指導提要」の改訂を例に挙げる。生徒指導提要とは、学校や教職員向けの児童・生徒指導の基本書。2022年12月に改訂され、全児童・生徒に対する「課題未然防止教育」といった観点が、新しく盛り込まれた。「こころあっぷタイムは、この課題未然防止教育に当たります。私たちだけではありませんが、日本各地の学校でメンタルヘルス予防教育の活動を続けているからこそ、こうした改訂が実現したと確信しています」と石川さんは誇らしげに語った。

### 予防教育を当たり前の存在に 理念共有で、社会実装を前進

今後、本格実装に向けた活動の場はJICAPに移る。代表理事の高橋さんが目指すのは、学校現場でのメンタルヘルス予防教育の地位を、歯科

図5 青少年のための心理療法研究会(JICAP)のホームページ



青少年のための心理療法研究会(JICAP)は、社会実装に向けた活動母体として2021年12月に設立された。

検診のような存在にまで高めていくことだ。「歯磨きを毎日するように、メンタルケアが毎日の習慣として当たり前のように実施され、定期検診のような機会が発覚すれば専門機関につなげる。そんな仕組みを構築するのが理想です」。ただ、課題は今後も山積みだ。例えば「こころあっぷタイム」の導入を全国各地にさらに広げていくには、多くの指導者の育成が不可欠だ。

そのためには、指導者育成を担える人材の育成と研修事業の体系を持続可能な形で整えていくことが求められる。持続可能性という点では、JICAPとしての事業のマネタイズも課題だ。「現在の事業の柱は、指導者向け研修事業や自治体からの受託事業です。マネタイズの観点から、そこに企業向け事業なども加えたいと考

えています」と石川さんは語る。越えなければならない壁は高いが、チームの結束は固く、前向きだ。それぞれが同じ未来の理想図を共有し、社会実装を前進させてきた。

「こころあっぷタイム」はフィンランドでも展開している。日本版をそのまま転用したのではなく、現地のニーズに合わせてディスカッションの時間が増えるように手直しをした。児童・生徒に対して一方的に話してしまう日本の教員もいるが、フィンランドでの事例からインタラクションが重要であることを発見した。理念を共にし、着実にプログラムの社会実装を進めてきた石川さんら。今後、プログラムを受けた子どもたちが社会で活躍する未来を見ることが楽しみだ。

(TEXT: 茂木俊輔、PHOTO: 石原秀樹)



関係各所との調整の際は、理念を共有する方々に大変な時に助けていただいたことで、前に進んでられました。成功の秘訣は、やはりチームワークですね。

# イノベ 見て歩き

連載：第19回

社会実装につながる研究開発現場を紹介する「イノベ見て歩き」。第19回は、植物と土壌中の菌類との共生関係である菌根共生に着目し、植物の二次代謝物質を利用した菌根菌の感染を促進できる農業資材を世界で初めて開発した鳥取大学農学部生命環境農学科の上中弘典准教授に話を聞いた。同資材は、2025年1月に販売を開始している。

## 植物の代謝物質を用いた農業資材開発 菌類との共生に着目、減肥料・収量増へ

上中 弘典

Kaminaka Hironori

鳥取大学 農学部 生命環境農学科 准教授  
2022年～23年 A-STEP研究代表者

### AM菌がリン・窒素を供給 養分欠乏時のホルモン察知

鳥取空港に程近い鳥取大学キャンパス内にある農学部生命環境農学科の上中弘典准教授の研究室を訪れると、LED照明の下でさまざまな植物が栽培されていた。陸上植物種の7割以上は、根の内部で菌根菌と呼ばれる菌類の一種である「アーバスキュラー菌根菌(AM菌)」と共生関係を結んでいる。AM菌は、宿主の植物が光合成で作った糖や脂肪酸などをもらう見返りに、根の生育範囲の外に存在するリンなどの無機栄養素を提供する。このAM菌との共生により、植物は養分の乏しい土壌でも生育できるのだ。

