

# JST news

未来をひらく科学技術

Feature

## 未来の社会へ はじめての一步

2

February  
2018



3 Feature  
未来の社会へ  
はじめての一步

4 「歩きやすさ」をかなえる  
ロボット義足

8 「歩くだけ」でわかること



表紙写真

東京大学大学院情報理工学系研究科の稲葉雅幸教授(左)らは、ヒューマノイド(人型)ロボットの2足歩行技術を生かして、筋肉を模倣した電動アシスト付きの義足を開発している。より自然に歩ける義足を低価格で多くの人に届けようと、ベンチャーの起業をめざす。

12 はかる 第9回  
遺伝子発現の測定から、イネの生長に迫る



14 NEWS & TOPICS  
マウスの流産を引き起こすブルース効果の一端を解明  
JST・NSF国際連携シンポジウム  
「未来への挑戦～AIをとりまくフロンティア研究～」を開催  
液体ヘリウムを使わず簡単に低コストで  
脳磁場を測定する高感度センサーを開発 ほか



16 さきがける科学人 Vol.70  
心地よく歩けるインフラ技術の開発をめざす  
古川 正紘 大阪大学 大学院情報科学研究科 助教

編集長：上野茂幸／企画・編集：今津杉子・菅野智さと・佐藤勝昭・月岡愛実・鳥井弘之・村上美江  
制作：株式会社ミュール／印刷・製本：北越印刷株式会社



# 未来の社会へ はじめての一步

陸上で生活する哺乳類の多くが4足歩行である中で、人類だけが直立2足歩行を獲得している。不安定な片足立ちと着地を繰り返すこの動作は、関節の1つ1つを巧みに動かし、重心を絶え間なく調整し続けるという複雑なものである。

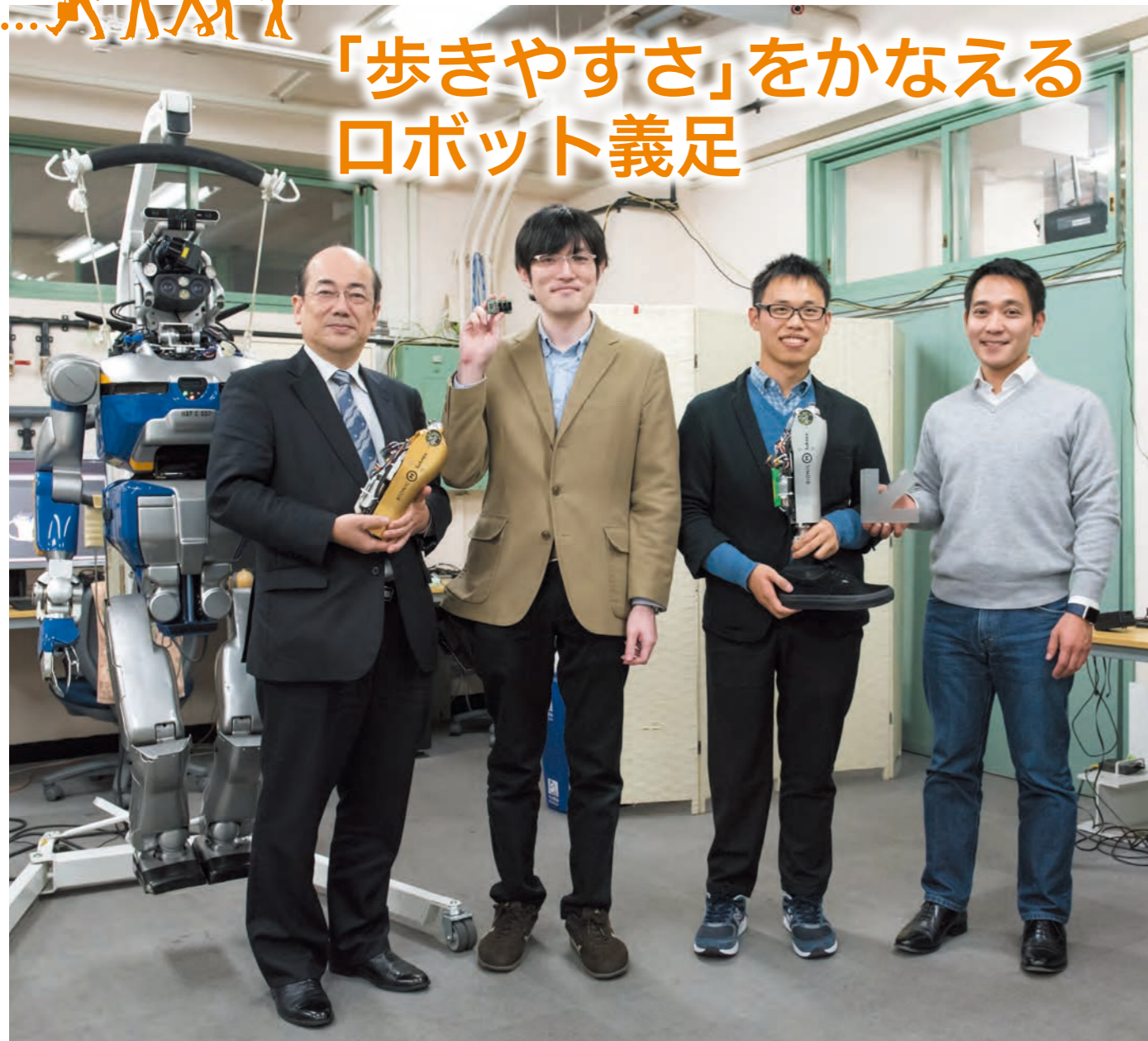
多くの哺乳類は生まれてすぐに歩き始めるが、人は1年前後かけて歩くことを覚え、視界や手の届く範囲を大きく広げていく。直立2足歩行のおかげで、人類は両手を自由に使うことで道具を作り、脳を発達させて言語を操り、高度な文明を築き上げてきた。

2月号には「歩く」から生まれた技術がちりばめられている。Featureでは、ヒューマノイド(人型)ロボットの2足歩行技術を生かした自然に歩ける義足と、歩き方の映像から個人の年齢や性別、感情、健康状態までを人工知能(AI)で高精度に読み取る技術を紹介する。さきがける科学人には、しま模様の錯覚で歩行者を右側通行へ誘導する床シートの研究者が登場する。

かつて人類の祖先がそうであったように、「はじめての一步」を踏み出す技術が未来の社会をつくっていく。



# 「歩きやすさ」をかなえる ロボット義足



事故や病気で足を失った人の歩行を支える義足。東京大学大学院情報理工学系研究科の稲葉雅幸教授らは、ヒューマノイド（人型）ロボットの2足歩行技術を生かして、筋肉を模倣した電動アシスト付きの義足を開発している。より自然に歩ける義足を低価格で多くの人に届けようと、ベンチャーの起業をめざす。

## 斬新なアイデアの ロボット義足に世界が注目

昨年3月、米国テキサスで開催されたマルチメディアの祭典「サウス・パイ・サウスウエスト (SXSW)」で注目を集めたのが、電動アシスト付きの義足「サニー (SuKnee)」だ。新興企業の登竜門ともいわれる「インタラクティブ・イノベーション・アワード」を日本チームとして初めて受賞する快挙を成し遂げた。

開発したのは、東京大学大学院情報理工学系研究科の稲葉雅幸教授らのプロ

ジェクトだ。「サニーは、モーターとバッテリーを内蔵した小型で軽量のパワード義足です (図1)。ヒューマノイドロボットの歩行技術を応用することで、人間の動きに合わせたアシスト機能を実現しました。」

広く使われている受動義足にはモーターがなく、自分の力で重い義足を動かして歩く。そのため疲れやすく、歩行距離も短くなる。段差にぶつかると、膝の関節部が前に折れて転倒しやすい。椅子から立ち上がる時は、義足でない方の足や腰への負担が大きく、姿勢も不自然に傾いてしまうなどの欠点を抱えている。

サニーは踏み出そうとする時、センサーでこの状態を検知した上で、モーターの力で足を振り出してくれる。より少ない力で義足を動かせるので疲れにくい。段差にぶつかっても、義足の膝の関節部が固定される上、モーターの力が膝折れしないようにアシストしてくれるので、転倒しにくい。椅子から立ち上がる時も楽に離れることができる (図2)。

