

特集 1

衛星観測とモデルシミュレーションを融合

洪水を72時間前に予測し、 被害を最小限に抑制

連載 イノベ見て歩き

無意識な点滴の抜去を防ぐシステム開発
産学医の連携で尊厳ある認知症ケアを実現へ

NEWS&TOPICS

さきがける科学人

特集 2

太陽光パネルのシリコンを使って有用物質合成 CO₂排出とパネル廃棄の 問題を同時解決可能

03 特集1

衛星観測とモデルシミュレーションを融合
洪水を72時間前に予測し、被害を最小限に抑制



08 特集2

太陽光パネルのシリコンを使って有用物質合成
CO₂排出とパネル廃棄の問題を同時解決可能



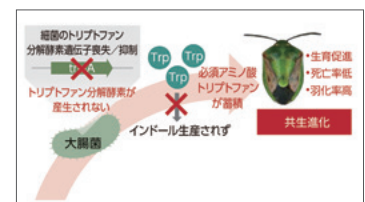
12 イノベ見て歩き

無意識な点滴の抜去を防ぐシステム開発
産学医の連携で尊厳ある認知症ケアを実現へ



14 NEWS&TOPICS

- ▶低温でのアンモニア分解活性を大幅向上
- ▶加齢で大動脈瘤が悪化する仕組みを解明
- ▶北太平洋亜寒帯で顕著な「海の温暖化」
- ▶たった1つの遺伝子が決める共生への進化



16 さきがける科学人

個体の多様性と同調がハエの集団を強くする
遺伝子レベルの分析で「個性」の役割を追求



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.12、P.14下



▶ P.3



▶ P.8、P.14上



▶ P.12



▶ P.14上、P.16



▶ P.3



▶ P.8、P.15上



▶ P.3、P.8、P.14上、P.15上



▶ P.15上、P.16



▶ P.16



▶ P.12

編集長 小林 里美

科学技術振興機構(JST)広報課

制作 株式会社角川アスキー総合研究所

印刷・製本 文化堂印刷株式会社





芳村 圭

Yoshimura Kei

東京大学 生産技術研究所 教授
2021年より未来社会創造事業
研究開発代表者

特集

1

衛星観測とモデルシミュレーションを融合 洪水を72時間前に予測し、被害を最小限に抑制

地球温暖化の影響で、世界各地で豪雨が発生し、洪水も頻繁に起こっている。こうした気候変動による被害を防ぐためには、堤防の整備や増強といったハード面の対策に加えて、洪水を予測し、ダムや水門の放流や住民の早期避難といったソフト面の対策も重要だ。現在、洪水予報は早くとも発生6時間前の発表となるが、東京大学生産技術研究所の芳村圭教授は、衛星観測とモデルシミュレーションの融合により、72時間前の予測に挑戦している。洪水に関する情報伝達と防災対応を最適化することで、被害を最小限に抑える社会の実現を目指す。

取材・撮影等協力：東京大学柏キャンパス

未来社会創造事業

経済・社会的にインパクトのある目標を定め、基礎研究段階から実用化が可能かどうか見極められる段階(概念実証:POC)に至るまでの研究開発を推進する。

世界の被害額は年間約4兆円 「洪水を災害にさせない」社会へ

近年、地球温暖化に伴って超大型台風や極端な豪雨などの気候変動が起き、被害規模が甚大になっている。2000～19年における洪水被害の報告数は1980～99年の2.34倍に達し、世界で毎年平均約4兆円の被害が出ている(図1)。日本では19年の台風19号の被害額が1兆8000億円に上った。洪水は今後も増えると懸念され、被害を最小限に抑えることは喫緊の社会課題となっている。

以前は、ダムや堤防といった治水施設の整備・増強が対策の中心となっていた。だが、こういった「洪水を起こさない」対策だけでは被害の拡大を防げなくなっている。「問題は、100年に1度の頻度でしか起こらないと想定されていた規模の洪水が、しばしば起こるようになってしまったことです。そこで、私たちの研究チームでは発想を転換し『洪水を災害にさせない』社会の実現を目指しています」と、東京大学の芳

村圭教授は語る。

洪水の被害を最小限にするには事前の対策が重要であり、精度の高い長期間の予測が必要となる。しかし、現状の洪水予報では、発表後に避難などを開始しても対応が間に合わず、甚大な被害が発生してしまう事象が多発している。また、情報の精度が不十分なため、洪水が起きそうな場所をピンポイントで特定し、集中的に対策を打つことが難しい。

そこで、芳村さんのプロジェクトでは、衛星観測とモデルシミュレーションを組み合わせ、洪水の発生を72時間前に高精度・高解像度で予測することで、誰もが余裕を持って効果的な行動ができる社会の実現を目指す(図2)。洪水を予測するだけでなく、情報の伝え方も研究し、各人の置かれた状況や必要に応じた予測情報を提供することで被害の拡大を防ぐと同時に、避難計画や防災施設の設置など国や自治体の防災・減災対策の策定にも寄与したい考えだ。

全世界対象に予測情報を提供 人工衛星活用し適中率50%に

芳村さんの専門分野は、気候システムと水循環だ。地球全体の大気・海洋・陸面・雪氷圏の状態とそれらの相互作用を、力学・熱力学・放射などの物理法則に基づいて数値的に表現した気候モデルを開発し、シミュレーションによって温暖化による影響などを研究している。これまでに、自然環境と同様に、通常の水に質量数が大きな水の同位体が混ざった気候モデルを作成するなどして、地球上の水循環の精度を改善し、気候変動の詳細なメカニズムを調べてきた。

芳村さんのプロジェクトでは、3つのチームに分かれて研究を進めている(図3)。「洪水予測技術開発チーム」は、一般的な河川沿いでの水位計のデータだけでなく、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の人工衛星からの浸水域・水位の観測情報、さらには住民によるSNS情報も利用。人工知能(AI)による降水予測の補正技術、地下水挙動やダム操作・堤

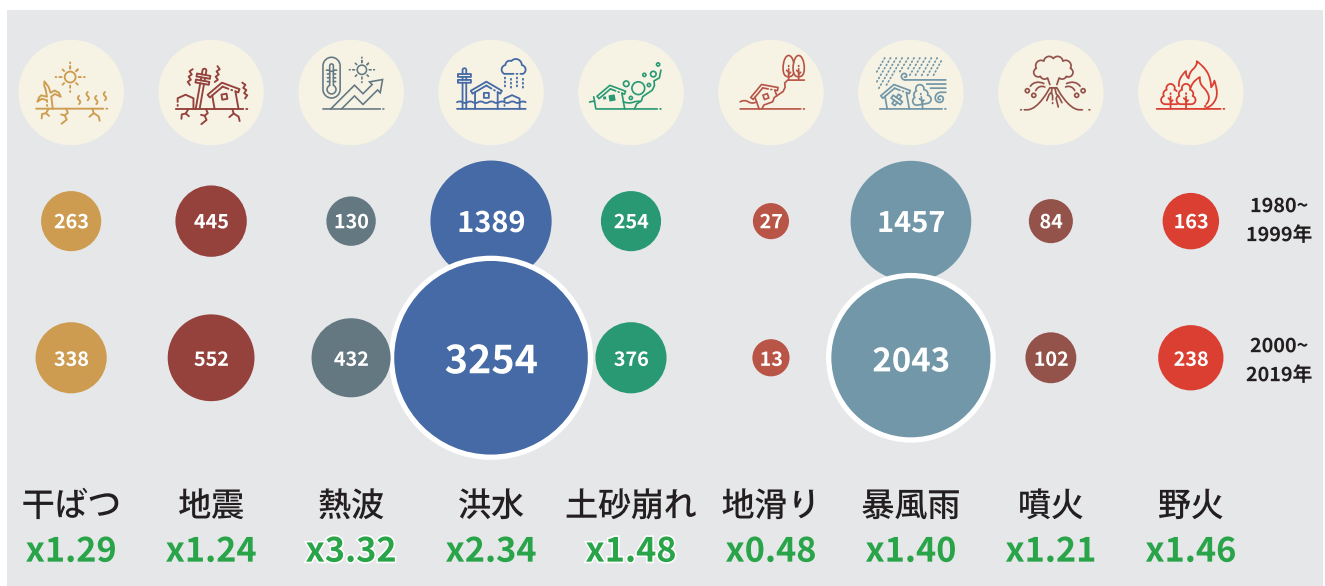


図1 1980～99年と2000～19年における自然災害の種類ごとの発生報告数の比較。

出典：UNDRR & CRED (2020). The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019).