以前より、植物がAM菌の菌糸の分

岐を促進する物質を根から分泌して共生を促進していることは知られていたが、その物質が何かは不明だった。しかし、2005年に大阪府立大学(現・大阪公立大学)の秋山康紀教授が「ストリゴラクトン」というホルモンであることを特定。土壌中の養分が欠乏すると、植物がこのホルモンを根から放出し、それを察知したAM菌が菌糸を分岐させて共生を成立させることを発見したのだ。

その後の研究で、土壌から養分を豊富に得られる場合は、宿主植物は光合成産物をAM菌に奪われないように、ジベレリンなどのホルモンを介してストリゴラクトンの生合成を抑え、AM菌との共生を抑制していることも判明した。これ以降、AM菌共生の研究は、人間の生活に欠かせな

いイネやマメ科の植物を対象に発展している。上中さんは、こういった植物とAM菌との共生を分子レベルで研究しているのだ。

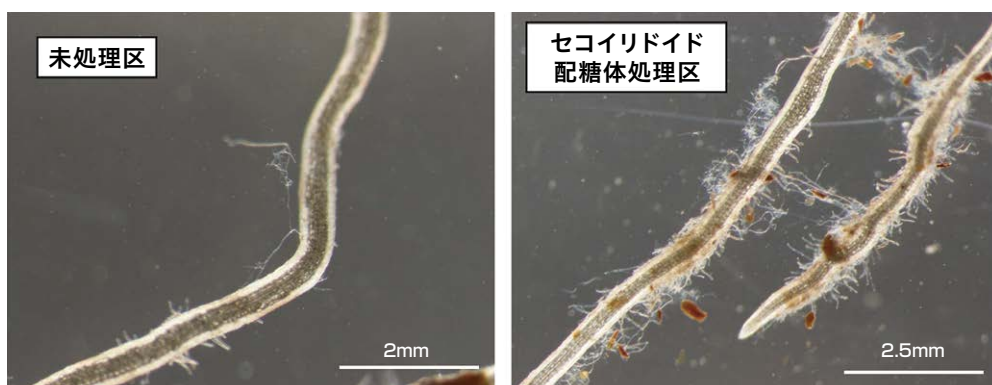
### トルコギキョウを対象に選ぶ 苦味成分を容易・大量に抽出

研究を進める中で、上中さんはリンドウ科のトルコギキョウに注目した。「林床など日照量が少ない場所で育つ植物は十分に光合成できないので、菌根菌からの栄養供給に依存して生きているものもいます。そうした植物は『菌従属栄養植物』と呼ばれています。AM菌と共生できる菌従属栄養植物では、共生するAM菌の菌糸形態が特殊であることから、共生のメカニズムも通常とは異なるのでは

ないかと考えました」と振り返る。この仮説を基に、根の細胞内でAM菌が特殊な菌糸の形態を示すリンドウ科植物の中から、実験に使いやすいトルコギキョウを対象に選んで研究をスタートした。

2017年のある日、学生の富永貴哉さん(現・奈良先端科学技術大学院大学博士研究員)が、ジベレリン処理をしたトルコギキョウの根を観察すると、

図1 苦味成分の菌根菌感染促進効果



苦味成分である「セコイリドイド配糖体」のトルコギキョウへの処理による菌根菌感染促進効果。未処理区(左)に比べ、セコイリドイド配糖体処理区(右)では菌糸が盛んに分岐して増加しているのがわかる。