SXSWには東京大学大学院情報理工学系研究科の菅井文仁特任助教と博士課程の孫小軍さんが挑戦した。授賞式では、聴衆が立ち上がって拍手を送ったという。



いなば まさゆき  
**稲葉 雅幸**

東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授  
1986年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。東京大学工学部講師、同大学院工学系研究科助教授および教授を経て、2005年より現職。

さらに9月には「ジェームズダイソンアワード」でも、国内最優秀賞および国際Top20に選出されるなど、脚光を浴びている。

## ロボット技術と身体の融合で 多くの人に義足を届けたい

義足の世界市場規模は約1,200億円といわれており、欧米の会社が市場の大半を占めている。

市販されている義足は主に3種類だ。足の形状を模したものに膝や足首の関節を取り付けただけの「受動義足」。膝関節の曲がり具合を電子制御で調整する「電子制御義足」。そして、ロボット技術で装着者の歩行をアシストする「パワード義足」で、パワード義足を販売しているのは世界で1社のみだ。電子制御義足は約200～500万円、パワード義足に至っては、高機能を実現するのに1,000万円以上と高価になるため、現状は約100万円の受動義足が主流である。

中国・貴州省出身の孫さんは、9歳の時に骨肉腫で右足の膝から下を切断した。義足は高価で、最初の義足を手に入れるまでに15年かかった。ずっと松葉づえで生活してきた孫さんにとって、両手を自由に使って歩けることの感動は大きかった。

一方で、階段では重い義足を1段ずつ

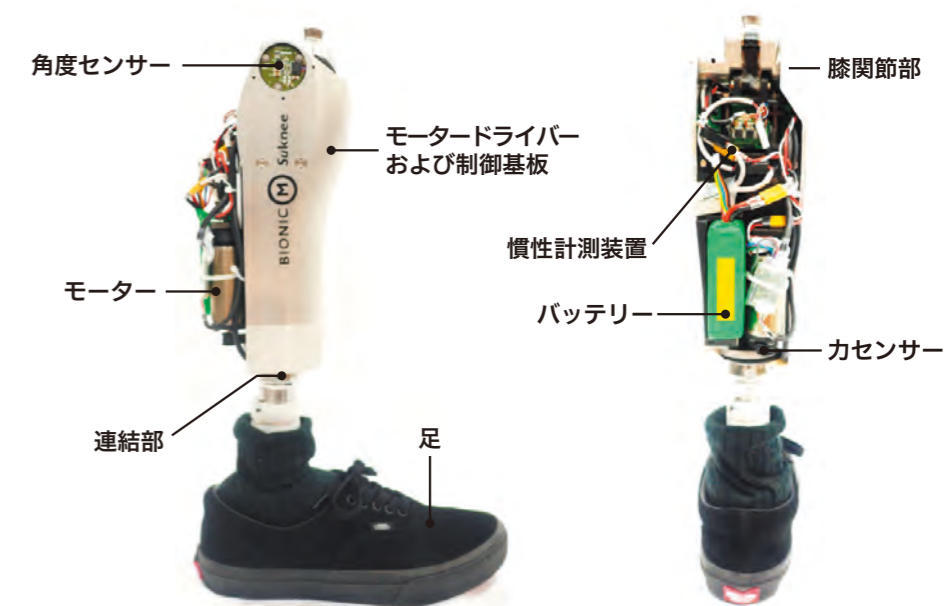


図1 「サニー (Suknee)」の構造。「サニー」の名称は、孫さんのニックネーム「サニー」に由来する。「サニーには『明るい』という意味があり、膝の『knee (ニー)』とも掛けました。サニーを装着することで明るい人生を送ってほしいという願いを込めました」と孫さん。

持ち上げなければならない、両足で交互に上ることができないという課題も抱えていた。人間の歩行の再現をめざすロボットの技術を応用することで、既存の問題点を解決する義足を作れないかと考えた。

義足が必要な人は世界に1,000万人いるといわれる。そのうちの6割は、値段の高さや機能不足を理由に、義足の購入を諦めている。欧米企業が作る義足には、アジア人には大きさや重さが合わないものもあるという。

「生まれ故郷である中国をはじめ、インドなどのアジア地域では、足を失った人のほとんどが松葉づえで生活しています。世界のどこにもない高性能の義足を作って、低価格で届けたい」と、孫さんは強い使命感を抱いた。

## マイナスをゼロにする義足で 事業化をめざす

既存のパワード義足を販売する会社は100年以上の歴史を持つ。孫さんはこう振り返る。「博士課程3年間でロボティクスの知識を学ぶだけでは起業は難しいと思っていました。大学発の技術の事業化を支援するSTARTプログラムへの採択は、起業へと背中を押してくれました。」

STARTでは、大学は事業化ノウハウを

持った事業プロモーターと組んで、事業戦略や知財戦略の支援を受けながら、ベンチャーの起業をめざす。

事業プロモーターである東京大学エッジキャピタル (UTEC) の井出啓介パートナーは「起業するためには、市場のニーズをくみ取り、今までの義足にない機能を搭載することが必要だ」と助言した。



そん しょうくん  
**孫 小軍**

東京大学 大学院情報理工学系研究科 博士課程

2012年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。ソニーのエンジニアを経て、15年に博士課程に入学。

受動義足の日本人利用者約100人にアンケート調査を実施したところ、より自然に歩きたいというニーズは切実だった。「きれいに歩きたい、両足を使って階段を上りたい、椅子から立ち上がりたい」といったシンプルなニーズが多いことがわかりました。既存の受動義足では、それすら実現できていないことを痛感しました。サニーはこれらのマイナスをゼロにできる技術です」と井出さん。

関連する特許も調査し、稲葉さんが開発しようとしている技術が既存特許を侵害しないことを確認した。

### 小さくて軽いボディーで歩行を力強くアシスト

ロボット技術をそのまま義足に応用することは難しい。人間が身に付けて動かす義足は、小型かつ軽量であることが求められる。従来のロボットのように大きくて重くは使い物にならない。

小型化を実現したのが、電子回路を専門とする菅井さんだ(図3)。「ロボットを使って世の中の役に立つ研究をしたい、宇宙ごみを回収するロボットや災害対応ヒューマノイドロボットを開発してきました。義足は利用者との距離が近い研究で、やりがいを感じています」と意気込みを語る。

大きな力を出すため駆動部を油圧式にしているロボットが主流だが、サニーではモーターを使っている。菅井さんはアシスト力を出すモーターの駆動回路を小型化し、素早く確実な応答を可能にした。

常にモーターを駆動させていると、バッテリーがすぐになくなってしまいう心配がある。既存のパワード義足はバッテリーが切れると動かず実用性が低かったが、サニーは従来の受動義足と同様に歩行できる。

義足が重くなることを避けるため、バッテリーを小型化するシステムも開発している。

### 装着者の歩行に合わせて最適なアシストを実現

平地や坂道など歩く環境に応じて、人間は膝や足首の動き、角度、着地するタイミングなどを刻々と変化させている。この点に着目し、「今までは人間が義足に合わせてきましたが、義足が人間に合わせて動くようにしたい」と孫さん。

階段を上ったり椅子から立ち上がったりする際には、速度よりは、膝関節部を曲げ伸ばしする大きな回転力が必要である。平地で歩く時は、膝を曲げる力よりは速度の変化が求められる。そこで、人間の特性を模倣したハードウェアを開発し、人間の筋肉と同様に、回転力と速度の両立を実現している。

「ヒューマノイドロボット研究ではロボットそのものを歩かせるのに対し、義足は人間の動きに合わせる部分が増えてきます。人間が踏み出しているのに、それを義足が検知しなくて前に進まないなど、開発当初は精度よく踏み出しを検出することに苦労しました」と菅井さんは振り返る。

稲葉さんはこう加える。「パワード義足



井出 啓介

東京大学エッジキャピタル(UTEC) パートナー

1996年 スタンフォード大学経営工学修士修了。エンジニア、経営戦略コンサルティング、ベンチャー企業を経て、ベンチャーキャピタル業界に入る。2015年より現職。

の方が物理的な制約条件が厳しいので、エネルギー効率の改善など、ヒューマノイドロボットよりも研究開発が先行している課題があります。得るものが非常に大きく、手応えを感じています。この研究によりヒューマノイドロボットも大きく変わるでしょう。

