

# JST news

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

4  
2025  
APRIL



混雑時の危険を減らす群集マネジメント  
安全・安心・快適な移動の実現を目指す



氷河表面に堆積する「暗色化」物質に注目  
謎を解明し、気候変動の予測精度向上へ



### 03 | 特集1

## 混雑時の危険を減らす群集マネジメント 安全・安心・快適な移動の実現を目指す



### 08 | 特集2

## 氷河表面に堆積する「暗色化」物質に注目 謎を解明し、気候変動の予測精度向上へ

### 12 | 事業紹介 情報通信科学・イノベーション基盤創出 (CRONOS)

## 「グランドチャレンジ2025」がスタート 革新的な情報通信技術を創出、人材育成も



### 14 | NEWS & TOPICS

- ≫ CRONOSグランドチャレンジWS2025を開催
- ≫ こすると円偏光発光が切り替わる有機結晶  
ほか

### 16 | さきがける科学人

## 小さなチップを積み重ねる3D技術開発 日本から半導体の新時代を切り開く

横浜国立大学 大学院工学研究院  
システムの創生部門 准教授

井上 史大



### 未来社会創造事業 第3回公開成果報告会開催

JSTの未来社会創造事業では、地球温暖化や食料危機、医療コスト増大といったさまざまな社会問題の解決に向けた研究を支援しています。2024年12月9日にバイオ・ライフサイエンスをテーマとした第3回公開成果報告会を開催し、企業の方を中心に会場とライブ配信を合わせて350名の参加がありました。

講演およびトークセッションでは、5人の研究開発代表者が研究成果や実現したい未来社会について熱く語りました。その後会場では、ポスターや動画のほか、培養されたステーキ肉のサンプル、高バイオマス資源として期待されるサトウキビの近縁種「ソルガム」の実物大模型、半閉鎖循環式養殖システムの模型などの展示を見ながら、来場者と研究者の間で活発な意見交換が行われました。発表資料や講演動画はウェブページにて公開していますので、ぜひご覧ください。

[https://www.jst.go.jp/mirai/jp/others/event-241209\\_01.html](https://www.jst.go.jp/mirai/jp/others/event-241209_01.html)



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 上野 茂幸  
科学技術振興機構(JST)広報課
- 制作 株式会社エフビーアイ・コミュニケーションズ
- 印刷・製本 文化堂印刷株式会社

西成 活裕 Nishinari Katsuhiko

東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授



## 混雑時の危険を減らす群集マネジメント 安全・安心・快適な移動の実現を目指す

大勢の人で混雑している場所は単に不快だけでなく、事故のリスクとも隣り合わせだ。事故のリスクを低減し、人々が安全・安心に、そして効率よく快適に移動できるようにするために、東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻の西成活裕教授は、混雑時の危険を減らす群集マネジメント研究を進めてきた。研究の概要、4万人が集まる東京ドームや日々300万人が行き交う新宿駅で行った実証実験、今後の展望などについて聞いた。

## 流れる・詰まる現象は普遍的 渋滞を切り口に多分野を研究

野球の試合や大規模コンサートに4万～5万人の観客が集まる東京ドーム。イベント終了後、周辺の道は大混雑となる。また、日々300万人が行き交う新宿駅は、特に通勤ラッシュ時に人の流れが滞る。両者に共通するのは群集事故のリスクだ。群集事故といえば2022年、韓国・梨泰院の群集なだれが記憶に新しいが、大勢が集まる場をいかに安全・安心なものにするかは世界的な課題となっている。日本の群集マネジメント研究を牽引しているのは「渋滞学」の創始者である東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻の西成活裕教授だ。

学生時代に流体力学を学んでいた西成さんは、ふと、大嫌いな交通渋滞を流体力学や数学で解決できないかと思いついた。駅や繁華街の混雑は皆が解決したいことだ。身近でありながら深く、社会に役立つテーマのため、一生を賭ける価値があると考えようになったという。渋滞学に取り組み始めると、周囲から続々と「密なスケジュールは仕事の渋滞」や「バブル崩壊はいわばお金の渋滞」などの反応があった。医学部の友人からは「神経細胞上で動きの悪いたんぱく質を、たまにしか運転しない人に例えて『サンデードライバー』と呼

ぶ」と聞いた。

「流れる・詰まるという現象には普遍性があり、その概念は万物に応用できそうだと気づき、渋滞という切り口からさまざまな分野の研究に取り組んできました」。渋滞学で著名になった西成さんは、2010年にサウジアラビアで開催された「クラウドマネジメントフォーラム」に招かれた。そこで、同国では1週間で約300万人がメッカを訪れる「メッカ巡礼」で、多い年は2000人もの人々が群集事故で命を落とすことを知った。同国はカメラの設置場所や警備員の配置などをシミュレーションし、科学的にリスクの低減に取り組んでいた。