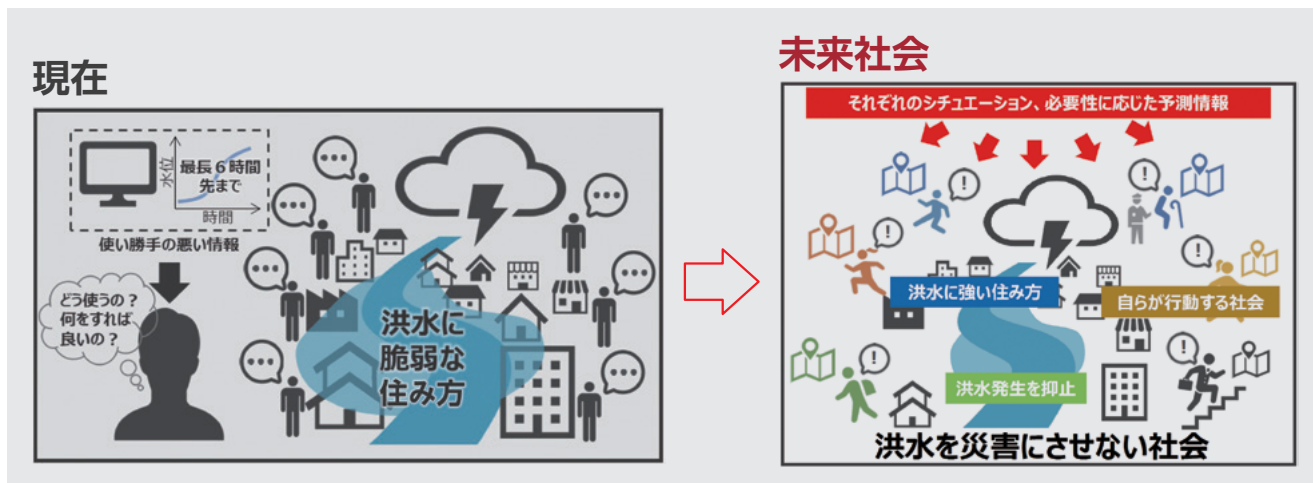


図2 72時間先の洪水予測技術に基づく適切な情報提供により、従来の「待ち」の避難・防災の形から、自ら行動する社会・洪水に強い住み方に変えていくことで、洪水を災害にさせない社会を実現する。

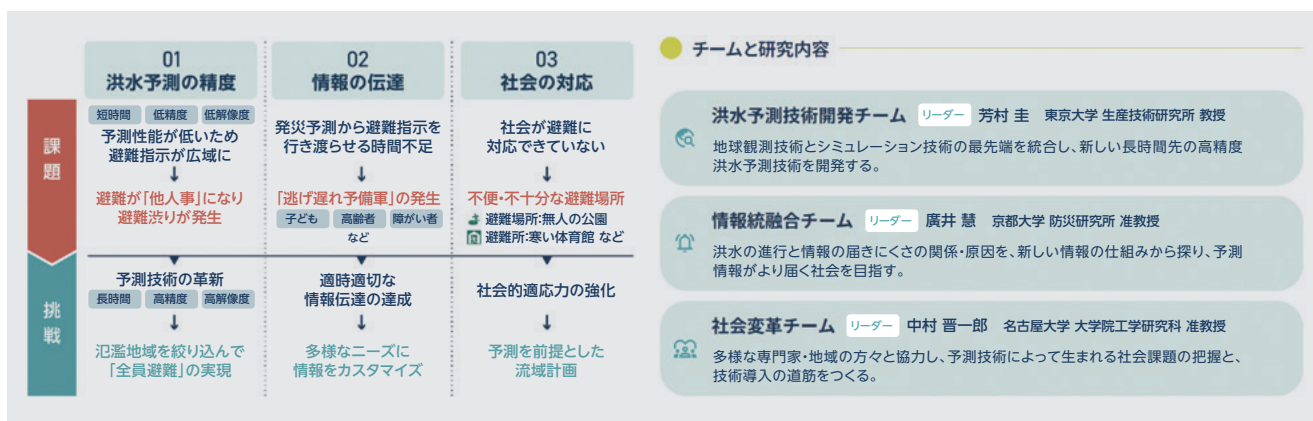


図3 芳村さんのプロジェクトでは、3つの課題に対して、それぞれ「洪水予測技術開発チーム」「情報統合チーム」「社会変革チーム」が取り組んでいる。

防に関する情報・データ、確率的な予測機能も組み込んだ最先端のシミュレーターにより、全世界を対象に72時間まで先の洪水予測情報を提供することを目指す。

芳村さんはすでに、世界の降水データや河川流量、水蒸気といったデータを集めてシミュレーションする仮想の地球「Today's Earth」をJAXAと共同開発し、運用している。このシステムでは、衛星観測をはじめとする気象データに基づいて、河川や地下水などの陸地と、水蒸気や降水といった大気との間での水とエネルギーのやり取りを計算し、地表面におけるさまざまな変数を出力。計算された総流出量に基づき、

氾濫原^{はんらんげん}を考慮して水力学的計算を実施する(図4)。

水力学的計算では、河川を長方形水路、氾濫原をそこからの斜面でそれぞれ表現し、各地点において数値計算をすることで、流量や氾濫面積割合といった河川にまつわる物理量を導く。Today's Earthの精度を向上させることで、より長時間の洪水予測に使えるシステムに発展させる考えだ。

芳村さんが研究を加速させる契機となったのは、2015年9月に発生した関東・東北豪雨だったという。この時は、茨城県内で鬼怒川が決壊し、洪水で大きな被害が出た。被災地は鬼怒川と小貝川に挟まれた地域。小貝

川は千葉県柏市にある芳村さんの研究室近くを流れており、調査対象の川でもあった。身近なところで起きた洪水を見て、「こうした災害が今後首都圏で発生する可能性が高まっていることを再認識しました」と振り返る。

その後、JAXAの協力によって複数の人工衛星の情報も取り入れることができ、洪水予測の精度は向上していく。「2019年の台風19号の時は142カ所ですべての堤防が決壊が起きました。そのことは39時間前に予測できていました。残念ながら法律上の問題もあり、データを公開できませんでしたが、洪水を予測できることを確認できました」。現在、洪水の適中率

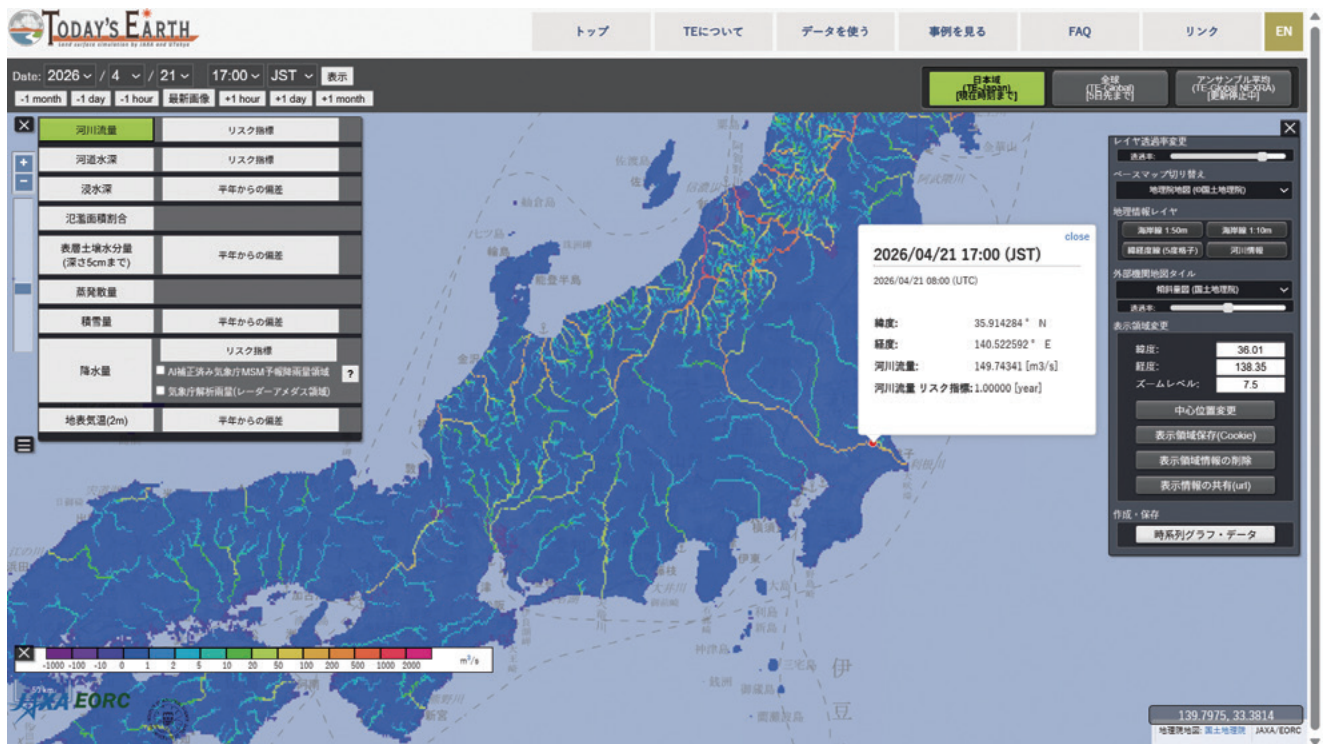


図4 Today's Earthの画面例。気象業務法により、一般ユーザーは、各地点における河川流量、水深、浸水深、氾濫面積割合などを現在時刻までしか見ることができないが、研究用途の限定ユーザーは39時間先の予測まで見ることができる。提供：Today's Earth (JAXA)
URL : https://www.eorc.jaxa.jp/water/index_j.html