さらに精度よく人間の動きを検知し、最適なタイミングでアシストできるように、機械学習を用いて歩行パターンや特徴を蓄積することも視野に入れている。

### 誰もが自由に動ける社会を夢見て

試行錯誤を重ねて製作した3番目のプロ



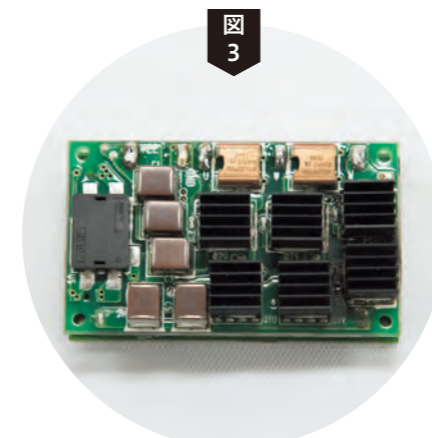
菅井 文仁

東京大学 大学院情報理工学系研究科 特任助教

2014年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。14年より現職。

トタイプ(試作品)が現在のサニーだ。わずか1年間でプロトタイプの開発に成功した秘訣は、設計、評価、改良というサイクルをプロジェクト内で回せることだと稲葉さんは語る。

「一番の基礎となる電子回路から設計できることがプロジェクトの強みです。市販



菅井さんが開発中のサニーの電子制御基板

のものを組み合わせたのでは、目的の大きさにできません。試作品が出来上がると、すぐに孫さんが使い勝手を評価できることも大きいですね」と続ける。

高機能と優れたデザインを兼ね備えたサニーは、展示会でも高く評価されている。「義足利用者や医療関係者にいつ製品化するのかと聞かれます。より使えるものに技術を改良して、早く製品化したいですね」と菅井さん。

「ベンチャーを起業し、2020年までに製品化することをめざしています」と孫さん。量産プロトタイプに向けて改良を重ねると

ともに、製造費用を抑えて既存製品と比較して圧倒的な低価格で提供することもめざす。

義足の歴史は紀元前にまでさかのぼる。競技用義足のように、足の機能を補完するだけでなく、拡張できる時代が到来している。

「今はマイナスをゼロに近づける段階ですが、将来はゼロをプラスにする技術として、全ての人が使えるものに発展していくでしょう」と井出さんは期待を寄せる。だからこそ、従来の義足のように隠すのではなく、むしろ見せたくくなるようなデザインにこだわった。「健常者も身に付けて使いたくなるものとして技術を役立てたいですね。つえや靴代わりにすれば、旅先で長距離を歩いても、混雑した電車で立っていても疲れません」と稲葉さんのアイデアは広がる。

「技術の進歩は、不可能を可能に変えてきました。眼鏡のように、義足もファッションや身体の一部として溶け込む日が来ることを夢見ています」と孫さんは目を輝かせる。誰もが自由に動ける社会のために――。思い描く明るい未来への第一歩が踏み出された。

図2

受動義足(左)とサニー(右)の違い。受動義足では、段差につまずくと、膝が折れて倒れてしまい、椅子から立ち上がる時、他方の足に大きな負担がかかる。サニーはこうした動きを強力にアシストする。詳細は下記のQRコードから動画で見ることができる。



# 「歩くだけ」でわかること



**やぎ やすし**  
**八木 康史** 大阪大学 理事・副学長  
 1985年 大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。  
 三菱電機を経て、90年 大阪大学基礎工学部助手。工学博士。大阪大学基礎工学部助教授、同大学産業科学研究所教授などを経て、2012年より同所長、15年より現職。

生体情報から個人を特定する生体認証といえば、顔や指紋、DNA、静脈などがまず思い浮かぶのではないだろうか。実は歩き方の特徴（歩容）から個人を特定する技術も生体認証の1つだ。大阪大学産業科学研究所の八木康史教授らは、9万5,000人もの歩き方の映像データを集め、AI（人工知能）による解析技術を用いて高精度な歩容認証技術を開発した。さらに歩容から人物の意図や感情、健康状態などを読み取る技術にも取り組んでおり、犯罪捜査やセキュリティ管理といった安心・安全のみならず、幅広い活用が期待されている。

## 距離が離れていても個人を認識できる

歩幅や歩行速度など人の歩き方には癖があり、遠くにいて顔がはっきり見えなくても知人だと気が付くことがある。あるいは、歩く様子から年齢や性別を推測できることもある。こういった歩き方の特徴（歩容）を映像から抽出し、個人を特定しようというのが歩容認証技術だ。歩き方なら服装や髪型が違って変化せず、遠方から撮影した低解像度の防犯カメラ映像で

も抽出することができる。

歩き方にはいろいろな情報が含まれる。スウェーデンの心理学者のグンナー・ヨハンソンは1973年に、歩行などの人の動作から性差や個人や感情などを検出できると報告している。

1990年代になると世界で歩容認証の研究が始まった。2001年に米国で同時多発テロ事件が起こると歩容認証が注目されるようになり、アメリカやヨーロッパを中心に研究者が増えた。八木さんが研究を始めたのは2003年のことだ。

「以前は全方位カメラの研究をしていました。全方位カメラを防犯システムに応用できるのではないかと考えたことが研究を始めたきっかけです」。

歩容認証と、顔や指紋、DNAなどによる生体認証との大きな違いは、距離にある。顔を認証しようとするれば10メートル以内で撮影した画像でないと難しい。指紋やDNAは、直接採取しなければならぬ。

一方、歩容を利用した個人認証では、解像度の低い遠隔防犯カメラ映像でも鑑定できる。解像度は頭から足先までで30

画素以上あれば十分だといいい、20～30メートル離れて撮影した映像でも判別可能だ。近年は映像技術が進化しており、ハイビジョン映像なら50メートル、4K映像なら100メートル離れて撮影された映像でも利用できる。

「歩容認証では顔がはっきりと映っている必要はありません。広視野の映像からでも目的の人を探すこともできます。同じことを顔認証で実現しようとする、街中をカメラだらけにしなければならないでしょう」。

## 犯人特定につながったケースも

八木さんらが開発した方法は防犯カメラなどの映像から背景と人とを識別し、歩いている姿のシルエットから「腕の振り」、「歩幅」、「姿勢」、「動きの左右非対称性」などの情報を低周波の周波数領域特徴として抽出し、生体認証するというものだ。しかし、カメラに対して人の歩く向きが異なると見え方も大きく異なるため、これまでの技術では歩容による認証は困難だった。そこで開発したのが、独自の深層学習モデルだ。深層学習（ディープラーニング）とはAIを実現するための機械学習の1つで、複数の処理段階を重ねることで精度が高まる。「抽象的な特徴を適切に使分けれることで、歩く向きが異なる画像データでも、高精度の歩容認証が可能になりました」と八木さんは説明する。

歩く向きが大きく異なる場合、2つの歩行映像が同一人物かを判断する際の誤り率は40パーセント程度であった。しかし、この学習モデルを用いると約4パーセントまで低減できた。さらに、深層学習に用いる評価基準を適切に変更することで、カメ

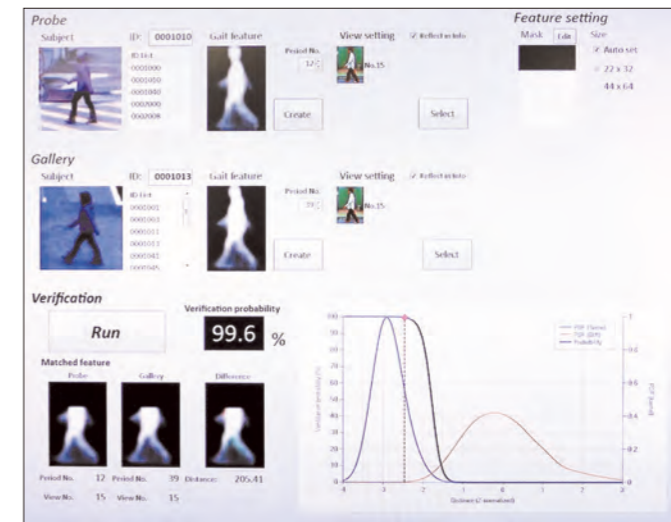


図1 歩容鑑定システム。歩いている映像をシルエットとしてとらえ、数学的に解析して同一人物かどうかを判断する。シルエットで白い部分は動きの少ないところで、動きが多い部分ほどグレーが濃い。