「日本ではどう群集マネジメントをしているのか」と質問されたが、科学的な研究例は思い当たらなかったという。これまでは交通渋滞に関する研究が多く、各研究が交わることはあまりなかった。「これをきっかけに、混雑に関するさまざまな研究を統合し、群集マネジメントとして科学的に体系化する必要があると気づいたのです」。西成さんは、すぐにさまざまな分野の企業や研究者に声をかけた。関連分野には、カメラや画像認識技術などのセンシング技術、センシングデータから人流をシミュレーションする技術、警備計画のノウハウなどが含まれる。

さらに、歩行者に誘導に従ってもらいやすくする方法の検討のため、心

理学や経済学の研究者にも加わってもらった。イベント会場の運営企業や鉄道会社、自治体などにも協力を依頼し、2017年にJSTの未来社会創造事業で、群集マネジメント研究を行うプロジェクト「個人及びグループの属性に適應する群集制御」がスタート。約3年の探索研究を経て、20年からは社会実装を目指した分野横断的な研究が進められてきた(図1)。これが24年の東京ドームでの大規模実証実験につながっていく。

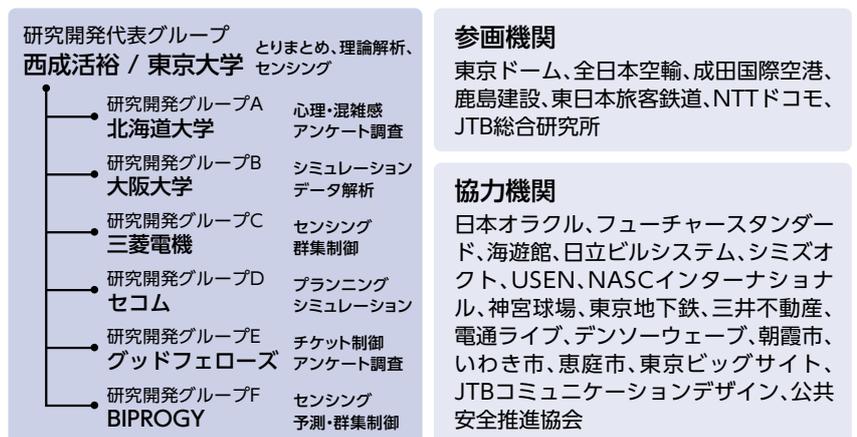
## 10分後の群集の動きを予測 精度保ちつつ、対策も可能に

研究の目的は、大勢の人が集まる場を安全・安心で快適なものとする事だ。命の危険を避けることが第一目標だが、人は平時には安全を意識せず、サービスなどに目を向ける。混雑している場所で、安全・安心であると同時に快適な移動ができれば、その場やイベントについての満足度は高まるだろう。群集をうまく誘導するために、その場の人数や人流の状態を知ることが重要だ。このプロジェクトでは、AIカメラやスマートフォンの位置情報、Bluetoothセンサーなどで計測・センシングしたデータやチケット売り上げ情報などを現状把握に用いた。

事故防止には事前の危険予測が欠かせないため、各種のリアルタイムデータをコンピューターに送り、シミュレーターで10分後の群集の動きを予測する。10分後というのは、予測精度を保ちつつ、危険時に対策を立てる時間もあるとの観点から導き出した数字である。10分後に高リスクを予測したら、群集をコントロールしてリスクを回避する。そのために、効果的な誘導を行えるよう警備誘導員への指示出しや群集に情報提供して混雑を避けるように促す。いつどのような情報を出すと群集の行動を効果的に変えられるのか、関係者全員で議論を重ねた。