(洪水が予測されたうちで実際に洪水が起きた率)は25パーセント程度だが、今後は50パーセントまで引き上げたいとしている。同様に、洪水の捕捉率(実際に起きた洪水のうちで予測されていた率)は90パーセント程度だが、今後は95パーセントまで高めたいとしている。また、そもそも洪水予測ができていないと、自治体や住民がその後の対応をとることができなくなってしまうため、できる限り多くの洪水を予測することも求められる。

情報の提供方法について検証 行政や住民とワークショップも

今回のプロジェクトでは「洪水予測技術開発チーム」以外にも「情報統融合チーム」、「社会変革チーム」が研究を進めている。「情報統融合チーム」では、京都大学防災研究所の廣井

慧准教授がリーダーを務め、どのようにすれば洪水予測の情報が人々に届きやすくなるのかを検討している。いくら正確に洪水を予測できたとしても、適切な形で提供・伝達されなければ、避難指示を行き渡らせる時間が不足し、子どもや高齢者などの逃げ遅れが発生してしまうからだ。

廣井さんらは、災害が起きた場合の社会をコンピューター上に再現する技術を使って、より現実に近い仮想社会を作成。洪水を発生させて、予測を提供するタイミングに応じて情報をどのようにカスタマイズすれば人々に正しく伝わり、適切な行動に移してもらえるのかを検証している。

名古屋大学大学院工学研究科の中村晋一郎准教授がリーダーを務める「社会変革チーム」は、人文・社会学者や地域の関係者などさまざまな立場のメンバーが協力し合って洪水予測技術の社会への導入に向けたシナ

リオを構築。想定される倫理的・法的・社会的課題の把握を進める。行政や住民とのワークショップ(図5)やアンケート調査によって、洪水予測技術に対するニーズや、社会実装の可能性や課題を特定し、自治体と連携して防災計画に盛り込むことを目指す。

地域ニーズに合う長期予報へ 複数の自治体と研究協定締結

自治体との連携も欠かせない。芳村さんらは2025年3月に愛知県岡崎市と、同年12月に長野県飯山市と研究協定を結んだ。飯山市は、19年の台風19号で大規模な洪水に襲われ、隣接する長野市の新幹線車両基地が水没したことが記憶に新しい。

複数の自治体と連携することの意義について、芳村さんは「長期予報に対するニーズは自治体ごとに異なるからです」と説明する。例えば、岡崎



図5 長野県・長野市を対象とし、行政職員と研究者が参加するワークショップを長野市内で2回開催した。各回、長野県庁と長野市役所の防災に限らない多様な部署の職員と、洪水予測システム開発者を含む研究者からなる30名程度が参加し、長時間洪水予測が可能になった場合に自分の業務がどのように影響を受けるかについて議論した。

市を流れる矢作川が氾濫した場合、最大で20万人もの避難が必要となると想定されている。一方、飯山市は人口に対して面積が広いいため、少ない職員でも対応できる避難計画を練る必要がある。

長期間の予測が可能になり、洪水が起きやすい場所が明らかになれば、今後の自治体の役割は避難計画の作成にとどまらなくなる。「大きな川に小さな川が流れ込むような場所で、洪水が起こりやすくなります。1級河川は国の管轄ですが、支流のような2級河川はそうではありません。この支流を自治体がいかにモニタリングするかが重要です」。

一方で、こうした長期間予測について自治体に理解してもらうことは容易ではない。洪水被害は局所的に生じ、一度でも氾濫すると水位が下がるため、同じ河川の他の場所が安全になりやすいという性質を持つからだ。「広い範囲に危険が迫っている際に出される数多くの予測は、結果的に外れることになりませんが、実際に洪水が起きたところでの予測を外すわけにはいきません。対策が遅れたら人命が失われることになるからです。自治体や住民と対話をしながら、理解を深めてもらうことが必要です」と芳村さん。

リテラシー向上のために、岡崎市

では2026年度にワークショップを開催することを計画している。洪水予測の情報を他の組織と共有し、自治体職員の行動を変えていくのが狙いだ。自治体の防災担当以外（例えば農業や道路管理、教育関連など）の部署が災害時に何をどのように行うべきなのかを丁寧に整理することで、より効果的な対応を効率良く進めることができるようになる。

法改正で民間予測が可能に 海外への水平展開を目指す

今後、プロジェクトはどのように展開していくのだろうか。まず、現在開発中の長時間洪水予報については、これまで集めたデータを活用し、コンピューター上の仮想空間でリアルに再現する「デジタルツイン」のような形で社会実装し、誰もが安全に避難できるシステム構築が必要だ。現在の降水状況だけでなく、72時間後の洪水情報も可視化し、誰もがアクセスできるようにすることを志向している。

2023年には気象業務法が改正されて、民間事業者が洪水予測を公表できるようになった。「19年の台風19号では、法的な制約で洪水予測を公表できませんでした。現在でも洪水予測を公表するには事前審査が必要ですが、法制度に風穴が空いたことは大き

な一歩だと思っています」と期待をのぞかせる。今後は、芳村さんのチームでも洪水予報業務の許可を取得し、Today's Earthを活用した洪水予測を公表していきたいとしている。

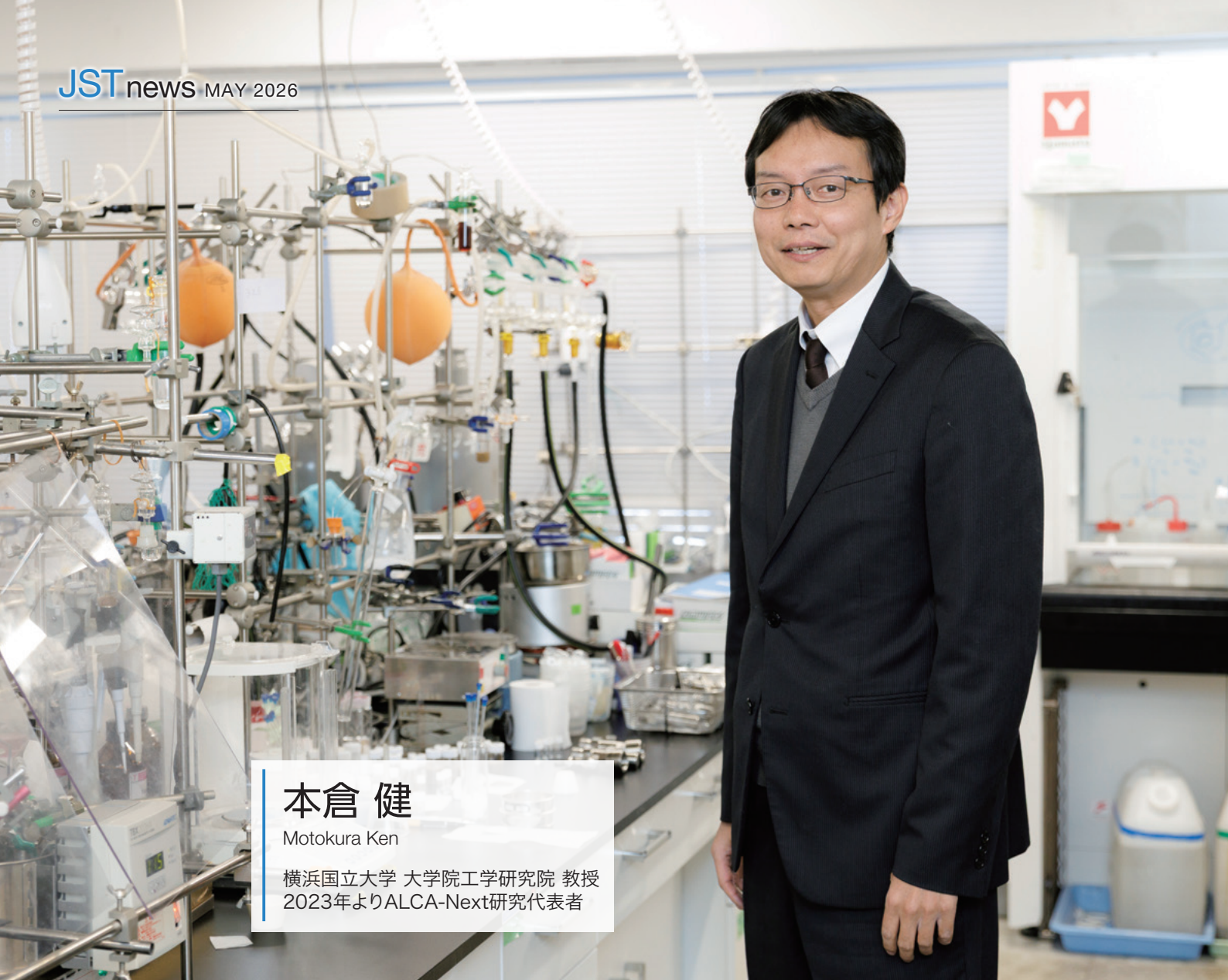
気候変動による洪水被害は日本だけの問題ではない。2026年にはASEAN諸国を中心とした海外に洪水予測を展開することを目指しつつ、南アフリカ共和国やブータン王国とのプロジェクトも計画しているという。世界気象機関(WMO)でも地球全体の洪水予測に関する委員会が立ち上がり、芳村さんも参加している。

これに先立って、2026年3月にはToday's Earthをリニューアル。世界全体の陸域の水循環情報について、約10キロメートル格子の解像度で約5日先までの予測情報を、誰でも見ることが可能となった。「『Early Warnings for All』というイニシアチブが国連で実施されています。『すべての人に早期警報システムを』ということです。世界はまだまだ予測が十分ではありません。私たちのシステムによって世界にもっと情報を提供していきたいと思っています」と芳村さんは語る。洪水を災害にさせない社会を実現するための研究は、これからも続いていく。

(TEXT:本橋恵一、PHOTO:島本絵梨佳)



72時間前の洪水予測が実現できれば、高齢者は避難しやすくなりますし、対応の分散化も可能になります。自治体のマンパワーが不足している状態でも、必要な人に必要なタイミングで適切な情報を提供することが、洪水を災害にしないことにつながります。



本倉 健

Motokura Ken

横浜国立大学 大学院工学研究院 教授
2023年よりALCA-Next研究代表者

特集 2

太陽光パネルのシリコンを使って有用物質合成 CO₂排出とパネル廃棄の問題を同時解決可能

温室効果ガスの排出を実質ゼロに抑えるカーボンニュートラルを実現するため、さまざまな研究や技術開発が進んでいる。横浜国立大学大学院工学研究院の本倉健教授は太陽光パネルに含まれるシリコンを活用し、火力発電所が排出する二酸化炭素(CO₂)から有用物質を合成する「アップサイクル」で資源循環社会の実現を目指している。CO₂排出と近い将来のパネル大量廃棄という2つの問題を同時に解決する考えだ。

ALCA-Next
(先端的カーボンニュートラル技術開発)

カーボンニュートラルへの貢献という出口を明確に見据えつつ、個々の研究者の自由な発想に基づき、科学技術パラダイムを大きく転換するゲームチェンジングテクノロジー創出を目指す。

迫り来る「大量廃棄時代」 還元力の強いシリコンに着目

地球温暖化対策の1つとして普及している太陽光発電に関して、近い将来に寿命を迎える太陽光パネルのリサイクル問題が急浮上している。太陽光パネルの耐用年数は20~30年程度とされており、2030年代後半には太陽光パネルの更新に伴う撤去が本格化すると予想されている。部品であるガラスやアルミフレーム、金属を使用済みパネルから分離して回収する技術はあるものの、主要成分であるシリコンのリサイクル方法は確立しておらず、廃棄されているのが現状だ(図1)。

一方で、カーボンニュートラルの実現に向けては、排出されたCO₂を回収して資源化する技術が注目されている。こうした取り組みの1つが、回収したCO₂を有用な資源に変える「CO₂回収・利用・貯蔵(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage: CCUS)」である。例えば、CO₂を水素と反応させて一酸化炭素やメタノールなどの有用物質へ変換する取り組みがあるが、CO₂は炭素と酸素が強く結合した極めて安定な分子であるため反応性が低く、その変換には多くのエネルギーが必要という課題が残る。

解決策として、横浜国立大学の本倉健教授はシリコン(Si)に着目。太陽光



図1 シリコンのサンプル。実際に太陽光パネルから取り出したものはさまざまな形状をとり、目に見える不純物もあれば、原子レベルの不純物もある。

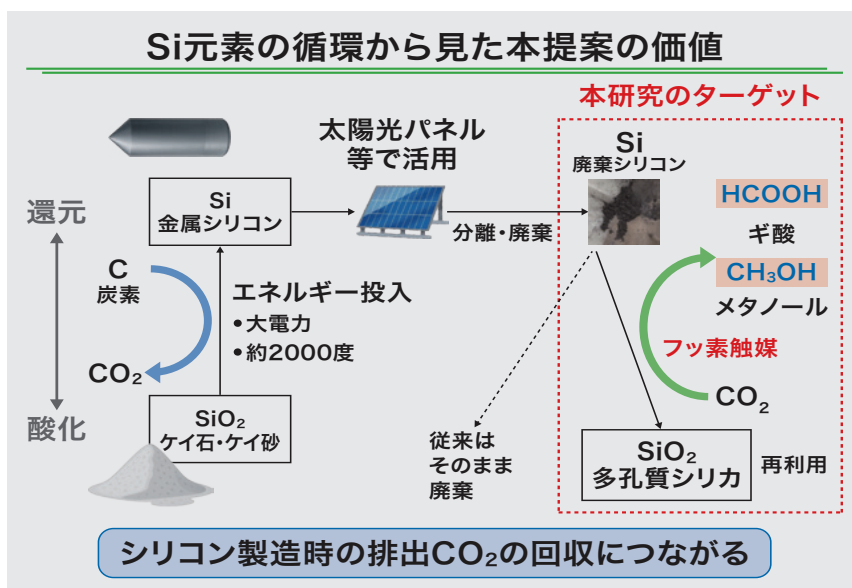


図2 本倉さんが提案する資源循環プロセス。廃棄されたシリコンとフッ素触媒を用いてCO₂をギ酸やメタノールに変換することで、シリコンの製造時に投入されたエネルギーと排出されたCO₂の回収に貢献する。

パネル用に二酸化ケイ素(SiO₂)から精製されたシリコンは、その製造過程で多くのエネルギーが投入されて高いエネルギー状態にあるため、水素をリョウが凌駕する還元剤としての機能が期待される。この特性を活用して、より少ないエネルギーでCO₂の変換反応を進める技術の開発を目指している。

また、こうした反応を効率良く進めるためには、シリコンの特性を引き出す触媒の設計も重要となる。触媒によって反応経路や生成物が左右されるからだ。本倉さんは、投入エネルギーを低く抑えながら、CO₂を有用な化学物質へと変換して価値を高める「アップサイクル」の実現を目指している。(図2)。

触媒の発見と作用機序の検討 副産物の活用も模索

本倉さんは2022年に、フッ化テトラブチルアンモニウム(TBAF)を触媒として、CO₂と高純度シリコン粉末からギ酸とメタノールを生成することに成功。ギ酸は防腐剤や洗浄剤に、メ

タノールはプラスチックの原料や燃料として使われている。

さらに、実際に太陽光パネルに使われているシリコンウエハーを砕いた粉末による実験も試みた。同じようにTBAFを触媒として使い、CO₂で満たした容器内で粉末と水を混合して100度で加熱することで、ギ酸が生成されることを見いだした。CO₂の炭素を質量数の異なる同位体である¹³Cに置き換えたところ、生成したギ酸に¹³Cが含まれており、これらの炭素原子がCO₂由来であることも確認した。