ラに映った複数の人物から特定の1人を探すことも可能になった。

このような技術は、犯行現場付近の防犯カメラに映った人物と容疑者の歩き方の特徴を比べたり、街の防犯カメラから逃走経路を特定したりするのに実際に使われている。2009年には犯罪捜査の有力情報として警察で活用され、犯人逮捕につながった。13年には科学警察研究所で歩容鑑定の試験運用が始まり、16年には裁判の有罪判決の状況証拠になった。警察白書に記載されるなど新たな科学捜査方法として注目されている。科学捜査研究所でも、犯行時や逃走経路上の映像を利用した、歩容鑑定の研修が始まっている(図1)。

## 年齢も精神状態も歩容に表れる

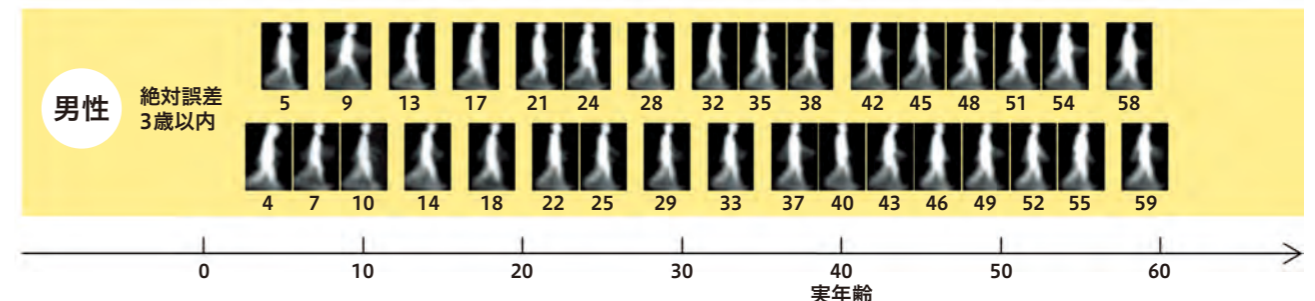
容姿がそっくりの双子でも歩き方は全く違う。この理由は、性格の違いだという。「例えばおっとりした人は歩き方もおっとりしています。いくら容姿がそっくりでも性格が違うので歩き方も違うのです」と八木さ

んは続ける。

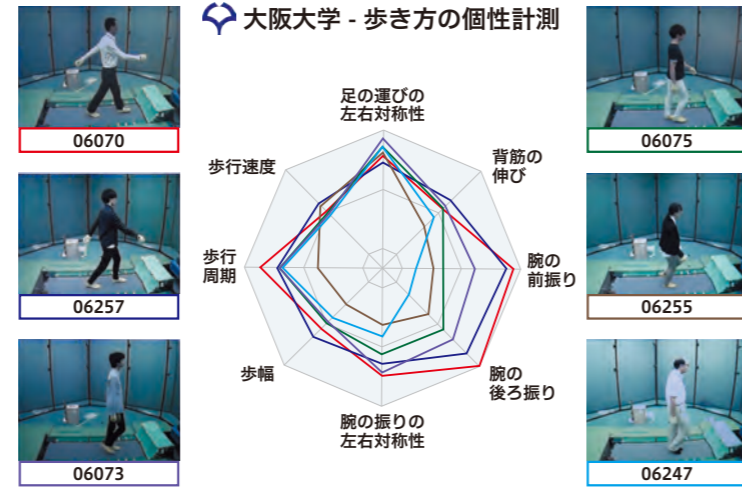
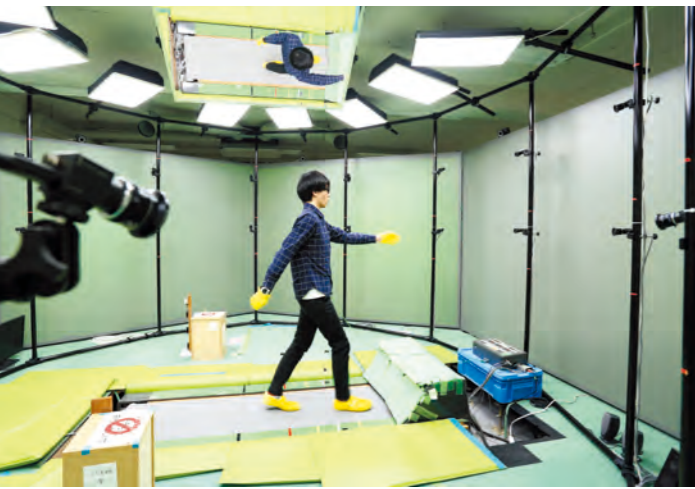
指紋や血液型などは、変わることはない静的な特徴だ。一方、歩き方は成長や生活で変わる動的な特徴で、同じ人でも歩き方には変動、すなわちゆらぎがある。「例えば幼児は頭が大きく体の重心が上にあるので、ゆらぎが大きいです。成長するにつれて、身体のバランスが良くなると、歩き方も安定します。一方、高齢者の歩き方というものもあります。そのため歩き方から年齢を推定することもできます」(図2)。

歩き方は精神状態も反映する。気持ちが沈んでいるときと、浮き浮きしているときとで足取りが違うのは、誰でも経験があるだろう。歩容認証では、こうした複合的な要因も学習させる必要がある。歩き方は文化や生活も反映するため、国などによっても異なるという。しかし、構築した一般モデルを類似する別の問題に適用させる転移学習が可能のため、日本人で作った歩容認証のシステムを他の国や人種の人に当てはめることができると八木さんは考えている。

図2



歩いている映像から抽出したシルエットで年齢を推定できる。各画像の下の数字は推定された年齢。



**写真1** 歩き方の個性を計測するシステム(左)と測定された特徴(右)。中央のグラフでは8つの特徴により個性を表しているが、実際にはさらに複雑なパラメータで特徴を表現する。

### 健康長寿につながるシステムも開発

八木さんの研究室には、2つの計測システムがある。

歩き方の個性を計測するシステムは、ランニングマシンとカメラを組み合わせたものだ。被験者がランニングマシンに乗って歩く様子を、周囲を取り囲むように設置した25台のカメラで撮影する。動画から背筋の伸びなどの歩き方が計測される。これらのデータはあらかじめ機械学習済みのデータを基にどの個性に近いのか、遠いのが判断され、歩き方の個性が算出される(写真1)。

認知能力を測定するシステムは、センサーを組み込んだマットの上で歩くように足踏みをしながら、正面のモニターに映し

出される計算課題(タスク)を解くというものだ(写真2)。歩くという身体的な課題と計算という認知に関わる課題の2つを同時に行うので、「デュアルタスクシステム」という。通常の足踏み速度や計算中の足踏み速度、上半身の安定度といった歩容に関する情報と、回答数、正答率、計算のタイミングなどを併せて認知能力を解析する。以前の結果と比較することも可能だ。

高齢になると歩行速度が低下するなど、歩き方と健康には相関がある。歩き方から年齢を推定することもできるようになったが、ばらつきもある。「不健康な歩き方の人は年を取って見える」というが、歩き方は筋力や精神面でも変わる。歩き方から推定しているのは、実年齢ではなく体力年齢であることに八木さんは気が付いた。