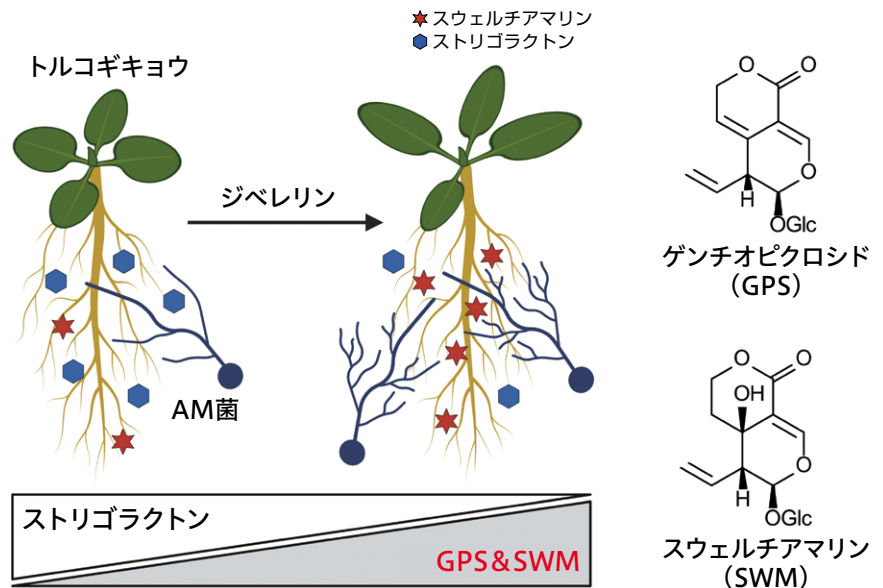
本来ならストリゴラクトンの生合成が阻害されてAM菌が定着しにくくなるはずが、菌糸が盛んに分岐して菌が増殖するとともに、根への感染も促進されていた(図1)。解析すると、ジベレリン処理によりAM菌の感染率が約6倍に上昇しており、ストリゴラクトンとは異なる物質がAM菌の活性化を促していると考えられた。

さらに実験を進めると、リンドウ科特有の二次代謝物質で苦味成分でもあるセコイリド配糖体「ゲンチオピクロシド」と「スウェルチアマリン」が増えていることが判明(図2)。遺伝子の発現量を調べるトランスクリプトーム解析でも、両物質の生成に関わる遺伝子の発現量が増加することを確認した。これらの苦味成分は外部から侵入する病原菌を防ぐ抗菌物質として機能するが、なぜかAM菌はその作用を受けず、AM菌の菌糸分岐の促進能はストリゴラクトンと同程度かそれ以上となっていたのだ。

これについて、上中さんはAM菌が宿主植物との共生を続けるうちに抗菌作用を回避する能力を獲得したのではないかと考えている。その後、苦味成分によるAM菌との共生の促進効果を活用して、肥料を減らしつつ作物の収量を増やす応用研究を開始した。「すでに、作物にAM菌を感染させる菌根菌資材はありますが、高価な上に接種効果が不安定なことが難点でした。リンドウ科植物の苦味成分は容易かつ大量に抽出できるので『菌根菌感染促進資材』を安価に作り出すことができるのではないかと着想しました」と語る。

上中さんは、ネギ属のチャイブなどを使ってゲンチオピクロシドによるAM菌感染促進効果を実証し、特許を出願。その上で、肥料や農業資材などの輸入製造販売を手がけるハイポネックスジャパン(大阪市)に商品化を目指した共同研究を打診した。過去に同社と共同研究をしていた経緯もあり、上中さんが研究代表者となって2022年にJSTのA-STEPのトライアウトに応募し、採択された。

図2 AM菌の菌糸分岐促進機構



一般的に、植物は根からストリゴラクトンを放出し、AM菌の菌糸分岐を促して共生を成立させる。上中さんは、ジベレリンを用いてストリゴラクトンの生合成を阻害したトルコギキョウの根では、ゲンチオピクロシドとスウェルチアマリンの生合成が活性化され、AM菌の菌糸分岐を促進することを明らかにした。

### 10万倍希釈でも効果を発揮 精製せずに低コストで製品化

トライアウト開始後は、まず苦味成分の効率的な抽出の検討に取り掛かった。市販されている漢方薬を原料に選び、熱水やアルコールで抽出。そして、チャイブやトマトなどを使ってAM菌の感染効果を検証したところ、10万倍希釈でも十分な効果を発揮した。同時に、作物の生育を妨げないかも検討したが、きわめて濃度が低いために問題は起きなかった。

最も重要なのは低コスト化を図ることだったと上中さんは語る。これには、有効成分を精製しないで生薬抽出液のまま製品化することで対応した。一連の成果を手し、ハイポネックスジャパンは2024年10月に千葉市の幕張メッセで開催された「農業WEEK 2024」にて製品を発表し、25年1月に菌根菌感染促進資材「マイコエナジー」(図3)を発