シリコンをCO₂と反応させて一酸化炭素やメタノールを生成する研究は、過去にいくつか報告されている。だが、これらの研究では独自に調製したシリコンのナノ粒子を用い、フッ化水素をシリコンの表面処理で大量に使うため、厳格な安全管理が必要となり、社会実装には課題がある手法である。これに対し、本倉さんの手法では、太陽光パネル由来のシリコンと少量のTBAFを使うのみで反応が進むことが強みだ。

では、この触媒反応はどのように起

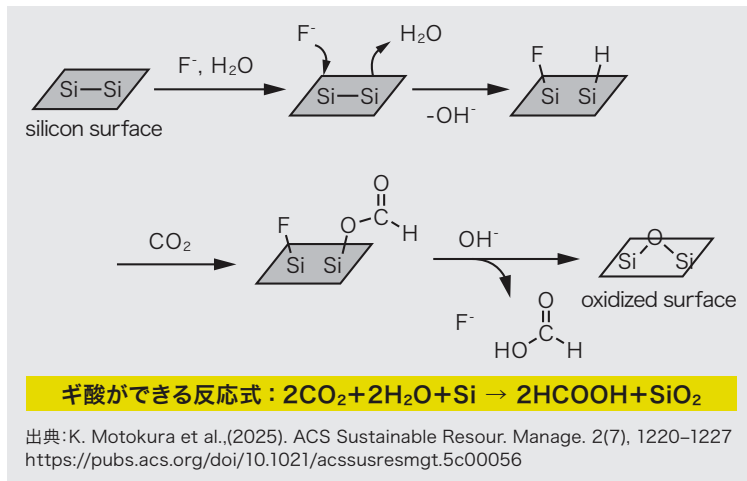


図3 本倉さんが予想したCO₂とシリコンからギ酸ができる化学反応。触媒であるTBAFの対アニオンであるフッ化物イオン(F⁻)がシリコン原子の結合を壊してSi-H結合を生成。そこでCO₂が還元されてギ酸が生成される。

こっているのだろうか。反応が終わった後に残った固体を回収してX線光電子分光とX線回折測定を実施。解析の結果、投入した金属シリコンが酸化され、固体の表面に微量のシリコンとフッ素の結合(Si-F結合)が形成されていることがわかった。

これらのことから、本倉さんが考えた化学反応の仕組みは、次の通りだ(図3)。まず、TBAFに含まれているフッ化物イオンがシリコンと反応して、表面にあるシリコン原子間の結合を切断する。続いて水と反応することで、シリコン上にシリコンと水素の結合(Si-H結合)とSi-F結合が形成される。このうち、Si-H結合がCO₂を還元してギ酸が生成するとともに、Si-F結合が水酸化物イオンと反応してフッ化物イオンが触媒として再生するのだという。

こうした分析ができるのは、触媒の研究を長年続けてきた本倉さんの強みだ。触媒は、原料とともに溶媒に溶ける均一系触媒と、溶媒に溶けず固体のまま機能する不均一系触媒の2種類に大きく分けられる。CO₂と有機シリコン化合物の反応に関する知見はこれまで均一系触媒の分野で蓄積

されてきたが、今回のシリコン表面の解析には不均一系触媒の技術が使われている。本倉さんは「均一系触媒と不均一系触媒の両方の視点が研究室にあるからこそ得られた知見だと思います」と話す。

一方で、未解明の部分もある。理論上この反応はシリコン表面のみで起きるはずだが、実際には、反応が進むとシリコン粉末は内部に微細な穴を持つ多孔質のシリカに変化する。「なぜ内部まで反応が進むのかを突き止める必要があります。そして、この多孔質シリカを吸着剤や別の触媒として利用できないか研究を進めているところです」と今後の課題を挙げる。

現場で研究室との違いを検証 ギ酸変換効率7割以上を確認

本倉さんが次に挑んだのは、廃棄太陽光パネルから回収されたシリコンと実際の排ガスに含まれるCO₂を使ってギ酸が合成可能か実証することだ。まず、太陽光パネルから分離されたシリコンのサンプルを複数用意し、CO₂からギ酸を生成できるか調べた。すると、サンプルによっては全く

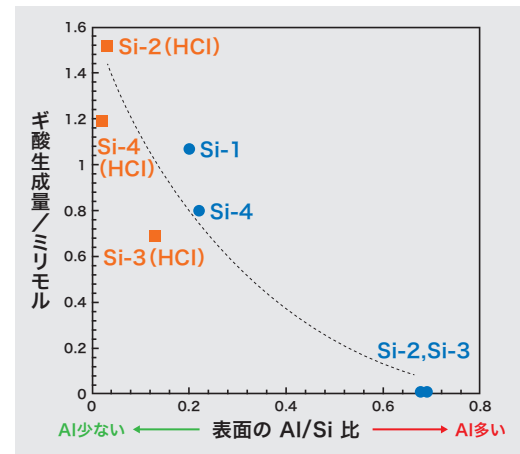


図4 塩酸で処理をする前(青い丸)と、処理後(オレンジ色の四角)のギ酸生成量。Si-1、Si-2、Si-3、Si-4は廃棄シリコンの4種類のサンプルを示す。表面にアルミニウムが多いSi-2とSi-3は、塩酸処理によりギ酸生成量が増加した。

生成されないものもあった。原因を調べるため、サンプルのX線光電子分光測定を行ったところ、反応性の低いサンプルは表面に不純物のアルミニウム(Al)が存在していることがわかった。

そこで、塩酸(HCl)でアルミニウムを除去したところ、全てのサンプルでギ酸を生成できた(図4)。「太陽光パネルからシリコンを分離する方法は複数あり、分離したシリコンの形態も異なります。実際の太陽光パネルの分解工程や現場の様子を見学し、実物で検証することは必要だと実感しました」と研究室の実験との違いを語る。

実験に使用する排ガスについては、共同で研究を進めている電源開発株式会社(J-POWER)磯子火力発電所(横浜市)の協力を得た(図5)。「高さ数十メートルの煙突に学生と登って排ガスを回収しました。作業場所でふと下を見た時にあまりの高さに足がすくんだのもいい思い出です」と、本倉さんは笑って当時を振り返る。

ボンベに回収した排ガスを9気圧に加圧し、廃棄シリコンと反応させたところ、ギ酸の生成を確認できた。さらに、火力発電所の排ガスを直接、反応

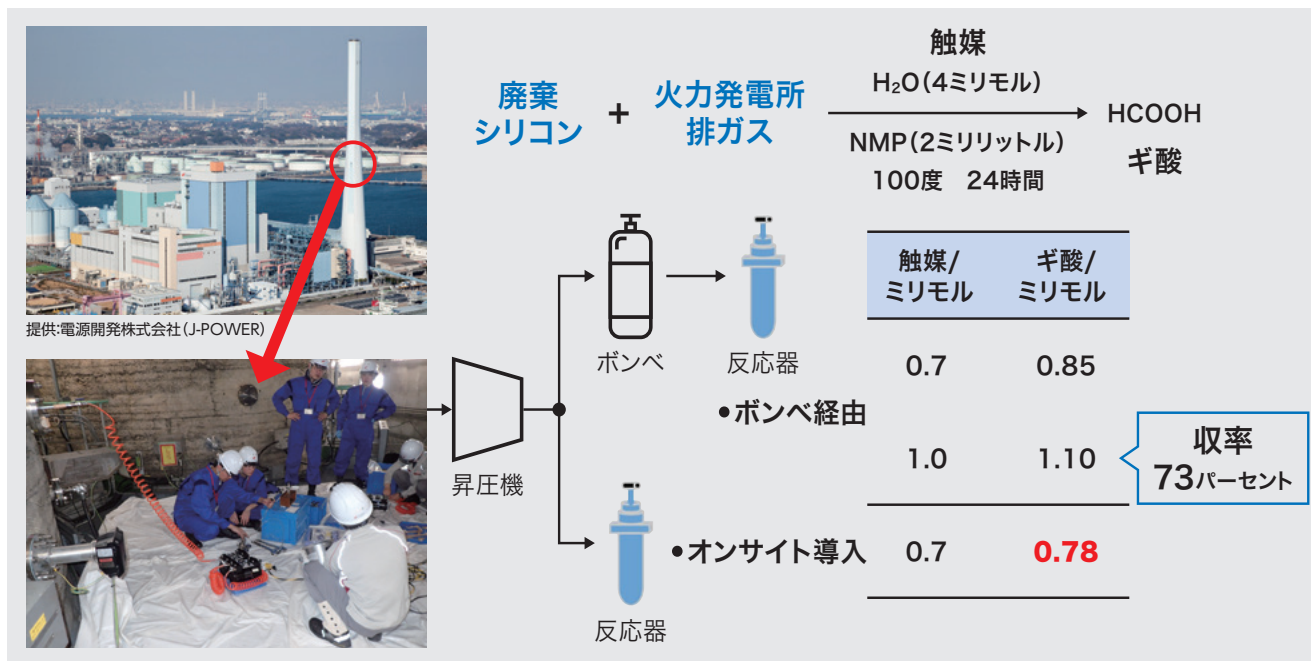


図5 廃棄シリコンと排ガスを使用した実証実験の結果。排ガスをポンペに回収した場合も、現場で直接反応器に入れた場合も、ギ酸が生成されることを確認した。

器に入れた場合もギ酸が得られた。いずれの場合も、CO₂の70パーセント以上がギ酸に変換されており、実用化に一步近づいた成果といえるだろう。

ニーズと環境性の両立へ 社会実装に向けた課題と展望

実用化に向け、本倉さんは、技術が社会のニーズと合致するかという観点での検証が重要だと語る。その中でも経済性は重要な要素の1つであり、反応効率や生成されたギ酸の分離などにまだ改善の余地がある。性能と経済性を両立できる高性能な触媒の探求が今後の課題だ。