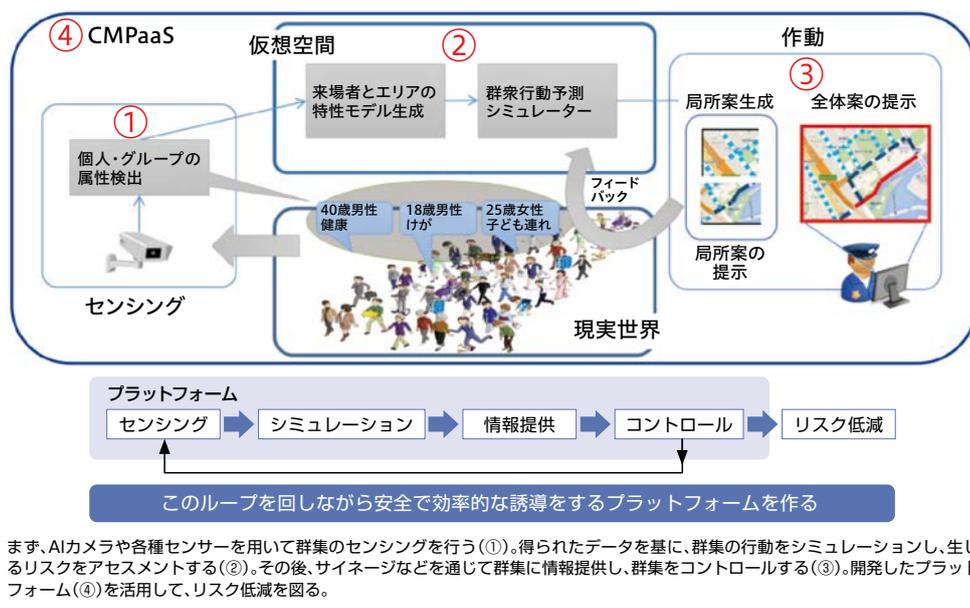
「大勢が集まる場の安全・安心・快

図1 プロジェクトの研究開発体制



大学だけではなく、民間企業や市も参画するなど、非常に多様なステークホルダーがいるのが特徴だ。

図2 要素技術の改善と実用化に向けた基盤整備



が激しく、全員で議論した結果、その場所の混雑解消を目指すこととなった。皆で現場を歩きながらカメラや誘導員の配置などを確認し、西口に向かう群衆の一部を、少し距離があるが比較的空いている同駅東口に流す方法を検討。近隣の食事を促す案などもあったが、最も混雑低減に効果があると考えられたのは、東口への分散だった。

シミュレーション技術はプランニング段階でも活用した。誘導がない場合はJR水道橋駅に向かう人のうち西口に行くのが60パーセント、東口に向かうのが40パーセントだが、東口に誘導し続けると、ある段階で東口の混雑度が高まってしまうと予測できた。ここから、東口に向かう人が55パーセントとなるようにコントロールするのがベストだと見だし、これを当日の目標に設定した。

実証実験の流れはこうだ。まず、13台のAIカメラで検知線を通じた人数をリアルタイムに計測し、1分ごとの通過人数とエリア滞在人数をCMPaaSに送る(図3)。データを基にシミュレーターがリスク評価や

適は、個別の研究を統合し、群衆をセンシングし、群衆の行動予測とリスクアセスメントをした後に、群衆コントロールとリスクを回避するというループを回すことで実現できると考えています(図2)。このループを回すには、形式の異なる各種のデータをつなぎ、統合された1つのシステムとして動かす必要がある。そこで、西成さんらは予測・制御の基盤となるプラットフォーム「CMPaaS」も開発した。これで技術的な枠組みは出そろった。

ただ、技術をすぐに実装できるわけではない。関係各社にはそれぞれ独自のマニュアルがあるが、指示の出し方が矛盾するケースもあり、現場でシステムを運用するにはステークホルダー全員が連携し、矛盾をつぶしていく必要があった。「大切なのは、部分最適ではなく全体最適を考えることです。関係者全員が同じ方向を向くことなし

に成功はありません。だからこそ、要素技術が成熟してきた段階で、それを持ち寄って現場で実験することが重要だったのです」。

### ドームは東口への誘導がカギ 看板と拡声器の併用が効果的

各要素技術が有効であるかを検討するために、まずは実験準備として、イベント会場の担当者に困り事をヒアリングするところから始めた。東京ドームの場合はドームからJR水道橋駅西口に向かうブリッジの混雑

図3 東京ドームでの実証実験準備



Supported by フューチャースタANDARD

広域エリアにAIカメラを13台設置。映像解析はカメラ側で行い、数値のみをクラウドに送ることで、プライバシーも守れる。1分ごとの検知線通過人数とエリア滞在人数などのデータをCMPaaSに送ることでリスク評価や10分後の人流予測が可能になる。

図4 東京ドームでの人流誘導までの様子



10分後の人流を予測する。西成さんらはコントロールルームで全情報を確認し、警備などの現場スタッフとも情報を共有。予測データに基づき、人間がどのように指示を出すかを判断する。「AIに安全性を全託することは社会的に受容されにくいでしょう。将来的に人間とAIが共存する社会を目指すのであれば、最後の意思決定は人間がすべきだと結論づけたのです」(図4)。

具体的などのような誘導が効果的だったのだろうか。JR新宿駅で行った実験では、床面の誘導サインやポスターは人ごみの中ではよく見えず効果は低かった。サイネージで動く矢印を表示すると、10～20パーセントの人が誘導に従った。誘導員による誘導ではさらに多くの人が従った。そこで東京ドームでは、誘導員が看板を持つ、拡声器を使って言葉で誘導するパターンなどを試したところ、看板と拡声器の併