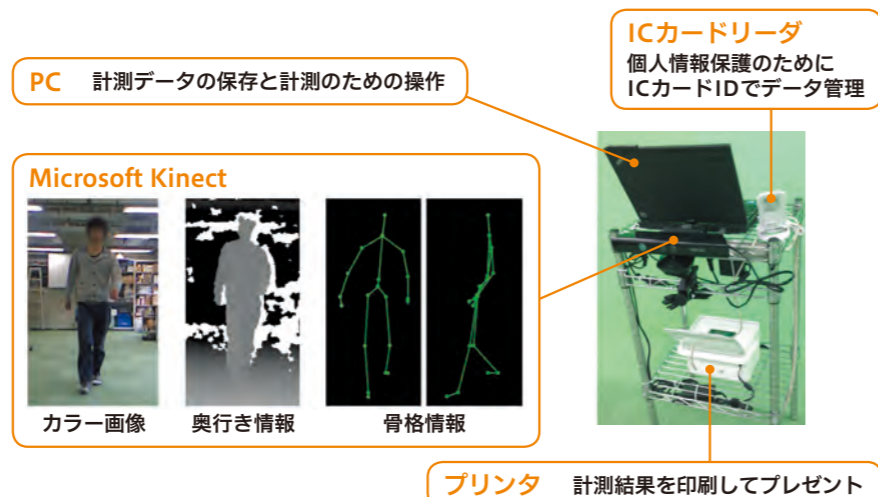
デュアルタスクは認知症の発見や改善

につながると考えられ、高齢者の認知症予防や健康改善のために行われている。認知症の前段階である軽度認知障害のうちに見えれば認知症への進行を遅らせることができるが、簡便な診断技術はないという。八木さんは歩容を利用したデュアルタスクデータから軽度認知障害の識別ができるのではないかと考えた。「軽度認知障害を簡便に見えれば健康寿命を延ばすことができ、ひいては医療費の節減にもつながります」。現在、3カ所の高齢者施設にこのシステムを常設し、高齢者やその保護者からの同意を取得した上で長期追跡を行っている。

「これからの目標は、歩容を新たな健康指標として利用することです。今は、ウェアラブルセンサーによる健康管理システムの開発が盛んですが、身につけるのが難



**写真2** その場で歩くように足踏みをしながら正面のモニターに映し出される計算問題を解く。両手に持ったボタンを押して選択肢から正答を選んで回答する(左)。1台のカメラでカラー画像、奥行き情報、骨格情報を取得することができる高齢者用歩行測定装置(上)を用いて測定する。



**写真3** 企画展「アルクダケ 一歩で進歩」のポスター(左)と展示の様子(右)。展示のモニターに表示されているのは、体験者の歩き方の個性。写真1右のような特徴で表されている。画像・写真提供：日本科学未来館

しい人や嫌がる人もいます。でも歩くだけなら簡単で手軽なので、あまり抵抗がないですね。システムを普及させて、誰もが健康で長生きできる社会を実現したいです。

病気の予兆を発見したり、未然に防いだりすることで健康寿命を延ばす。この目標に向け、昨年11月にはJSTの未来社会創造事業探索加速型で研究を開始した。歩容からその人の健康度や疾病リスク、身体能力などを示す新たな健康指標を定義し、計測を含めた健康モニタリングサービスの創出をめざすという。

### 世界に類を見ない9万5,000人もデータ

八木さんらが開発した歩容認証技術は世界最高レベルの精度を誇る。この高い精度が実現できたのは、世界に類を見ない9万5,000人分もの歩行データを持っているためだ。「実際のシステム作りは泥臭く、地道なものです。特にデータ収集のための仕組み作りには苦労しました」と八木さんは言う。

歩行データを集めるには個人の画像が必要となる。プライバシーへの十分な配慮と個人情報提供に対する同意が不可欠な上、動画はデータ量も大きいので歩行データは集めにくい。八木さんらは日本科学未来館のメディアラボ第15期に出展し、来場者からデータを集めることを試みた。

2015年7月に開催した展示「アルクダケ 一歩で進歩」では、2つの体験型コンテンツを用意した(写真3)。1つは歩き方の個性を計測するもので、実際に一定の距離

を歩き、映像から歩き方を解析することで、歩き方から個人を特定したり年齢を推定したりする技術を体感できる。もう1つは認知能力を測定するものだ。個人情報の提供に同意すれば、解析結果をお土産としてもらえた。研究室にある計測システムは、この体験型コンテンツを改良したものだ。

企画は好評で、会期を延長し、16年6月まで続いた。「長期間にわたる展示になりましたから、装置が故障したり壊れたりしないように気を遣いました。この展示で歩容認証を知ってもらうとともに、データを提供してもらうための仕組みができました。せっかくデータを提供してもらうのだから、楽しんでもらえるよう工夫しました」と八木さん。現在は宮城県仙台市にあるスリーエム仙台市科学館に常設されており、今後も展示場所が増える予定だ。

### さまざまな可能性を秘める歩容認証技術

歩き方から感情や意志、意図なども推察できると八木さんは言う。歩容から「人の意図や心身状態、人間関係」を読み取る技術の構築は、CRESTの研究で力を入れた部分だ。

まず注目したのが視線と振る舞いの関係だ。歩くときの進行方向に対する体の方向からその人が注視している方向とその推移を推定できる技術を開発した。眼球計測装置などを用いずに、姿勢情報から視線方向とその推移を推定可能なため、万引きの抑止への効果が期待できる。過去の実験から、普通の購買客は商品に視

線が行くのに対し、万引き犯では防犯カメラや店員など周囲の環境にも視線が行くなど、注視方向の推移に特徴があることがわかっているからだ。八木さんは歩容から万引きの「意図」を検知し、音などで万引きを意図している人に知らせることで犯罪行動を未然に抑止することができないかを検討しているという。

また、誰かと一緒に歩くときとは歩き方が変わるので、どの人がその団体のリーダーなのかといった人間関係がわかるという。不特定多数の人の中から、集団内の役割や人間関係を推定できるのだ。

このような技術を犯罪予防や教育現場における心理ケア、商店街の販売誘導などに応用できると八木さんたちは考えている。

現在、八木さんが所属する大阪大学産業技術研究所内に40台ものカメラを設置し、歩行と行動の関係についての実証実験を続けている。倫理面に配慮し、十分な周知や手続きを行った上での実験だ。「日本では至る所に防犯カメラがあります。歩行データを集めることももちろん重要ですが、カメラの下で暮らす人がこの技術をどう感じるかといった社会科学的な調査が必要です。カメラがあるのが当たり前の中で、カメラを気にせず暮らすにはどういう運用の仕方があるのかといったことも探り、課題を見つけ社会に貢献したいと考えています」。

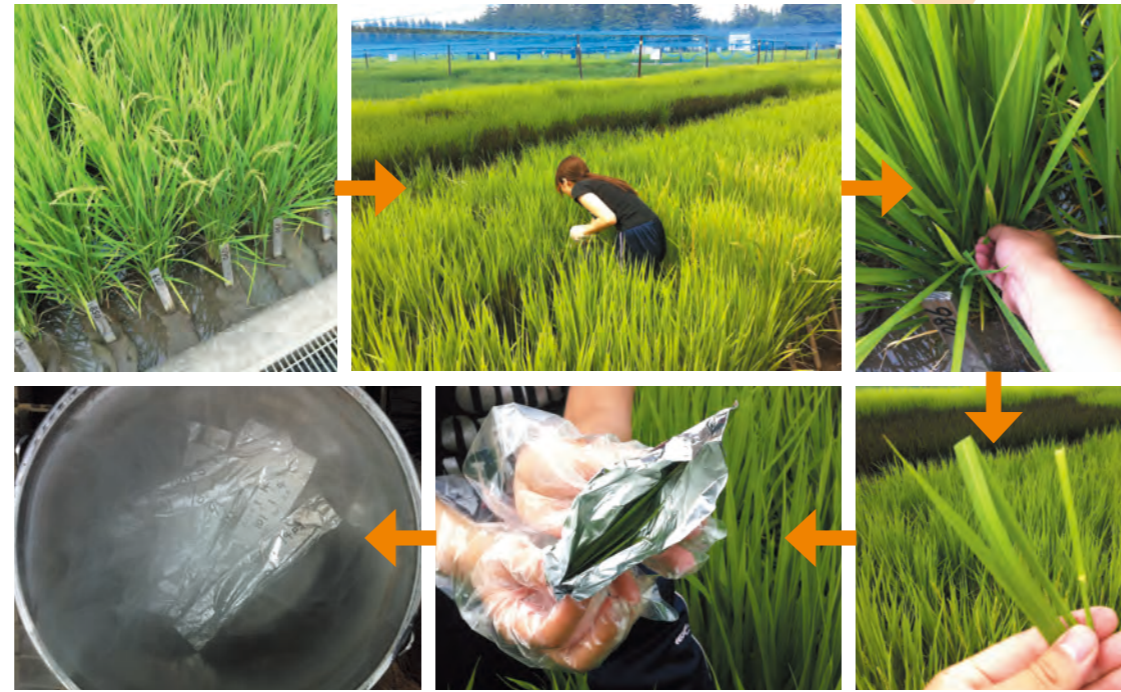
歩き方にはさまざまな情報が詰まっている。「歩くだけ」でわかること、できること。その可能性はまだまだ広がっていく。