さらに、もう1つの重要な観点であるCO₂排出の収支については、CO₂とシリコンからギ酸を生成するプロセスだけでなく、原料調達から製造、流通、使用、廃棄、リサイクルに至る全過程における環境負荷を評価する必要がある。例えば廃棄太陽光パネルからシリコンを回収したり、シリコンを運搬したりする際にもCO₂を排出し

ており、そういった1つ1つの工程も考慮しないとイケない。これら全過程での環境負荷を定量的に評価する「ライフサイクルアセスメント(LCA)」については、LCAを専門にする研究者と共同で検証を進めたいとしている。「今後は、反応プロセスのスケールアップを図る必要があり、大学の研究室だけで取り組むには限界があります。廃棄物処理業者や廃棄シリコンを提供する企業など、多くの企業との連携を進めていきたいです」と本倉さん。こうした取り組みは、CO₂からギ酸やメタノールを生成する技術にとどまらない。従来、無機(金属)資源の循環と炭素資源の循環は、それぞれの研究

者の専門性に閉じたサイクル内で実施されてきた。無機資源であるシリコンと炭素資源であるCO₂の反応を試みることは、資源循環の新たな経路を提案することになり、CO₂以外にもさまざまな炭素資源と廃棄シリコンとの反応が新たに着想される。

例えば、バイオマスなど多様な炭素資源を廃棄シリコンで還元し、基礎化学品や燃料へと変換する「アップサイクル反応」の実現も志向しているという本倉さん。無機資源と炭素資源の循環を組み合わせることで、新たな価値を生み出す社会の実現に向け、取り組みは続く。

(TEXT:島田祥輔、PHOTO:島本絵梨佳)



基礎研究をしっかりとやるからこそ、応用を意識した時にアイデアが出るものです。基礎研究はすぐに芽が出ないことが多いですが、諦めずに自分の興味のあるテーマを大切にしてください。

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29回は、認知機能が低下した入院患者が無意識に点滴などを抜き取る「自己抜去」の行動を事前に検知して防ぐシステムの開発に取り組む、千葉大学大学院看護学研究院の雨宮歩講師らに話を聞いた。大学・企業・医療現場が連携した「循環型開発」により、尊厳ある認知症ケアの実現を目指している。



無意識な点滴の抜去を防ぐシステム開発
産学医の連携で尊厳ある認知症ケアを実現へ

山初 和也(左) Yamahatsu Kazuya	泉中央病院 外科部長
雨宮 歩(中央) Amemiya Ayumi	千葉大学 大学院看護学 研究院 講師
市田 誠(右) Ichida Makoto	アイ・メデックスホールディングス 代表取締役社長

患者の身体拘束を減らしたい
本格的な開発は企業と一緒に

千葉駅からバスで約15分の千葉大学亥鼻キャンパス。ここで看護理工学を専門として研究する雨宮歩講師は、医療機器メーカーのアイ・メデックスホールディングス(千葉市)、泉中央病院(千葉市)と共同で「リガード」というプロジェクトを立ち上げ、認知機能が低下した患者を対象に、身体拘束を減らすことを目的とした接触検知センサーを使ったシステムの開発に取り組んでいる。

研究のモチベーションとなっているのは「誰一人取り残さず、尊厳ある認知症ケアを実現したい」という強

い思いだ。認知機能が低下している患者は、無意識のうちに点滴チューブなどを触って自己抜去することがあるが、そうなると治療が中断し、再処置が必要になる。これを防ぐために多くの病院では、認知症の患者に対しやむなく身体拘束をしている(図1)。研究者になる前は看護師として病院で勤務していた雨宮さん自身、身体拘束せざるを得ない場面が何度かあったという。

「患者さんの身体拘束を減らして、かつ医療現場の負担も増やさない安全な方法はないかと以前から考えていました」と雨宮さんは語る。実際に研究開発を始めたのは約10年前からだ。患者が点滴のチューブなど

メデックスホールディングスの市田誠社長に声をかけた。

接触検知シートは波形にカット
病院で有用性と高精度を実証

医療機器メーカーが加わったことで、研究開発は大きく進んだ。雨宮さんがすでに考えていた大まかな仕組みをベースに、市田さんの会社と雨宮さんの研究室が共同でセンサー部分に具体的な工夫を重ねた。最終的には、点滴の針を刺して固定している部位の接触検知センサーシートに手や指が触れたことを検知する方式を採用した。センサーシートは幅6.0センチメートル・長さ13.7センチメートルで「高齢者の細い腕にもフィットするように、シートの形は長方形ではな

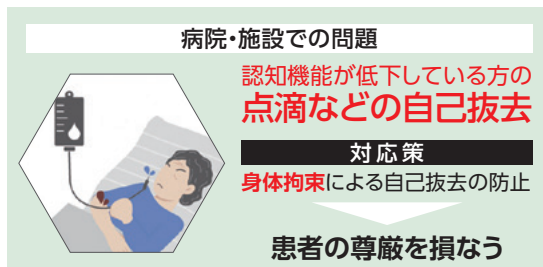


図1 点滴の管や針が抜けた場合には入れ直す必要があるが、高齢患者の場合、点滴の針が入りにくく、痛みも伴う。自己抜去を防ぐために身体拘束が実施されているが、患者にとっても看護師にとってもデメリットが大きい。

に触ると反応するセンサーを用いて、自己抜去につながる可能性の高い動作を検知しようと考えた。当初は、雨宮さんが一人で試作機を製作していたが、本格的な開発には企業と連携する必要があると考え、2017年にアイ・



図2 システムは、接触を検知するセンサーシートとタブレットのセットで構成される。使用する際は患者の点滴刺入部に包帯を巻き、その上にシートを貼り付ける。



図3 センサーシートには2つの回路が張り巡らされていて、同時に触れると接触を検知し、通知を送信するようになっている。検知時の警告音は、他の医療機器で鳴るアラームや心電図の音と混同しないように音の高さなどを工夫している。また、検知時の病室の画像も表示可能で、看護師がすぐに病室に駆け付ける必要があるかどうか、タブレット上で確認できる。

く波型にカットし、シートに貼られた回路は患者が気にならないような色合いにしました」と市田さんは工夫を語る(図2)。

患者の接触にセンサーが反応すると、ナースステーションのタブレットに「検知しています」と表示され、音も鳴るようにシステムを設計した。このソフトウェアもから開発したものだ。また、患者が点滴を気にしてさぐるような動きのみ検知できるよう、1.5秒間に2回以上触った場合に検知する設定にしているという(図3)。これは、雨宮さんが臨床現場を熟知しているからこそ細かい設定といえるだろう。

システムの完成後、病院での実証調査のために雨宮さんはいくつもの病院に話をもち掛けた。しかし、医療現場への新しい機器の持ち込みは非常にハードルが高く、協力してくれる病院はなかなか見つからなかった。そんな時、市田さんが古くからの友人で外科医の山初^{やまはつ}和也さんを紹介してくれた。山初さんが勤務していた病院を退職し、実家が経営する泉中央病院の外科部長に就いたタイミングだった。

山初さんは「患者さんのメリットになって、職員の負担軽減にもつながる研究ならぜひ協力したいと思いました」と調査を引き受けた当時のことを振り返る。98床と小～中規模の病院であり、山初さんが病棟の管

理責任者だったことも幸いした。調査は数人の患者から始めて、最終的には14人が参加した。調査に参加してもらう際には、雨宮さんが家族と患者本人に丁寧に説明した。家

族からは「身体拘束をしないでもらえるなら、ぜひお願いしたい」という声が多かったそうだ。

病院での調査の結果、このシステムを使用した場合には、調査時間480分のうち440分の間、身体拘束を解除できた。一方、システムを使用しない場合、拘束を解除できた時間は480分中わずか8分にとどまり、このシステムの有用性が証明された。雨宮さんは「システムを使わない場合、身体拘束を外すと患者さんが気になって触ってしまったり、看護師が不安に感じてすぐに拘束したりするというケースが多かったようです」と補足する。また、合計70時間の使用で誤報はわずか2件で、精度の高さも示すことができた。

循環型、速度と理解度が長所 検討課題は販売後のサポート

接触検知センサーシステムによって身体拘束の削減を目指すリガードプロジェクトは、科学技術・イノベーションによって社会課題を解決する取り組みをJSTが表彰する[STI for SDGs]アワードの2025年度文部

科学大臣賞を受賞した。また今回の研究開発は、大学と企業、医療現場が連携し、現場での検証と大学での改良を繰り返す循環型開発で進めていることも注目された。

雨宮さんは、循環型開発の長所として、スピード感と理解度の深さを挙げる。「多くの場合、企業の方は研究者が伝えた情報を基に機器などを開発しますが、今回は市田さんが自ら病院に来て実際の状況を見てくれたので、必要な改良をスピーディーに進めることができました」。山初さんが責任者として現場にいたことで、病院側ともスムーズに連携できたそうだ。市田さんは「海外では循環型開発が当たり前になっています。今後は日本でも徐々に取り入れられていくのではないかと思います」と語る。

現在は、リガードの法人化についても話し合っているという。事業化に向けた課題のうち、雨宮さんがもっとも重要だと考えているのは販売後のサポートだ。「販売して終わりではなく現場の看護師さんに対するサポートまで考えていきたいですね」と語る。

雨宮さんは2023年からJSTの創発的研究支援事業で在宅介護における認知機能低下の早期発見研究にも取り組んでいる。病院と自宅の両方で、誰一人取り残さない「人生の最期まで尊厳が守られる社会」の実現に思いをはせる。

(TEXT:肥後紀子、PHOTO:島本絵梨佳)

2026年度[STI for SDGs]アワード エントリー受付中!



2026年度[STI for SDGs]アワードのエントリー締切は6月1日(月)正午です。詳細はウェブサイトをご覧ください。

<https://www.jst.go.jp/ristex/sdgs-award/>



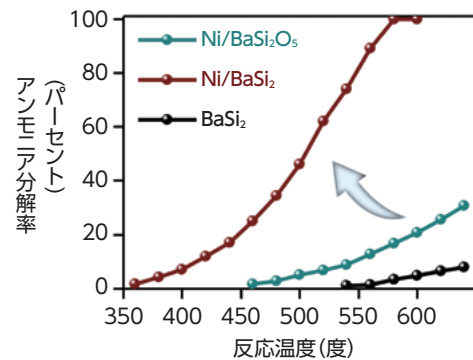
低温でのアンモニア分解活性を大幅向上 ニッケルとコバルトで貴金属並みの触媒性能を達成

アンモニアは近年、クリーンなエネルギーである水素を高密度で安全に貯蔵・輸送できる媒体として注目されています。しかし、アンモニアを分解して水素を取り出すには、高温で反応させるか、希少で高価な貴金属であるルテニウム (Ru) を触媒として使う必要があります。

東京科学大学総合研究院の北野政明教授らの研究チームは、ニッケル (Ni) やコバルト (Co) を触媒として固定する枠組みにケイ化バリウム (BaSi₂) を用いることで、低温でRu触媒に匹敵するアンモニア分解活性を達成しました。NiやCoをアンモニア分解の触媒に使う研究はこれまでも行われてきましたが、低温での作動は困難とされてきました。研究チームは、BaSi₂が、ケイ素 (Si) 原子間で共有結合を形成すると同時に、バリウム (Ba) からSiへの電荷移動が生じることで全体としてイオン結晶的な性質を示すことに着目。NiやCoに対してより強く電子を与える性質を持つことからアンモニア分解活性を向上できると考え、この仮説を実験で示しました。さらに、反応後の触媒をX線

光電子分光で分析し、これらの触媒では、BaSi₂の境界面において、Baとアンモニア由来の窒素、NiやCoとで構成する中間体が形成されることで、高い触媒性能が得られることを示しました。

非貴金属触媒を低温でも効率良く作動させられることを明らかにした今回の研究成果は、今後の触媒の設計指針となり得るものです。水素利用技術の進展を通じて、カーボンニュートラル社会の実現にも寄与することが期待されます。(TEXT:中條将典)



ケイ化バリウム (BaSi₂) にNiを固定した触媒 (Ni/BaSi₂) を用いた際のアンモニア分解の反応温度と分解率 (赤い線)。他の触媒 (Ni/BaSi₂O₅) に比べて低温で高効率に分離できる。

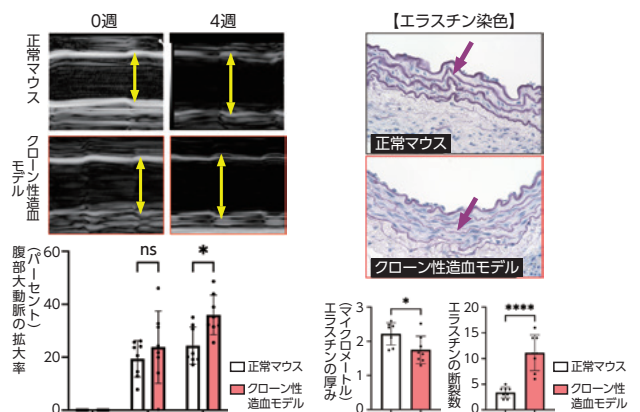
加齢で大動脈瘤が悪化する仕組みを解明 免疫細胞に着目した薬物治療戦略開発の可能性に道

大動脈がこぶ状に広がる大動脈瘤^{りゅう}は、加齢とともに発症リスクが高まり、破裂した場合には突然死に至ることもある重い病気です。現在、有効な薬物治療はなく、手術が主な治療法となっています。一方で近年、加齢に伴って造血細胞に遺伝子変異が生じた特定の血液細胞が増える現象である「クローン性造血」が、心血管疾患の新たな危険因子となっていることが注目されています。

名古屋大学大学院医学系研究科循環器内科学の由良義充助教らの研究チームは、腹部大動脈瘤とクローン性造血との関連に着目。腹部大動脈瘤の手術予定患者の血液から採取したDNAを解析し、クローン性造血がある患者では、腹部大動脈瘤の拡大速度がより速いことを示しました。さらに、マウスを用いた実験により、クローン性造血が腹部大動脈瘤の拡大を促進することや、クローン性造血の原因遺伝子の1つであるTet2に変異を持つ免疫細胞が骨を分解する細胞に似た性質を獲得して血管壁の弾力を保つエラスチンを分解することで、腹部大動脈瘤を悪化させるこ

とを解明しました。また、この過程に関与するシグナルの伝達を、遺伝学的手法または阻害剤により抑制することで、動物モデルで腹部大動脈瘤の進行が抑えられることがわかりました。

今回の成果は、腹部大動脈瘤において、血液の加齢性変化という新たな視点から病態を捉え、内科的な治療戦略開発への道筋を示すものです。クローン性造血の患者に対するフォローアップにも役立つ可能性があります。(TEXT:中條将典)



クローン性造血モデルマウスは大動脈瘤の形成に伴う大動脈径の拡大が速く(左)、大動脈壁におけるエラスチン(矢印)が薄くて断裂が多い(右)。

北太平洋亜寒帯で顕著な「海の温暖化」

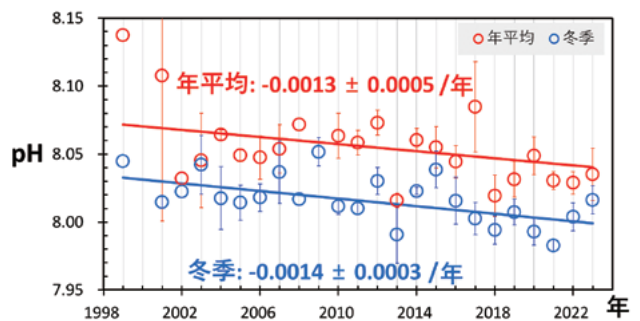
長期観測で海洋酸性化に伴う生態系の変動を探る

近年、地球温暖化が進むにつれて、海洋環境にも深刻な影響が広がっています。海洋は人間活動によって排出された二酸化炭素(CO₂)の約4分の1を吸収しているため、CO₂排出量の増加に伴って「海洋酸性化」が進行しています。海水が酸性に傾くと、炭酸イオン濃度が減少して炭酸カルシウムの溶けやすさが低下し、炭酸カルシウムを骨格や殻に利用しているサンゴや貝類、プランクトンなどの海洋生態系に重要な生物に悪影響を及ぼす恐れがあります。