売した。現在も、上中さんは同社と共同研究を継続している。

上中さんらはこれらの研究に加え、鳥取県の農業振興に貢献すべく、白ネギの栽培農家と共同で減肥につながる技術開発を行っている。さらに、菌根菌との共生に関しては、ラン科植物にまで視野を広げて基礎研究を進めている。肥料価格の高騰もあり、多くの人に取りやすいコストで製造可能な菌根菌感染促進資材は、既存の菌根菌資材との併用も可能であり、減肥につながる新たな農業資材として注目されるだろう。

(TEXT: 森部信次、PHOTO: 石原秀樹)

図3 生薬抽出液とマイコエナジー



生薬抽出液(左)をベースとし、2025年2月に菌根菌感染促進資材「マイコエナジー」を発売開始した。

## 光に安定だが光で分解する高分子を開発 酸の有無で切り替え、光機能性材料にも利用可能

近年、プラスチックのような高分子材料を分解する技術に注目が集まっています。特に、光を使って分解する方法は産業界で広く利用されていますが、光で分解可能な材料は光を当て続けるとすぐに分解してしまい、長時間の使用には向きません。そのため、太陽光や蛍光灯の光が当たらない場所でしか使えないという制約があり、利用範囲が限られていました。

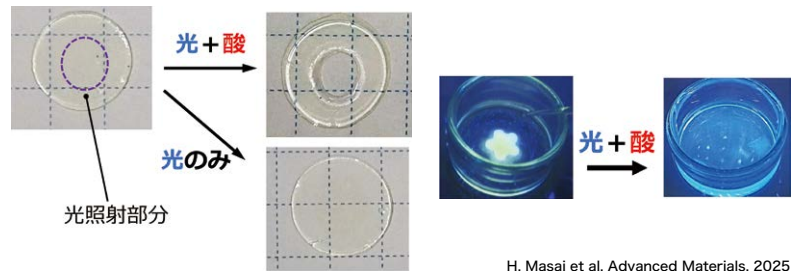
東京大学大学院工学系研究科の正井宏准教授らの研究チームは、酸の有無によって自在に光安定性と光分解性を切り替えられる高分子材料の開発に成功。研究チームはこれまでも同様の材料を開発してきましたが、従来の材料には白金化合物が必須で、非常に高価な貴金属を利用するコスト的な問題や、光安定性が低いなどの問題を抱えていました。

これらの問題を解決するために、安価なケイ素を用いた「ジピレニルケイ素化合物」を開発。この化合物は、従来の材料よりも高い光安定性を持つ上に、光と酸と一緒に作用して高

効率に材料を分解することを明らかにしました。また、ゲル材料として応用したところ、長期的に光を当てても材料は安定である一方、酸がある状態で光を当てると速やかに分解反応を進行することを確認しました。さらに、ブラックライトを照射すると発光する光機能性材料や、光で材料を成型する光造形3Dプリント材料としての利用も可能でした。

今回の研究では、地球上に豊富に存在する安価なケイ素を使用して、光と酸で分解できる新材料を作ることになりました。材料の分解性・安定性という相反する特性の両立を可能にしたこの成果が、材料の光制御技術における革新に貢献することが期待されます。

### ■ ジピレニルケイ素化合物を材料に導入した例



H. Masai et al. Advanced Materials, 2025  
ジピレニルケイ素化合物を導入した円盤状の材料に対して、酸がある場合とない場合に光を当てた際の変化を比較した写真。光と酸と一緒に作用することで、光を当てた部分の分解が起きていることを確認できる(左)。同化合物を導入した発光性材料にも応用可能であることを確認した(右)。