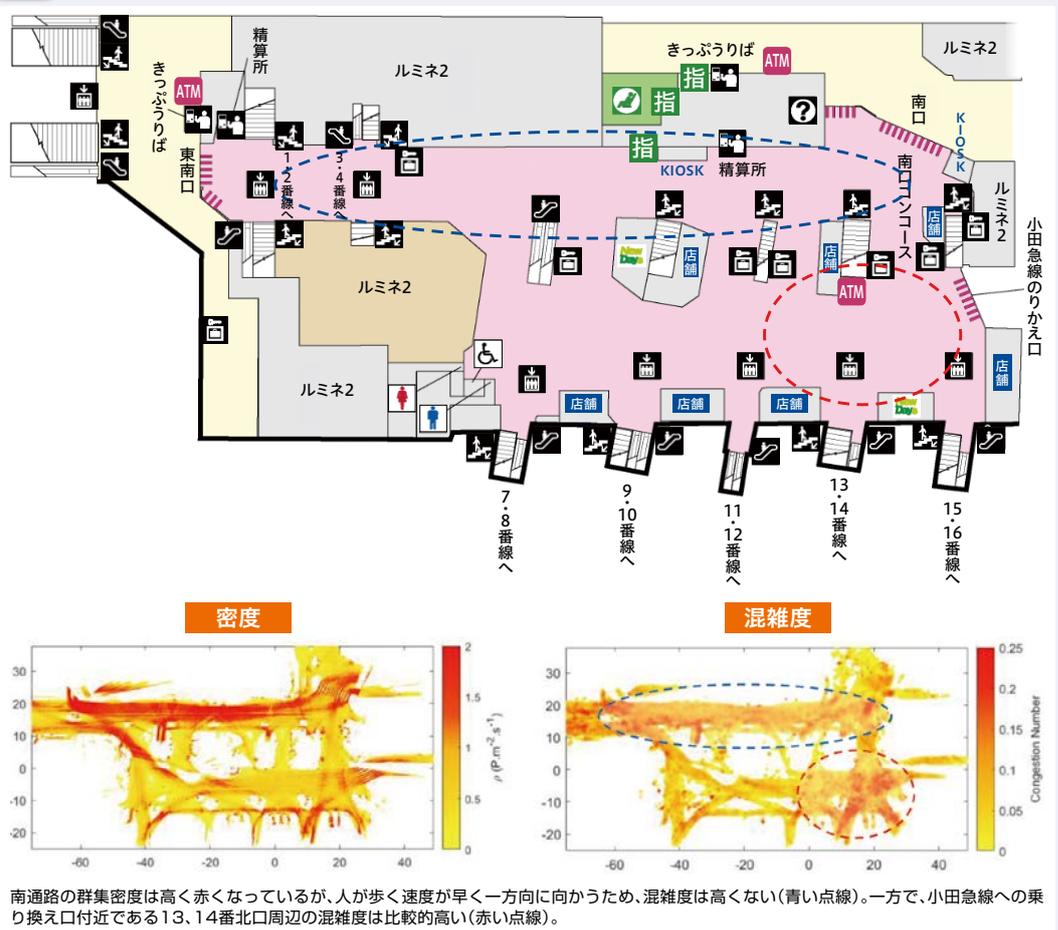
用が最も効果的だとわかった。「心理学の知見に従い、誘導員の目が見えるように看板を持ってもらったところ、誘導に従う人が増えました。看板の効果的な構図や文言などについても、現場で実際の効果を見ながらノウハウを蓄積しています」。

心理面を踏まえると、誘導員が立つ位置は人流を分岐させたい場所より5メートル程度手前、拡声器で誘導する場合は、短い文をゆっくり何度も繰り返すと、効果的であることもわかった。混雑情報を提供するアプリを任意でダウンロードしてもらい、来場者自身が空いている道を選ぶよう工夫もした。これらのノウハウは継続的な実験により積み上げられたものだ。実験の最終日には得られた知見を全て活用し、すでに西口に向かい始めている人に、途中で東口方面に曲がってもらうという難易度の高い誘導も実現できた。

### 「群集マネージャー」を資格化 知見を世界に広げ、無事故に

プロジェクトではこれと並行して、先ほど述べた通り、JR新宿駅での実証実験も2年がかりで行っていた。朝のJR新宿駅南口コンコースは埼

図5 JR新宿駅での混雑の様子を密度と混雑度で比較



京線から南口改札に向かうルート  
の密度が高いが、現場の駅員は「そこは確かに混んでいるが、それほど危険ではない」と指摘する。世の中では人口密度が高い＝危険だと考えられてきたが、西成さんは、皆が同じ方向に一定速度で歩いていけば流れは止まらず、人が多くてもリ

スクは低いと気づいた。対して、皆がバラバラの方向に歩いていると、ぶつかりやすく滞留もしやすい。

そこで西成さんらは、人が歩く速度や歩く方向が一定かどうかなどに基づいて混雑を測る「混雑度」という指標を開発。この指標を用いて特定したJR新宿駅構内の最混雑箇所は、小田急線への乗り換え口付近だった(図5)。現場の駅員も、そこは確かに衝突トラブルが起こりやすい場所だとうなずいた。「この地点のリスクを下げるため、信号のない交差点『ラウンドアバウト』のように、一方通行で歩いてもらうような誘導を試みました。結果、約80パーセントの人が誘導に従い、該当箇所の混雑度を約16パーセント下げることができました」(図6)。

開発された群集マネジメントシステムは、今後さまざまな場所で活用され、人々の移動を安全・安心・快適なものにしていくだろう。しかし、そのためにはイベント全体を見渡し、各種データを確認して適切に判断で

