

JST news

未来をひらく科学技術

特集

日本が今、 取り組むべき課題に 産学官連携で挑む

11

November
2018



特集

03 日本が今、
取り組むべき課題に
産学官連携で挑む

04 「産産学学連携」で
ガソリン燃焼を高効率に

08 豪雨被害を減らせ
新型気象レーダーで観測強化

数字に見る科学と未来

12 5度の温度差が電気を生み出す

NEWS & TOPICS

14 光によって活性化される天然型、
人工型の陰イオンチャネルの構造を明らかに ほか

さきがける科学人

16 神経細胞のつながりから
脳の性差に挑む

理化学研究所 生命機能科学研究センター
比較コネクトミクス研究チーム チームリーダー
宮道 和成



表紙解説

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) において、国の期待を背に「ガソリン燃焼」と「防災・減災」の2つの難題に挑む研究者たち。私たちにとって、身近な自動車エンジンや、脅威となっている豪雨災害への備えなど、実用化を見据えた研究成果を紹介する。

©photo:Pngtree

特集

日本が今、 取り組むべき課題に 産学官連携で挑む

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が司令塔となり推進するプロジェクトだ。府省や分野の枠を超え、基礎から実用化、事業化を見据えた研究まで、産学官が協力して取り組む。

2014年に始まった第1期では、重要な社会問題の解決や、経済・産業競争力の強化につながる11の課題が選ばれ、JSTはこのうち5つを運営する管理法人の役割を担っている。今年度からは第2期の12課題も始動した。産学官や異分野の連携、明確な出口戦略やマネジメント体制など優れた特徴を維持しつつ、国際標準化やベンチャー支援などを強化し、科学技術イノベーションの創出を目指す。

11月号特集では最終年度を迎える第1期の課題から、「革新的燃焼技術」「レジリエントな防災・減災機能の強化」を紹介する。日本が直面する問題に、既存の枠を超えた研究チームが挑む。

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

「産産学学連携」でガソリン燃焼を高効率に

日本の自動車技術の分野では、意外なことに大規模な産学連携の事例がほとんどない。複数の企業や大学がコンソーシアムで活動する欧州との大きな差だ。こうした現状に対する産学共通の危機感を背景に、SIP「革新的燃焼技術」では持続的な産学連携体制の構築を目指して取り組んでいる。「産産」「学学」を含む新たな産学連携体制でガソリンエンジンの最大熱効率50パーセントに挑むのが、研究責任者としてガソリン燃焼チームを率いる慶應義塾大学の飯田訓正特任教授と産業界の立場からプロジェクトに関わるトヨタ自動車の中田浩一郎長だ。

いいだ のりまさ
飯田 訓正

慶應義塾大学
大学院理工学研究科 特任教授

1980年 慶應義塾大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。同年 同大学理工学部助手、85年 専任講師、90年 同助教授を経て、97年より同教授。この間米国ウィスコンシン大学訪問教授、神奈川科学技術アカデミー第2研究室室長などを兼任。2016年より現職。14年よりSIP「革新的燃焼技術」研究課題の「高効率ガソリンエンジンのためのスーパーリーンバーン研究開発」研究責任者。



目標達成の鍵を握る「スーパーリーンバーン」

燃料の持つエネルギーを仕事に変換する効率を熱効率と呼ぶ。熱効率の向上は、燃料消費を減らし、二酸化炭素(CO₂)排出量を減らす上で不可欠だ。自動車の電動化が進む一方で、2040年でも全自動車台数の約89パーセントは内燃機関が搭載されると予測されているからだ(図1)。

このような背景もあり、SIP「革新的燃焼技術」は、エンジンの最大熱効率50パーセントの実現および持続的な産学連携体制の構築という目標を掲げている。「ガソリン燃焼チーム」「ディーゼル燃焼チーム」「制御チーム」「損失低減チーム」が互いに成果を受け渡し、チーム間連携で目標達成を目指す。ガソリン燃焼チームの研究責任者である慶應義塾大学大学院理工学研究科の飯田訓正特任教授は、「ガソリンエンジンでは、2018

年9月現在、熱効率を48.6パーセントまで高めることができました。最終年度である今年度中に、50パーセントを達成したいと考えています」と力を込める。

ガソリンエンジンの熱効率は現在40パーセント程度にとどまっている。それを50パーセントに向上させると、大幅な省エネルギー化が実現し、CO₂削減に貢献できるが、それは容易ではない。何しろ、熱効率は1970年代の30パーセントから40年以上をかけて40パーセントまでしか向上していないのである。

プログラムを産業界の視点で支援する「企業支援者」として参加するトヨタ自動車の中田浩一郎長は次のように語る。

「熱効率を40パーセントまで向上させるのに長い時間がかかった

ことは事実です。しかし、温室効果ガス排出量の低減は喫緊の課題となっており、今後さらに研究開発を加速させるべきという議論もあります。短期間で50パーセントを達成するためには、従来とはまったく異なるコンセプトが必要です。その1つが「スーパーリーンバーン(超希薄燃焼)」です。

リーンバーンとは、燃料を希薄な状態で燃焼させる技術だ。ガソリンエンジンでは、通常はガソリン1に対して空気量14.7が、ガソリンと空気とが過不足なく燃焼する混合比(理論空燃比)とされる。理論空燃比付近の燃焼は、自動車の走行性能と燃料消費のバランスが良い。さらに1つの触媒で排出ガス中の炭化水素、一酸化炭素、窒素酸化物を無害化することができる三元触媒は、理論空燃比で最も効果を発揮する。このため、世界の自動車の多くがこの考え方で作られているが、熱効率向上という観点で見るとまだ課題があった。それを解決するのが、超希薄な状態で燃焼させるスーパーリーンバーンだ。

飯田さんはこう説明する。「理論空燃比の燃焼ガスは約2300度と高温で、

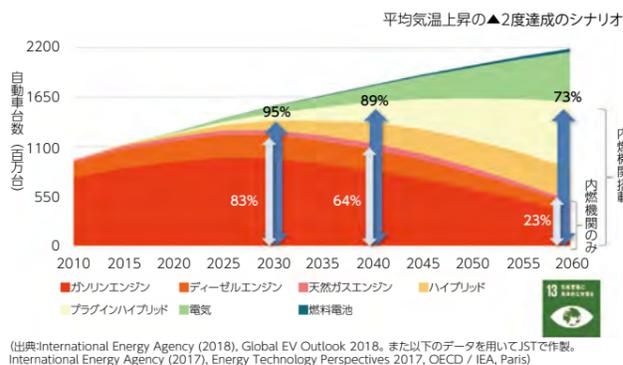


図1 世界将来予測による、自動車保有台数の構成。自動車の電動化が進んでいるが、全体で見ると2040年でも内燃機関は主力となっている。内燃機関の高効率化は、産業競争力強化と温暖化対策に大きな効果がある。

シリンダーの壁などから熱が外に逃げてしまうため、エネルギー損失が大きかったのです。空気をたくさん投入すると1700度ぐらいいまで下がり、損失を減らすことができるはず。SIPでは、空気の量を従来の2倍というスーパーリーンバーンにすることによって、熱効率を50パーセントに高めることを目指しています」。

共通の課題を協力して解決 競合各社が産の共同体を設立

今でこそ「50パーセントの目標に着実に近付いている」と手応えを得ている飯田さんだが、自動車メーカーから最初に技術に関する相談を受けた時には、大学でできることはやり尽くされているだろうと考えていた。理論空燃比でガソリンを燃やし三元触媒を備えた高品質なエンジンが、日本だけでなく、欧州、米国、韓国、さらには中国でも大量に生産されているからだ。