## メスの体内時計はオスよりも乱れやすい 性差を考慮したシフトワーカーの健康管理に期待

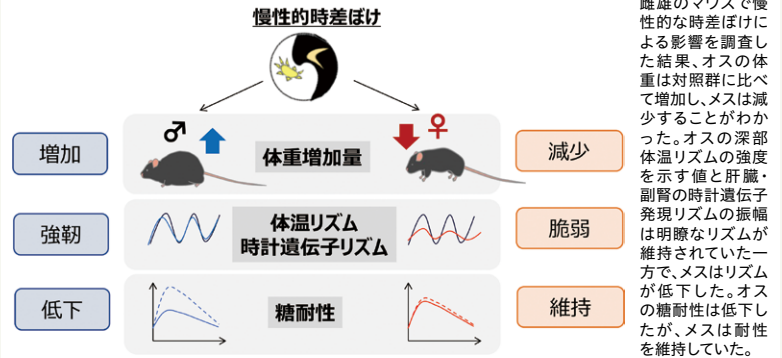
昼夜関係なく活動できる現代社会では、生活習慣が乱れやすくなっています。時差ぼけを長く経験した動物は、健康リスクが高まることが知られていますが、体内時計の乱れと健康状態の関連に性差があるかはわかっていません。従来は主にオスの動物を用いて、研究されてきたからです。そのため、性別による体内時計の乱れやすさの違いについて、詳しく調べる必要がありました。

九州大学大学院農学研究院の安尾しのぶ教授らの研究チームは、長期的に明暗周期をずらしてマウスに時差ぼけ状態を誘導する実験を行い、メスの体内時計がオスよりも乱れやすいことを発見。体重はオスが対照群と比べて増加する一方で、メスは減少していました。また、肝臓の糖・脂質代謝遺伝子の発現や各種生理指標を解析した結果、オスのみで糖尿病低下や血漿インスリンレベルが増加していることなどを確認。さらに、精巣由来の男性ホルモン「テストステロン」の役割を明らかにするための実験を行い、精巣を摘出したオスのマウスでは、時差ぼけのメ

スのような体重減少や糖耐性の維持が観察されました。オスにテストステロンを投与すると、オス特有の体内時計の強靭性が回復したため、テストステロンが体内時計の性差に関与していることがわかりました。

この成果は、不規則な生活を送る医療従事者などのシフトワーカーの健康管理において、性差を考慮する重要性を示しています。ヒトでは明暗環境に加えて、食生活やストレスによる影響なども考慮しなければなりません。性別により、これらの変化や体内時計との相互作用が異なることも予想されます。この成果が、性別ごとの体内時計の乱れに基づいた適切な対処方法の開発につながることを望めます。

### ■ 慢性的な時差ぼけがマウスにもたらす影響



## 安価なMoS<sub>2</sub>を用いたナノリボン

### 水素発生触媒と次世代半導体への応用へ道

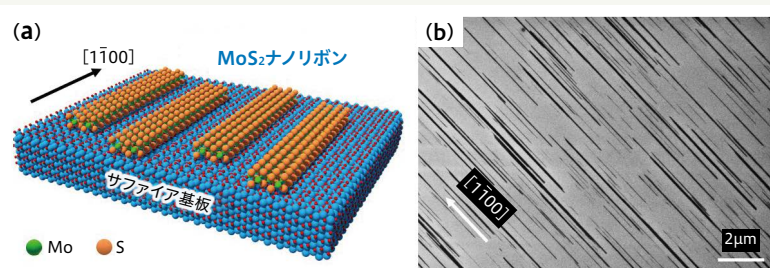
地球温暖化対策としてクリーンエネルギーの需要が高まる中、水素の活用が期待されています。水素を水から電気化学的に製造する際、触媒として使われる白金は高い活性を示す一方で非常に高価なため、その代替素材の開発が急務です。ここで注目されているのが、二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)をはじめとする「遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)」と呼ばれる半導体シートです。TMDは薄さと優れた電気特性を示し、微細化の限界に近づきつつあるシリコンデバイスに代わる次世代半導体としても開発研究が進んでいます。しかし、デバイス応用には微細加工技術や大量生産の面で課題がありました。