図6 ラウンドアバウトから着想を得たJR新宿駅での群集誘導



小田急線への乗り換え口付近である13、14番北側周辺の柱にサイネージなどを設置。一方向に歩くよう誘導することで、ラウンドアバウトなしと比較して、大幅に混雑度が解消した。

きる人材が必要だ。そこで西成さんは「群集マネージャー」の育成にも乗り出している。講習を受けて試験に合格すると群集マネージャーの資格を得られる制度で、2025年1月時点で31人のマネージャーが誕生している。今後は国家資格化することを目指すという。

群集マネジメントを学術的に体系化した教科書も日本語と英語で出版した。知見を世界に広げ、群集事故をゼロにすることを願ってのことだ。2025年4月には、先に立ち上げた

一般社団法人を母体にコンソーシアムを発足し、群集マネジメントをより広めていく。「安全・安心は当たり前ではありません。企業や自治体には、CMPaaSを活用し、イベントなどでの安全・安心・快適を実現していただきたいと思います」。西成さんは現在、大阪・関西万博や築地市場跡地再開発計画の群集管理アドバイザーも務めている。設計の段階から混雑・事故防止に考慮した会場を訪れることが楽しみだ。

(TEXT: 桜井裕子、PHOTO: 石原秀樹)



さまざまな技術が日進月歩で進んでいます。開発者には特定の目的があるわけですが、多様な分野を見渡すことで、それが別の目的にも使えるとひらめくものです。ぜひ個別の技術だけでなく全体を見て、あらゆることを自分と関連付け、全体最適を生み出していってください。

未来社会創造事業の成果集を発行しましたので、ぜひ、以下のウェブページからご覧ください。

[https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/outcome\\_nishinari.pdf](https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/outcome_nishinari.pdf)



# 永塚 尚子 Nagatsuka Naoko

海洋研究開発機構 地球環境部門 副主任研究員

今、世界各地の氷河で黒い部分が広がる「暗色化」という現象が起きている。それに伴って氷の溶ける速度が増し、海面上昇のリスクも高まっている。氷河の暗色化は、氷そのものが黒くなっているわけではない。近年の研究で、氷の表面に「クリオコナイト」という泥状の物質が堆積していることがわかってきたが、まだ謎も多い。謎を解明することで、気候変動の予測精度向上も期待できる。十数年にわたってこの謎に挑んできた海洋研究開発機構地球環境部門の永塚尚子副主任研究員に、話を聞いた。



## 氷河表面に堆積する「暗色化」物質に注目 謎を解明し、気候変動の予測精度向上へ

### 世界各地に黒く汚れた氷河 鉱物粒子と微生物のしわざ

氷河と聞くと、多くの人が真っ白に輝く壮大な姿を思い浮かべるだろう。氷河とは、陸地に降り積もった雪が自らの重さで圧縮されて大きな氷の塊になり、ゆっくり流動するようになったものだ。海洋研究開発機構地球環境部門の永塚尚子副主任研究員は、幼少期から自然や野生動物が大好きで、将来は何か地球に関わる仕事をしたいと考えていた。千葉大学理学部の地球科学科で、中国やアラスカの氷河を研究する研究室を選んだのも、氷河に行けると聞いてワクワクしたからだという。

しかし、2007年に初めてアジア

の氷河を訪れた永塚さんが見たのは、泥状物質で黒く汚れた氷河だった(図1)。近年、世界各地で同様の暗色化現象が起きていることがわかってきた。白い雪や氷は太陽光を反射するが、表面が黒くなると太陽光の吸収率が格段に高くなり、氷の溶ける速度が速まってしまう。「氷河の氷が溶けて海面上昇を引き起こすことが問題となっていますが、その原因は地球温暖化だけではなく、氷河の暗色化の影響も大きいことがわかっています」。永塚さんは、暗色化が単に見た目だけの問題ではないと指摘する。

なぜ氷河は黒くなったのだろうか。この黒い汚れは何で、どこから来たのだろうか。当初、黒い物質は大

気汚染物質として知られる「ブラックカーボン」という微粒子だと考えられていたが、氷河での調査と研究が進み、現在では「クリオコナイト」のしわざであることが明らかになった。クリオコナイトは、砂漠などから風に乗って飛んできた細かい砂粒などの鉱物粒子と、氷河の上で繁殖するシアノバクテリアなどの雪氷微生物で構成される直径1ミリメートル前後の物質だ(図2)。

小さな鉱物粒子や微生物は、氷河の上でどのようにクリオコナイトに育つのか。氷河上には、砂漠や周辺の土地から風で飛ばされてきた砂や土が落ちてくる。シアノバクテリアはひものような形状なので、その砂や雪氷微生物の死骸などを絡めとりな

図1 暗色化したアジアの氷河



黒い物質に覆われた中国ウルムチのNo.1氷河。きれいな氷の場合、太陽光を40パーセント以上反射するが、暗色化した部分では10~20パーセントとなり、残りは氷に吸収される。