# はかる 第9回

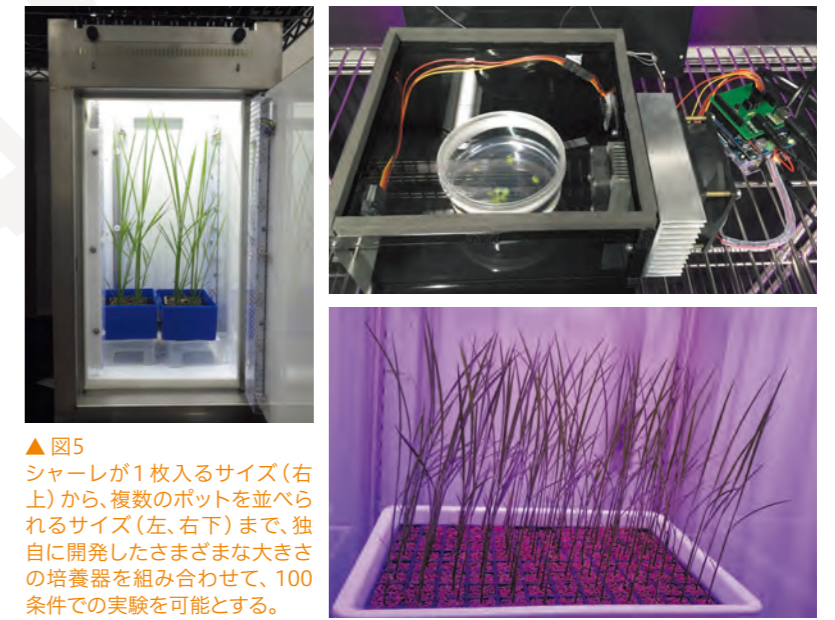
ながの あつし  
永野 惇

龍谷大学 農学部  
植物生命科学科 講師

2009年 京都大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)。農業生物資源研究所特別研究員、京都大学生態学研究センター、日本学術振興会特別研究員、JSTさきがけ研究者などを経て、15年から現職。



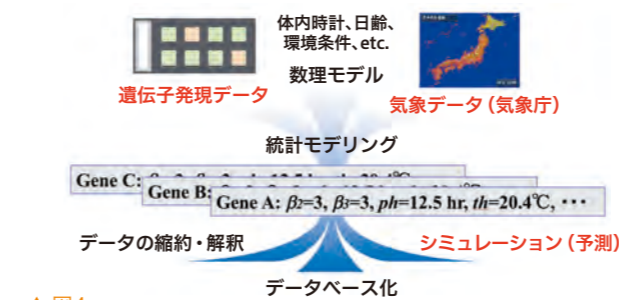
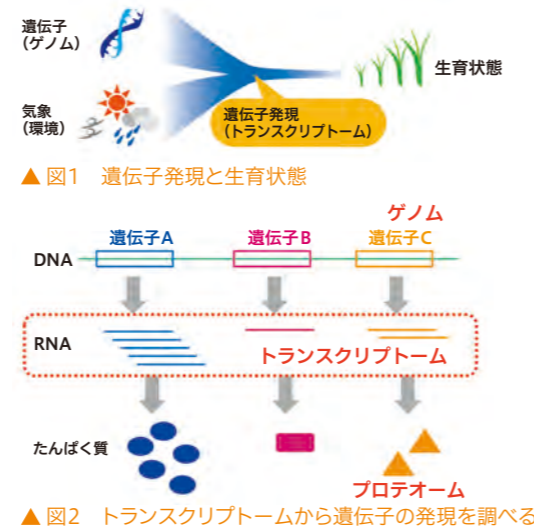
▲図3 野外環境で育つイネから手作業で標本を採り、すぐに液体窒素で凍結させる。遺伝子の発現は分単位で変化するため、正確に測定するには素早さが求められる。



▲図5 シャーレが1枚入るサイズ(右上)から、複数のポットを並べられるサイズ(左、右下)まで、独自に開発したさまざまな大きさの培養器を組み合わせて、100条件での実験を可能とする。

## 遺伝子発現の測定から、イネの生長に迫る

植物は環境の変化に応じて必要な遺伝子を働かせることで、環境に適応して生長する。植物が生きていく仕組みを理解するには、どの遺伝子が、どんな時に、どのくらい働いているのかを知ることが必要だ。龍谷大学の永野惇講師は、水田で育つイネの遺伝子発現を徹底的に測定し気象など環境情報と統合することで、遺伝子発現と環境、イネの生長の関係を説明できるモデルの構築をめざしている。



育てた場合の生育予測なども可能になりつつあり、新品種の開発などへの応用も期待できる。

### 屋内測定も組み合わせることで精度を向上

現在は、モデルの精度をさらに向上させるために、温度、光の量、湿度などを人工的に制御できる培養器も利用している(図5)。「自然界では、太陽が昇り、昼になると気温が上がるというように、光の量が増えれば、気温が上がります。このため、ある遺伝子の発現に、光と気温のどちらが深く関係しているのか判断がつかないときがあります。培養器なら、光の量は同じで温度だけが異なる状況を作り出せるので、どちらの影響を受けているのかを確かめられます。培養器も組み合わせることで、屋外での測定では得られない部分のデータを取得し、モデルの穴を埋めることができるのです」。

植物の日々の生長を人が目で見て確認できるまでには時間がかかる。しかし、植物を構成する1つ1つの細胞では、環境の変化や生長度合いに応じて、遺伝子発現のパターンが変化している。例えば、*OsGI*という遺伝子は、過去6時間で気温が14.8度を超える時間が長いほど、発現が低下する。環境が変化すると、見た目はほとんど変わらなくても、細胞レベルで劇的な変化が起きているのだ。

これまで、植物の生長に関する情報は、見た目の変化でしか捉えられなかった。遺伝子発現量の変化という新たな情報を手にすることで、順調に育っているかどうかはもちろん、肥料などの栄養分の取り込み状況、ウイルス侵入の有無といった情報まで、植物の外見が変化する前に、いち早く知ることができるだろう。

「これからは、遺伝子の発現から何を予測するのが重要です。生長量は外から実測することもできます。ウイルスの感染など、目には見えないけれど、植物の内部で起きていることを予測できると、応用の可能性は広がります。得られた知見を、実際に役立てるところまで、しっかりとつなげたいと考えています」。

けられない。そこで、田植えの時期を1~2週間ほどずらしていくことで、4つの生長サイクルを作り、同一の気象条件で田植え後の日数が異なるデータを集めた。効率よくデータを収集する工夫を重ねながら、5年分のデータを蓄積したという。

さらに、屋外の気温や光などの変化に対するイネの反応を捉えるために、葉を採取するタイミングにも気を配った。「イネの生育過程全体を通して、遺伝子発現がどのように変化するかを知りたいので、例えば2時間おきに葉を採取する日を1~2週間に1日設けます。遺伝子の発現は数分で劇的に変化しますから、光が急激に変化する明け方などに5分おきに葉を採取したこともあります。このように、葉を採取する時間の間隔を適切に調整することで、環境の変化に対するイネの応答を満遍なく捉えようとしているのです」。

永野さんの研究では、イネが持つ全ての遺伝子の発現を測定する。このため、解析にかかるコストの削減や試料の処理時間の短縮にも取り組んだ。こうして得られた遺伝子発現データを、葉の採取と同時に取得した時間、気温、天気、風速、光の条件といった情報と関連づけて統合していく。日齢、体内時計、環境応答などの影響も加味しながら、データを一番よく説明できるモデルを作っていた(図4)。モデルを用いた解析により、イネの葉で働く遺伝子がどのような環境要因の影響を強く受けるのか、どのような要因はあまり影響しないのかが明らかになってきた。さらに、ある気候に適応した品種をほかの気候条件で

中とは違って、気温、風、降水量、光など、多くの条件が同時に変化の上、個体差も絡んでくる。時々刻々と変化する複雑な条件に応じて、約3万個の遺伝子がさまざまな形で発現するため、遺伝子発現と環境条件との対応を見いだすのは至難の業である。永野さんは、分子生物学者にはなじみの薄かった統計モデルを用いて、この難題に挑んだ。