九州大学大学院総合理工学研究院の吾郷浩樹主幹教授らの研究グループは、1100度の高温でサファイア基板上に原料ガスを反応させて2次元物質を合成する化学蒸着法を用いてMoS<sub>2</sub>の極細構造(ナノリボン)を合成する手法を開発。合成されたMoS<sub>2</sub>ナノリボンを電子顕微鏡で観察した結果、特定の方向に整列して高密度に成長しており、欠陥がほとんど

なく端の構造も比較的なめらかであることがわかりました。

また、MoS<sub>2</sub>ナノリボンの電気化学的な触媒活性を測定したところ、MoS<sub>2</sub>ナノリボンの端は中心部に比べて約100倍高い活性を示しました。さらに、MoS<sub>2</sub>ナノリボンは半導体デバイスとしても優れた電気特性を示すことも判明。水素発生触媒として優れており、次世代半導体の材料としても有望なことがわかりました。

今後は、位置と方向を同時に制御したナノリボンを合成して集積化を目指すとともに、複数のナノリボンを組み合わせたヘテロナノリボンなどを作製して新たな物性開発や応用を図ります。この成果により、クリーンエネルギーの開発や次世代半導体開発への進展が見込まれます。



MoS<sub>2</sub>ナノリボンがサファイア基板上にきれいに向きをそろえて高密度に成長していることを表したイメージ図。(a)。(b)は電子顕微鏡写真で、黒く見える線がMoS<sub>2</sub>ナノリボンである。

## 組織が折りたたまれて器官になる仕組みを解明

### 加えた「時間」と「変化量」がカギ、再生医療に貢献

近年、iPS細胞などの幹細胞を培養して人体へ移植する「再生医療」が注目を浴びています。しかし、試験管内の培養では同じ条件でも組織の形状が一律にならず、器官の立体形状を正確に再現するには至っていません。このため、作製する器官の形作りの仕組みを理解し、その過程を試験管内で制御する必要があります。器官の形成過程では、シート状の上皮組織が折り紙のように複雑に折りたたまれて、各器官の形が形成されます。この折り目には不可逆性があることが知られていますが、メカニズムは未解明でした。

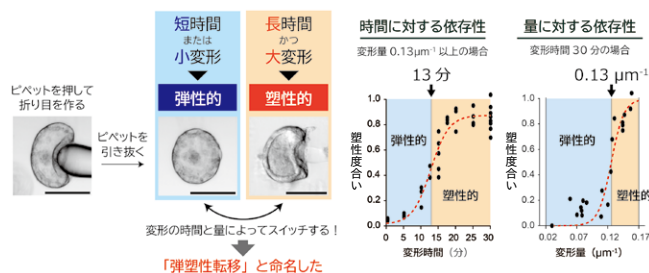
金沢大学ナノ生命科学研究所の奥田寛准教授らの研究チームは、生きた上皮シートに複雑な3次元変形を加える新技术を開発し、脊椎動物の目のもととなる眼杯オルガノイドやマウス胚の眼組織などに適用しました。その結果、上皮シートに加えた変形の「時間」と「変形量」によって折り目の不可逆性が変化することを発見し「弾塑性転移」と命名しました。具体的には13分以上変形を加え、曲率の変化を示す変形量が0.13マイクロ(マイクロは100万分の1)メートル

を超えた場合に折り目が元に戻らず保持されました。

また、この変化が閾値付近で急激に進む理由を探るべく、細胞の形の維持や変形に関連するアクチン分子に着目。組織を生きたまま観察する蛍光ライブイメージング観察を実施したところ、アクチン分子が折り目の内側に集まり、L字金具のような「アクチンブラケット」構造を形成することを見いだしました。

今回の研究により、細胞は上皮シートに加えられた変形の時間と量を感じし、アクチンブラケットを形成することで、折り目の不可逆性を調整していることが明らかになりました。この発見は、器官の形状が一度形成されると元に戻らないという発生生物学の根本的な疑問に対する解答であり、組織工学・再生医療分野での技術革新に貢献します。

#### ■ 変形の時間と量によって組織の応答がスイッチすることを発見



# さきがける 科学人

vol.149

PROFILE

## 谷中 瞳

東京大学 大学院情報理工学系研究科  
コンピュータ科学専攻 准教授

Yanaka Hitomi

東京都出身。2018年東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻博士課程修了。博士(工学)。民間企業、理化学研究所革新知能統合研究センター特別研究員などを経て23年より現職。21年よりさきがけ研究者。