海洋研究開発機構地球環境研究部門の相田(野口)真希主任研究員らの研究チームは、北太平洋西部亜寒帯域のカムチャツカ半島沖に位置する定点K2(北緯47度、東経160度)において、海洋地球研究船「みらい」による現地調査や人工衛星観測データを用い、1999年から2023年までの25年間にわたる海水温などの変化を解析。その結果、同海域の海面水温は年率0.056度で上昇し、日本近海の1.87倍の速さで温暖化が進んでいることがわかりました。酸性化の指標となるpHが年0.0014ずつ減少しており、そ

の変化は全季節を通じて世界平均とほぼ同程度でした。一方、ケイ酸塩、リン酸塩、硝酸塩といった植物プランクトンの生産に必要な栄養塩の年平均濃度には長期的な変化は見られませんが、5月に増加し、7月に減少するという10年規模の変化が確認されました。

この研究により、北太平洋亜寒帯域の海洋酸性化と生物生産の長期変動に関する理解が大きく前進しました。研究チームは今後も、定点K2での継続観測を通じて海洋環境変化の予測精度向上を目指していく考えです。(TEXT:中條将典)



船舶観測による定点K2における表層混合層のpH(赤丸:年平均値、青丸:冬季の値)の経年変化。実線は統計的に有意を示し、海洋酸性化の進行速度は世界平均とほぼ同程度であった。

たった1つの遺伝子が決める共生への進化

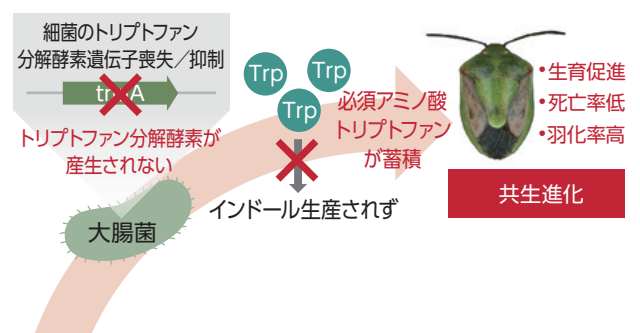
カメムシの生存を支える共生大腸菌の代謝基盤を実証

生態系の中で、多種多様な生物は単独で生きているのではなく、しばしば共生関係を構築して生息環境に適応しています。例えば、カメムシ類の多くは消化管に共生器官が発達しており、生存や成長に重要な役割を果たす共生細菌を保有しています。

産業技術総合研究所モレキュラーバイオシステム研究部門の深津武馬首席研究員らの研究チームは、チャバネアオカメムシと大腸菌を使った実験で、単一の酵素遺伝子の機能を喪失させるだけで、大腸菌がカメムシの腸内に共生して成長および生存を支える共生細菌に変化することを見いだしました。研究チームは今回、共生するように独自に進化させた大腸菌に感染したカメムシでは、必須アミノ酸の1つであるトリプトファン(Trp)の体内濃度が著しく上昇する一方で、大腸菌におけるTrp分解酵素遺伝子の発現量が顕著に低下していることを発見。Trpを分解して作られる毒性の有機化合物であるインドールの体内濃度が有意に低下していることもわかりました。さらに、自然界におい

てカメムシ類の生存を支える多様な腸内共生細菌のゲノム配列を調べたところ、Trp分解酵素遺伝子をことごとく喪失していることが判明しました。

今回の成果は、これまで容易には起こり得ないと考えられていた共生細菌の進化が、Trp分解酵素というたった1つの酵素遺伝子の機能喪失により起こることと、その代謝的な基盤を実証的に示したものです。今後は、共生を創り出したり、デザインしたりする技術への展開も可能になると見込まれます。(TEXT:中條将典)



Trp分解酵素遺伝子を喪失・抑制した大腸菌は、毒性のあるインドールの生産を阻害し、必須アミノ酸のTrpを蓄積することで宿主であるカメムシの生存を支える共生細菌となる。

個体の多様性と同調がハエの集団を強くする 遺伝子レベルの分析で「個性」の役割を追求



趣味で写真を撮ります。同じものでも向きや切り取り方で見え方が変わるのには研究に通じるかもしれませんが。

Q1 研究者を目指したきっかけは？

A1 生き物の観察が好きだった

幼い頃から生き物が好きで、ペットを飼ったり、近くの空き地で虫やトカゲを捕まえて眺めたりしていました。特に好きだったのはカマキリです。獲物を見つけた途端に狩りのモードに切り替わる、そんな生き物らしさに惹かれました。

明確に研究者を志したタイミングがあったわけではありません。いわゆるサラリーマンが周りに少なかったためか、企業に就職するというイメージがあまり湧かず、大学は研究者になるために行く場所だとごく自然に考えていました。生き物への興味から東北大学理学部の生物学科へ進学し、そのまま研究の道を歩んできました。

Q2 現在取り組んでいる研究は？

A2 「フリージング」の緩和を検証

ショウジョウバエをモデルとして、動物の集団行動のメカニズムや、そこに個体間の多様性がどう影響するのかを遺伝子レベルで研究しています。人間には、不安な人を見ていると自分も不安になってしまう「情動の伝染」があり、これに似た現象は虫や魚のような比較的単純な神経系を持つ生物にも見られます。個性が集団の中でどういう役割を持つのかを解き明かしたいと考えたのが、研究の出発点です。

ショウジョウバエは、ハエトリグモなど天敵の脅威を感知すると、恐怖で動けなくなる「フリージング」状態になり、しばらくすると再び動き出します。捕



ショウジョウバエを実験用の容器に入れて行動を計測する時の様子です。

食者が近づいてくるといって視覚刺激に対してハエがどのように反応するか実験すると、単独では強いフリージングを示す一方で、集団では、周りにいる他の個体の動きに合わせて素早くフリージングを解除する、つまり他個体への同調によって恐怖反応が緩和されることが明らかになりました。

これを手掛かりに、ハエの動きをコンピューター上で仮想的に再現し、個体ごとにフリージングする時間を設定したモデルを作成。「バーチャルハエ」がどのように動くかを調べられるのか、実際のクモを使って検証しました。すると、個体間のフリージング時間に多様性があり、かつ個体間で行動が同調している条件ではクモから襲われにくく、遠くまで移動できるとわかりました。

ただ、ハエが何を考えて行動しているのかを直接知ることはできません。そこで、動きを動画で撮影して、その軌跡から情動を読み解こうとしています。これには、行動の軌跡からその背

千葉大学 国際高等研究基幹 特任助教
千葉県出身。2021年東北大学大学院生命科学研究科生態システム生命科学専攻博士後期課程修了。博士(生命科学)。日本学術振興会特別研究員(PD)、藤田医科大学医科学研究センターシステム医科学研究部門助教などを経て、2023年より現職。2024年よりACT-X研究者。

後にあるルールや目的を推定する「逆強化学習」という機械学習技術を用います。さらに、特定の波長の光を与えることで特定の神経を操作する光遺伝学という手法を用いて、ハエの情動の伝染や集団行動を操作し、そのメカニズムを解明することも目指しています。

Q3 研究者を目指す人にメッセージを

A3 時には「縁」や「運」に身を任せて

研究者は、好奇心とやる気さえあれば、自由になんでもできることが魅力だと思っています。私自身、ハエの他にも、さまざまな生き物を扱って研究してきました。やりたいことを思いついたら、すぐに試してみたい性格なのです。この世界に存在する多様な生物や生命現象を記述するとともに、ミクロの遺伝子からマクロの生態系までをつなぎ、生物種を超えた普遍的な法則を見つけ出すことが目標です。

最後に、私は大学受験の年に東日本大震災を経験し、いろいろな巡り合わせの末に東北大学に入学しました。そして、大学での出会いが今の研究につながっています。目標を持つことはもちろん重要ですが、周囲への感謝を忘れずに、時に思いがけない「縁」や「運」に身を任せてみる柔軟な姿勢も大切かもしれない、と思っています。(TEXT: 畑邊康浩)

佐藤 大気

Sato Daiki

自由は好奇心で
どこまでも