### 得られたデータを矛盾なく説明するモデルを構築

まず着手したのは、イネの栽培過程を通して、遺伝子発現がどのように変化するかを徹底的に測定することだった。遺伝子発現を調べる方法はいくつかあるが、永野さんはトランスクリプトーム解析といって転写されたRNAを網羅的に解析する方法を用いた(図2)。屋外で育てたイネの葉を採集し、研究室で測定する地道な作業だが、「取りあえず、全て測る」という姿勢で取り組んだ(図3)。「全体像がわかってくれば、詳細に調べるべきことと、そこまで細かく調べなくてよいことを分けられます」と永野さんは説明する。

同じ日に植えた苗を見ていたのでは、遺伝子発現の変化が田植え後の日数によるのか、気象条件の変化によるのかを切り分

### 屋外栽培のイネの遺伝子発現を計測

生命の設計図ともいわれる遺伝子は、それ自体が動くわけではない。遺伝子が動く、すなわち発現するとは、遺伝子の情報がRNAに転写され、RNAそれ自体や、その情報を基に合成されたたんぱく質が生体内でさまざまな機能を担うことである。自ら移動できない植物は、環境の変化に合わせて必要な遺伝子が必要なだけ発現させることで環境に適応している。そのため、環境の変化に応じた遺伝子発現の変化を調べることは植物を理解する上で重要だ。植物の遺伝子と生育した環境は、遺伝子発現を介して実際の生育状態に反映されるからだ(図1)。

龍谷大学農学部の永野惇講師は、環境の変化に対し遺伝子の発現がどのように変化するかを野外のイネを用いて定量的に調べ、統計モデルで解析することで、植物が環境に適応し、生長する仕組みに迫ろうとしている。

遺伝子の発現は、温度、光、栄養状態など、多くの要因が複雑に絡み合った結果として起こる。このため、環境条件を設定できる実験室の中で培養された細胞や、室内で管理された動植物を対象にして遺伝子発現を解析するのが一般的だ。しかし、永野さんの研究対象は屋外で栽培されたイネである。研究室の

## 1 研究成果

戦略的創造研究推進事業ERATO  
東原化学感覚シグナルプロジェクト

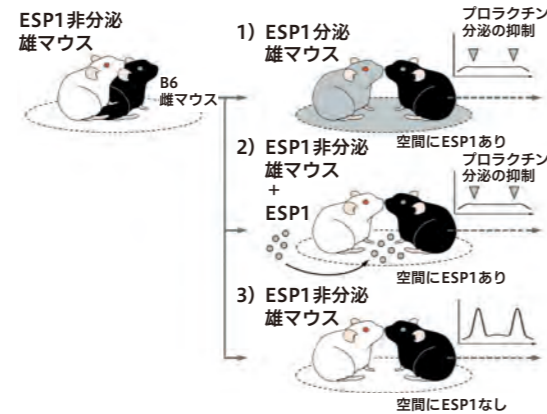
### マウスの流産を引き起こすブルース効果の一端を解明

雌マウスの妊娠後に交尾相手と異なる雄と接触することで流産する現象が1959年に報告され、発見者の名前から「ブルース効果」と呼ばれています。しかし、発見から半世紀以上もの間、流産の原因物質は特定されていませんでした。

東京大学大学院農学生命科学研究科の東原和成教授らは、雄の涙に含まれるフェロモンESP1の分泌量がマウスの系統ごとに異なることに着目し、ESP1がブルース効果の原因物質である可能性を検証しました。その結果、ESP1分泌量の違いが流産の引き金となることがわかりました。さらにESP1は、受精卵着床時に増加するホルモンであるプロラクチンの分泌増加を抑えることを明らかにしました。ESP1分泌量の違いが受精卵の着床に影響し、流産につながると予想されています。

当初、実験用マウスで発見されたブ

ルース効果は、他の動物種でも確認されていますが、生物においてどのような意義を持つ現象なのかは明らかになっていません。雄マウスにとっては交尾相手の確保を確実にし、雌マウスにとってはより有力な雄の子を残すことにつながるとのメリットがあると考えられていますが、今回の原因物質の特定はブルース効果の生物学的意義の解明に迫る第



一步になります。また、フェロモン受容からホルモン分泌を介した妊娠への影響までの一連の過程を明らかにしたことで、化学物質の検出から神経系での情報伝達、生理機能変化に至る、ヒトをはじめとするほ乳類での複雑な嗅覚システムの基盤的な理解につながることを期待されます。

ブルース効果が起きる仕組み。ESP1を分泌しない雄マウス(白)と交尾した雌(黒)は、その後ESP1を分泌する雄マウス(灰色)と接触したり(1)、ESP1にさらされたりすると(2)、プロラクチンが正常に分泌されず、流産が起きる。ESP1を分泌しない別の雄マウスと出会っても流産は起きない(3)。

## 2 開催報告

戦略的創造研究推進事業  
AIPネットワークラボ

### JST・NSF国際連携シンポジウム「未来への挑戦～AIをとりまくフロンティア研究～」を開催

人工知能(AI)やビッグデータを起爆剤として、社会に大きな変革が起きようとしています。「AIPネットワークラボ」では、CREST・さきがけ・ACT-Iの研究領域を結集し研究交流の幅を広げる活動をしています。この一環として、昨年12月20日にデービッド・コーマン博士と喜連川優教授の主導の下、JST・NSF(米国国立科学財団)国際連携シンポジウムを東京・品川にて開催しました。

シンポジウムでは、AIに関する基礎研究の最前線、ならびにAIを活用した医薬品開発、自動運転、発達障害者支援、ゲリラ豪雨予測などのテーマでAIPネットワークラボの研究成果が発表されました。NSFからは、NSFでの研究動向のほかJSTとの連携機会、若手研究者の育成策、ICT分野における研究推進の支援策などについての発表が行われました。田中讓名誉教授をモデレー

ターとするパネルディスカッションでは、「AIが切り開く未来ビジョン」などについて、日米の研究者の活発な議論がありました。将来はあらゆるものが自動化し、欲しいと思ったらそこに「自動〇〇」が実現するのではないか、向こう10年で人と人がつながったInternet of Humansが実現するのではないか、といったビジョンが示されました。一方で、信頼できるシステムをどう作るのか、急速な技術革新に法規制が追い付か

ないことにどう対処するのか、といった課題が指摘されました。

AIPネットワークラボでは、このようなシンポジウム開催を通じてNSFとの連携を定着させると共に、さらに新たな国際連携活動にも積極的に取り組んでいきます。

※AIPネットワークラボのホームページに講演資料を掲載しています。  
プログラム・講演資料: [http://www.jst.go.jp/kisoken/aip/inter/vol2\\_symposium.html](http://www.jst.go.jp/kisoken/aip/inter/vol2_symposium.html)



会場の様子。



パネルディスカッションの様子。

## 3 研究成果

戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)  
研究開発テーマ「スピン流を用いた新機能デバイス実現に向けた技術開発」  
研究開発課題「トンネル磁気抵抗素子を用いた心磁図および脳磁図と核磁気共鳴像の室温同時測定装置の開発」

### 液体ヘリウムを使わず簡単に低コストで脳磁場を測定する高感度センサーを開発

体を傷つけることなく脳や心臓の活動の様子を記録するために広く用いられている検査として、脳波や心電図があります。これらは体表面の電位分布から脳や心臓における電氣的活動を記録していますが、生体内部の信号源を推定するための空間的精度が低いという課題があります。

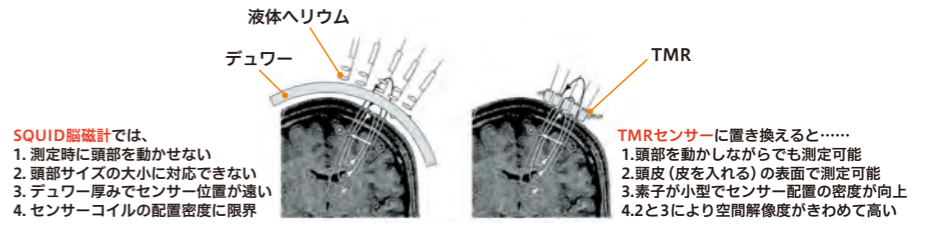
一方、脳や心臓の電氣的活動から生じる弱い磁場を記録するのが脳磁計や心磁計で、位置推定精度は脳波や心電図に比べ極めて高いことが知られています。しかし、これまでの脳磁計や心磁計では、磁場を検出するためにSQUIDという超伝導を用いたセンサーを使うため、冷却するために高価な液体ヘリウムを必要とし、装置も大がかりで限られた施設にしか設置できず、気軽に使えるものではありませんでした。そのため、室温で動作し、