日本では自動車技術の研究開発は企業が自前でやるのが一般的だった。特に内燃機関技術を研究している大学は少なく、自動車メーカーとの共同研究の事例も限られていたのである。

中田さんは「欧州などで産学連携が進んでいるのと比較すると、日本では各企業がばらばらに課題の解決に当たっているのが現状です」と話す。例えばドイツではFVVと呼ばれる内燃機関の研究コンソーシアムが1950年代から活動し、自動車メーカーを中心に、自動車部品、研究開発ベンチャーなど150社以上が参画している。FVVは自動車メーカーなどのニーズを受けて大学と共同で基礎・応用研究を行い、これらの成果がフィー

ドバックされ各社の開発に活用されることで、欧州の自動車メーカーはより早くに製品を市場に出すことができる。

この他、欧州では有力な技術コンサルティング会社も多く、日本の自動車メーカーの一部も最近、研究開発を委託している。その傾向が続けば、欧州に日本の技術が流出する懸念もある。

「日本の自動車メーカーも、そこに危機感を持っていました。そこで各企業が



なかた こういち
中田 浩一

トヨタ自動車
パワートレーンカンパニー
パワートレーン先行機能開発部 部長

1990年 京都大学工学部卒業。同年トヨタ自動車入社。2サイクルエンジンの燃焼研究開発を経て、点火系開発に従事。2000年頃から熱効率向上の担当として研究を実施。得られた知見を基に、新型エンジンの先行開発に携わる。現在は、さらに燃料研究を進めながら、AICEやSIPに参加。

性能に対して合同で産学連携の基礎・応用領域の研究を実施する。これらの成果を各社において競争領域に活用し、開発を加速していくことが目的だ。現在はSIP「革新的燃焼技術」の管理法人であるJSTと連携協定を締結し、研究の推進、情報発信、研究成果の活用に向けた取り組みなど、広範囲にわたってプログラムを支援している。AICEの燃焼研究委員会の副委員長でもある中田さん

は「SIPの公募の時期と、AICEの立ち上げの時期がほぼ一致したこともあり、『何か貢献できるのではないかと考えたのです』とプログラム参加の経緯を話す。

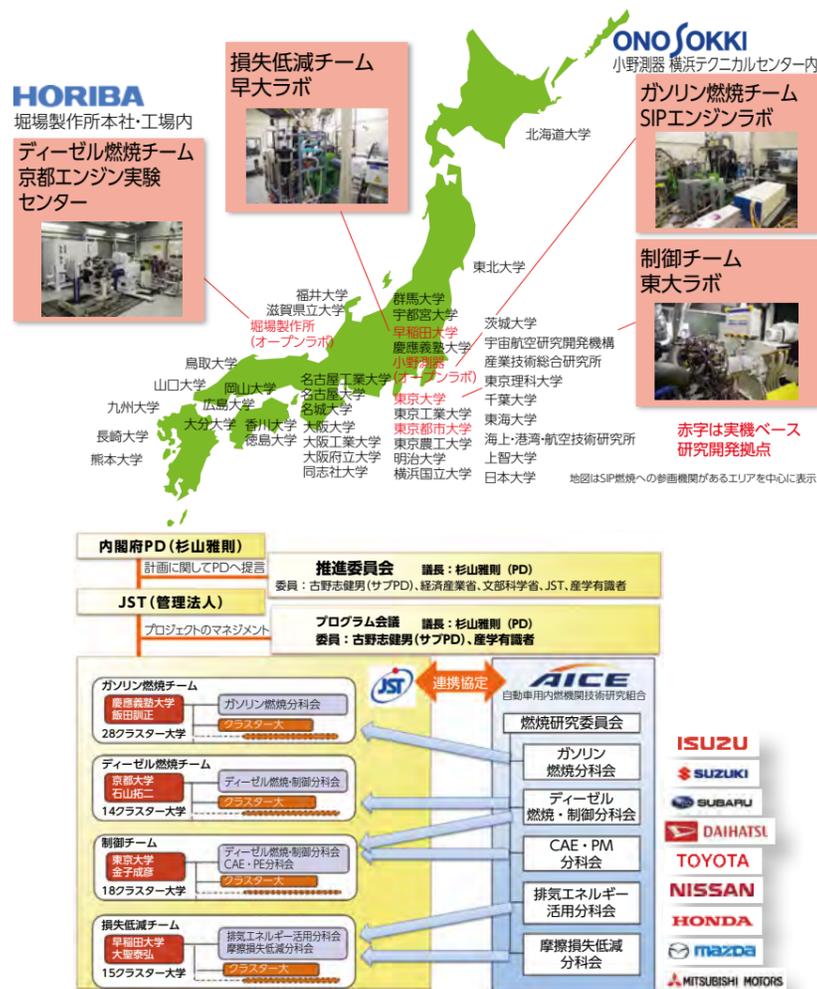
SIPとAICEが連携 産学の英知を結集

SIP「革新的燃焼技術」の研究実施体制の大きな特徴は参加大学の数だ。「ガソリン燃焼チーム」「ディーゼル燃焼チーム」「制御チーム」「損失低減チーム」の4チームに、75大学780人が参加する(図3)。飯田さんが研究責任者を務めるガソリン燃焼チームだけでも、延べ29の研究機関が連携しながら研究を進めている。

その狙いについて、飯田さんは次のように説明する。「スーパーリーンバーンは新しい技術ですから、未解明の現象が



図2 スーパーリーンバーンによる低温燃焼の実現により、エネルギー損失を抑え、熱効率を向上できる。



■図3 SIP「革新的燃焼技術」の研究体制。75大学780人の「学」研究チームに、自動車9社、100人の「産」研究チームが加わった。実機試験ができる4拠点(ラボ)はフル稼働し、小野測器、堀場製作所の2社は、SIP終了後も協力予定だ。

たくさんあります。過去の知見がそのまま適用できないので、どういう現象なのか、何がそれを支配しているのか、科学の視点でしっかりと見直す必要があります。そのためには、エンジンの研究だけでなく、さまざまな分野の研究者の力を借りる必要がありました。1つ1つの現象に対して、さまざまな視点から議論を重ね、新しい知見を積み上げていかなければなりません。

特筆すべきは、全てのチームに対してAICEが連携し、それぞれの支援を行うことだ。中田さんは次のように話す。「AICE 燃焼研究委員会の中には『ガソリン燃焼分科会』、『ディーゼル燃焼・制御分科会』、『CAE・PM分科会』、『排気エネルギー活用分科会』、『摩擦損失低減分科会』があります。それぞれの分科会が、SIPの各チームを支援しています。産と学がそれぞれ知識や経験を持

ち寄り、同じ目標に向け切磋琢磨しているのだ。

所属も立場も異なる多くの研究者が集まるため、マネジメントは容易ではない。このSIP「革新的燃焼技術」全体をまとめる杉山雅則プログラムディレクター(トヨタ自動車 未来創生センター エグゼクティブアドバイザー)のリーダーシップに加え、プログラムを支えたJSTの存在も大きかったと飯田さんは振り返る。「JSTが会議の企画調整、知財戦略の立案、さらに産学間の橋渡しなど、さまざまな支援をしてくれました。これにより、多くの大学が5年にもわたり、団結して研究できました。」

実機試験ができる拠点を整備 研究者の交流の場に

「SIPはまさに『オールジャパン』の産学

連携の研究体制を構築するものです。かけ声だけでなく、本物にするためには、やはり、人と人とのコミュニケーションが重要です」と中田さんは指摘する。

AICEの取り組みは、いわば「産産」の連携といえるが、競合企業同士が集まった共通の課題に取り組むのは日本の自動車産業の歴史でも初めてである。「最初は、各社からやってきた人たちも、『何をやればいいのか』と手探り状態でした。しかし、私も含めて何よりエンジンの燃焼が好きなたちですから、次第に打ち解け、仲間意識も芽生えてきました」と中田さんは続ける。

それぞれが会社のミッションを背負ってきているという使命感もあるだろう。50パーセントの目標を達成するためには、いつまでに何をしなければならぬかを逆算して行動する習慣も身に付いている。それに対して、「学」の世界では、過去の先達による研究を理解した上で、自分なりの知見を加えて次の世代に渡していくといった性格を持つ。企業の研究開発のスタイルとは異なる点も多い。

飯田さんはこう話す。「研究計画を立てる段階、さまざまな装置を製作する段階、初期のデータが出てきた段階など、さまざまなフェーズで『50パーセント達成のためにどんな提案ができるのか』と常に問いかけながら議論を重ねました。大学の研究者、特に若い人にとってはそのようなことを問われるのは初体験だったと思います。しかし、その中から、革新的なものが生まれるのです。」

さまざまな分野の研究者が持つ専門性が融合することで、エンジンシリンダー内に強い流れ(タンブル流)を作った際の、点火プラグ近傍での流体の挙動に関して新たな知見が得られた。これを基に点火プラグの電極形状を改良するアイデアが生まれ、スーパーリーンパーンの実現に向けて大きく前進した。

「各大学が個別に持っている実験装置は、形状、寸法、性能がそれぞれ異なっているため、ばらばらに実験しては、なかなかキャッチボールもできません。また、精度の高い測定をするには、高性能な計測装置や解析装置も必要です。そこで、SIP「革新的燃焼技術」では、さまざまな大学のメンバーが自由に利用でき



■図4 小野測器の協力により設置されたガソリン燃焼チーム共同研究用拠点。産学の研究者たちが入り混じって研究に取り組み、時に議論する。人材育成の場としても有効に機能した。

る研究拠点をチームごとに整備しました。異なる機関の研究者であっても、同じ燃料を使い、共用のエンジン設備で取ったデータに基づいて、分析や議論ができるのは大きなメリットです」と飯田さん。

各拠点は、それぞれのチームの研究責任者が所属する大学を中心に整備された。特筆すべきは、ガソリン燃焼チームおよびディーゼル燃焼チームの拠点が、それぞれ民間企業である計測機器メーカーの施設内に整備されていることだ。ガソリン燃焼チームの拠点は小野測器横浜テクニカルセンター内に、ディーゼル燃焼チームの拠点は堀場製作所本社・工場内に整備されている(図4)。ここからも、密接な産学連携体制がうかがえる。

構築した大規模連携をいかに維持するのか

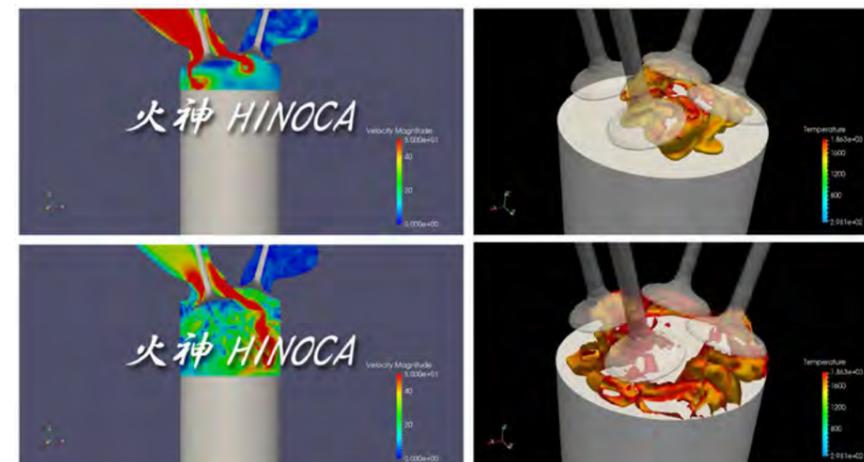
拠点は大学と大学、いわゆる「学学」の交流の場になるとともに、人材育成の場にもなったという。小野測器内にあるガソリン燃焼チームの拠点「SIPエンジンラボ」では、160人以上の博士課程、修士課程の学生が、小野測器の協力により、企業の専門家による安全教育を受けた。作業着を着て、安全帽をかぶり、安全靴を履いて実験するといった基礎的な部分も含めて、学生時代に企業レベルの安全意識に触れることは貴重な体験になったという。

中田さんは次のように話す。「当社からもマネジメントをする人材と研究を進める人材が参加しました。プログラムをどうやって進めていくのか、マネジメントの考え方を伝えていきます。また、社会人

学生としてSIPに参加し博士号を取得した社員もいます。学生は企業におけるミッションに対する意識を学べたでしょう。企業人も学生との交流で気付かされることがあったとも聞いています。同じ目標に向けて一緒に取り組むことで、双方得るものは大きかったと思います。」

「産産学学」の力の結集により、SIP終了後を見据えた新たな成果も生まれている。その1つがガソリン燃焼チームと制御チームとの連携により生まれた自動車エンジンの3次元燃焼解析ソフトウェア「HINOCA(火神)」だ(図5)。

熱効率の目標達成に向けては、エンジン内部の複雑な現象を把握するための高度なシミュレーション技術が不可欠となる。「HINOCA」は宇宙航空研究開発機構(JAXA)が持つ高度な流体解析技術をベースに構築されており、ガソリン燃焼チームが現象解明に基づいて見いだした新しい知見が、制御チームによって現象を再現するモデルとして組



■図5 HINOCAによるシミュレーション結果。左はエンジン内に取り込んだ空気の筒内での流動、排出の様子。赤に近いほど、速度振幅が大きい。右はエンジン内の火炎伝播の様子。赤に近いほど温度が高い。高精度なだけでなく従来のソフトウェアより短時間で計算できる。動画はこちら▶



豪雨被害を減らせ 新型気象レーダーで観測強化

予報が難しい「ゲリラ豪雨」や竜巻などは、時として甚大な被害をもたらす。防災・減災のためには、こうした急激な気象変化の兆候を早期に捉え、事前の避難など適切な対応を取る必要がある。名古屋大学の高橋暢宏教授と東芝インフラシステムズの水谷文彦技術主査は、短時間で詳細な観測が可能な新しい気象レーダーを開発し、2020年の東京オリンピック・パラリンピックでの実用化を目指している。



みずたに ふみひこ
水谷 文彦

東芝インフラシステムズ 小向事業所
電波応用技術部 技術第一担当
気象防災システム 技術主査

2003年 名古屋大学大学院環境学研究科修士課程修了。同年 東芝入社。気象レーダーシステムや気象予測システムなどの製品開発業務に従事。17年より現職。気象予報士。

たかはし のぶひろ
高橋 暢宏

名古屋大学
宇宙地球環境研究所 教授

1994年 北海道大学大学院理学研究科博士後期課程修了。博士(理学)。同年 通信総合研究所(現 情報通信研究機構)入所。専門は衛星気象学、レーダー気象学。2016年より現職。14年よりSIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」研究課題の「豪雨・竜巻予測」の研究責任者。

降雨最大30分前 スマホに情報配信

202X年某月某日、イベント会社に勤務するAさんのスマートフォン(スマホ)にメールが届いた。「降雨予測 B市C地区 10:00~10:10 10分間予測雨量15ミリ:恐怖を感じる降り方」。Aさんは直ち

に野外イベントが予定されている会場に連絡し、屋内退避の手順を関係各所に伝えた。

同じころ、育児休業中のDさんにもメールが届いた。「降雨予測 E市F地区 16:10~16:20 10分間予測雨量0.2ミリ:干した洗濯物の取り込みが必要」。Dさんは「上の子の保育園のお迎えの

前に、洗濯物を取り込まなくては」とつぶやき、傘を持って急ぎ足で保育園に出かけた。

ごく近い未来に、こんな光景が当たり前になる社会が実現しようとしている。防災科学技術研究所と日本気象協会は、SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の一環として、今年7月から10月

末まで2000人のモニターを対象とし、雨が降る最大30分前にメールで情報を配信する「豪雨直前予測情報」実証実験を実施した。

モニターは最大2カ所を登録し、その場所での降雨予測情報を受け取ることができる。ニーズに応じて10分間の予測雨量0.2ミリから15ミリまで5段階の基準雨量と、受信する時間帯や間隔を選べる。一部の自治体にも予測雨量の情報を提供している。

このような情報提供を可能にしたのが、名古屋大学宇宙地球環境研究所の高橋暢宏教授と東芝インフラシステムズ電波応用技術部の水谷文彦気象防災システム技術主査らのチームが開発した「マルチパラメーター・フェーズドアレイ気象レーダーMP-PAWR(エムピーパー)」だ。2017年11月に、埼玉大学にある4階建て研究棟の屋上に設置された(図1)。

相次ぐゲリラ豪雨事故 難しい早期検知

MP-PAWRのデータ解析を担当しているのが、研究責任者である高橋さんだ。「2008年にいわゆる『ゲリラ豪雨』により死者が出る事故が相次ぎ、ゲリラ豪雨を早期検知する必要性が広く認知されました。しかし、当時の技術では発達途中の積乱雲を観測するのは難しかった

のです」と、開発のきっかけを振り返る。スマホのアプリなどで提供されている降雨予測のサービスは、観測時から雨の範囲と雨雲の動き方が緩やかに変わると仮定して未来の雨の量を予測する「ナウキャスト」という手法を取っている。しかしゲリラ豪雨の場合、原因となる積乱雲の発生から雨の降り始めまでが10分以内の場合もあり、急に降り出す豪雨を予測するのは難しい。

パラポラアンテナ型の気象レーダーでは細い電波のビームを水平方向に出し、アンテナを回すことで面状にデータを取得している。アンテナを1回転させるごとに少しずつ角度を上げていくことで、立体的な雲の様子を捉えているため、高さ数キロメートルの雨雲を観測するには5分以上の時間がかかっていた。

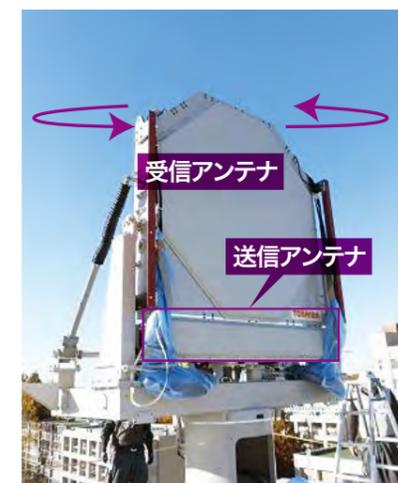
複数アンテナ、電子式を採用 雨雲の立体構造を30秒で観測

ゲリラ豪雨を検知するためには、地上15キロメートル程度の上空の雨雲の状態を観測する必要がある。上空で発生した「これから降ってくる雨」を捉えることが、より早期の検知につながるからだ。しかし、従来型の気象レーダーでは、観測する高度が上がる分、さらに観測に時間がかかってしまう。

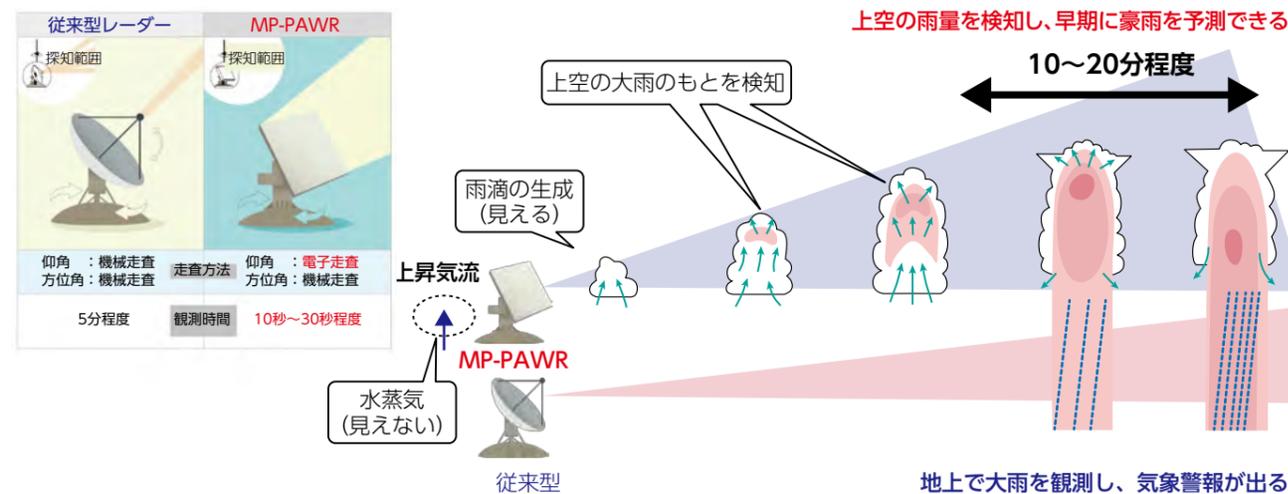
MP-PAWRの製作を担う水谷さん

は「複数のアンテナを並べて水平方向の観測範囲を広げ、仰角方向の走査を機械式から電子式にしたフェーズドアレイレーダーで、高速で精細な雨雲の3次元立体観測が実現しました」と話す(図2)。

フェーズドアレイレーダーはパラポラアンテナのように上下に動かす必要がないため、1回転させるだけで高さ約15キロメートルまでの雲の様子を立体的に捉えられる。「観測時間は約30秒で、観測範囲は従来型と同じ半径およそ80キロメートルです」と水谷さん。半径60キロメートル以内ならば、



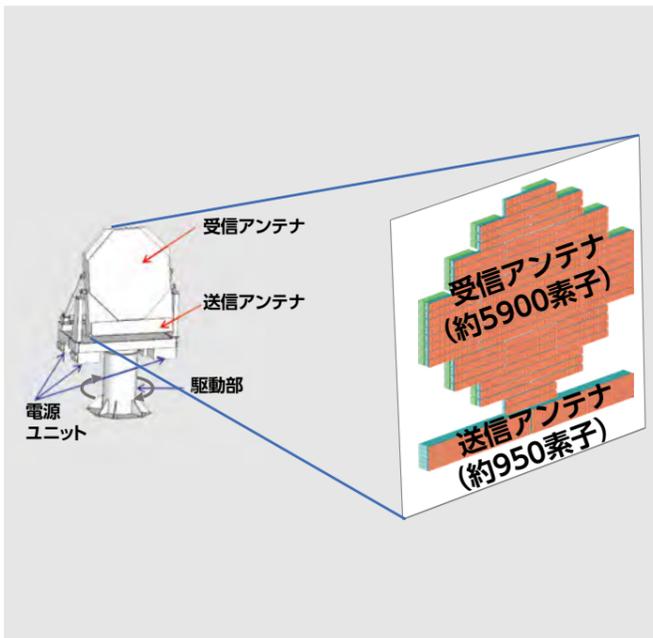
■図1 埼玉大に設置されたMP-PAWR本体。左ページの後方に白いドームで覆われた姿で写っている。



■図2 従来型レーダーとMP-PAWRの比較。上空の雨雲を検知できるMP-PAWRで観測することで、ゲリラ豪雨の早期予測が可能になる。



■図3 MP-PAWRが設置されている埼玉大(図中の★)を中心とした半径80キロメートルが最大観測範囲となる。半径60キロメートルではより高層の雲も観測可能。観測範囲内には荒川流域やオリンピック・パラリンピックの競技場(図中の●)の多くが含まれる。



■図4 MP-PAWRは複数の素子を組み合わせて1つのパッチアンテナが構成されている。受信アンテナは110組(約5900素子)、送信アンテナは20組(約950素子)のパッチアンテナが配置されている。

より高層にある雲も観測できる(図3)。ゲリラ豪雨の原因となるような、急速に発達する雨雲を捉えることも可能になった。

2種類の偏波で雨量を推定 研究用ではなく「実用モデル」

ゲリラ豪雨を正確に予測するためには雨量の観測も重要だ。従来型レーダーでの観測では、雨粒に当たって返ってくる電波の強さから雨量を推定している。しかし電波の強さと雨量の関係は一定ではなく、正確な推定は難しい。

そこで、MP-PAWRはフェーズドアレイレーダーの機能に加え、水平の波(水平偏波)と垂直の波(垂直偏波)という2種類の電波を使うマルチパラメーター(MP)の機能を搭載した。水谷さんは「2つの偏波で観測すると、雲の中の雨滴の粒の大きさの分布に関する情報を得ることが可能になります」と話す。このようにして観測した雨滴の分布を垂直方向に積算すると、地表での降雨量を予測することができる。

MP-PAWRの開発には2つの技術的課題があったという。水谷さんは「1つは、水平・垂直偏波を発信できる平面ア

ンテナである『パッチアンテナ』の開発です。もう1つは受信アンテナ用の新しい半導体の開発で、これはアンテナの小型軽量化と建設費用の低減に大きく貢献します」と力を込める(図4)。

MP-PAWRが設置された研究棟内にはレーダーを制御・モニターする設備があり、基本的に24時間無人で運用されている。天候が急変した時に即応できる強みを持つ。

これらの技術の開発により完成したMP-PAWRは、観測の迅速化と雨雲の立体構造観測、雨量予測の3つを世界で初めて実現した(図5)。高橋さんはこれまでの観測結果について、「いくつかのゲリラ豪雨では、雲を撮影した画像と関連付けることで、豪雨の発生に関する新しい情報が得られています」と説明する(図6)。

防災・減災への活用だけでなく、気象の基礎研究に対しても、これまで観測ができなかった雲の発達の様子を追跡できるMP-PAWRの与えるインパクトは大きい。これに加えて重要なことは、新レーダーは研究用ではなく、「実用モデル」である点だ。プログラム終了後には、冒頭に掲げたスマホへの情報配信の他、防災・減災に役立てる応用を見据えている。

ゲリラ豪雨に「事前」に対応 鉄道事業者との試み

ゲリラ豪雨や竜巻などの被害を最小限にとどめ、被災からいち早く立ち直り元の生活に戻るためには、災害の予測と被害の予防、災害情報の幅広い共有を図る必要がある。MP-PAWRで得られた情報を生かし、災害に対して事前に対策をとるための試みも動き始めている。その1つが鉄道の減災システムだ。

降雨の予測情報を土砂崩れや河川の氾濫のハザードと連携させることで、豪雨や浸水の被害が発生する前に列車を駅など適切な場所で停止させ、乗客の避難に役立てる。そのための情報システムを、複数の鉄道事業者がモニターとして参加した社会実験を通して開発している。

また、MP-PAWRの観測範囲に含まれる東京都の荒川下流域を対象とした台風による風水害に備えた事前防災行動計画(タイムライン)でも、観測結果を活用することが検討されている。現在、「荒川下流タイムライン検討会」には、埼玉県川口市や東京都墨田区など周辺の13自治体が参加し、災害時の防災行動について研究中だ。

課題は観測データの表現方法 民間企業との連携が必要

実証実験を進める中で、「新たな課題も明らかになってきました」と水谷さんは話す。観測したデータを生かし、1人1人の避難行動につなげるために「観測したデータをわかりやすく表現する方法を研究する必要があります。観測結果を3D表示するアプリの開発や、より使いやすいユーザーインターフェースなどの改良が今後の課題です」。

観測データを既存の地図データや、

従来型レーダーによる降水地域の測定結果といった他のデータと重ねると、わかりやすさが向上し、浸水予測などにも活用できる。「観測データを活用するには、民間企業と連携する必要があると感じています。使いやすい形でデータを提供する仕組みを構築していくことも重要だと考えています」と高橋さん。

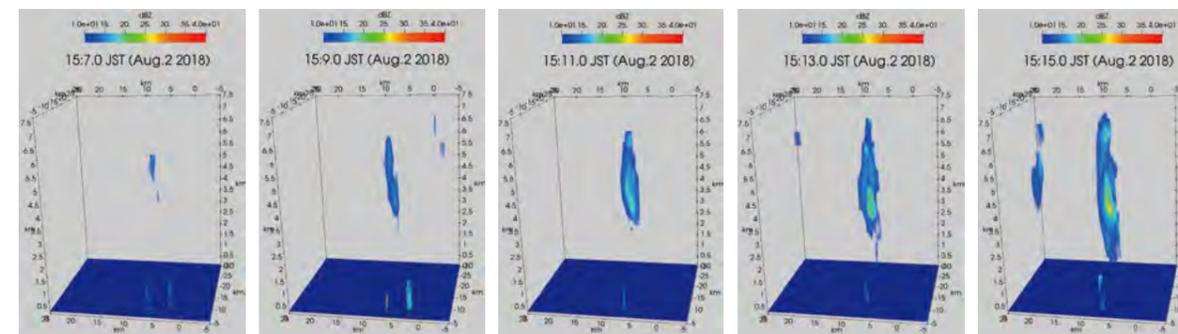
東京2020大会で活用想定 競技実施判断や観客誘導に

さまざまな防災・減災に向けた取り

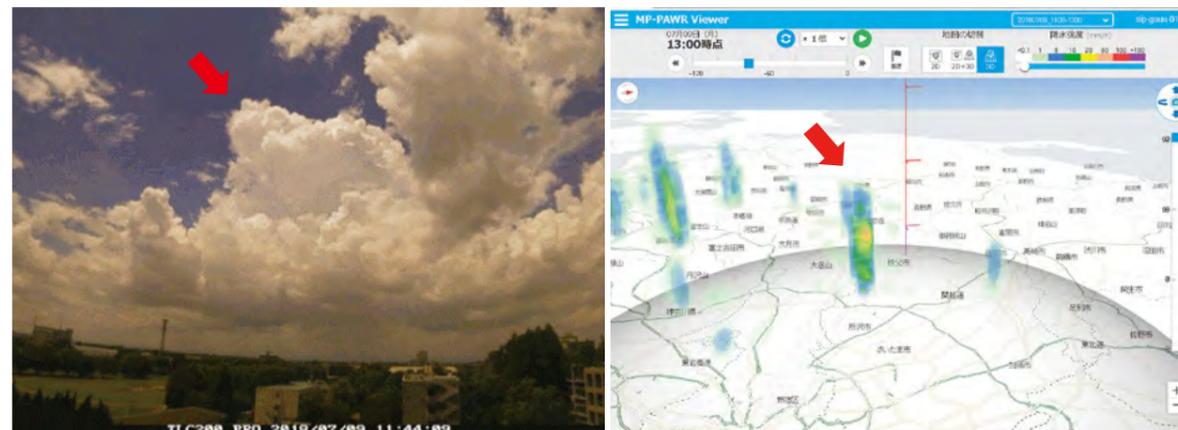
組みに生かされ始めているMP-PAWRだが、その他にはどのような活用があるだろうか。

高橋さんは「東京2020大会で、MP-PAWRの観測結果を屋外競技の開始・中断・継続などの判断材料としたり、豪雨が発生する前に屋根がある場所へ観客を誘導したりといった活用が想定されます」と言う。

世界中から多くのアスリートや観光客の集まるオリンピック・パラリンピックをより快適な大会とするため、MP-PAWRの貢献が期待される。



■図5 MP-PAWRの観測事例(2018年8月2日)。15時7分に発生した積乱雲が発達し、同15分に地上に雨を降らせるまでを捉えることに成功している。左側に別の積乱雲が発生したことも示されている。



■図6 MP-PAWRの観測データと同時刻の空の様子。発達する積乱雲(赤い矢印)を観測できていることがわかる。

予測・予防・対応 3つの柱で防災・減災に挑む

SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」では、MP-PAWRのような災害の「予測」に加え、耐震性の向上による被害の「予防」、そして災害に関わる多様な情報を収集、共有する「対応」の3つの柱の下、研究開発をしている。その開発の中心となる「府省庁連携防災情報共有システム(SIP4D)」は、国全体で状況認識を統一し的確に災害対応するために、多数の府省庁・関係機関の間で、情報を共有し利活用を実現するシステムだ。

SIP4Dはすでに実際の災害でも成果を上げている。2016年の熊本地震では、道路通行可否情報、国土地理院空撮画像、医療機関情報などに加え、建物の被害状況予測を提供することで、厚生労働省のDMAT(災害派遣医療チーム)の効率的な医療機関への派遣を支援した。2017年の九州北部豪雨では、交通規制や避難所の開設状況などをリアルタイムに関係者に配信することで、災害情報の全体像を関係機関が共有でき、効率的な対応の実現に貢献した。

多くの人が同時に助けを必要とするような大規模災害での、状況認識の統一と的確な活動のために、SIP4Dの利便性向上に向けた開発が続いている。

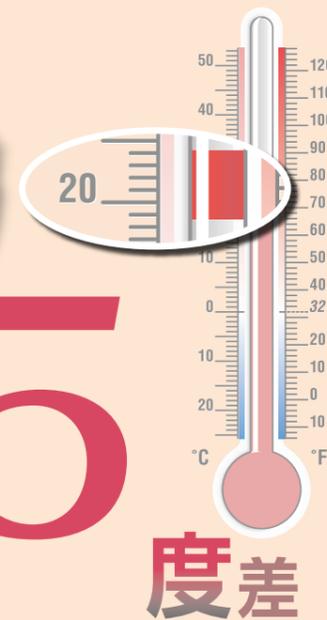
数字に見る 科学と未来 Vol.3

5度の温度差が 電気を生み出す

わたなべ たかのぶ
渡邊 孝信

早稲田大学
理工学術院 教授

1999年 早稲田大学大学院理工学術院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2003年 早稲田大学大学院理工学術院工学研究科講師、さきかけ研究者。05年 早稲田大学理工学術院助教授などを経て、12年より現職。15年よりCREST研究代表者。

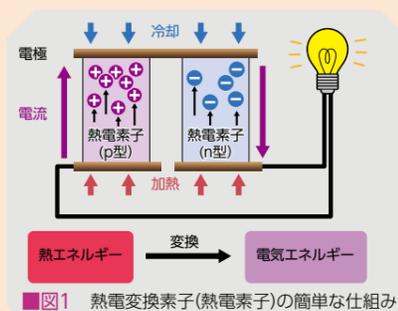


モノのインターネット (IoT) 社会の到来に向けて注目を集めているのが、センサー類に搭載する自立電源として、熱を直接電気に変換できる「熱電変換素子」だ。早稲田大学の渡邊孝信教授はシリコン半導体技術を武器に、たった5度の温度差で電気を生み出すことに成功した。身の回りの温度差を利用した環境発電の実現に向け、期待がかかる。

シリコンに着目し研究を開始

私たちの身の回りには多くの温度差が存在する。例えば、日傘などで日差しを避けると、温度が5度程度下がるといわれている。身近に生じるわずかな温度差をエネルギーとして利用できるか。そんな研究が進められている。

利用するのは、温度差によって物質内で生じる熱の流れを、直接電気に変換できる「熱電材料」だ。「熱電変換素子(以下、熱電素子)」は、その熱電材料からp型とn型の2種類の半導体を作って並べ、それぞれの両端を接合した構造をしている(図1)。p型はプラスの電荷、n型はマイナスの電荷を運ぶため、両端に温度差をつけると電荷が熱によって拡散する。その結果、電気が流れや



すくなり、より大きな起電力が得られるのだ。

実は熱電素子は40年以上も前に実用化されている。1977年に打ち上げられた米国航空宇宙局(NASA)の宇宙探査機に太陽電池の代わりに積み込まれ、太陽光の届かない宇宙の観測を陰で支えた。しかし民間ではほとんど普及しなかった。最大の理由は、エネルギーの変換効率が低いからだ。また、室温付近で性能を発揮する実用的な熱電材料は高価なレアメタルしかないことも普及の障害となった。

しかし、2008年に海外の研究チームが英国の科学雑誌「ネイチャー」に発表した論文により風向きが変わる。CPUやメモリーなど半導体素子の材料であるシリコンは熱伝導率が高いため、極小の素子の中で温度差をつけることが非常に難しく、熱電材料としては使えないと考えられてきた。ところが、数十ナノメートル(ナノは10億分の1)幅の極細のワイヤにすると、熱が極端に伝わりにくくなる一方で電気は流れるため、熱電材料として有望だというのだ。

「現在、半導体基板の市場の9割はシ

リコンで占められていて、微細加工技術が確立しています。シリコンを使って熱電素子を作ることができれば、高効率で小型の熱電素子が低コストになるのではないかと考え、研究開発を始めました」と早稲田大学の渡邊孝信教授は振り返る。

渡邊さんの専門は、シリコン半導体素子の小型化・高性能化に関する研究だ。長年培ってきた知識を、熱電素子の開発に生かそうと考えた。

近年取り組みが加速するIoT社会への移行も研究開発を後押しした。IoT社会ではさまざまな物や場所に小型のセンサーや通信機能を持つ機器が設置される。これらの機器は小さな電力で十分に動くが、数が多いため電池を替えるといったメンテナンスは困難だ。そこで、太陽光や太陽熱、風など周囲の環境から電力を得る「環境発電」技術が盛んに研究され、熱電素子への関心も高まってきたのだ。

「ちょうどその頃、CREST「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」研究領域が立ち上がったのです。これは渡りに船だと思い、迷わず応募しました」。

温度差を生み出す構造を探る

熱電素子の開発に当たり、渡邊さんがまず注力したのが構造である。「温度差をつけるため、さまざまな構造を考案しました。試行錯誤を繰り返していた時に修士課程の学生だった徐泰宇さんがコンピューターシミュレーションにより、狭い範囲内で急峻な温度差をつけられる方法を発見しました。この発見が新構造の発明につながりました」。

開発した構造のポイントは、シリコンナノワイヤが基板上に貼り付いた形になっていることだ(図2)。この状態では普通はシリコンナノワイヤに温度差がつかないが、ワイヤの長さを数百ナノメートルまで短くすれば内部に大きな温度差をつけられるのだ。

早速、実際に熱電素子(図3)を作製したが、最初から上手くいったわけではない。温度差が大きいほど発電量を増やすことができるが、高温で温めると熱がナノワイヤ全体に行き渡ってしまい、温度差がつかなかった。

「さまざまな条件で実験を繰り返した結果、基板表面への熱の注入方法を最適化し、温度差を5度にするとう熱電素子1平方センチメートルあたり1.0マイクロワット(マイクロは100万分の1)の発電量が得られることがわかったのです」。

世界最高レベルの発電に成功

しかし、1.0マイクロワットでは発電量が小さい。IoTデバイスで最も電力を消費する無線通信素子では、ブルートゥース(Bluetooth)やジグビー(Zigbee)など低消費電力で知られる規格でも待機電力だけで2.6~3.3マイクロワットが必要となる。そこで試みたのが、熱電素子を載せているシリコン基板を薄くすることだ。「片側の金属は、シリコン基板を通して冷却しています。熱電素子の部分は、最短で0.25マ

イクロメートルしかない一方、シリコン基板の厚さは745マイクロメートルもありました。この厚みが冷却効果を弱め、発電効率を低下させていると考えたのです」。

そこで、熱電素子の設計図の作製などを担当する早稲田大学の富田基裕次席研究員は、シミュレーションにより最適な厚みを導き出した。企業に特注して熱電素子の基板を厚さ50マイクロメートルまで削ったところ、なんと、シリコンナノワイヤを使った熱電素子としては世界最高レベルの1平方センチメートル当たり12.3マイクロワットの発電量を記録した。2017年12月のことだった。

「研究室で実験を進めていた学生から報告を受けたのはCRESTの成果報告会に出席している最中で、送られてきた結果を急いで発表スライドに加えしました。最高にうれしかったですね」。

新たに設計した熱電素子の作製では、同じCRESTチームの産業技術総合研究所(産総研)の松川貴ナノCMOS集積グループ長、松木武雄TIA推進センター研究員との連携が生きた。

「産総研の最先端の半導体製造技術がなければ、熱電素子を試作することができず、世界最高記録も出せなかったでしょう」。

現在は、さらなる発電量の向上と早期の実用化を目指している。「常温、5度の温度差で発電する環境として、まずは体温を使った健康のモニタリング

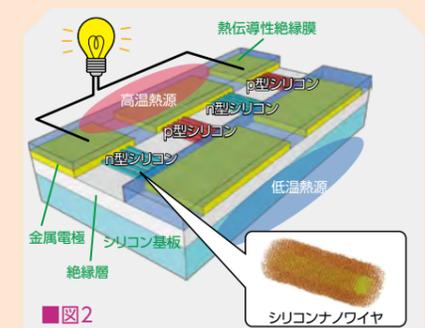


図2 p型とn型のナノワイヤをそれぞれシリコン基板上に作り、これを交互に横に並べていき、電極で結び付ける。ナノワイヤの片側を、絶縁膜を介してヒーターで温め、もう片側をシリコン基板の下から冷却することで、ナノワイヤの両端に温度差をつけ、発電させるという仕組みだ。

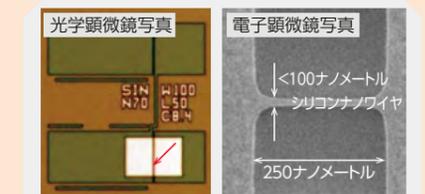
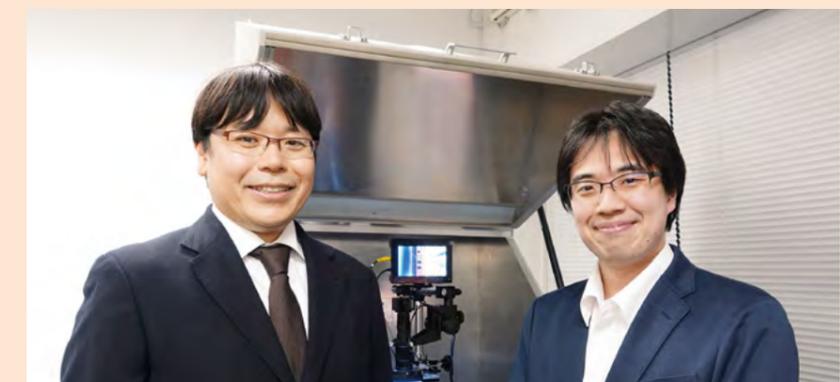


図3 実際に作製した熱電素子。薄いシリコン結晶層の下に絶縁層が挿入されたシリコン基板上に、シリコンナノワイヤを数十本、平行に削り出す。左図では矢印の部分に幅は数十ナノメートル、長さ250ナノメートルのナノワイヤ70本が並んでいる。1本のナノワイヤを拡大したのが右図。

デバイスやウェアラブルデバイスが考えられます。また、IoT用センサーの電源として、日なたと日陰、昼と夜などの温度差を利用した環境発電も可能でしょう。機器の故障に伴い発生した熱を使って発電し、その電気で通信して故障を知らせてくれるセンサーとしても利用できそうです」と渡邊さん。アイデア次第で、応用先は果てしなく広がっていきそうだ。



渡邊さんと富田基裕さん。中央にあるのは熱電素子の発電量を測定する実験装置。

CREST「微小エネルギー」領域の公開シンポジウム「環境発電技術を使ってみよう」を開催
日時：11月7日(水)13時~17時30分 場所：早稲田大学西早稲田キャンパス
URL：<https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research/activity/1111088/eh-symp/index.html>





研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ
研究領域「生命機能メカニズム解明のための光操作技術」
研究課題「構造情報を基にした新規チャンネル型抑制性光遺伝学ツール開発」

光によって活性化される天然型、人工型の陰イオンチャンネルの構造を明らかに
新しい光遺伝学ツールの開発に成功

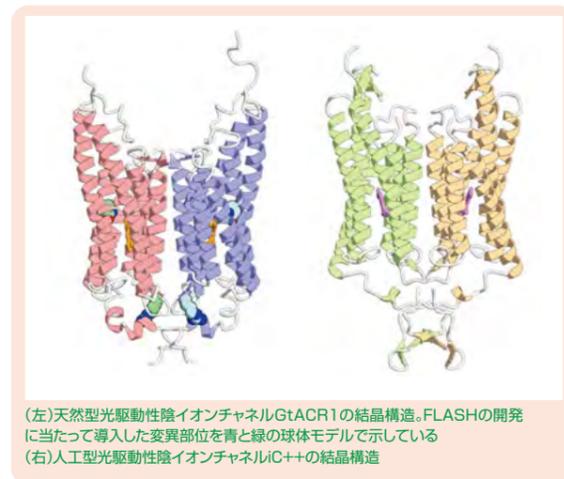
神経細胞は、細胞膜にあるたんぱく質であるイオンチャンネルが開閉し、イオンが出入りすることで活動します。そのため、光照射によって活性化するイオンチャンネルを脳の神経細胞に埋め込むと、光を用いて神経細胞を刺激あるいは抑制することができます。この方法は光遺伝学とも呼ばれ、注目を集めています。

陰イオンを通す光駆動性のイオンチャンネルは、2014年に人工的に開発され、翌年には自然界から発見されました。これらは神経活動を抑制する上で重要ですが、神経を活性化させる光駆動性の陽イオンチャンネルより研究が遅れており、改良のためには詳細な立体構造の解明が求められていました。

米国スタンフォード大学の加藤英明

博士研究者らは、X線結晶構造解析により、天然型であるGtACR1と人工型であるiC++という2種類の光駆動性陰イオンチャンネルの立体構造を高い解像度で決定しました。さらに、立体構造情報を基にGtACR1に変異を導入し、陰イオンを良く通すという性質を保ったまま素早い開閉を実現させたFLASHと呼ばれる新しい陰イオンチャンネルを開発しました。

神経活動のより精密な制御ツールとして、これまで困難だった光遺伝学実験を



(左)天然型光駆動性陰イオンチャンネルGtACR1の結晶構造。FLASHの開発に当たって導入した変異部位を青と緑の球体モデルで示している
(右)人工型光駆動性陰イオンチャンネルiC++の結晶構造