から成長する。ある程度の大きさになるとボロッと崩れ、それがまた次のクリオコナイトの核となって増えていく。

永塚さんが暗色化に注目した当初は、クリオコナイトについての研究は始まったばかりで、詳しいメカニズムはわかっていなかった。しかし、近年北極のグリーンランドの氷河で急激に暗色化が進んでいることがわかり、世界中の研究者が注目するようになってきた。グリーンランドの氷河は、地球上の淡水の約10パーセントに相当するため、融解が加速すれば地球環境に大きな影響を及ぼす。「それを正しく予測するためには、氷河暗色化のメカニズムと融解への影響を理解することが不可欠です」。永塚さんは、クリオコナイト研究の重要性をそう強調する。

### 未知の鉱物側からアプローチ 同位体比分析で起源を特定

永塚さんは、2007年から毎年のように中国やアラスカ、グリーンランドなどの氷河に赴き、調査とサンプルの採取を自ら行った。当初クリオコナイトについては、構成する雪氷微生物からアプローチする研究が主流だったが、永塚さんはあまり研究の進んでいない鉱物粒子側から迫ることにした。例えば、アジア中部の氷河にはクリオコナイトが多く、北部と南部には少ないという違いがあ

る。鉱物がどこから来たかを知ることで、その違いが何に起因するかを知ることができると考えたのだ。

しかし、鉱物粒子側からのアプローチには問題があった。それは、鉱物の起源の分析手法がまだ確立されていなかったことだった。そこで、永塚さんは堆積物の分析に使われる「ストロンチウム(Sr)-

ネオジウム(Nd)同位体比分析」を応用することを考えた。「同位体比分析を幅広く活用していた総合地球環境学研究所に通い、分析の専門家に指導していただきながら、氷河上の鉱物の分析手法開発に共同で取り組みました」。

同位体とは、同じ原子番号の元素でも中性子数が異なるものをいう。鉱物内のSrとNdという元素の安定同位体比は地域ごとに異なるため、各地域のクリオコナイトの同位体比を調べることで、どこから来た鉱物なのかを推定できるのだ。開発した手法を用いて、アジアの氷河におけるクリオコナイトの同位体比を分析したところ、氷河によって鉱物の起

源が異なること、それが氷河にいる微生物にも影響していることが明らかになった(図3)。

具体的には、アジア中部の氷河の鉱物は近くのとクラマカン砂漠起源が多く、北部・南部の氷河の鉱物はそれぞれの周辺の小さな砂漠が起源であることがわかった。また、それぞれの鉱物に含まれる栄養塩も違い、その違いが前者はシアノバクテリアが多く、後者は緑藻類が多いという違いとなって現れていた。「シアノバクテリアがクリオコナイトを形成しているので、中部のクリオコナイトも多くなっていると考えられます。このような地質特性の違いがクリオコナイトの形成量に大きく影響していたのです」。

### アジアと違う北極域の堆積物 グリーンランドはダストが原因

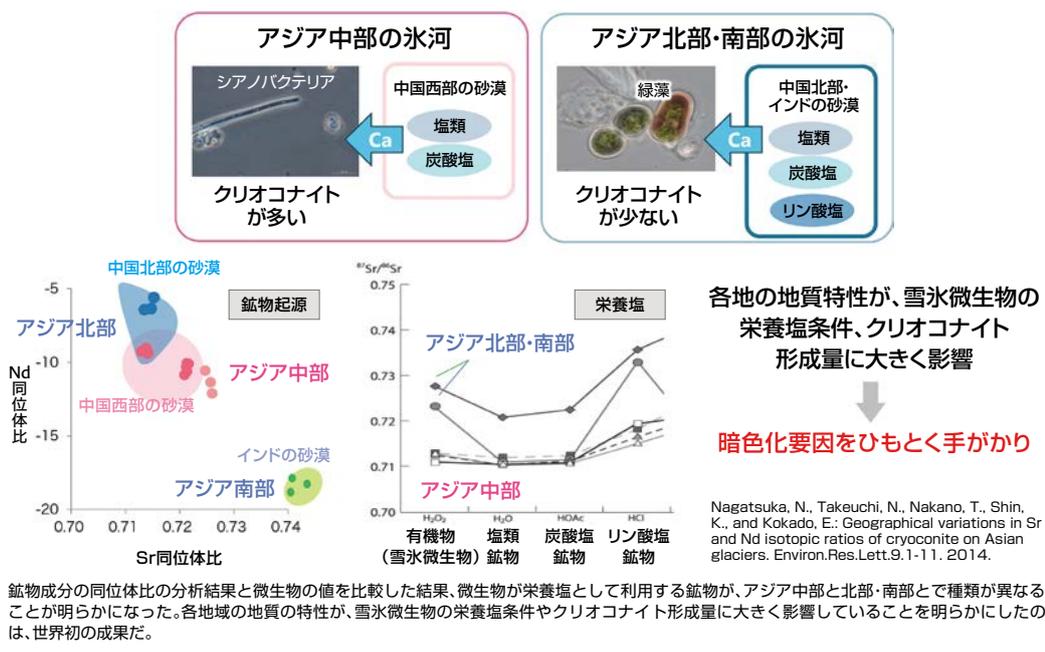
次に永塚さんは、北極域に目を向けた。北極域の氷河にはクリオコナイトが少ない。その理由に迫るためだ。アラスカの氷河で採取してきた堆積物を分析したところ、やはりアジアとは異なる結果となった。アラスカは近くに砂漠がないので、堆積物には、氷河の上流では大気中からの降下物、下流では周辺から飛んできた土や氷