かつ小型で身体に装着して測定できるセンサーの実現が望まれていました。

東北大学大学院工学研究科の安藤康夫教授らは、コニカミノルタとの共同研究で、ハードディスクの磁気読み取りにも使う高感度かつ高分解能のTMR(トンネル磁気抵抗)素子をセンサーとして用いて、脳活動の1つであるα波の検出に成功しました。このセンサーは、安価で、かつ室温で簡単に動作するので、気軽に使うことができます。また、心磁場の検出では信号を積算することなく、

リアルタイムで波形を観測することにも成功しました。室温で簡単に測定でき、かつ安価に提供できるため、虚血性心疾患や不整脈などの心疾患の診断に応用されればその診断精度が大幅に向上することが期待されます。

さらにTMR磁気センサーは、小型で低消費電力の特長も併せ持つことから、ウェアラブルデバイスへの応用が可能であり、ウェアラブル化によって応用範囲は格段に広がり、計測医療分野に大きな変革をもたらすと期待されます。



従来のSQUID脳磁計とTMR磁気センサーによる脳磁計の比較。

SQUID脳磁計では、  
1.測定時に頭部を動かさない  
2.頭部サイズの大小に対応できない  
3.デューワー厚みでセンサー位置が違い  
4.センサーコイルの配置密度に限界

TMRセンサーに置き換えると……  
1.頭部を動かしながらでも測定可能  
2.頭皮(皮を入れる)の表面で測定可能  
3.素子が小型でセンサー配置の密度が向上  
4.2と3により空間解像度がきわめて高い

## 4 開催報告

戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発(ALCA)

### 蓄電池研究の国家プロジェクト合同セッションを開催

地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出低減に向けた技術の1つとして、自動車の排出量削減と再生可能エネルギーを安定化するために、低コストで高性能な次世代蓄電池の開発が求められています。そのため、文部科学省と経済産業省は、蓄電池研究において合同のガバナリングボードを設置して、両省の事業で一体的、および効率的に運営をしています。

その一環として、昨年11月15日に福岡国際会議場で、上記ガバナリングボードに参画している国家プロジェクト(文部科学省・JST・NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構))合同のセッションを開催しました。本セッションは、世界最大級の電池分野の学会である第58回電池討論会(11月14~16日)の1つとして行われました。約1,000名の会場はほぼ満席となり、国家プロジェクトへの関心の高さが

うかがえました。JSTは、ALCA特別重点技術領域「次世代蓄電池」(ALCA-SPRING)から、領域概要の他、全固体電池、正極不溶型リチウム-硫黄電池、金属系負極を用いた革新電池の研究を紹介しました。

首都大学東京の金村聖志教授(ALCA-SPRING総合チームリーダー)の講演では、領域内で材料研究から電池に仕上げるという目的に向かって積極的な共同研究を進めていることや得られた成果が日本の利益となるような仕組みを

議論していることを紹介し、チーム一丸となって革新的な電池を社会に送り出す大型プロジェクトであることをアピールしました。

高エネルギー密度、高出力、長寿命、安全、および安価な蓄電池の開発が求められていますが、ALCA-SPRINGは、NEDO「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」に成果を提供するとともに、さらなる研究開発を進め、低炭素社会に貢献する新たな蓄電池を世に送り出していきます。



概要を説明する金村聖志(首都大学東京)総合チームリーダー。



会場の様子。



## 古川 正紘

大阪大学 大学院情報科学研究科 助教



神奈川県生まれ。2010年 電気通信大学大学院電気通信学研究所博士後期課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特任助教などを経て、14年より現職。「休日は1歳になる子供と思い切り遊んでいます。何を理解し始めたのか、子供の行動を見て推測するのも楽しいです」。左の写真で床に敷いているのは、実験用の歩行誘導シート。

## 心地よく歩けるインフラ技術の開発をめざす

初めて訪れた場所で、道に迷いストレスを感じたことはないでしょうか。知らない街でも通い慣れた道のように目的地へ歩くことができるシステムがあれば便利です。あるいは人が自然とお互いに避けて歩くような仕掛けが道にあれば、混雑緩和やトラブル解消に役立ちます。

私は、インフラや身に着けるデバイスなどにより、視覚的に歩行を誘導する技術の開発をめざしています。見る角度によって、しま模様が動いて見えるシートを床に敷き、シートの上を歩くと錯覚により自然に右側通行へ誘導されるというもので、日本科学未来館で来館者を対象に実験をしました。この結果を基に、今は誘導技術を洗練させたり、このような技術に対し人はどう感じるのかということを解析したりしています。

歩くことは無意識の行為ですが、錯覚を与えてから反応(右側歩行)するまでに2歩くらい、反応が遅れます。足を出す瞬間ではなく、外界を知覚して2歩先の運動を体は決めていて、それを再生しているのです。そこで機械学習を使って2歩先の動きを予測するような研究もしています。

## 人生観を変えた体験

これまでも感覚や錯覚と行動に関する研究をしてきましたが、興味を持ったきっかけは、大学の学園祭で男子学生の「ミス」コンテストに出場したことです。どうせなら本格的に、とすね毛を処理し、学園祭の間は、女性用の帽子にスカートという姿で過ごしていました。家に帰ってズボンにはきかえた時に、いつもの綿パンがビニールのレインコートを着ているように感じられました。すね毛が無いことで触覚が変わっていたのです。自分が感じている世界がたった1本の毛でこんなに変わるのかと衝撃を受け、2~3日、そのことばかり考えていました。普段、見たり聞いたりするもので世界観を作っていますが、触覚も価値観や人生観に強く関わっているのだ

と感じました。

ほんの少しの間、女装しただけで、座る時にはスカートがしわにならないように自然とお尻に手を添えたり、内また気味になったり、行動が変化したことも驚きました。その人らしい服、と言ったりしますが、服が行動をその人らしいものに誘導しているかもしれません。女装している自分の行動観察が面白くて自転車をこぎながら思わずフツと笑ったら、帽子を深々と被っていたので、すれ違った人たちに「あの女、怖え」と言われましたが、人生観が180度変わるような体験でした。

## 自分の興味に自覚的に

若い人には自分が何に興味を持つのかに自覚的になってほしいと常に思っています。そうすれば環境に左右されず、選びたい道を選べるようになるでしょう。選びたい道があることに気付かない人や選ぶことに関心の無い人もいますが、私には切なく映ります。

子供の頃、周りはサッカーや野球をする子が多かったのですが、興味を持たず、工作に夢中になっていました。参考書を買って電子工作やプログラミングにも挑戦していました。自分で考え、理解して作り上げていく時の集中力の高まった状態がとても好きでしたし楽しかったです。研究でも同じように感じています。周りの大人は「あるべき論」ではなく、その子の興味に関心を持って伸ばしてほしいです。

今後は、華やかさはなくても、ふとしたときに「無いと不便」、「あると心地よく過ごせる」、「誰が考えたんだろう」と思われるほど社会に浸透するものを生み出したいです。人が便利に心地よく使っているのを見られれば本望ですね。

編集協力：戦略研究推進部ICTグループ  
(TEXT：寺田千恵/PHOTO：吉田三郎(上))



弓道経験を生かしてアーチェリーに挑戦。

## 戦略的創造研究推進事業さきがけ

## 研究課題 「歩行の感覚統合過程モデルの構築と誘導手法への応用」

人の歩行を「意識せずに感覚と運動が統合される機能」と考え、神経生理学的実態により近い数理モデル化によって、歩行戦略という複雑な現象を運動予測に基づいた歩行誘導技術へと発展させていきます。これにより実時間で推定、予測するのみならず、歩行誘導と統合することによって、歩行者の動作意図に基づいた歩行誘導技術の実現をめざします。

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。

280  
古紙パルプ配合率80%再生紙を使用

JSTnews

February 2018

発行日/平成30年2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 ホームページ/http://www.jst.go.jp  
JSTnews/http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー