

JST news

未来をひらく科学技術

特集

2

February
2019

バイオリギング最前線 野生動物の行動に迫る



特集

03 バイオロギング最前線 野生動物の行動に迫る

04 高効率にデータ回収 回遊魚の群れを追う

07 生物の行動から 気象情報を予測

10 動物の習性を生かし ネットワークで情報収集

数字に見る科学と未来

12 涙で発電、血糖値を測る コンタクトレンズで健康管理

NEWS & TOPICS

14 重機のオールスターが大集合! 工事現場の内部を探索してみよう ほか

さきがける科学人

16 多分野連携は、まず相手を理解することから

立命館大学 理工学部
准教授
岡田 志麻



表紙解説

遠く深く動物を追い続けられる研究手法であるバイオロギング。各種センサーを搭載したデータロガー（記録計）を動物に装着して、体温や速度、位置の記録から、動物の知られざる生態を解明する。生物の多様性や生息環境を守るだけではなく、気象予測に役立つ環境データを集める新たな手段としても期待される。（写真提供：後藤佑介氏（左下）、木下千尋氏（右下））

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。

3 すべての人に健康と福祉を	9 産業と地域振興の持続可能な取り組み	11 住み続けられるまちづくりを
P12, 16	P4, 14(上), 15(下)	14(上)
12 つくる責任、つかう責任	14 海の豊かさを守ろう	15 陸の豊かさを守ろう
P12	P4, 7	P10

編集長：上野茂幸
科学技術振興機構（JST）広報課
制作：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井工文社

特集



バイオロギング最前線 野生動物の行動に迫る

ンギンはどこまで深く潜るのか。鳥はどれだけ長く飛び続けるのか。野生動物の調査は目視観察が基本だが、決して簡単ではない。動物の行動は人間が観測できる能力や範囲をはるかに超える。

遠く深く動物を追い続けられる研究手法として期待されているのが、バイオロギングだ。各種センサーを搭載したデータロガー（記録計）を動物に装着して、体温や速度、姿勢の変化を記録する。いわば「動物目線」で測定したデータから、人間の目では見ることのできなかった行動や生息環境を描き出す。

陸上動物に比べて観察が難しい海洋動物の研究者を中心に、技術は目覚ましく発展し、国際会議が開かれるまでになった。とりわけ日本の研究者の貢献は大きく、第1回シンポジウムは2003年に日本で開催された。「バイオ（生物）」と「ロギング（記録）」を合わせた和製英語は、今や国際的に認知され、野生動物の生態を解明するのに欠かせない計測技術となっている。

1960年代にアメリカの生物学者が南極のアザラシに水圧計を装着し、潜

水深度を計測した実験が、バイオロギングの始まりといわれる。当時のロガーはアナログ方式で、大きい上に約1キログラムと重く、装着対象はペンギンやアザラシ、ウミガメなど大型の海洋動物に限られていた。

1970年代に入ると、日本、アメリカ、ドイツの研究機関がけん引して、ロガーの開発が進んだ。大きな転換点となったのが、1980年代に国立極地研究所の内藤靖彦博士がいち早くデジタル式の記録装置を取り入れたことだ。

ロガーの中にはセンサーの他、データ記録用のメモリー、バッテリーが詰め込まれている。1980年代末から1990年代始めにかけて、電子技術の革新的な高度化により、ロガーは格段に小型化し、約10グラムと軽量のロガーも実現した。鳥類や魚類など小型動物にも装着可能となった。ロガーは動物に負担をかけないような形状や固定方法とし、重さは動物の体重の3～5パーセント以内に収めている。

センサーも多様化し、研究目的に応じて、カメラや圧力計、加速度計をロガーに搭載できるようになった。特に衛

星利用測位システム（GPS）によって、動物の移動をより正確に追跡できるようになったことは大きい。メモリーやバッテリーの大容量化も進み、ロガー1つで取得できるデータは一気に増えた。

1990年代後半に入ると、ロガーに発信機能を持たせ、衛星通信や超音波を活用した遠隔でのデータ回収システムが開発された。動物からロガーを回収しないとデータを得られないという問題を克服するものだ。バイオロギングの研究対象となる動物種は確実に広がりはつある。

バイオロギングは、独特な泳ぎ方や潜り方、餌の食べ方など動物の興味深い生態を解明するだけではなく、時にはこれまでの定説を覆してきた。得られた情報は、生物の多様性や生息環境を守るために欠かせない他、気象予測に役立つ環境データを集める新たな手段としても期待されている。

2月号特集は、最先端の科学技術を果敢に取り入れる勇気と、地道なフィールド調査に裏付けられたノウハウとアイデアで、バイオロギングの最前線に挑む研究者たちを紹介する。

（監修：北海道大学 宮下和士教授）

高効率にデータ回収 回遊魚の群れを追う

群れをなして大海原を泳ぐ魚類の生態を解明するには、多くの個体の高精度なデータが求められる。北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの宮下和士教授らは、低価格で高性能なロガーの大量放流と受信ネットワークを駆使して、データ回収率を高めた次世代型バイオロギング・システムを開発している。



みやもと よしのり
宮本 佳則
東京海洋大学
学術研究院海洋資源エネルギー学部門
教授
1996年 東京水産大学大学院水産学研究所
博士課程修了。博士(水産学)。2016年より
現職。

みやした かずし
宮下 和士
北海道大学
北方生物圏フィールド科学センター
教授
1996年 東京大学大学院農学生命科学研究
科博士課程修了。博士(農学)。2011年より
現職。13年よりCREST研究代表者。

きたがわ たかし
北川 貴士
東京大学
大気海洋研究所
准教授
2002年 東京大学大学院農学生命科学研
究科博士課程修了。博士(農学)。12年より
現職。

光や電波が届かない 海中の情報可視化

春告魚とも呼ばれるニシン。サハリンを回遊して、産卵のために北海道沿岸の浅瀬に押し寄せ季節もすぐそこだ。ニシンの体は細長く、体長は30センチメートル前後。その小さな体に装着できるロガーを開発し、産卵期の遊泳履歴を解明したのが、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの宮下和士教授だ。バイオロギングは「光も電波も届かない海中の情報を可視化して、海洋生態系の謎に答えを出せる強力な道具」と、その魅力を語る。
外洋を縦横無尽に移動する回遊魚を追いつけることは困難を極める。

「漁場周辺など特定の範囲の情報はありましたが、これまで広い海域をまたいで連続計測する手法はなく、漁場間の行動履歴は全くのブラックボックスでした」と、東京大学大気海洋研究所の北川貴士准教授は言う。
しかも回遊魚の多くは群れで移動する。「個体ではなく、集団としての魚の動きを定量的に把握するには、一度に多くの個体を計測できる仕組みが必要です」と、東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門の宮本佳則教授が力を込める。
相当な数のロガーの放流が必要となるが、水産研究で主流のロガーは高額だ。海洋を広く移動する魚の再捕率は低く、必然的にデータ回収数も少ない。これらの問題を克服し、「回

遊魚の群れの行動を解明して、水産資源の管理や環境保護にも役立てたい」と情熱を懸けるメンバーが集まり、宮下さんを中心に研究チームを結成した(図1)。

小型で高性能なロガー 低価格化に挑む

ロガーを装着した個体の大量放流には莫大な費用がかかり、自ずと放流数が制限される。ロガーの脱落や、装着した動物が帰還しないといった不測の事態も起こり得る。データを十分に回収できなければ、信頼に足る解析結果は得られない。
バイオロギング初期の研究対象がアザラシやウミガメだったのは、大き

なロガーでも取り付けられるという理由の他に、産卵期や繁殖期に同じ場所に戻ってくる習性があり、回収しやすいからだ。「何十万、何百万円もの研究費を、ロガーが1つも戻ってこないかもしれない再捕率の低い動物に投資するのは、大きなリスクを伴います」と宮下さん。

性能や品質が既存品と同じで、低価格なロガーを量産化できれば、大量放流を実現して回収数を増やせるのではないかと。国内メーカーの協力を得て、水深は既存品と同等で、水温への追従性がより優れたロガーの開発に成功した(図2)。

「1万7000円と、既存品の3分の1まで抑えることができました。最終的には10分の1の価格を目指します」と宮下さんは意気込みを語る。

低価格ロガー以外にも、メモリーやバッテリーの大容量を実現したり、多様なセンサーを搭載したりするなど、既存品を上回る高性能なロガーを開発している(図3)。いずれも既存品より小さく、これまでロガーの装着が困難だった小型魚への適用も可能となった。

魚の再捕率の低さを克服 他個体ロガーとデータ共有

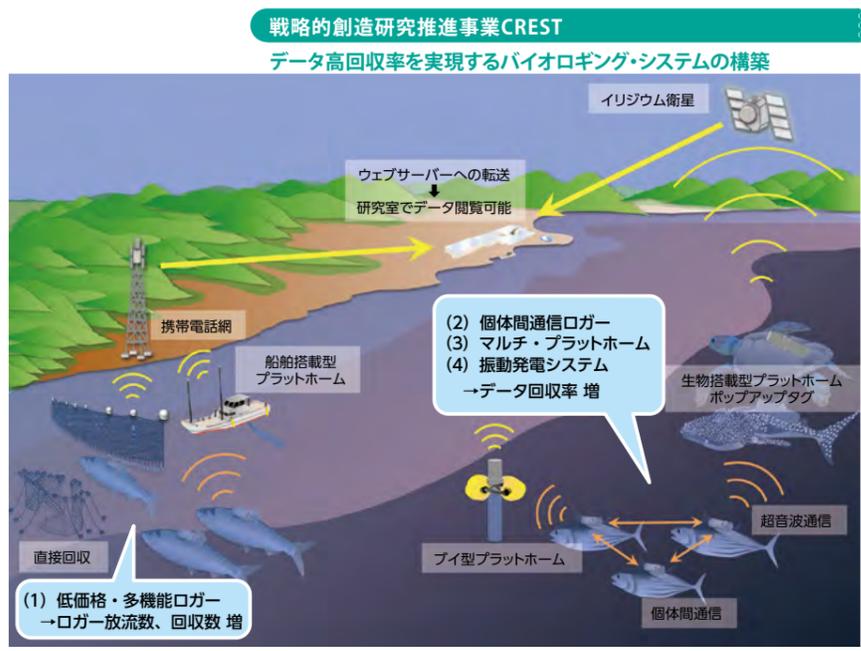
ロガーを装着した魚の再捕率は、魚種にもよるが数パーセントから20パーセントと低い。ロガーの回収が難しいならデータだけを回収すればいいと、個体間通信ロガー「InterFish



■図2 既存品の3分の1の価格帯まで抑えた小型の水温・深度ロガー。これまでに1000機を作製し、実証試験に活用している。



■図3 開発したロガーの数々。9つのセンサーを搭載した多機能ロガーは環境情報と生体情報を同時に取得できる。ピンガー(超音波発信機)とピンガーロガー、インターフィッシュは、たくさんのピンガーから届く受信機の情報一度に受信できる原理を採用し、受信率が飛躍的に高まった。既存品では全ての情報を同時受信できなかった。



■図1 次世代型バイオロギング・システムの概要。データ回収率を向上させるため、従来よりも低価格なロガーを作成した。さらに超音波技術を活用してロガー自体に通信機能を持たせ、それらを遠隔で受信することに成功した。

(インターフィッシュ)」を開発した。従来のロガーでは、装着された個体の情報しか入手できないが、隣接する他個体のロガー間で通信を可能とした。

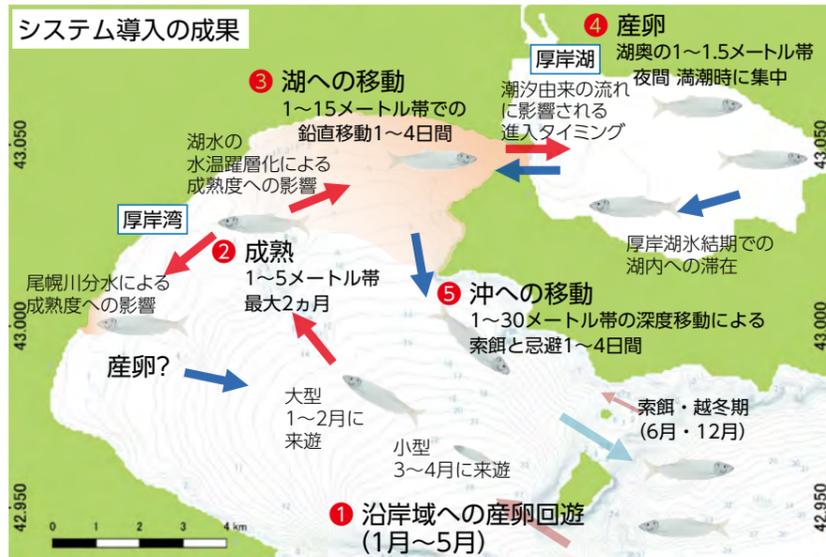
個体間通信システムの基盤技術の開発に取り組んだ宮本さんはこう語る。「魚同士が遭遇した時に、位置情報や深度、水温、遭遇個体数、遭遇時間など、互いのデータを記録するので、群れとしての行動の把握につながります」。

岩手県・大槌湾でサケ10尾にインターフィッシュを装着したところ、母川帰帰で来遊した7尾を再捕獲できた。北川さんがこう説明する。「従来であれば再捕獲できなかった3尾のデータは

ゼロですが、7尾のロガーを介してデータを取得できたので、データ回収率は実質100パーセントとなりました」。

リアルタイムに遠隔受信 実証実験で回収率向上

ロガーを回収できない場合でも、データを高い確率で取得するため、マルチ・プラットフォーム対応の受信機を開発した。受信機が回収したデータは、外洋からはイリジウム衛星通信、沿岸からは携帯電話網を介して、ほぼリアルタイムで研究者に転送される。受信機を回収する手間や費用がかからないのが利点だ。

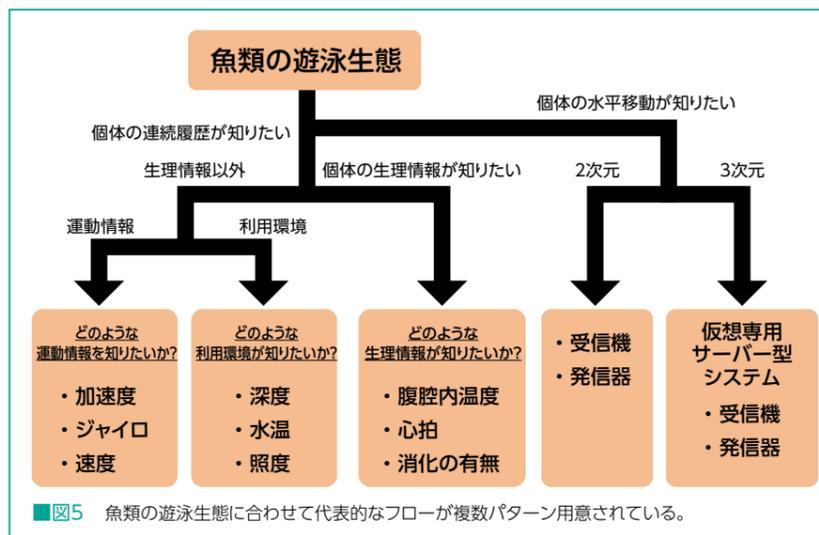


■図4 北海道厚岸湾でのニシンの調査結果。昼間は深度3~4メートルの底層に留まるが、夜は1~2メートルの表層を泳ぐ。成熟するまでは湾に長期間滞在し、夜間に頻りに移動する。その後、4~8度の水温を経験しつつ、鉛直(垂直)移動を繰り返して産卵場となる湖へ進入した。産卵は湖奥の水深1~1.5メートル帯、夜間の満潮時に集中していた。産卵後は短期間で沖に分散した。個体群の来遊傾向、個体の成熟度ごとの詳細な回遊特性も明らかになった(富安信 2018 北海道大学博士論文の図に基づき作成)。

マルチ・プラットフォームは海洋ブイ型と船舶搭載型の2種類が開発されている。海底に固定するブイ型は定点で受信するのにに対し、漁船などの船舶搭載型は魚を追って動けるので広域で受信可能だ。船舶の電源を利用するのでバッテリー残量の心配もない。

開発したロガーやデータ回収システムの実用性を、北海道厚岸湾に来遊したニシンの行動調査で検証した(図4)。ニシンが泳いだ水深と周囲の水温の測定に成功するとともに、ロガー回収率が約14パーセントに対し、データ回収率は約47パーセントと大幅に向上した。従来と同額予算でデータ回収率が3~5倍も向上すると期待される。

沖縄県・与那国島周辺では、400匹近くのカツオで実証実験を行っている。



■図5 魚類の遊泳生態に合わせて代表的なフローが複数パターン用意されている。

る。沖合で泳ぐカツオはデータの回収がさらに困難で、ロガー回収率は約3パーセントだったが、データ回収率は約50パーセントを実現した。魚類としては驚異的なデータ回収率といえる。

研究ガイドライン作成 目指すは世界標準

開発したロガーは、全国の8つの水産試験場や民間企業で、各地の魚類などの調査に利用されている。「研究者の要望や調査結果を聞いて、細部まで配慮が行き届いたシステムに改良したい」と宮本さん。バイオロギング研究の発展や普及への貢献を目指す。

北川さんが中心となって作成しているのが、研究者向けのガイドラインだ。対象とする魚種の生態、研究目的や予算に応じて、システム導入案を提示するもので、近く冊子媒体やウェブサイトでの公開を予定している(図5)。ロガーの装着方法などを詳細に説明する動画コンテンツも充実させる。「アイデア次第でユニークな研究ができます。ぜひ技術を使ってみて、バイオロギングの面白さを知ってほしい」と北川さん。

「野外での実証実験が成功した時は感動に震えました」と宮下さんが続ける。「この喜びを多くの研究者と共有するためにも、次世代型バイオロギング・システムを世界に先駆けて魚類で標準化したい。野心的で挑戦的な試みですが、きっと道が拓けると確信しています」。

生物の行動から 気象情報を予測

バイオロギングで得られたデータから、動物の行動や生態のみではなく海洋の状態(海況)を知ることはいかにできないか。そんな驚きの発想で、海洋生物の行動に関するデータから生息環境の情報を推定し、その情報を気象のシミュレーションに活用しようという意欲的な試みが、東京大学大気海洋研究所の佐藤克文教授を中心に進められている。



さとう かつふみ
佐藤 克文

東京大学
大気海洋研究所 教授

1995年 京都大学大学院農学研究科博士課程修了。博士(農学)。京都大学研修員、日本学術振興会特別研究員、国立極地研究所助手、東京大学大気海洋研究所准教授を経て、2014年より現職。16年よりCREST研究代表者。右手に持っているのがオオミズナギドリに取り付けるロガー(下図)。



海鳥の飛び方を調査 外洋の風情報が不足

バイオロギングの調査対象はロガーを取り付けやすく、回収しやすい大型生物に限られていたが、小型軽量化といったロガーの進化により、近年は小型生物にまで調査が広がっている。しかし、バイオロギングの歩みはそれだけに留まらない。今や応用を見越した実用的な研究も始まっている。

東京大学大気海洋研究所の佐藤克文教授らの研究チームも、バイオロギングを発展させた研究を進めている。

佐藤さんはバイオロギングのパイオニアの1人で、研究分野として確立される以前から研究に取り組んできた。1989年に大学の卒業研究で行ったウミガメの調査を皮切りに、ペンギ

ンやアザラシなどさまざまな野生生物の調査にバイオロギングを取り入れてきた。その研究は一貫して野生生物の生態解明を目指していたが、近年は海洋環境を捉える技術としてバイオロギングを応用しようとしている。こうした研究に取り組むことになった背景には、オオミズナギドリという海鳥の調査があった(図1)。ほとんど羽ばたくことなく、羽を広げて海面上の横風を利用する「滑翔」という飛び方が特徴だ。

「風の影響を強く受けるオオミズナギドリの飛び方を理解するには、外洋でどのような風が吹いているかを知る必要がありました。ところが、いざ調べてみると外洋の風についての詳細なデータがなく、がくぜんとしたのです」と当時を振り返る。

大学院生の一言で発想を転換 生態の理解から海況の推定へ

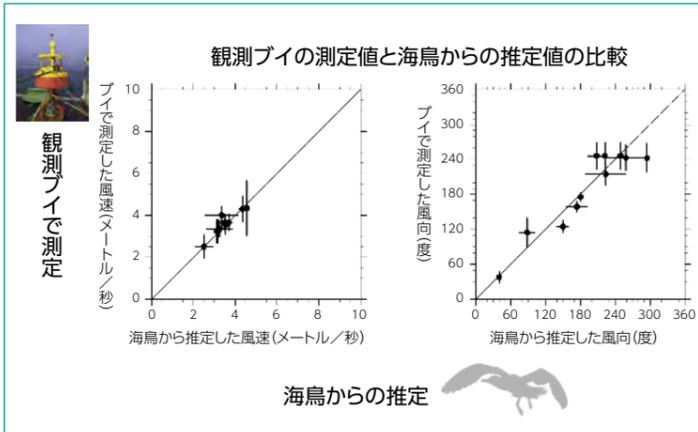
外洋に吹く風は人工衛星から観測されているが、はるか上空からの観測ゆえに、正確な風向、風速を測定するのは難しい。陸地から遠く離れた外洋上では、観測装置を設置することも



■図1 GPSを取り付けたオオミズナギドリ(撮影:後藤 佑介氏)



■図2 調査船・新青丸でオオミズナギドリを沖合まで運び放鳥。えい航する観測ブイで計測しながら、追いかけていく。



■図3 調査船がえい航した観測ブイによる実測値と飛行データからの推定値の比較。風速、風向き共に良く一致している。

ままならず、これまで大まかな海況データしか得られていなかった。

衛星利用測位システム(GPS)を取り付ければ1秒単位で飛行データを得られるにもかかわらず、風の情報が曖昧ではオオミズナギドリの飛び方の理解が進まない。しかし、ある大学院生の一言で、佐藤さんの研究は新たな展開を迎えることになった。

「研究方針を話し合っていた時に『トリの飛行データには風の情報が含まれていますよ』と言われ、風のデータを使って飛び方を解き明かすのではなく、飛び方から風速や風向きを推定できないかと思ひ付きました」。

巣に戻る場合など、オオミズナギドリは目的地に向かって真っすぐに飛んでいくはずだが、GPSで捉えた飛行ルートは細かく見ると蛇行している。研究チームはそこに風の影響を見て取ることができると考え、外洋に吹く風の推定に着手した。

生物の生態を理解するために利用されてきたバイオロギングを、生物の行動を介して環境を理解するために用いる。大きな方針転換だったが、このアプローチが異分野の研究者から注目されることになる。陸上では多くの観測機器が設置されているが、外洋の観測機器は不足していて、研究や気象予測に使える環境データが限られていたからだ。

「オオミズナギドリの飛行データから風速や風向きを推定できると紹介すると、気象学や海洋物理学の研究者が

らの反響が大きく、ぜひ利用したいとお話をいただきました」と語る。

飛行データを実測値で検証 潮流や波高の推定も可能に

研究や気象シミュレーションに利用するには、飛行データが海況を正確に反映していることを確かめる必要がある。佐藤さんらは、オオミズナギドリの飛行データから推定される風データの精度を検証している。

三陸沿岸の繁殖地に飛来したオオミズナギドリを捕獲して、GPS装置を取り付ける。100キロメートル沖合まで運んで放鳥し、繁殖地まで戻るとの飛行データを取得する。その際、調査船で鳥を追いかけてながら、観測ブイで風速や風向きを計測するのだ(図2)。飛行データからの推定値と実測値を比較すると、実用レベルの高

い精度で風向、風速を推定できることが確かめられた(図3)。

「オオミズナギドリは飛翔の合間に海に浮かんで休憩することもあります。ロガーに蓄積されたデータを解析すれば、風だけでなく、潮の流れや波の高さも推定できると考えています」と佐藤さんは期待を寄せる。

ウミガメの潜水を利用 海の深部の水温を測る

海況データを気象予測に用いる上では、温度情報も重要だ。海面の水温だけでなく深度ごとの水温データが加われば、より高精度な気象予測が可能になる。しかし、海面の水温については、人工衛星によってある程度正確に測定できているが、水面下の水温は人工衛星からは測れない。

そこで利用したのが、三陸沿岸に

回遊してくるアカウミガメだ。クラゲなどを食べるウミガメで、深度100メートルまでなら頻りに潜り、時には300メートルまで達することもある。

佐藤さんらは定置網に紛れ込んで捕獲されたアカウミガメに人工衛星へ電波を送れるロガーを装着し、潜水した際の深度データと水温データを取得(図4)。このデータを既存の観測網で得られたデータに加えて水温の数値計算を試みたところ、カメのデータを加えない場合に比べて、初期値の精度が向上した(図5)。

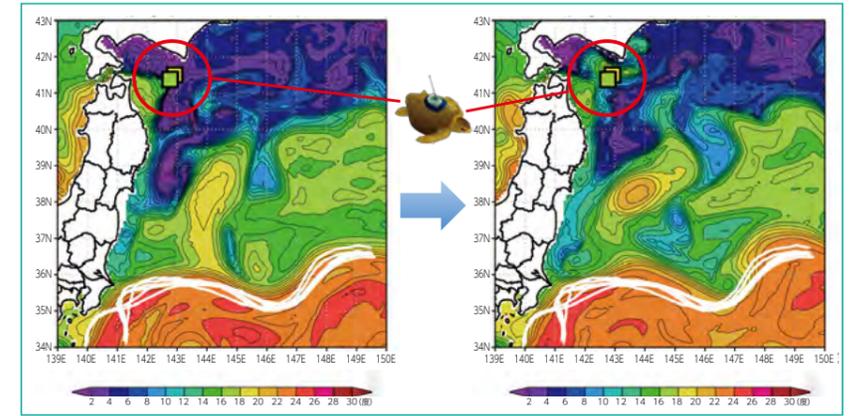
佐藤さんは「海を漂う観測ブイと違い、ウミガメは餌となる水産資源が豊富な場所へ移動し、データを集めます。このデータを使えば、漁師さんたちにとって重要な漁場の気象予測の精度が向上するのです」と利点を説明する。

生物による観測網を提案 多様な情報の取得を目指す

今後は、対象生物やセンサーの種類を広げ、より多様なデータの取得を検討している。風や水温、波、潮の流れなど得られる海況データが多様になれば、気象予測などの精度向上にも役立てられるはずだ。そう考え提案したのが、海洋生物による観測網「サイバーオーシャン」だ(図6)。生物が収集する環境データによって、気象の将来予測の精度向上を目指す計画だ。現在は、その実現に向けた研究を進めている。

「今は立ち上げ期での試みですが、広範囲をカバーするには、もっと大規模に取り組むたい。CRESTでの研究が、そのきっかけになればと考えています」。

これまでに得られている海鳥やウミガメの研究結果から、気象分野でのバイオロギングデータの有用性が示されている。いまだ研究段階にあるため、ロガーを装着された個体数は少ないが、今後より多くの海洋生物に多様なロガーを装着していけば、「サイバーオーシャン」が確立するに違いない。



■図5 深度50メートルの水温分布。既存の計算結果ではウミガメから得られた実測値(赤丸内の四角)と一致しない。ウミガメデータを加えて再計算すると矛盾が解消し、他の海域も修正される。左はカメのデータを加える前。右はカメのデータを加えた後。

動物を調べる研究から 動物に教えてもらう研究へ

佐藤さんはバイオロギング研究を、動物を調べるというより「動物に教えてもらう手法」だと話す。研究者がテーマを想定して挑んでも、動物が研究者の希望通りのデータを集めてくるかはわからない。収集したデータによってはテーマ自体を再考することも。予想外のデータを見た時に、「こちらの方が面白いからテーマを変えよう」と思える柔軟性が重要だ。

「研究テーマは動物に決めてもらうという側面がありますから、思い通りにならないことも多い。当初は研究者人口がなかなか増えませんでした。今は若い研究者も参入してきました。測定機器の発展も研究を後押し

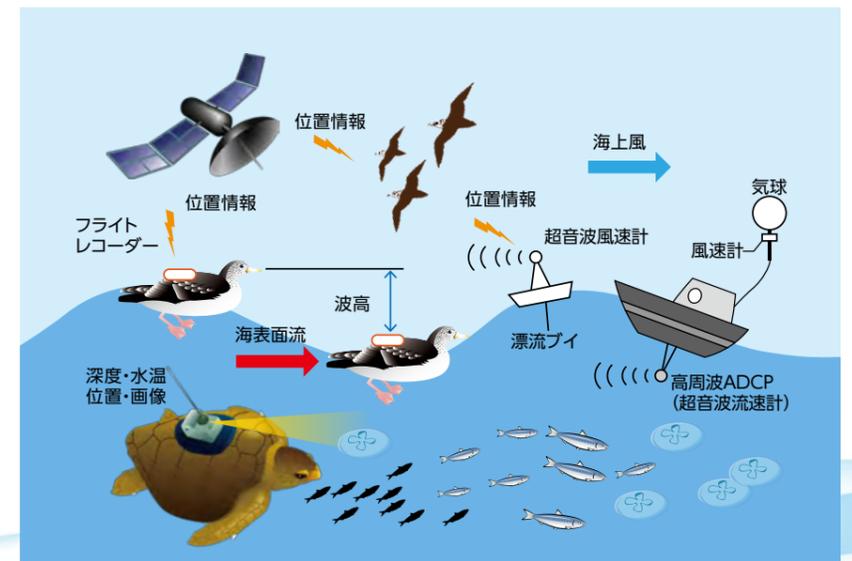
してくれています」と分野の状況を説明する。

1989年に研究を始めてから「何の役に立つのか」と言われるなど悔しい思いもしたが、30年経った今では当たり前的手法になりつつあり、気象学など異分野との連携も始まった。

「使用者が増えれば、使い道が広がるだけでなく、得られるデータも膨大になります。モノのインターネット(IoT)ならぬ、動物のインターネット(IoA)です。動物の力を借りることで、生物学はもちろん、異分野研究でも役立つ知見が得られるはずですよ」と熱を込める。今後は動物の負担を減らす工夫や、データ公開ルールの整備やデータフォーマットの統一などにも取り組み、誰もが使える手法としてさらなる普及を目指していく。



■図4 人工衛星対応型電波発信器を装着したウミガメ(撮影:木下 千尋氏)



■図6 ロガーを海鳥やウミガメに装着し、データを収集することで、海洋のさまざまな情報を入手できる。

動物の習性を生かし ネットワークで情報収集



バイオリギングの課題の1つが、動物に装着したロガーで取得したデータをいかに回収するかだ。これに対し、東京大学空間情報科学研究センターの小林博樹准教授は、動物の習性を上手に利用することによって、効率的かつ低エネルギーで多数の個体のデータを集めようと試みている。



重なり合う縄張りを利用 効率よくデータを回収

バイオリギングの研究は、データを回収できなければ成立しない。このため、再捕獲が難しかったり、生息地域まで無線通信が届かなかったりとデータ回収が困難な動物の研究は難しい。データ回収の効率向上を目指す研究は回遊魚などでも行われているが(4ページ参照)、東京大学空間情報科学研究センターの小林博樹准教授が対象としているのは陸上の動物だ。森林などに暮らす野生動物の習性を利用して「動物間ネットワークシステム」を提案している。

小林さんはこう説明する。「野生動物の縄張りは重なり合っていて、隣接

する縄張りの個体同士が接触することがあります。この接触の際にそれぞれのロガーのデータを送受信し、ネットワークを構築するのです」。

小林さんが考えているシステムは、野生動物の生息地と人間の生活圏の境界にデータを受信する基地局を設置して、データを回収しようというものだ。縄張りの境界で頻繁に起こる個体同士の接触の際に、個体間でデータを送受信する。これを何度も繰り返していけば、深い森の中にすむ個体から基地局付近にすむ個体へ、さらに基地局へとパケツリレーのように情報が受け渡される。このような動物間ネットワークを構築することで、動物の再捕獲なしで、幅広い領域に生息する複数個体のデータが収集可能になる(図1)。

こばやし ひろき
小林 博樹

東京大学 空間情報科学研究センター
准教授

2010年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。09年 日本学術振興会特別研究員。11年 北陸先端科学技術大学院大学特任研究員、12年 東京大学空間情報科学研究センター特任助教。その後、同助教、同講師を経て、17年より現職。15年よりさきがけ研究者。

出合った時だけ送受信 省電力で長期記録を可能に

ただし、こうした動物間ネットワークシステムを従来の無線通信で実現する場合、常に電波を発信し続けるため、電力消費は増大してしまう。装着の手間を考えるとロガーは長期間使いたいが、安易にバッテリー容量を大きくすると重くなり、動物に負荷がかかる。そこで小林さんが考えたのは、常に電波を発信するのではなく、データの送受信時にだけ、電波を発する技術だ。

「動物は他個体と遭遇した時に、特徴的な反応を示します。人間も街中で思いがけない相手とすれ違ったら、驚いて振り返ったりします。こういった特徴的な動きを加速度センサーで検知

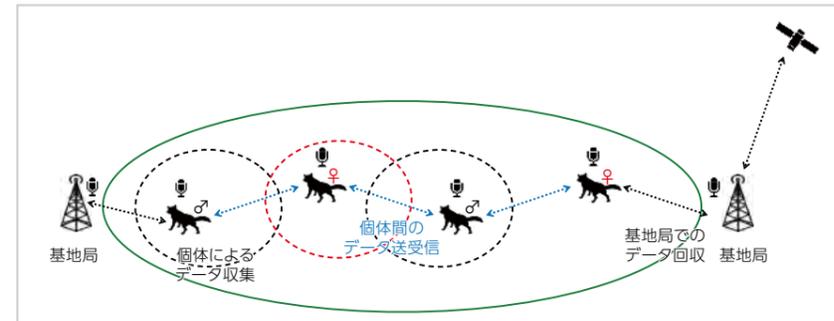


図1 動物間ネットワークシステムの概念図。縄張り(点線)内では各個体が収集したデータを、他の個体と遭遇した際に送受信するシステムを設け、基地局に近付いた際にまとめて回収する。

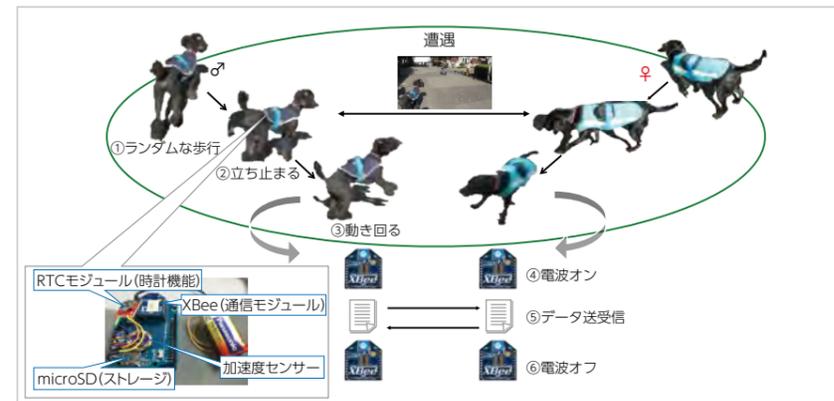


図2 イヌが散歩中に別の個体に遭遇すると、いったん立ち止まり、その後、相手を確認するため動き回る。この動作をした時にだけデータを送受信すれば、消費電力を大幅に抑えることができる。

した時だけ電波をオンにすれば、電力消費を大幅に抑えられるでしょう」と説明する。

小林さんはこのアイデアの実用性を、イヌを対象にした実験で確認している。学生と共に行った実験では、獣医師の指導の下、過度なストレスが加わらないように配慮しながら、加速度センサーを組み込んだロガーをイヌに装着。散歩中に別のイヌに出合った時に見せる、一瞬静止して確認のため動き回る動作を検出した時にだけ電波を発するようにした。

散歩中に2頭のイヌが接触する状況を作り電気の消費量を調べると、接触時のみの通信では電波を発し続ける方式に比べて95パーセント以上も電力消費を抑えることができた(図2)。動物の行動をうまく利用することで、大幅な省電力化が可能だと確かめられたのだ。

動物を基地局へ誘導 無線での給電を目指す

今後は野生動物への応用も期待されるが、別個体に出合った時の反応は種によって異なる。イヌと同じシステムを、そのまま別の動物に適用できるわけではない。

「イヌ用のシステムをウシに用いてみましたが、うまくいきませんでした。そこで、動物行動の研究者とともに、動物種に適した接触検出システムを開発中です。行動に関する仮説が実証できると、嬉しいですね」と現在の取り組みについて語る。

小林さんは、野生動物の習性を利用してバイオリギングシステムをさらに高度化することも検討している。動物をうまく基地局に誘導してデータ回収の確度を上げると共に、無線で給電ができないかと考えているのだ。

例えば、ネコ科の動物は狭い場所を好み、箱があると入ろうとする習性を持つ。ネコ科動物の調査にバイオリギングを用いるなら、データ読み取り機や無線給電技術を組み込んだ箱を基地局として設置し動物を箱の中に誘導することで、データの回収、ロガーへの充電が効率よくできるかもしれない。

小林さんが生態学と出会ったのは、高校を卒業した頃だ。進学せずに趣味の一環として西表島の森にマイクを設置し、環境音をネット配信していたところ、「鳴き声の情報」から生態や行動を調べる研究者と知り合い興味を持った。好きだったシステムの知識や工学的な視点が活かせることに気づき、体系的な知識を身に付けようと大学に進学したという。型にはまらず、興味のあることに取り組む小林さんの姿勢が、現在の研究にもつながっているのだろう。

野生動物の習性を解き明かすために用いられるバイオリギング。小林さんは解明済みの習性を上手に利用してバイオリギング技術をさらに高度化するというユニークな発想で、動物の生態解明を加速しようとしている。



数字に見る 科学と未来 Vol.6

涙で発電、血糖値を測る コンタクトレンズで健康管理

日常的に身に付けて血圧や心拍数などを測定するウェアラブルセンサーは、健康管理に有効なツールとして期待されている。名古屋大学大学院工学研究科の新津葵一准教授は、涙に含まれる極微量のグルコースで発電し作動する0.6ミリメートルの血糖センサーを開発した。

身近な人を 病気から守りたい

「糖尿病を患っていた祖母を見て、健康管理の重要性を感じていました。日々の健康管理に、自分が研究している回路技術を役立てられないかと考えたのです。世界最小クラス、0.6ミリメートル角の発電・センシング一体型血糖センサーを開発した名古屋大学の新津葵一准教授は、開発のきっかけをこう話す。

糖尿病では血糖値(血液中のグルコースの量を示す値)を下げるインスリンというホルモンが十分に作られなかったり、うまく働かなかったりして、血糖値が下がらなくなる。このため、糖尿病の治療や予防には、血糖値を継続して計測・観察し、コントロールしていくことが重要だ。現在は指先に針を刺して自己採血する方法が一般的だが、痛みや手間を考えると数時間ごとの計測が限界だ。

一方、近年は血糖値の変化を連続的に観察する重要性が指摘されている。数時間おきの測定では見落とされる睡眠中などの高血糖や低血糖を発見できるだけでなく、どのような時に血糖値が上がるのかを生活習慣と照らし合わせて知ることでもできるからだ。例えば、野菜から食べ始める方がご飯から食べるよりも血糖値が上昇しにくいといった知見は、連続モニタリングによって得られたものだ。

利用者の負担を軽減し 連続モニタリングを目指す

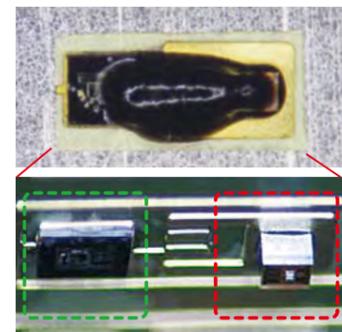
しかし、連続モニタリングはそう簡単ではない。「血糖値の変化を詳細に調べて予防や治療に役立てるには、10~15分に1度といった頻度での測定が望ましいのですが、痛みを伴う従来の方法では難しい。予防医療に利用するには、手軽さと低価格化が必要です」と新津さんは指摘する。

腕や腹部に細い針型のセンサーを刺して固定し、2週間連続でモニタリングできる装置も開発されている。しかし、日常的に使用するには、値段が高い。そこで新津さんが目を付けたのが、涙だった。

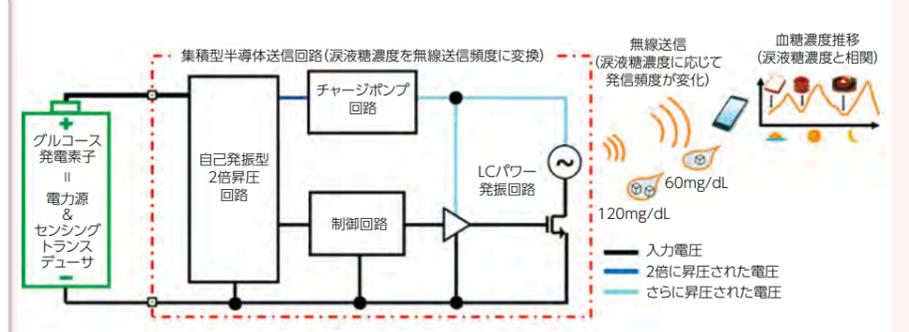
グルコースは血液の他、尿や唾液、汗、涙などにも含まれる。涙中のグルコースは血液中と比べ微量だが、血糖値と比例して変化する。食事などにより濃度が上下し、糖尿病の人では高くなる。コンタクトレンズ型のセンサーで涙に含まれるグルコース濃度を測れば、利用者の負担が少ないだろうと考えた。

「これまでもコンタクトレンズ型のグルコースセンサーは研究されていましたが、発電ができないため給電用眼鏡の着用が必要です。自分の専門である回路技術を生かせば、発電装置とセンサーを小型化し、コンタクトレンズだけで使えるようにできると考えました」と説明する。

■図1
コンタクトレンズに取り付けられたセンサーの試作機。



試作機の左側が0.6ミリメートル角のグルコース発電素子、右側が約0.4ミリメートル角の送信回路。グルコース発電素子が電力源とセンシングを行い、送信回路がグルコース濃度を無線送信頻度に変換、送信する。



■図2
血糖値測定のイメージ図。血糖値(血液中のグルコース濃度)が高くなると、発電量が増え、無線発信の頻度が多くなる。それを生かして血糖値の変化をモニタリングする仕組みだ。発信された電波を受信する装置についても検討中だ。



にいづ さいいち
新津 葵一
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授
2010年 慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。博士(工学)。同年 群馬大学大学院工学研究科助教を経て、12年より名古屋大学大学院工学研究科講師。18年より現職。15年よりさきがけ研究者。

回路技術と半導体技術で 低電力化と小型化に成功

開発当初の回路は、グルコースで発電して、その電圧で濃度センサーを動かす設計だった。しかし、さきがけ報告会での「この回路は発電しているのか、センシングしているのか、よくわからないね」という研究総括の発言から、発電とセンシングの一体化を思い付いたという。

グルコース発電では、発電量はグルコース濃度によって変化する。つまり、発電量をセンシングの信号として利用できれば、わざわざグルコース濃度センサーを動かす必要がない。より単純な回路になり、省電力化と小型化が容易になる。

「難しかったのは、グルコース発電をはじめ、必要な回路を固体素子上に作るための回路設計でした。回路の微細な加工には既存の半導体技術を利用できます。しかし、発電やセンシング、発信などを一体化して行う回路は既存の半導体には存在しません。このため、半導体の製造プロセスを利用できる回路を、新たに設計する必要があったのです」と振り返る。

開発した試作品に組み込まれた世界最小クラスのグルコース発電素子は、鉛筆の先端ほどの大きさのチップで、発電とセンシングができる(図1)。

また、涙に含まれるグルコースでの発電量は1~数ナノワット(ナノは10億分の1)とごくわずかだ。そのため、センサー回路の省電力化が実用化への大きな鍵となる。試作品では、従来の1万分の1程度の0.27ナノワットで動作する無線送信機回路を実現した(図2)。単3乾電池でこのセンサーを約2億個動かせるほど省電力だ。

試作品完成で広がる可能性 ペットで実績を積み実用化へ

試作品を発表したことで、企業や他分野の専門家との共同開発の道が開け、実用化に向けた検討が始まっている。重要な課題が安全性だ。センサーには金属成分が含まれているため、金属が溶出しないようレンズで挟み込むといった工夫が必要一方で、涙に含まれるグルコースがセンサーに触れなければ検知できない。安全な素材選びや装着感の少ない搭載方法など、コンタクトレンズメーカーと共同で研究を進めている。

「試作品で性能を示したことで、企業が一緒に考えてくれるようになりました。安全性だけでなく、精度の向上、データの読み出し方法なども今後の課題ですが、電池技術者などとも協力

して開発していく予定です。今はスタート地点で、これからが本番です」と意気込む。

人での実用化には動物実験や臨床試験、国の機関からの認証などが必要で、まだ道のりは長い。そこで、まずは糖尿病が問題となっているペットでの実用化を目指している。人用よりも認可にかかる時間が短くて済むことから、ペットで実際に使用して実績を積み重ね、人での実用化を狙う。

専門である回路だけでなく、専門外である電池にも取り組んだことが今回の成果を生んだと新津さんは話す。「自分の専門だけでは、視野領域も狭まりますし、新しい発想も湧きにくい。可能性も小さくなります。必要に応じて専門家の力を借りながら、『社会から求められていることは全部やろう』という姿勢で取り組んでいきます」。



新津さんの研究室には回路研究のためのモニターが並んでいる。



イベント 日本科学未来館

重機のオールスターが大集合! 工事現場の内部を探索してみよう

日本科学未来館(東京・お台場)では2月8日(金)~5月19日(日)まで、企画展「『工事中!』~立ち入り禁止!重機の現場~」を開催します。普段立ち入ることができない工事現場の内側を紹介する企画展です。

人類は、はるか昔から工夫を凝らして重機を開発し、土地を切り開き、建物や基盤を造ってきました。現代でも、私たちが、より安全で快適な生活を送れるように重機が工事現場で活躍しています。また、自然災害の現場でも、重機は早期の復興に欠かせない道具の1つです。

本展では、整地や建設、解体といった工事現場の工程ごとに、最新のブルドーザやホイールローダなどの実機を展示。大型クレーンの運転席や解体現場

で活躍する油圧ショベルのアタッチメントを間近に見ながら、工事現場の世界が体感できます。他にも、軽くて丈夫な炭素繊維などの新しい素材を取り入れた技術開発も紹介します。さらに、ゴーグルを着けるだけで地中に埋まっているガスや水道管などのライフラインの位置や大きさがわかる工事システム、重機

を宇宙へ運ぶことを目指した技術開発から生まれた軽量の建築機材など、新しい科学技術から見てくる未来についても考えます。

子供から大人まで誰もが楽しめる展示となっています。掘れば掘るほどあふれ出る重機の魅力を、たっぷり堪能してください!



Cat®910Mホイールローダ【キャタピラー】



研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」
研究課題「エビゲノム制御ネットワークの理解に基づく環境ストレス適応力強化および有用バイオマス産生」

DNAの折りたたみ構造の調節による 植物のDNA損傷軽減メカニズムを発見

DNAは細胞核の中で折りたたまれた構造をとっています。エビゲノム制御は、そのDNAの折りたたみ構造を弛緩や凝縮させることができるメカニズムです。

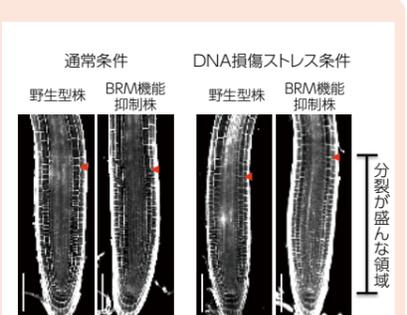
折りたたみ構造が緩んでいるDNA部分は損傷を受けやすく、一方で、構造が凝縮している部分は損傷を受けにくいことがわかっています。植物は紫外線や土壌に含まれる過剰な元素などの環境ストレスによってDNA損傷を受けることが知られています。このようなDNA損傷は植物の成長を阻害し、農作物の収穫に悪影響を及ぼすため、対策が求められています。

東京理科大学理工学部の坂本卓也助教、松永幸大教授らは、エビゲノム制御

たんぱく質を変化させることで植物のDNA損傷を軽減できることを発見しました。研究グループは、DNA損傷を引き起こす過剰なホウ素をモデル植物であるシロイヌナズナに処理すると、DNAの折りたたみ構造が弛緩してDNA損傷が増えることを見つけました。そこで、DNAの折りたたみ構造の弛緩を維持するBRAHMA(BRM)と呼ばれるエビゲノム制御たんぱく質に注目しました。過剰なホウ素条件下では積極的にBRMが分解されることがわかりました。そこで、このBRMの量を減らしたシロイヌナズナ株を作製して調べると、DNA損傷を受けにくいことがわかりました。

今回の発見は、エビゲノム制御を通じたDNA損傷への対処方法の確立につ

ながると考えられ、環境ストレス適応力を強化した農作物の開発に貢献できると期待されています。



BRMの機能を抑制するとDNA損傷ストレス条件における根の発達が改善する。矢印(赤色)は、分裂が盛んな領域の境界を示す。DNA損傷ストレスがかかると野生株では分裂が盛んな領域は縮小するが、BRM機能抑制株では分裂が盛んな領域の縮小は見られない。



研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」
研究課題「多色同時撮像観測と高精度解析による第二の地球たちの探査」

「第2の地球たち」の発見に期待 多色同時撮像カメラMuSCAT2を開発

米国は2018年4月、非常に視野の広いカメラを搭載した衛星「TESS」を打ち上げました。今後2年間で全天の80パーセント以上の領域を観測し、太陽系に距離が近い惑星系を数千個発見すると見込まれています。しかし、惑星が主星の前を通過する「トランジット」という現象で発見された惑星候補には、本物の惑星だけではなく、恒星が別の恒星の前を通過する食連星という偽物が混ざるため、惑星と食連星を効率的に見分けることが課題となっていました。

東京大学大学院理学系研究科の成田憲保助教らは、可視光から近赤外光にかけての4色で同時に天体の明るさの変化を観測できる多色同時撮像カメラMuSCAT2を開発しました。MuSCAT2

はTESSで発見された惑星候補が、本物かどうかを判別する観測装置です。研究チームはこの装置の性能を調べるため、実際に既知の惑星のトランジットを観測しました。さらに、地球の大気や検出器に由来する系統的変動を取り除くため、ガウス過程という統計手法を取り入れた解析を行いました。その結果、MuSCAT2が世界最高レベルの測光精度を4色で同時に達成できることを実証しました。

現在、24時間連続で多色撮像観測ができる体制の確立を目指して、3台目となるMuSCAT3の開発を始めています。これが完成すれば、ど

んな周期の惑星であっても3台の観測装置の連携で観測できます。さらに、夏頃からTESSの北天の観測が始まります。この観測で発見された第2の地球候補の判別で世界をリードし、「第2の地球たち」の発見を一手に担うことを目指します。



MuSCAT2に初めて天体の光を通した日の記念写真(1列目右が成田さん)。



開催報告

第4回COI 2021会議

若手人材の斬新なアイデアが集う ピッチコンテストを開催

センター・オブ・イノベーション(COI)プログラムでは、各プロジェクトの次代を担う、若手人材の活躍促進に取り組んでいます。その一環として、若手人材が挑戦的でハイリスクな研究開発や、起業・事業化の提案を発表する「第4回COI2021会議」を2018年12月19日、日本科学未来館(東京・お台場)で開催しました。持ち時間4分で次々に発表していくピッチコンテストの要素を取り込み、優れた提案は、「COI2021表彰」としてたたえられました。

21件の提案が発表され、発表内容に対して「わくわく」するか、研究への熱意や斬新さ、挑戦性、モノやサービスの快適さ・利便さなどを観点として審査されました。その結果、JST理事長賞を京



JST理事長賞を受賞した京都大学樋口講師



砂絵を例に用いて研究内容を説明

都大学大学院薬学研究所の樋口ゆり子講師(京都大学拠点)が受賞しました。樋口講師は、自分たちの思い通りの場所に複数種類の細胞を固定培養し組織を再構築する方法について、砂絵を例に用いて実演しながらユニークに説明しました。

また、COI STREAMガバニング委員会委員長賞を立命館大学総合科学技術研究機構の橘由里香助教(立命館大学拠点)、ニトムズ賞(企業賞)を金沢大学子どもこころの発達研究センターの辻知陽特任准教授(大阪大学拠点)らが受賞し、女性研究者の活躍が目立ちました。

Profile

大阪府出身。2009年 大阪大学大学院医学系研究科博士課程修了。博士(保健学)。立命館大学理工学部助教、近畿大学理工学部講師を経て、17年より現職。センシングウェアで取得した生体情報を音や映像に変換することで各個人の音や映像を創造し、それらを媒介としたコミュニティーの構築を目指す。



多分野連携は、 まず相手を理解することから

立命館大学 理工学部
准教授

岡田 志麻
Shima Okada



Q 研究テーマを一言でいうと?

**A 生体情報を音や映像に変換して、
運動への誘導や継続のきっかけに活用。**

心拍数や発汗、呼吸などの生体情報を芸術の観点から音や映像に変換するシステムを開発しています。私たちにとって生体情報の数値データは、よくわからないものです。そこで、情報を可視化すると同時に楽しい要素を加えられれば、もっと活用できるのではないかと考え、生体情報を音や映像に変換することを思いつきました。生体のさまざまなリズムに音を割り当てて演奏したり、体の動きによって音を奏でたりすることで、例えば、運動が苦手な人や継続できない人が、興味を持って楽しく運動を始めたり、知らないうちに続けられたりするきっかけになると思います。

将来は、計測で得られた生体情報を可視化して個人に伝えることで自身の運動や動作の問題点を認識させ、改善へ導くことにも応用できればと考えています。

Q 研究者として大切にしていることは?

A 現場の声に耳を傾け、本当の問題を知ること。

物理が好きで、医療ロボットなどの開発に携わりたいと思い、理工学部のロボティクス学科に進みました。大学卒業後、医学系の先生と一緒に研究を進めていたのですが工学技術がいくら優れていても、臨床現場を知らないと意味がないと言われ、外来に立ちました。実際にご家族の声を聞き、思い描いた問題点ではなく、臨床現場が必要としている本当の問題点を知ったことによって、工学の技術を生かす方向性が見えてきたように思います。この時初めて、他の分野の専門家と研究を続けていくには、その分野のことをしっかり知ることが大切だということを学びました。

今も医学をはじめとする他の分野の専門家との共同研究を続けています。しかし、異なる分野の研究者同士の相互理解は難しいものです。相手の専門分野を一から勉強すると同時に自分の専門分野を理解してもらうことが大切です。これは学生にも常々伝えています。

Q プライベートについて教えてください。

A 子供とともに趣味を楽しんでいます。

休日は隠れてゲームをしているか、息子と遊びに行くことが多いですね。息子は鉄道や飛行機が好きなので、愛知県のリニア・鉄道館や埼玉県鉄道博物館にも連れていきました。飛行機のメカニズムなど物理の話もしますが、おおよその原理を教えるだけで正解は教えないのがポリシーです。幼少期の経験は大人になって何をしたいか悩んだ時に、きっかけをくれると思います。私自身、研究者だった祖父に憧れ、幼少期に研究者になろうと決めました。

研究者は、好きなことを仕事にできる素晴らしい職業だと思います。何か新しいものを作りたい、何かを変えてみたいという思いを持っている方は、研究者を目指してはいかがでしょうか。