図2 氷河暗色化の原因物質「クリオコナイト」



クリオコナイトは氷河上の鉱物粒子と雪氷微生物から形成される。

図3 地域による氷河の地質特性とクリオコナイトの量の関係



河に削られた細かい岩が多いことがわかった。栄養塩が砂漠の砂と異なるので、繁殖できる微生物も異なる。その違いがクリオコナイトの量に影響していると推測される。

しかし、近年グリーンランドで急激にクリオコナイトが増えている理由は、わからないままだった。永塚さんは、2013年に国立極地研究所に入所し、本格的にグリーンランドの氷河の研究に取り組んだ。これまでのグリーンランドの氷河における堆積物調査では、アジアなど遠くの砂漠の砂や周辺から飛んできた土、氷体内ダストの3種類が確認されている。氷体内ダストとは、過去に氷河上流に堆積した物質が一度氷の内部に潜り込み、下流で再び表面に出てきたものだ。

これら3種類の堆積物と、グリーンランドのクリオコナイトの同位体比を比較したところ、氷体内ダストの同位体比に最も近いという結果が得られた。「つまり、グリーンランドの氷河の暗色化には、氷体内ダストが最も影響しているということです」と永塚さんは説明する。それをデータから証明できたことは世界初の快挙であり、氷河の暗色化メカニズムの解明に一步近づいたといえる。

### 電子顕微鏡でアイスコア分析 鉱物種の変化が気温差を反映

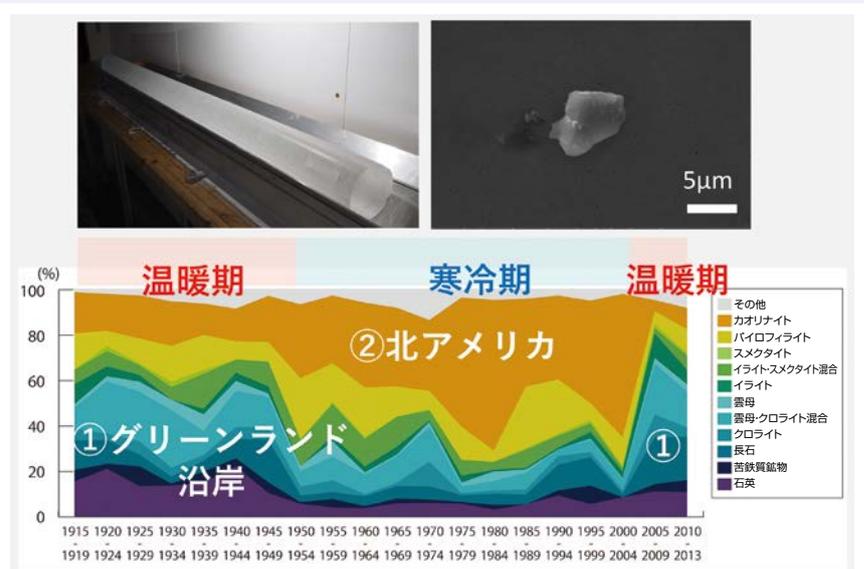
では、氷体内ダストはどこから来たのか。最近急に増えてきたのはなぜなのか。グリーンランドでは、地球温暖化によって氷河周辺の環境が大きく変化している。永塚さんは、その変化が氷体内や氷河周辺からの鉱物供給を増加させている可能性がある

と考え、ドリルでくりぬいた円柱状の氷試料の「アイスコア」に着目。アイスコアには、堆積物が氷とともに年代順に保存されているため、過去数十万年分の雪が蓄積されている氷河最上部で掘削したアイスコアを分析することで、年代ごとの鉱物の同位体分析や量の計測を行おうと考えたのだ。

だが、アイスコアに含まれている鉱物は、従来の方法で分析するには量が少なすぎた。永塚さんは再び分析手法を模索し、たどり着いたのが電子顕微鏡だった。鉱物を見てサイズを計測するほか、検出器で鉱物表面の化学成分を測定し、その組成から鉱物種を推定する。前例のない手法で先行研究との比較も難しく、暗闇を手探りで進んでいるような不安があったというが、成果は目覚ましかった。

過去100年分のアイスコアを5年

図4 アイスコア中の年代別鉱物起源



Nagatsuka, N., Goto-Azuma, K., Tsushima, A., Fujita, K., Matoba, S., Onuma, Y., et al: Variations in mineralogy of dust in an ice core obtained from northwestern Greenland over the past 100 years. *Clim. Past.*, 17, 1341-1362, 2021.