ジャズピアノを演奏している様子です。大学ではジャズ研究会に所属していました。

## 自然言語処理に「形式意味論」を導入 判断根拠を提示し、信頼されるAIの実現へ

### Q1. 研究者を目指したきっかけは？

#### A1. 特許文献検索技術の課題に直面

研究分野である自然言語処理との出会いは社会人になってからです。大学・大学院では応用化学を専攻していましたが、卒業後はIT分野への興味から民間企業でエンジニアとして特許検索システムの開発に携わりました。転機となったのは、利用者から「今のシステムは数量表現を含む特許文献の検索が苦手ではないか」という指摘を受けたことです。

特許文献には「10グラムの試薬」のような数量表現が多くありますが、こういった数値を含む文献の検索が当時の技術では不十分でした。調べるうちに、この課題は単純なパターンマッチングでは解決できず、自然言語処理の分野でも未解決の課題であることを知りました。そして、根本的な研究が必要だと感じ、自分自身でその課題解決をしたいと考えるようになりました。

当時は社会人3年目でしたが、以前から研究者への憧れもあり「目指すなら今しかない」と決意し、博士課程に進学しました。20代後半で専門分野を変えることへの不安はありましたが、今では良い決断だったと感じています。

### Q2. 現在取り組んでいる研究は？

#### A2. 論理的な言葉の意味を形式的に記述

現在の自然言語処理は大規模言語モデルが主流で、膨大なデータから統計的に言葉の意味を学習する手法を取っていま

す。しかし、数量表現や否定表現、時間表現といった、文法的な役割を担う表現を正確に捉えるには課題が残っています。そこで、私は論理学で用いる概念に基づき、言葉の意味を形式的に分析する「形式意味論」のアプローチを組み合わせ、「かつ」や「全ての」といった論理的な言葉の意味を、論理記号を用いて頑健に扱えるようにする研究に取り組んでいます。

形式的なアプローチと統計的なアプローチを融合することで、より精緻に言葉の意味を捉え、文章間の類似性や論理的な関係の正確な判断が可能になります。さきがけの研究ではこの技術を画像に応用。画像に写る物の数、位置関係や「右から2番目」といった論理的な関係を正しく認識するシステムの開発に取り組みました。画像の意味とテキストの意味を論理表現で表し、両者の関連性を数学の証明のような形で示すことで、AIの判断根拠を提示できると考えています。

今後は人が納得できる根拠をわかりやすく提示できる推論システムを開発し、信頼されるAIの実現を目指します。AIの安全性や偏りのない出力が担保されることは、人間同士の信頼関係



ブルガリアでの国際会議で発表をした時の写真です。

にも通ずるものがあると感じています。将来的には、AIが自分のもう1つの家族のような存在になれば面白いですね。

### Q3. 研究者を目指す人にアドバイスを A3. 挑戦する姿勢を持ち続けて

私自身、学生の頃は自分は何が好きなのか、何をしたいのかが明確ではありませんでした。そんな時はまず目の前のことに全力で取り組んでみることをおすすめします。その過程で自分の好きなものや適性が見えてくるはず。重要なのは、いろいろなことに挑戦する姿勢を持ち続けること。何が自分に合っているのかは、実際にやってみなければわかりません。

私の場合は応用化学から情報科学へと専門分野を変えましたが、化学を学んだ経験は無駄になっていません。遠回りのように見えますが、異分野を学んだ経験があるからこそ、既存の枠にとらわれない視点で今の研究に取り組んでいます。

これから研究者を目指す方には自分の興味の幅を広げながら、独自の道を見つけてほしいです。新しい知識を得たり、誰も気づかなかった課題を発見したりすることは自分自身の成長につながり、人生をより豊かにしてくれるはずです。

(TEXT:村上佳代)

# 一期一会



# JSTnews

March 2025

発行日/令和7年3月3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