

JSTnews

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

11

November
2019

特 集

1ミリ秒を捉える機械の目で
知能システムを革新
気象情報インフラを構築
快適な未来都市の実現へ

03 特集1

1ミリ秒を捉える機械の目で
知能システムを革新



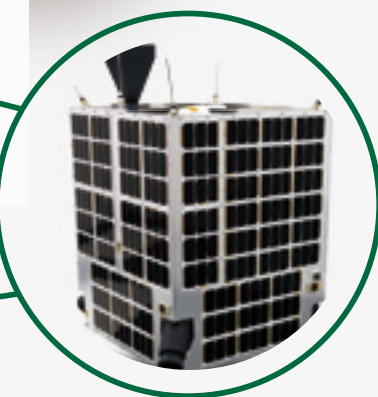
08 特集2

気象情報インフラを構築
快適な未来都市の実現へ



12 世界を変える STORY

民間の超小型人工衛星で
宇宙を手の届く場所に



14 NEWS & TOPICS

「第1回輝く女性研究者賞(ジュン アシダ賞)
表彰式&トークセッション」を開催



16 さきがける科学人

安全な人工知能の
実現を目指して

理化学研究所 革新知能統合研究センター
研究員 荒井 ひろみ



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

特集 1

1ミリ秒を捉える機械の目で
知能システムを革新

テレビなどの映像では、滑らかに動いて見えるよう画像を連続して提示する。1秒間に提示するのは通常30枚、あるいは60枚程度と人間の目の能力に合わせて設定されている。これをはるかに超える速さで世の中の現象を捉えられたら、どのようなことができるのか。毎秒1000枚の速度で撮影し、処理する機械の目「高速ビジョン」を実現し、その可能性を追究しているのが東京大学大学院情報理工学系研究科の石川正俊教授だ。岸則政JST ACCELプログラムマネージャーとの二人三脚で高速ビジョンプラットフォームを構築し、新たな価値を生み出そうとしている。

いしかわ まさとし

石川 正俊

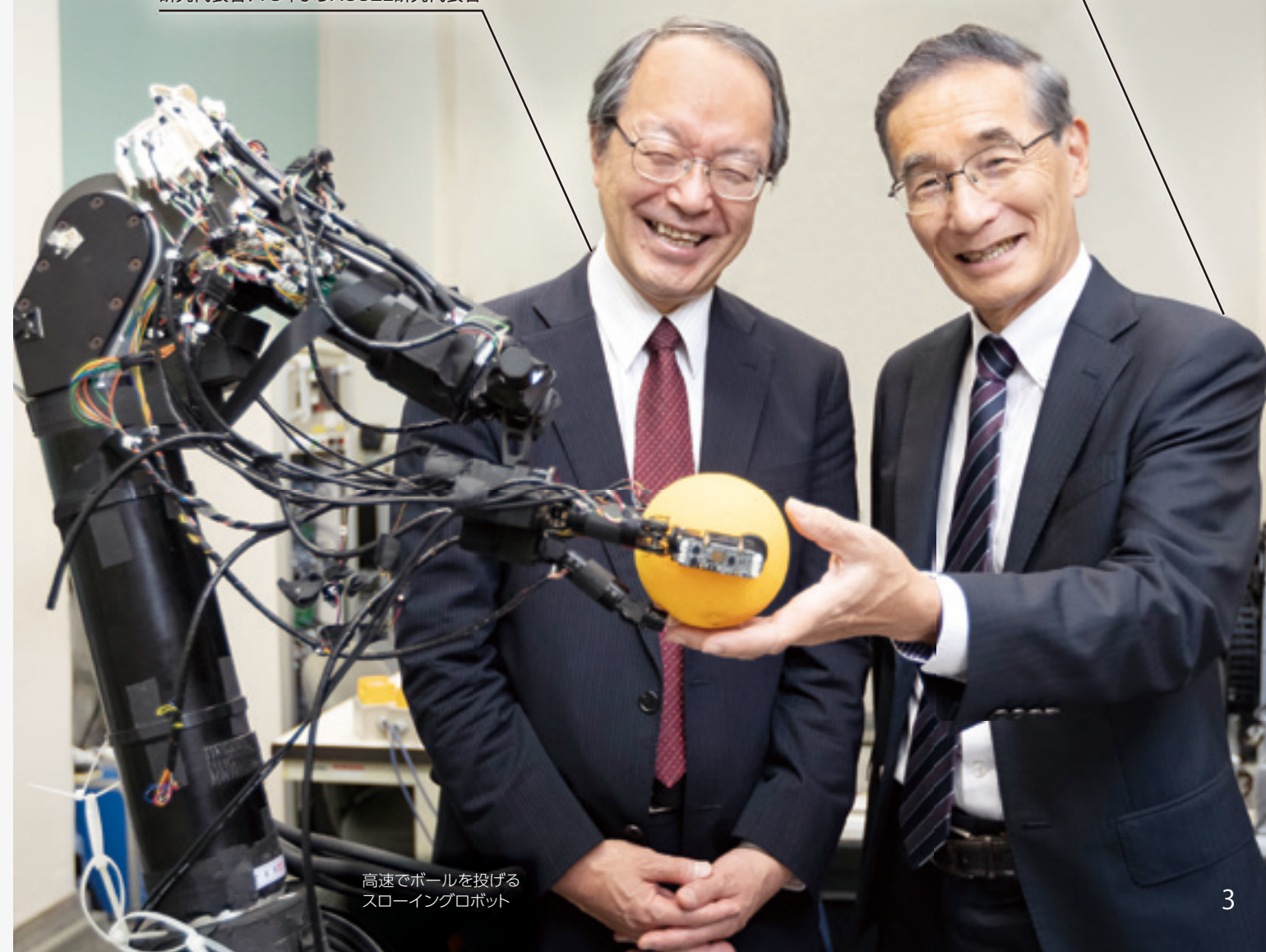
東京大学 大学院情報理工学系研究科
研究科長・教授

1999-2004年、09~15年 CREST
研究代表者、16年よりACCEL研究代表者

きし のりまさ

岸 則政

JST ACCELプログラムマネージャー／
東京大学 大学院情報理工学系研究科
客員研究員



高速でボールを投げる
スローイングロボット

高速ビジョンで捉える世界 価値の芽を育て波及させる

動画を撮影したり、再生したりする際に、1秒間に何枚の画像を表示するかを表す数値がフレームレート (fps) である。人間の目では30fps程度であればスムーズに動いて見え、高精細画像を実現する8K映像では、30fps、60fpsに加えて120fpsの規格も用意されている。機械の目でこれをはるかに超える1000分の1秒 (1ミリ秒) ごと、1000fpsを可能にするのが「高速ビジョン」だ。

東京大学大学院情報理工学系研究科の石川正俊教授は「1000fpsで捉えることにより、高速で動く物について、より完全な情報を得ることができます」と話す。例えば、時速150キロメートルのボールを30fpsで撮影すると約140センチメートルごとの姿しか捉えられず、その間のボールの動きは推定するしかない (図1)。しかし、1000fpsであれば約4センチメートルごとに捉えられ、ボールの実際の動きを正確に把握できる。推定が不要なので処理時間も短縮され、これまで不可能だったさまざまなことが実現可能になる。

「高速ビジョンは単に高速で撮影するだけの技術ではありません。撮影から画像処理、そしてロボットの動きなどにフィードバックするまでを、数ミリ秒で行うのです」と石川さんは続ける。カメラをはじめとする感覚系・認識系 (センサー技術)、処理系 (コンピューター技術)、そしてモーターをはじめとする運動系・行動系 (アクチュエーター技術) をそれぞれ1ミリ秒で動かすことで、リアルタイムで実世界の変化に適応、機能するまったく新しい知能システムを実現できるのだ。

高速ビジョン研究は「これまでの科学のアプローチとは異なる」と石川さんは強調する。従来の科学技術は、ある課題を解決するために原因を調べ、理解し、技術を生み出してきた。一方、高速ビジョンでは解決すべき具体的な課題が先にあるわけではない。高速ビ

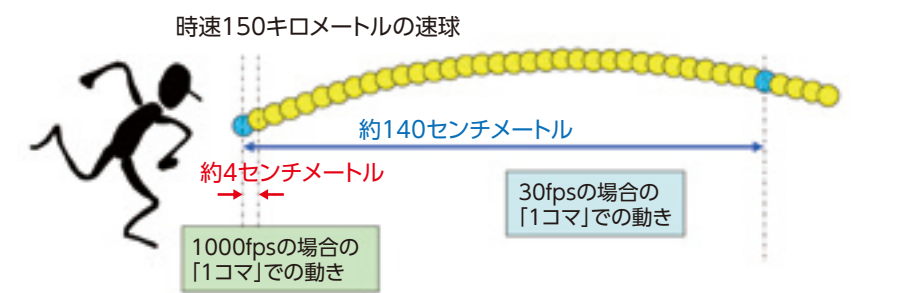
ジョンを出発点に、今まで考えもしなかったような可能性に気付き、新しい価値を生み出すのである。「私たちは高速ビジョンのプラットフォームを世に出していきます。その価値の芽が大きな波となり、多様な分野に波及していく。そうやって新しい世界を築きたいのです」と目を輝かせる。

自動運転から壁面の検査まで いろいろな分野で技術を磨く

自動車への画像処理の応用で長年の経験を持つ岸則政ACCELプログラムマネージャーは、高速ビジョンのわかりやすい用途として自動運転を挙げる。「例えば、自動ブレーキは周囲の物体を捉え、それがどのように動くかを予測して制御するため、突然飛び出し

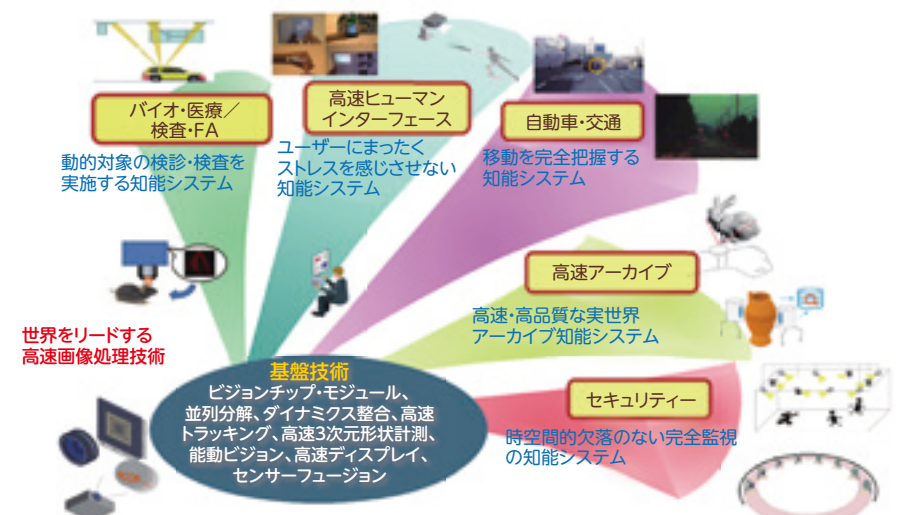
てくる物体に対しては反応が遅れることがあります。一方、高速ビジョンであれば、1ミリ秒ごとに周囲の状況を分析、判断し、瞬時にブレーキを制御できるのです」。プロジェクトではこの他にも、バイオ・医療／検査・工場自動化 (FA)、高速ヒューマンインターフェース、交通、高速アーカイブ、セキュリティなどと実に多岐にわたる応用範囲をターゲットにしている (図2)。

岸さんは「プロジェクトの目的は、新しい技術で気付きを与えることです。そのためには、具体的に何ができるかを示し、多くの人にどうやって使えるかを考えてもらうことが重要です。1つの用途を想定し技術を尖らせるのではなく、いろいろな分野に飛び込んでそこで求められる技術を磨く戦略をとっています」と説明する。この戦略に基づき、ボールなど動く物体を追いか



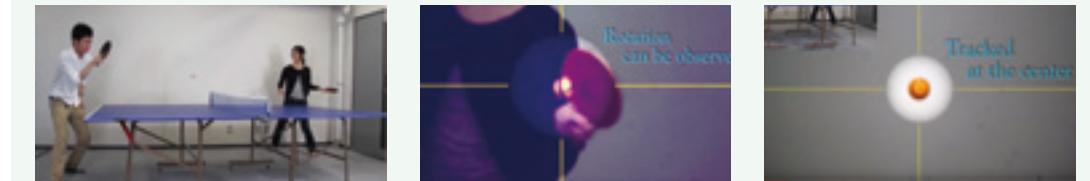
高速な動きを確実・正確に認識できる

■図1 時速150キロメートルで投げたボールを30fpsで撮影すると、撮影の間隔は約140センチメートルになる。一方、1000fpsでは約4センチメートル間隔でボールの動きを把握できる。30fpsの場合、約140センチメートルの間に何が起きているかを推定する必要があるが、1000fpsであれば実際の動きを捉えられるので推定のための煩雑な計算は不要になる。



■図2 高速ビジョンが目指す適用分野。高速ビジョンの基盤技術（プラットフォーム）は多彩な分野への応用が可能だ。

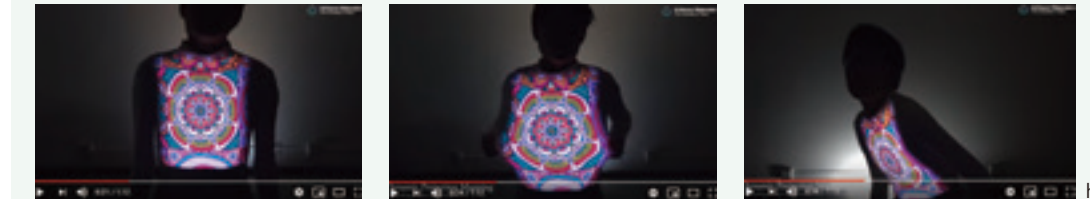
■図3 高速トラッキング技術。高速で動く卓球の球の動きを、自動的に追いかけて撮影でき、球の回転まではっきりと観察できる。画像を解析し、ボールが常に画像の中央にくるようにミラーを高速で動かしている。



https://youtu.be/9Q_IcFZOgVo



■図4 ダイナミックプロジェクションマッピング。着ている人の動きに合わせて、Tシャツの正面に画像が投影される。生地伸び縮みも検出し、画像を瞬時に調整する。



<https://youtu.be/QDppJ9NWtaE>



け常に画面の中心に捉えて撮影する技術や、動いたり伸び縮みしたりする物体に映像を映し出すダイナミックプロジェクションマッピングなど多彩な技術が開発されている (図3、4)。

応用が期待される技術の1つが、トンネル内走行中の壁面検査だ (図5)。中日本高速道路との共同で、導入に向けた実験を進めている。従来、トンネルの安全検査は道路を封鎖した上で行われていた。しかし、高速ビジョンを利用すれば、カメラを搭載した検査車両で通常速度で走行しながら撮影し、トンネル内の亀裂の有無などを高精度で検出できる。時速100キロメートルで走る車からトンネルの壁面を撮影すると、1000fpsでも1コマで約3センチメートルも進んでしまう。そこで、ミラーを高速で動かして通り過ぎた箇所を画面の中央に捉え続けることで動きを打ち消し、ぶれののない画像を撮影する。

検査のための画期的な技術で、交通規制による渋滞なども避けられ、コストも下がるため、検査の頻度を増やすことが期待される。この実現のためには高速画像処理だけではなく、車に搭載するための小型化や、トンネル内で他車の走行を妨げない低照度照明での撮影なども必要だった。そういった周辺技術も含めた開発により、実用化が着実に近付いている。

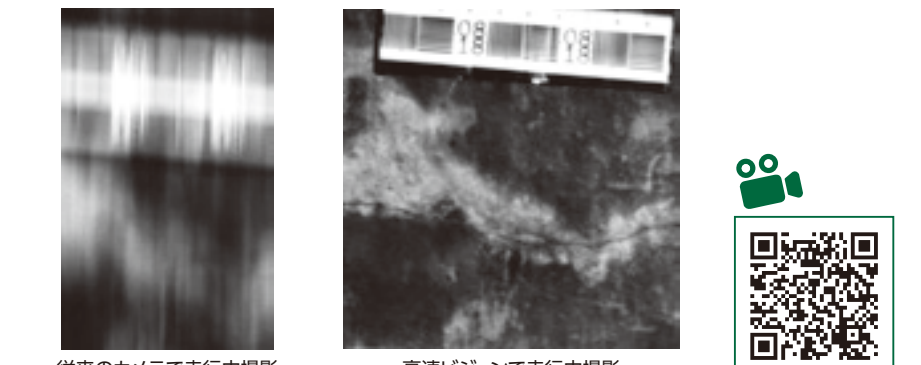
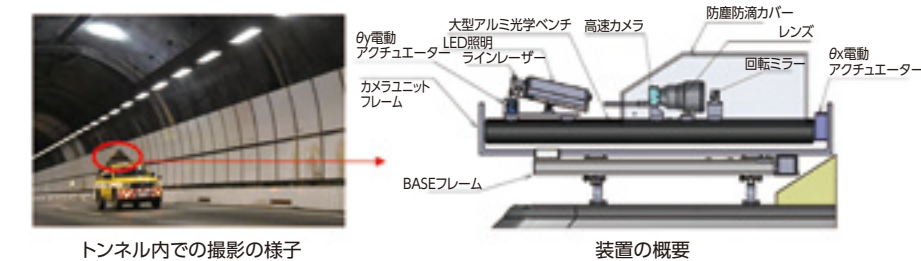
高速化を支える基盤技術 価格や消費電力も大幅に低減

さまざまな可能性を秘めた高速ビジョンを支える基盤技術について「知能システムに関わる、センシング、処理、そして運動系や表示系の制御の全てが高速であることが重要です。これをダイナミクス整合と呼びますが、どれか1つが欠けても1000fpsを実現することはできません」と石川さんは語る (図6)。岸さんも「処理速度だけを上げても、センサーの能力が低かったり、ロボットの制御に時間がかかったり

すればシステムとしては遅くなります。モーターなど周辺技術が遅れの原因になる場合、新たに開発し高速化を図ってきました」と続ける。

例えば、動く対象を追いかける高速トラッキング技術では、複数のミラーを動かして対象の姿を追跡するが、この動きがずれてしまったらそこで失敗だ。ミラーをできるだけ速く、精密に動かすためにはミラーの大きさなど細部まで作り込む必要がある。

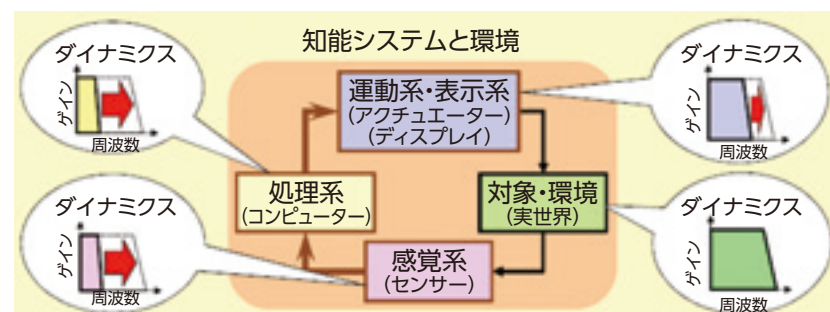
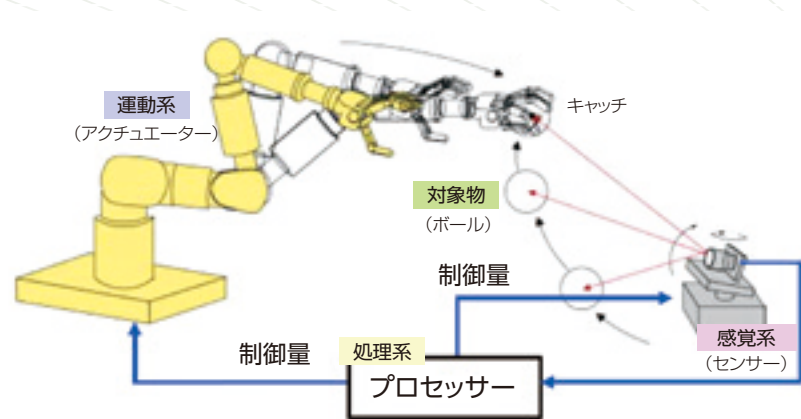
また、水などの流動物や高速で動く対象に映像を映し出すダイナミックプロジェクションマッピングでは、映像を



<https://youtu.be/AkrORWW7N04>

■図5 時速100キロメートルで走行しながら、幅0.2ミリメートルのトンネル内のひび割れを検出できる。ミラーを高速で動かして対象を捉え続けることで、動きによるぶれを抑えることが可能だ。渋滞の解消、点検頻度の向上、作業の効率化などが期待される。





■図6 上：高速ビジョンを実現するダイナミクス整合。対象物を動きに合わせて高速で検出し、それを高速で処理し、高速でアクチュエーターやディスプレイを制御する。下：このループにおいて、それぞれの系に対象物の動きを十分にカバーできる速度と安定性を持たせることで、タイミングの遅れが生じないシステムを実現している。

映し出す面の3次元形状とその変化を瞬時に計算し、それに応じてプロジェクターで映し出す映像を高速で制御しなくてはならない。計算速度はもちろんのこと、データを転送する速度の遅れも問題になる。速さにこだわって研究開発を進め、必要な要素技術を全て磨いて確立されたのが高速ビジョンに基づく知能システムなのだ。

システムを支える基盤技術の中には、すでに商品化されているものもある。その1つがソニーと共同開発したビジョンチップだ。撮像素子と取得画像から特徴量などを抽出する演算器が1平方センチメートル以下のチップに収まっている。「研究を始めた時には高速画像処理を実現するために1メートル四方のシステムが必要でした。1000fpsという速さはそのまま1万分の1以下(面積比)まで小型化したのです。これにより、社会で使える技術になりました」と石川さんは胸を張る。

岸さんも「価格は1000万円から10万円に、消費電力は100ワットから0.3

ワットになりました。空冷や水冷も不要になり、今までは使えなかった用途で使えるようになります。世界の変わり目といえるくらい、大きな進化です」と普及への自信をのぞかせる。

しかし、2人ともここで満足しているわけではない。「現在は、システムの中で一番遅い運動系の上限がシステムの限界となっています。運動系の制御を1ミリ秒より高速化できれば、さらに性能を向上できます。機械の限界を目指したいですね」と石川さんが語るように、さらに先を見据えている。

わかる科学からつくる科学へ 動画を利用し企業を巻き込む

開発された技術の多くについて、デモンストレーション動画を制作し、研究室のホームページや動画共有サービス「YouTube」上で公開している。その理由を石川さんは熱く語る。「従来の科学を、物事を理解する『わかる科学』とするなら、私たちが目指すのは新たな価値を『つくる科学』です。何に使い、どのような価値を生み出すかはアイデア次第です。それを考えてもらうために、私たちの技術で何ができるのかをわかりやすく紹介しているのです」。

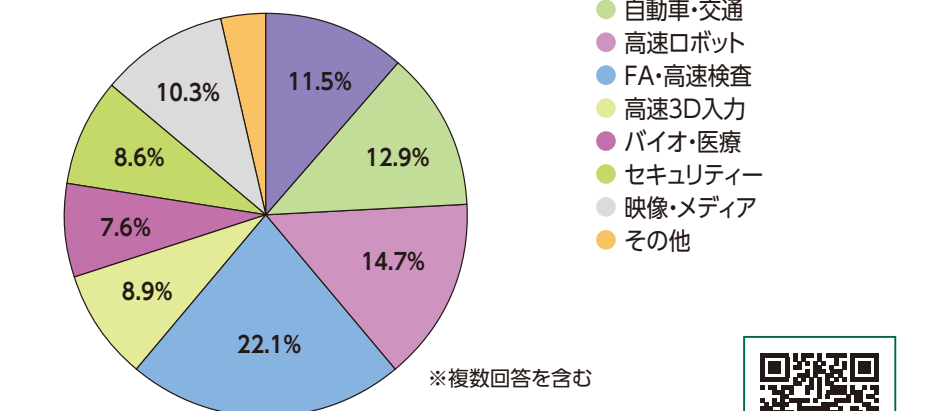
紹介されている動画の中で、最も多く視聴されているのがじゃんけんロボットだ(図7)。人間が出した手の形を瞬時に解析し、ロボットハンドに指令を出すため、同時にじゃんけんするにもかかわらず絶対に負けることがない。この動画でいかに速く画像を処理し、ロボットを制御できるのかを伝えることで、「ロボットと人間が共に働く工場などで、生産性を圧倒的に向上させる

設備に使える」といった用途を視聴者に想起させることが狙いだ。動画は500万回以上再生され、米国の三大ネットワークや英国、カナダの放送局でも取り上げられた。「こういった動画や展示会でのデモを見て関心を示す企業は確実に増えています。まさに百聞は一見にしかずです」と岸さんも手応えを感じている。

一方、日本の企業からの反響は、海外の企業と比べると少ない。産業分野へのさらなる普及を目指し、新エネルギー・産業技術総合開発機構の支援も受けて立ち上げたのが、「WINDSネットワーク(Network for World Initiative of Novel Devices and Systems)」だ。「高速ビジョンの素晴らしさは、動画やデモンストレーションを見てもらえば一目瞭然なのですが、どうやって知ってもらうのが課題でした。そこでコンソーシアムを立ち上げ、情報を発信し、フィードバックを受ける体制を整えたのです」と石川さんは振り返る。現在は182法人から200の組織が参画しているが、その興味は実にさまざまだ(図8)。研究段階では特定の用途に限られてきた高速画像処理技術を多様な分野に展開し、産業の活性化や新しい産業の創出を目指している。

学術分野についても、日本バーチャルリアリティ学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会、映像情報メディア学会、日本印刷学会、応用物理学会、日本機械学会、電子情報通信学会といった幅広い領域で研究が高く評価され、論文賞などを受賞している。「1つの分野に閉じこもらずに、どんどん外に飛び出していった結果です。手を広げた先できちんと成果を出してきたことが、自信につながっています」と石川さ

会員の技術応用想定分野の分布



■図8 WINDSネットワークに参画する会員の技術応用想定分野は実に多岐にわたる。
<https://www.winds-network.org/about.php>



んは笑顔を見せる。眼球の微細な動きのせいで強力な照明が必要だった眼底検査を高速ビジョンにより簡便化したり、顕微鏡下で動き回る細胞を自動で追いかける技術を開発したりと医療や生物学など応用の範囲はますます拡大している。

未来の真実をつくる科学 柔軟な発想で分野を開拓

新しい価値を生み出すための高速ビジョンのプラットフォームは、特定の課題を解決するための技術ではないと石川さんは繰り返す。「教科書に書いてあることを勉強する基礎力は大切ですが、そこにあるのは現在までの真実です。これからは問題も答えも書いていない未来の真実を探す、つくる科学が重要になるでしょう。そこで研究者に求められるのは柔軟な発想力です」と説明し、それが欧米諸国や中国などとの開発競争に不可欠だと語る。

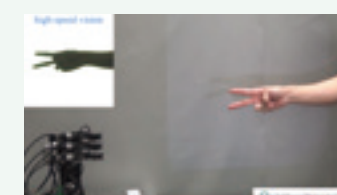
岸さんも「高速ビジョンは世界最高クラスの技術だと自負しています。さらなる普及には固定観念に縛られず、



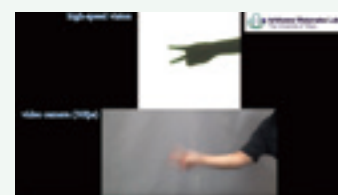
150以上の動画を公開中。
高速ビジョンのデモンストレーション動画はこちら
<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/movies/index-j.html>



■図7 高速視覚フィードバック。左：相手の動きを瞬時に捉えて分析し、ロボットハンドを制御することで、絶対に負けないじゃんけんロボットが実現できる。右：30fps(下)では動きの影響で画像はぶれているが、1000fps(上)ではしっかりと「チョキ」を出していることがわかる。



ロボットハンド



<https://youtu.be/Qb5UIPeFCIM>

特集2

気象情報インフラを構築 快適な未来都市の実現へ



人工知能(AI)を活用した5メートル間隔の気象をリアルタイムで予測する気象情報インフラの構築に挑むのが、海洋研究開発機構地球情報基盤センターの大西領グループリーダーだ。気象関連の災害や被害などが起こらない、安全安心で快適な未来都市の実現を目指している。その足掛かりとして、都市空間の局所的な気象予測に基づき、個人の熱中症リスクを評価する技術の開発に成功した。

おおにし りょう

大西 領

海洋研究開発機構 地球情報基盤センター
グループリーダー

2018年より研究開発代表者

都市空間で高精度予測 AIとの技術融合に挑戦

気象はもっぱら地球規模の現象として捉えられるが、海洋研究開発機構地球情報基盤センターの大西領グループリーダーによれば、数百メートル四方で生じる「微気象」こそが、快適な未来都市を実現する鍵を握るという。例えば、自動運転車が微気象情報を計測し、そのデータをもとにリアルタイムで数分後の微気象を予測できれば、ゲ

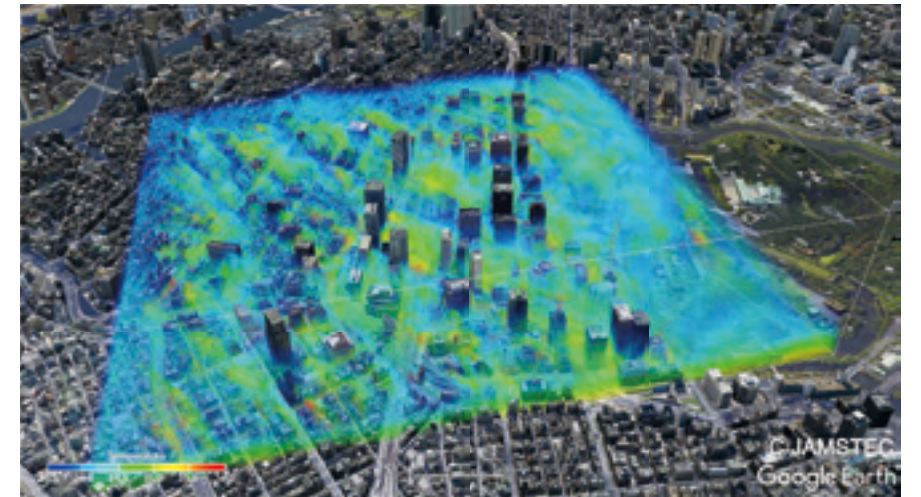
リラ豪雨のような急な天候変化にも自動運転車に対応し、事故が起きない安全なドライブを楽しめる。

機械が自然と調和して動く社会を目指して、大西さんは都道府県などの地域単位でなく、個人の生活に身近な狭い範囲での気象予測に取り組んでいる。そのために必要なのが、気温・気圧などの気象データと人間の社会経済活動データを同時に扱える気象情報インフラだ。「夏の暑い日に気温が上昇すると、多くのオフィスや家庭でエ

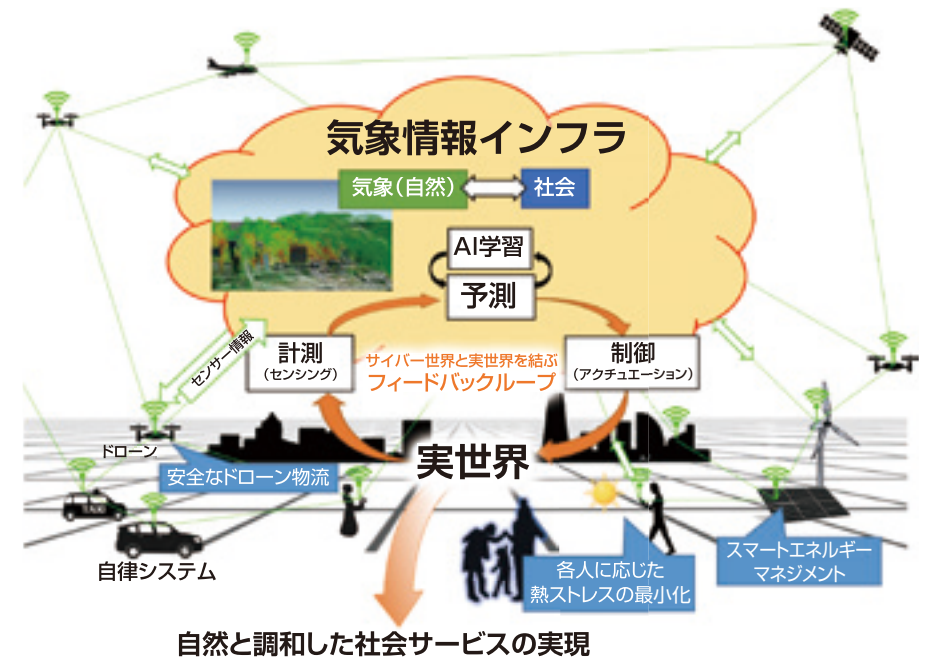
アコンを使用し、消費電力が増大してしまいます。室外機からは大量の熱気が排出され、さらに気温を上昇させるでしょう。都市街区内の微気象を高い精度で予測しようとなると、社会経済活動のデータも取り入れることが必要になるのです」。

多様かつ膨大なデータの計算に威力を発揮するのが、大西さんが開発したマルチスケール大気海洋結合モデルMSSG(メッセージ)だ。気候変動や地震などの大規模なシミュレーション

を行うスーパーコンピューター「地球シミュレータ」の高い計算能力が活用されている。「気象予測では一般的に、地球全体、特定の地域、都市スケールの異なるモデルが使用されます。MSSGは3つのスケールを単一の数値モデルで扱って、大気現象と海洋現象の両方を計算できることが強みです」。MSSGを使えば、地球規模の気候変動から、東京駅周辺のような狭い地域の環境変化まで、シームレスにシミュレーションできる。加えて、建物



■図1 東京駅中心の2キロメートル四方のエリア。シミュレーションによって算出された2015年8月7日14時30分(晴れ、気温35度、湿度50パーセント)の3次元気温分布。青から赤になるにつれて気温が高くなる。



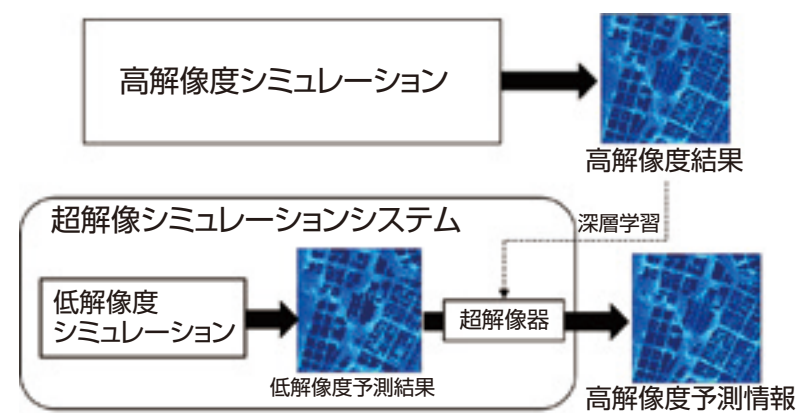
■図2 未来都市で実現を目指す気象情報インフラのイメージ。サイバー世界と実世界で情報をやりとりして、計測、予測、制御のフィードバックループを構築し、自然と調和した社会サービスを実現する。

や道路、樹木など周辺環境の影響も考慮した定量的な解析が可能になる(図1)。

データの計測手法や計算モデルを含む高精度なシミュレーションシステムを開発するだけでなく、予測結果を生活に役立つ技術やサービスにつなげる気象情報インフラを作り上げることが大西さんの目標だ(図2)。「そのためにはリアルタイム予測が欠かせない」と考えたが、5メートル間隔の気象情報を分単位で更新するには、地球シミュレータほどの高性能なスーパーコンピューターをもってしても、1時間先

の微気象を予測するのに1時間かかるという。

「一般的なパソコンでも数分で処理できるデータ量で微気象の未来予測を行おうとすると、20メートル間隔で得られるデータを扱うのが精一杯です」。しかし、これでは予測精度が低くなってしまいます。大西さんは気象シミュレーションとAIの技術を融合させることを思い付いた。5メートル間隔の微気象の条件や変化をAIに事前に学習させておくことで、20メートル間隔のデータで得た粗い解像度の予測を5メートル間隔のデータに基づく予測と



■図3 AIを活用した超解像シミュレーションシステムにより、20メートル間隔の低解像度の予測結果を5メートル間隔の高解像度相当に変換することが可能になった。

同程度の解像度に高める超解像シミュレーション技術の開発に成功した(図3)。テレビやレコーダーが数十年前の粗い記録を4K解像度相当の映像信号に変換して再生するのと同じアイデアだ。超解像シミュレーションによって計算量が250分の1に抑えられ、リアルタイム予測の実現へ道を拓いた。

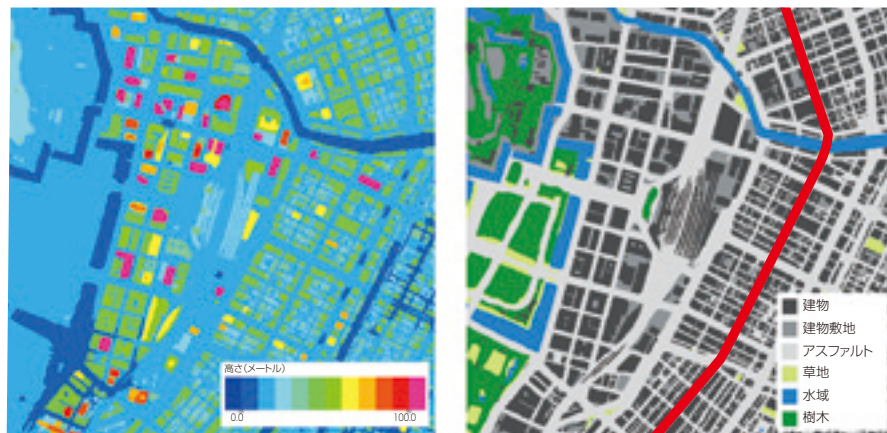
人体モデルでシミュレーション 個人の熱中症リスクを評価

都市空間の微気象のリアルタイム予測はさまざまな社会サービスへの応用が期待される。その1つとして、大西さんは都市空間で実際に行動した場合の熱中症リスクの評価技術の開発に取り組んだ。毎年夏になると最高気温が35度を超える猛暑日が続く、高齢者や子供を中心に多くの人が熱中症で病院に搬送される。「熱中症のリスクは、活動場所の日射条件や年齢、健康状態によって大きく変わります。どこで倒れたのか、どんな活動していたのか、どういう熱環境だったのか。データを集めて、モデルを構築することが求められています。そのために気象情報インフラが必要なのです」。

気温が上昇すればそれだけ熱中症のリスクも高まるが、症状には個人差がある。実は人体を構成する体内組織も、それぞれ熱に対する応答が違っている。運動量に応じて熱を発する臓器もあるが、一方で組織が発した熱が発

汗を促し、熱を逃がす仕組みも人体に備わっている。

熱中症のリスクを正確に評価するため、大西さんは都市街区の微気象のシミュレーションに、名古屋工業大学先端医用物理・情報工学研究センターの平田晃正教授が開発した熱中症リスクを予測する温熱人体モデルを適用した。50を超える体内組織の熱に対する応答の違いを考慮した詳細な人体モデルで、高齢者や乳幼児などの特性も加味されている。「人体にどのような角度で日光が照り付けるのかといった日射の情報も必要になります。MSSGを生かして、5メートル間隔で算出した気温、湿度、日射量、風速の気象データを入力し、3次元の熱放射環境をしっかりと計算しています。開発した微気象シミュレーションは、暑さ指数を正確に予測できるのが強みです」と大西さんは誇る。



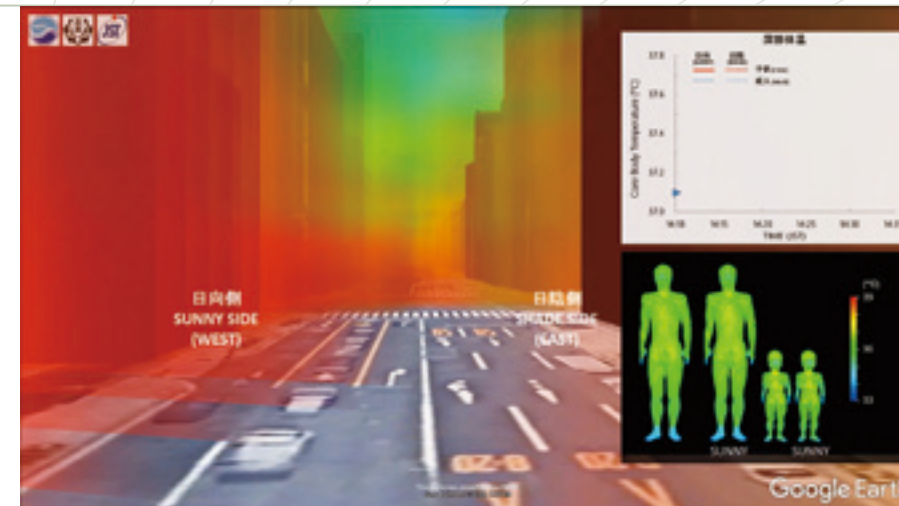
■図4 2キロメートル四方で、上空1キロメートルまでを対象として、解像度5メートルの計算を実施した。左図は計算に利用した建物高さ情報、右図は土地利用情報。東京オリンピックのマラソンコースに予定されていた通り沿い(右図の赤線)を時速4キロメートルで歩くことを想定して、歩行者がさらされる熱環境変数(気温、湿度、風速、日射量)の時間変化を算出した。

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会のマラソンコースに予定されていた東京都中央区の銀座周辺で、熱中症リスクの評価を試みた(図4・5)。人が時速4キロメートルで23分間歩いたと想定し、日向のルートと日陰のルートでの深部体温(体の内部の温度)上昇と発汗量の予測を比較した。成人では日向で0.39度、日陰で0.22度、子供では日向で0.48度、日陰で0.28度、体温が上昇するという予測が得られ、成人と子供のリスク差が確認された(図6)。米国政府の労働衛生専門家会議による熱中症リスク管理では1度の深部体温上昇を作業中止の基準としており、この差は小さくないといえる。

時々刻々と変化する熱中症リスクを個人単位で定量的に推測すれば、熱中症リスクを軽減した行動を提案するシステムを構築できる。大型イベントの開催時、暑さを感じる観客が多くいる場所に休憩所やタクシー乗り場を設置すれば、熱中症で倒れる人を減らせるだろう。個人のみならず都市全体の熱中症リスクも最小化できるのだ。「熱中症リスク評価技術が、炎天下で開催されるスポーツイベントや音楽フェスティバルなどで、熱中症リスク軽減策として利用されることを期待しています」。

ビル風の発生を予測して ドローンの安定飛行を支援

大西さんの考える気象情報インフラの活用は、熱中症リスクの低減に留



■図5 通りの日陰側(西側)と日向側(東側)で、およそ最大で1.5度、平均で0.4度の違いがある。どこかの交差点が暑い、道のどちら側が暑い、などが明確にわかる。



<https://youtu.be/BFH7vxa1lqw>

まらない。エネルギー・マネジメント、さらにはドローンの安定航行に貢献するための技術開発が同時並行で進められている。

気温の上昇を正確に予測できれば、気温が上昇する少し前にエアコンを稼働させ、あらかじめ室温を下げることで、電力消費のピークを抑制する管理運用が可能になる。電力の最大消費を抑えること(ピークカット)と、移すこと(ピークシフト)により、次世代のエネルギー・マネジメントの確立に貢献する。

近い将来、ドローンが物流に革新をもたらすと期待されているが、肝心のドローンが風に弱いことが指摘されている。安定して吹いている風なら、比較的強風でも耐えられるが、乱気流のようなビル風には非常に脆弱だとい

う。そのため、需要が高いと想定されるにもかかわらず、都市街区内でドローン物流を確立するには大きな壁が立ちだかっている。シミュレーション結果を活用すれば、ビル風の発生を予測してドローンを安定して飛ばすのに役立てられるだろう。

スマホを気象センサーに 微気象予測が都市を変える

より高精度な熱中症リスクの評価や、ドローンの安全飛行のための微気象予測を実現するには、どのように都市気象データを得るかが課題である。

通常の天気予報で用いられる観測網は日本全国をくまなく網羅するため、国内約1300カ所、降水量の観測

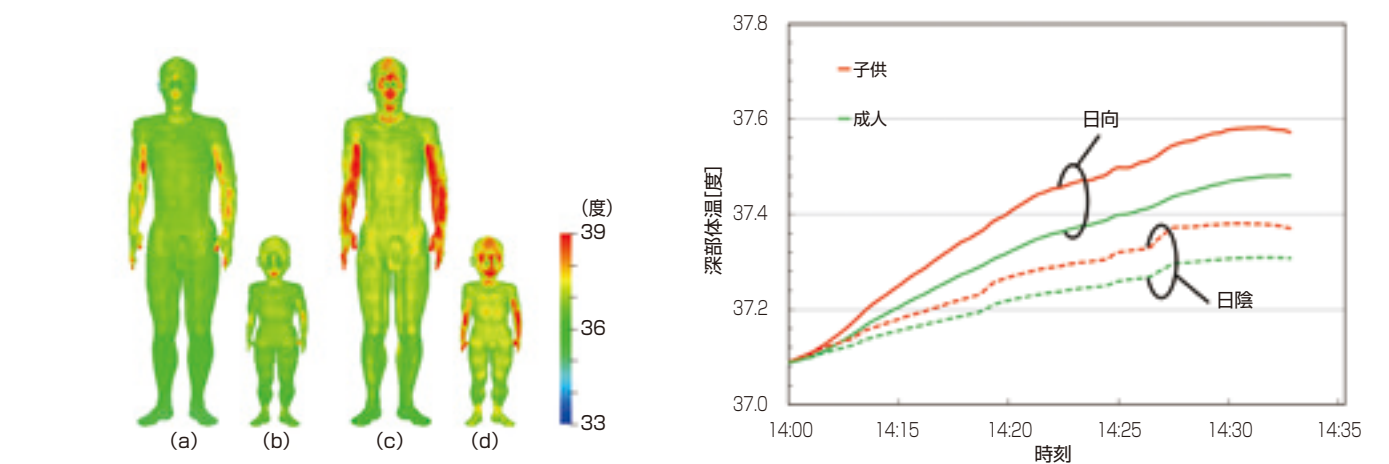
網で17キロメートル四方の正方形につき1カ所の密度である。微気象の予測には粗過ぎるが、数メートルや数十メートル間隔の細かな観測網を新たに整備することは現実的でない。

そこで気象センサー代わりに利用しようとしているのが、スマートフォンだ。人や物が集中する都市空間では、無数に存在するスマートフォンから多くの情報が得られるに違いないと考えたからだ。

大西さんはこう説明する。「スマートフォンには多様なセンサーが搭載されています。撮影した画像には位置情報が含まれますし、写っている雲の種類や量を推定する技術も開発しているところ」。

スマートフォンが測定した気象データを定量化して、微気象を高精度にシミュレーションすることにより、自然と調和した気象情報インフラが構築される未来は近い。

「未来を正確に予測できるなら死んでもいい」と冗談まじりに語る大西さん。「微気象のスケールで捉えることで、今まで考えもしなかった因果関係が見えてきます」と確信している。「どこで風が吹き、どこが太陽光発電に適しているのか。微気象を踏まえて、再生可能エネルギーを取り入れた都市計画もできるようになるでしょう」。微気象の予測シミュレーションを基盤として、新たな技術やサービス、そして、より豊かで持続可能な未来がもたらされるに違いない。



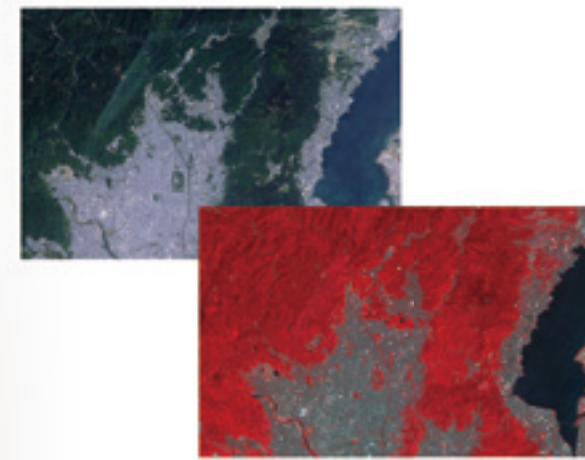
■図6 左: 23分の歩行後、(a)成人(日陰)、(b)子供(日陰)、(c)成人(日向)、(d)子供(日向)それぞれの体表面温度分布。日向を歩いた場合は、頭や腕を中心に体温が顕著に上昇している。右: 歩行者の深部体温の時間変化。太陽光の影響に加え、成人と子供で熱中症リスクが異なることが確認された。

世界を変える STORY^{vol.2} アクセルスペース 民間の超小型人工衛星で 宇宙を手の届く場所に

日本でも民間企業による宇宙開発が語られるようになったが、10年前には事業として成立しないと考えられていた。民間の人工衛星ビジネスに挑戦した草分けがアクセルスペース(東京都中央区)だ。衛星の開発・販売・運用サービスに加え、宇宙から毎日撮影する地球のデータを提供する事業を展開し、宇宙からの地球観測データを誰もが当たり前のように活用する世界をつくらうとしている。



手にしているのはGRUS-1の
模型(裏側)。円形のカメラを
2基搭載。



■衛星から撮影した京都の様子。下は赤外線波長で撮影した画像で赤い部分が植物の分布と良く一致している。色が濃いほど植物の活性度が高い。

アクセルスペース
取締役・最高技術責任者
みやした 直己
なおよ



■図1 小形衛星を用いたリモートセンシングビジネス実証機であるほどよし1号機。一辺約50センチメートルの立方体で、重さは60キログラム。



■図2 AxelGlobe計画で打ち上げたGRUS-1。60×60×80センチメートル、100キログラム。

材料メーカーも多く、何でも調達でき、精密加工が得意な日本は宇宙のものづくりに向いています。多様なベンチャーが出てきて一緒に盛り上げていけると嬉しいです。



宇宙から地球を撮影したい 小型人工衛星の事業化を模索

アクセルスペースの宮下直己取締役・最高技術責任者が宇宙に魅せられたのは5歳の頃。「祖母が見せてくれた宇宙から撮影した地球の姿が、今でも記憶に残っている」と話す。この時に抱いた「自分も宇宙から地球を見てみたい」という思いが結実したのが、アクセルスペースだ。国や大企業でないと難しいと考えられていた人工衛星開発とその軌道上運用に成功し、宇宙を夢ではなく「普通のある場所」にする事業を展開している。

起業のきっかけは、世界の大学生が競い合い、手のひらサイズの衛星を宇宙に打ち上げるプロジェクトだった。1999年に始まったプロジェクトに宮下さんは東京工業大学の松永三郎教授のチームから、後にアクセルスペースで代表取締役・最高経営責任者を務める中村友哉氏は東京大学の中須賀真一教授のチームから参加していた。良

きライバルであった両チームは、毎月のように顔を合わせて進捗を共有していた。「お互いの成果に発奮していましたが、実はどちらも大げさに報告していましたが、そうやって競い合ったからこそ、開発できたと思います」と宮下さんは振り返る。

期限であった2003年までに衛星を完成させ、打ち上げられたのは世界で5チーム、きちんと動いたのは松永研と中須賀研だけだった。この経験で自信を得た宮下さんは「自分たちの手でも人工衛星は作れる。衛星を使った事業がやりたい」と考え、中須賀教授に相談したり、学内のビジネスコンテストに応募したりと、事業化に向けた模索を始めた。

世界初の民間用超小型衛星 開発費は大型衛星の100分の1

しかし、当時の日本では人工衛星といえば国の機関や大企業が莫大な研究費をかけて開発する大型衛星だった。重さ100キログラム程度の超小型人

工衛星の市場はほとんどなく、事業として成立しないという見方が強かった。しかし、2006年に中須賀教授、中村氏と共に、市場調査などの活動も含め起業に向けた開発を支援する「大学発ベンチャー創出推進」に採択された。超小型衛星の高機能化、低コスト化を進める傍ら、多くの企業を訪ね需要の調査や営業活動に奔走した。

転機となったのは気象情報企業ウェザーニューズとの出会いだった。「気象予測に独自に得たデータを使いたい」というこだわりで私たちの技術が応えられるのか、1週間の合宿で話を詰めていきました」と宮下さん。結果、中村氏、宮下さんと中須賀研出身の永島隆氏は2008年8月に創業に踏み切り、ウェザーニューズと人工衛星製作と運用の契約を締結した。

早い段階で収益を上げて運転資金を得ることが課題だったが、創業前に顧客をつかめたことが経営安定の足掛かりとなった。「ベンチャーキャピタルが増え創業期における資金調達の

環境は整ってきましたが、当時はそのような仕組みがありませんでした。開発に時間とコストがかかることを理解し、開発フェーズの節目ごとに支払いに応じていただけたのは、ありがたかったです」と語る。

完成した「WNISAT-1」は2013年に民間企業が所有する超小型衛星として世界で初めて打ち上げに成功した。コストを従来の大型衛星の100分の1に当たる数億円まで削減するという無謀とも思われた目標も達成したが、相乗りしていた主衛星の軌道投入が優先され、事前の狙いとは異なる軌道に投入されることとなった。現在はミッションを地磁気嵐の観測に変え、運用が続いている。

2017年には、本来の目的であった北極海域の海氷観測をより高精度に行うために「WNISAT-1R」が打ち上げられた。宇宙放射線への対策に加え、新規に開発したミッション機器を搭載し、性能は大きく向上した。「WNISAT-1」に続き、開発させてくれたことに感謝して

います。衛星開発の難しさの1つは宇宙放射線ですが、特注部品ではなく普通に売られている部品でいかに対抗するのが、腕の見せどころです」。さらに、東京大学が主導するプロジェクトでは、ビジネス実証用に「ほどよし1号機」を開発し、打ち上げた(図1)。培ってきた技術力が評価され、宇宙航空研究開発機構(JAXA)から衛星の開発と運用を委託されるなど、着実に実績を積み宇宙ベンチャーを牽引している。

地球を常時見つめる「目」で 新たなビジネスをつくる

民間商用衛星の開発や軌道上運用に加え、2015年には新事業「AxelGlobe(アクセルグローブ)」に乗り出した。地球の周りにたくさんの超小型衛星を配置し、地球全体を地上の車も判別できる2.5メートルの解像度で毎日撮影する。地球を常時見つめる新たな「目」を構築し、得られる観測・解析データの販売を事業の柱にする計画だ。

2018年には地球観測衛星「GRUS(グルース)」の初号機を打ち上げ、第一歩を踏み出した(図2)。今年5月には、観測データを提供するプラットフォームの運用も始まった。近赤外スペクトルで植物の状態も把握可能で、農地や森林の観察といった用途も期待できる。

2020年には4機を打ち上げる予定で、日本を含む中緯度地域など、特定の地点においてほぼ毎日の観測が可能になる見込みだ。資金調達を進めることで、2022年までにさらに機数を増やし、要望の多い地域を中心に地球全体を毎日撮影し、データ提供する体制を整える。「科学者が利用することで、気象データから気象学が生まれたように新たな学問分野が切り拓けるでしょう。また、蓄積したデータから予測が可能になれば気象予報士のように赤潮予報士、農業予報士といった職業もできるかもしれません。宇宙からの画像データを誰もが当たり前のように活用する世界を実現し、人類の可能性を広げたいです」。

HISTORY

2001年

大学院生だった宮下さんと中村氏が出会う。宮下さんは「研究者になりたいというより宇宙開発を進化させるために必要な知識と技術を身につけたかった」と振り返る。

2006年

中須賀氏、中村氏と宮下さんがJSTの大学発ベンチャー創出推進に応募し採択される。研究開発と営業、調査に奔走。

2008年

ウェザーニューズと研究開発の契約を締結。「Space within Your Reach〜宇宙を普通の場所に〜」をビジョンに掲げ、アクセルスペース設立。

2013年

世界初の民間商用超小型衛星「WNISAT-1」の打ち上げに成功。翌年には東京大学が主導し開発した「ほどよし1号機」を打ち上げ。



WNISAT-1打ち上げ



ほどよし1号機の初運用を見守るチーム

2018年

多数の衛星によって地球観測データを収集するAxelGlobe計画で、「GRUS」初号機の打ち上げに成功。右は今年3月に初めて撮影した羽田空港。



ジュンアシダ賞に戎家氏 科学技術振興機構理事長賞に深澤氏 「第1回輝く女性研究者賞(ジュンアシダ賞)表彰式&トークセッション」を開催

持続的な社会と未来に貢献する優れた研究や活動をしている女性研究者、そして女性研究者の活躍を推進している機関を表彰する「輝く女性研究者賞(ジュンアシダ賞)」の第1回目の受賞者が決定しました。表彰式&トークセッションはサイエンスアゴラ2019のプログラムの1つとして開かれます。

輝く女性研究者賞(ジュンアシダ賞)

戎家美紀氏(欧州分子生物学研究所(EMBL)バルセロナグループリーダー): 自発的な細胞分化やパターン形成を人工的に作る研究で成果をあげてきました。近年は、「生物種により時間スケールが異なる仕組み」の解明にも取り組んでいます。また、海外で研究する日本人としてヨーロッパと日本の研究者の交流を促進し関係分野に貢献しています。

輝く女性研究者賞(科学技術振興機構理事長賞)

深澤愛子氏(京都大学 教授): 高強度の光を浴びても退色しない超耐光性蛍光色素の市販化や、大気中でも安定な塗布型有機半導体の応用など、機能性有機材料の研究で社会に貢献してきました。また、メディアを通して社会への情報発信に継続的に取り組んでいます。

輝く女性研究者活躍推進賞(ジュンアシダ賞)

九州大学: 他大学に先駆け女性限定公募制度を立ち上げるなど、優秀な女性人材を発掘、育成する仕組みを構築してきました。また、制度の効果を定量的に実証し、女性研究者の研究力に関する無意識のバイアスを是正するとともに、国際会議での発信や他機関への展開にも取り組んでいます。



戎家美紀氏

深澤愛子氏

日 時: 11月17日(日) 13:00~14:30(開場12:30)
会 場: 日本科学未来館(東京都江東区) 1F企画展示ゾーンb
定 員: 100名(無料)
参加申込: <https://www.jst.go.jp/diversity/about/award/ceremony.html>



表彰式&トークセッションのフライヤー

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「高分解能データの統計的推定による超高精細結晶構造解析の開拓」

熟練研究者の「勘と経験」をコンピューターで再現 未経験でも簡単に計測条件を決定

分子や物質の性質を理解するためには、それらの構造を知ることが効果的です。試料にエクス線を照射して数千から数万個のデータを計測し、コンピューター処理によって3次元構造の情報を得られる単結晶構造解析は、学術や産業の研究で幅広く使われています。しかし、解析には数時間から数日もかかるため、あらかじめ熟練の研究者が「勘と経験」に基づいて試料の選別や条件の設定をしています。

JSTの星野学さきがけ専任研究者らは、ある事柄の結果から原因を推定する統計解析法に注目し、数分の予備計測で得られるデータから試料の結晶構造を推定する技術を開発しました。溶媒分子であるシクロヘキサンとクロロホルムを含んだ2種類の多孔性物質結晶にこの技術を適用したところ、推定した数値から溶媒分子の違いを判別できました。従来は数

時間以上かけたデータ計測と単結晶構造解析の後でしか確認できなかったものです。

単結晶構造解析に熟練していなくても、開発した技術を使うことで、研究の目的に応じた試料の選別や計測条件の設定を効率よくできるようになります。さらに今後、熟練者の勘と経験をコンピューターで置き換える技術の進展も期待されます。



戦略的創造研究推進事業さきがけ
研究領域「再生可能エネルギーからのエネルギーキャリアの製造とその利用のための革新的基盤技術の創出」
研究課題「ギ酸からの高効率水素発生を駆動する多機能集積型金属触媒の開発」

安価な原料から重水素の製造に成功 触媒の性質を変えるだけで2種類の作り分けが可能に

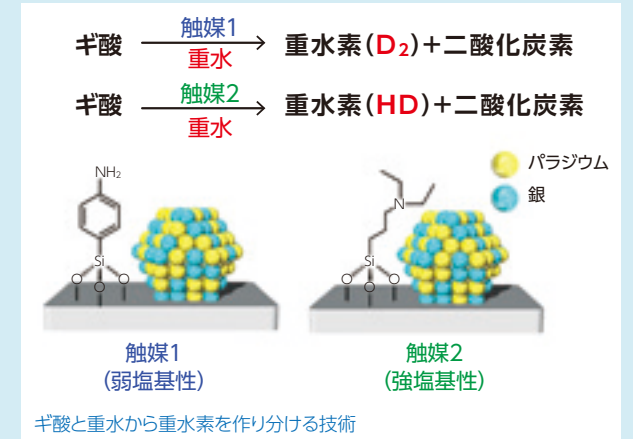
水素が陽子1つの原子核を持つのにに対し、重水素は陽子1つと中性子1つからなる水素の同位体です。半導体や光ファイバーなどの製造工程でも使用される特殊ガスで、地球上の自然界にはほとんど存在しません。水素よりも沸点が1度高いことを利用した分別蒸留法や、交換反応法などで製造されていますが、多くのエネルギーを必要とするため、市販品は極めて高価です。日本はその大半を海外からの輸入に頼っており、安く簡単に合成できる新たな手法の開発が望まれていました。

大阪大学大学院工学研究科の森浩亮准教授らは、独自の触媒を用いて、ギ酸から重水素を製造することに成功しました。ギ酸は安価で安全な液体で、大量生産が可能です。また、水素を多く貯蔵しているのが次世代のエネルギーキャリアとして注目されています。

森准教授は、パラジウムと銀の合金の超微細粒子を塩基性シリカに付着させた触媒が、ギ酸を分解して水素を製造する優れた金属触媒になることを報告していました。今回この触媒を用いて、ギ酸を重水の中で分解すると、重水素が

約87パーセントと高い効率で生成することを発見しました。さらに、触媒表面の塩基の性質を変えるだけで2種類の重水素(D₂, HD)を作り分けることに成功しました。

開発した触媒は簡単に調整でき、安定性が高く、作り分けも可能なため、重水素の安価な製造手法として普及が期待されます。



低炭素社会戦略センター(LCS)

「低炭素社会戦略センター(LCS)10周年記念シンポジウム ーこれまでの10年、そして、『明るく豊かなゼロエミッション社会』に向かってー」を開催

低炭素社会を実現するための技術や経済、社会システムを研究する低炭素社会戦略センター(LCS)は、今年で発足10周年を迎え、12月4日(水)に記念シンポジウムを開催します。

シンポジウムでは、経済産業研究所の中島厚志理事長が「ゼロエミッションに向かう経済社会」と題し、人々の豊かさの増進とゼロエミッション社会の実現に向けてのビジョンについて、基調講演を行います。その後のパネルディスカッションでは、『「明るく豊かなゼロエミッション社会」のまち・くらし』をテーマに、建築、物流、情報、金融など

各分野の専門家が現在の取り組みや展望を紹介します。この10年間に、情報通信技術、人工知能の発展やシェアリングエコノミー、ドローン、自動運転など、当初は予想していなかった技術と社会の変化がありました。一方で、世界的に地球温暖化への危機感は強まるばかりです。これらを背景に、2050年までの温室効果ガス80パーセント削減目標、さらにその先のゼロエミッションの達成と、継続的な経済成長を両立する社会像について、議論を深めます。

会場ではこの他、最新の研究成果とともにLCSの10年間と今後の活動を講演とポスター発表で紹介いたします。



日 時: 12月4日(水) 13:30~17:00
(ポスター展示13:00~17:30)
会 場: 伊藤謝恩ホール(東京都文京区)
定 員: 350名(無料)
参加申込: <https://www.jst.go.jp/lcs/sympo20191204/index.html>



昨年度のLCSシンポジウムの様子

Q1 印象に残っている言葉は？

A1

わくわくすること
を選ぶ

研究職を続けるかどうか悩んでいた時に、ポストの心配や研究業績のプレッシャーがあるかもしれないが、わくわくすることに挑戦するのが研究者として大切だと学生時代にお世話になった先生からアドバイスされました。時に悩みや苦労はありますが、根っこにある探究心が研究者を続けていく原動力になっています。

Q2 現在の研究テーマは？

A2 人工知能利用における プライバシー保護と倫理

情報技術のここ数年の進歩は目覚ましく、便利になる一方で弊害も生じており、その対策技術の研究をしています。近年の人工知能技術には収集した行動履歴などのパーソナルデータを分析して利用するものが多くあります。パーソナルデータの利用に適切な技術やルールを用いないと、プライバシー侵害や望まれないプロファイリングが行われるリスクがあります。そのようなリスクに対処するために、匿名化などプライバシー保護技術や、プライバシー漏えいリスク評価技術を開発しています。また、人工知能の公正性などの倫理的課題にも取り組んでいます。

例えば人工知能が特定の人種や性別の人たちに不利益になるような意思決定をする可能性をどう捉えるか、そのような偏りを見つけて是正するにはどうしたらよ

さきがける 科学人

vol.91

安全な人工知能の 実現を目指して

理化学研究所 革新知能統合研究センター
研究員

荒井 ひろみ

Hiroimi Arai

Profile

東京都出身。2010年 東京工業大学大学院総合理工学研究科単位取得退学。博士(理学)。理化学研究所特別研究員、東京大学情報基盤センター助教などを経て、17年より現職。同年よりさきがけ研究者。

いか、などを対象にしています。これらは比較的新しい分野なので、課題を議論、提案、解決していく面白さを特に感じます。

社会における技術のあり方に関わる上で、法学、哲学など人文・社会科学の研究者との共同研究にも力を入れています。異なる専門性を持つ研究者同士が議論することで新たな研究につながることもありますし、技術の進展により目まぐるしく世の中が変わる中で、社会をどうデザインしていくかという大きな課題に少しでも関われることにやりがいを感じています。

可能性に触れ、この分野に飛び込みました。自分の興味や可能性を限定せずに新しい課題に取り組むたび、困難はありますが楽しさもあり、自分の糧にもなっていきます。また研究仲間との議論に加え、日々の何気ない会話や観察から学ぶことも多いです。

研究者は体力も重要ですので、体力づくりも兼ねて時折ハイキングなどに行きます。自然に触れることで精神的にもリフレッシュできます。

Q3 研究者として大切にしていることは？

A3 何事も楽しみ自分の糧に

高校生の頃はなんとなく文系クラスにいたのですが、先生に紹介された数学の読み物をきっかけに転向し、大学では物理学を学び、その後人工知能の面白さと