可能にし、ヒトの脳機能やパーキンソン病など神経疾患の理解が進むことが期待されます。



開催報告

日本科学未来館

携帯電話からオリンピックメダルを作る理由

使用済みの家電製品を集め、その中に存在する金・銀・銅を回収してオリンピックメダルを作る「みんなのメダルプロジェクト」(運営:東京2020組織委員会)が2017年4月から始まりました。

9月1日に日本科学未来館(東京・お台場)で、資源リサイクルについて考えるイベントを開催しました。講師は物質・材料研究機構の原田幸明名誉研究員です。

イベントでは天然資源である金属の大量採取や、使用後の家電製品の不適正な処分が大きな環境破壊をもたらしている現状が紹介されました。さらに、家電製品のリサイクルは枯渇しつつある金属資源を確保するために必要なだけでなく、環境破壊を防ぐ行為である

と、その重要性も語られました。

しかし、国内ではリサイクルが進まず、約9割が家庭で眠ったままだそうです。「リサイクルに良いイメージを持たない人が多いことや、小さい家電は家庭に置いたままでも邪魔にならないことが回収されない理由」と原田先生。参加者からは「リサイクルの最初の段階を消費者が担っていることを知った」「リサイクルに積極的に参加したい」といった声が多く聞かれました。



家電製品のリサイクルの大切さを語る原田名誉研究員

日本科学未来館では今年12月27日まで、館内に「使用済み携帯電話回収ボックス」を設置し、同プロジェクトに協力していきます。



研究成果

イノベーションハブ構築支援事業
情報統合型物質・材料開発イニシアティブ

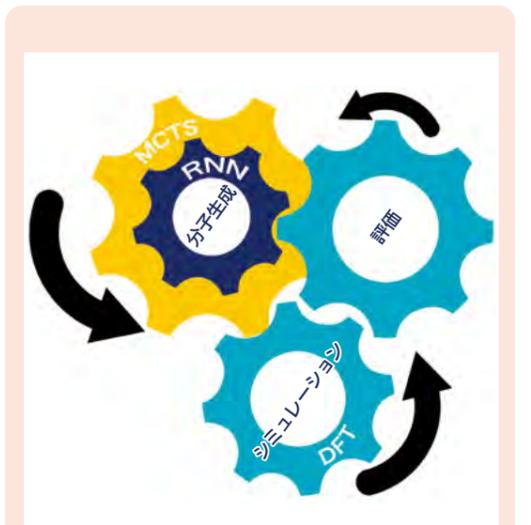
AIによる合成可能な有機分子の設計とその実験的検証に成功

深層学習による人工知能(AI)技術の発展によって、複雑な有機分子の設計が人手を介さずにできるようになってきています。しかし、設計された分子の構造は自然界に存在する分子や過去に合成された分子の構造とはかけ離れていることが多く、安定に存在できるのか、実際に合成できるのか、望みの特性を示すのかなどについてはわかっていませんでした。

理化学研究所革新知能統合研究センターの隅田真人特別研究員、津田宏治チームリーダー、物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点の石原伸輔主任研究員、田村亮主任研究員らは、量子力学に基づいた分子シミュレーション技術(DFT)とAI技術で

ある再帰型ニューラルネットワーク(RNN)、囲碁AIにも使われているモンテカルロ木探索法(MCTS)を組み合わせることにより、光の吸収波長を対象とした分子設計を実行し、望みの性質を有した合成可能な分子を設計することに成功しました。さらに、数個の分子を実際に合成して望みの特性があることを確かめました。

将来、太陽電池の集光材料や電気貯蔵材料、有機EL用の発光といった有機エレクトロニクス分野における機能性分子の開発が加速すると期待されています。



AI技術による有機分子設計のフロー図



開催報告

ライフサイエンスデータベース統合推進事業
バイオサイエンスデータベースセンター(NBDC)

医学への応用やデータベースの統合を議論
トーゴの日シンポジウム2018を開催

バイオサイエンスデータベースセンター(NBDC)は10月5日、「トーゴの日シンポジウム2018~バイオデータベース:つないで使う~」を日本科学未来館(東京・お台場)で開催しました。

生命科学分野におけるデータベースの統合と利活用について、大学や研究機関、企業などから約300人が参加し、ともに考え議論を深めました。当日は2件の招待講演と11件の口頭発表などがありました。

今年は新しい試みとして、医学に関する4つのデータベースについて開発者と利用者がペアとなり、データベースを活用した創薬研究などの利用例と、将来への期待や展望を発表しました。また、もう1つの新企画であるワークショップでは、



ワークショップで利用者の質問に答えるデータベース開発者チーム

63件のポスター発表も行われました。

データベースの連携がもたらす効果や詳しい使い方について、利用者と開発者が直接意見を交わしました。

参加者からは「バイオ関連のデータベースが一堂に会する貴重な機会だ」「初めての参加でしたが大変勉強になりました」などの声が聞かれました。講演

動画やポスター発表のデータは近くウェブサイトで公開します。

トーゴの日シンポジウム2018ウェブサイト
<https://events.biosciencedbc.jp/sympo/togo2018/>



神経細胞のつながりから 脳の性差に挑む

理化学研究所 生命機能科学研究センター
比較コネクティクス研究チーム
チームリーダー

宮道 和成
Kazunari Miyamichi



Q 研究テーマを一言でいうと?

A 社会行動をつかさどる神経回路の構造の解明

哺乳動物のさまざまな行動をつかさどる脳の視床下部にある神経細胞について、マウスを用いて研究しています。具体的には、マウスがある行動をした時に働く複数の神経細胞同士が、どのようにつながっているのか、その接続パターンを網羅的に解析しています。これは、神経細胞の回路を明らかにするテーマです。特に神経細胞の接続パターンに雌雄で違いがあるのか、雌が妊娠中や出産する時にこのパターンがどのように変化するかについて興味を持っています。

まだ始まったばかりですが、こうした研究を通じて脳の実態に迫っていきたいです。さらに、研究対象をマウス以外の哺乳動物に広げるための環境作りにも取り組んでいます。



Q 現在の研究テーマに取り組んだきっかけは?

A 著名人を題材にした本との出会いと自身のライフイベント

子供の頃は特に生物が好きだったわけではなく、インドア派で日がな一日、本を読んでいるのが好きでした。高校生の時にノーベル生理学・医学賞を受賞した利根川進先生たち取材した立花隆さんの本を読んで、研究者になりたいと思いました。それから大学に進学し、これまでは、特定のフェロモン(匂いの一種)を処理する際に、脳で働く部分が雌雄によって違うのかを探ってきました。今までも性差に関わる研究をしてきましたが、雌の妊娠や出産に関わる神経細胞の接続パターンに焦点を当てて研究しようと決めたのは、妻の妊娠、出産がきっかけの1つだと思います。何でも研究対象として見てしまうのは研究者の癖ですね。



Q 研究室を立ち上げて変わったことは?

A 夫婦で研究と育児に奮闘する毎日

今年4月から神戸の理化学研究所に移りました。妻も研究者なので、共に研究に励みつつ、協力して2人の子供を育てています。自分の研究室を立ち上げることになって不安だったのは、妻の仕事でした。夫婦同時に同じ機関のポジションを確保することは難しいからです。そこでジョイントオファーをお願いしました。研究者の赴任に際して配偶者のポジションも用意してもらえる制度です。アメリカでは一般的ですが、日本ではあまり浸透していません。研究場所が変わっても夫婦で安心して研究を続けられる制度を整えてほしいと思います。

研究を進めていく中でぶつかる問題は、乗り越えたり迂回したりできることが多いものです。大望を持ち、自分の才能を信じて取り組むことが大切だと思っています。