電子顕微鏡を用いた分析で、グリーンランドのアイスコア中の微量鉱物の起源の過去100年の変化について、高い時間分解能で復元することに初めて成功。温暖期は比較的近いグリーンランド沿岸から、寒冷期には遠方の北アメリカからの飛来物が多いことがわかった。

分解能で分析したところ、1950年頃と2000年頃に鉱物種が大きく変化することが見いだせたのだ(図4)。この変化はグリーンランドや地球の気温差を反映しており、温暖な時期と寒冷な時期では堆積する鉱物の起源が異なること、温暖期には周辺から、寒冷期には遠方からの飛来物が多いこともわかった。温暖期には氷が溶けたり降雪量が減ったりして周囲の土の露出が増えるが、それと関係している可能性が見えてきたのだ。

### 海洋や大気の研究とも連携 経験を積極的に社会発信

長い年月をかけて氷河の暗色化メカニズムの謎を解き明かしてきた永塚さん。一連の研究成果が評価され、2024年10月に「第6回 輝く女性研究者賞(科学技術振興機構理事長賞)」を受賞した。永塚さんは「地道に続けてきた研究を評価していただけて、今まで所属してきた各研究機関の関係者の方々に感謝の気持ちでいっぱいです。特に、氷河という日本ではマイナーな分野での研究を評価していただけたことがうれしいです」と喜びを語った。

女性研究者ならではの苦勞としては、体面を挙げた。2019年まで毎年のように、世界各地の氷河で1~2カ月間のフィールドワークを行い、毎日険しい山道の登り下りを伴う過酷な調査を続けた(図5)。登山好きな男性メンバーと比べ、遅れがちになることに申し訳なさを感じ「足手まといになりたくない」と無理をしてけがをすることもあった。他の女性研究者と同様の悩みを共有する中で「女性だとわかってメンバーに選んでくれているのだから、自分ができる精一杯のことをすればいい」と考えるようになり、フィールドワークを楽しめるようになったという。

その後、永塚さんは2024年に海洋研究開発機構に移った。幅広い分野の研究者がいる新天地で、これまでの研究をさらに発展させて気候変動の将来予測の精度向上を目指すとともに、各部門と連携して、新たに海洋や大気も含めた極域・地球の環境変動についての理解を深めたいと心を弾ませている。また、研究結果や先

図5 氷河でのサンプル採取に向かう様子



クリオコナイトのような自然物の場合、現地に自ら足を運んでサンプルを取ってくる必要がある。

ほどの経験談について、サイエンスバーや市民講座などでの講演を通じて積極的に社会に発信することを心がけてきた。

「一般の方にはなじみが薄い氷河ですが、実は最近、日本にも氷河があることがわかりました。現在は立山連峰を中心に7つの氷河が見つっています。できるだけ多くの方に、氷河の研究の楽しさや面白さを伝え、地球環境への影響についても知ってほしいと思っています」。これからも好きな研究にまい進し、それによって社会に役立っていききたい。そんな思いが、永塚さんの柔らかな笑顔からあふれ出すようだった。

(TEXT: 桜井裕子、PHOTO: 楠聖子)

#### ◆ 輝く女性研究者賞(ジュン アシダ賞)

JSTでは、2025年度で第7回を迎える輝く女性研究者賞(ジュン アシダ賞)の募集を4月1日より開始しました。この賞は、女性研究者の活躍推進の一環として、持続的な社会と未来に貢献する優れた研究などを行っている女性研究者を「輝く女性研究者賞」として、女性研究者の活躍を推進している機関を「輝く女性研究者活躍推進賞」として表彰する制度です。発表および表彰式は、2025年10月を予定しています。応募要項など詳細は、ウェブページをご覧ください。

<https://www.jst.go.jp/diversity/about/award>



募集期間: 2025年4月1日(火)~6月30日(月)日本時間正午まで

表彰対象: ■ 輝く女性研究者賞(女性研究者)

- ・原則40歳未満、ライフイベントなどによる研究活動休止期間を勘案
- ・科学技術に関連していれば研究分野は不問
- ・受賞者(1名)には、JSTから賞状、賞牌を、副賞として芦田基金から賞金100万円を授与

■ 輝く女性研究者活躍推進賞(機関)

- ・女性研究者の活躍推進に貢献する、他機関のモデルとなるような取り組みを行っている機関(大学に限らず企業、研究機関、教育機関、学協会、NPOなどからの積極的なご応募もお待ちしております)
- ・受賞機関(1機関)には、JSTから賞状、賞牌を授与

#### ◆ 第6回表彰式&トークセッション



受賞者を囲んだ記念写真

■ 第6回(2024年度)受賞者

輝く女性研究者賞  
(ジュン アシダ賞)



長谷川 恵美

京都大学  
大学院薬学研究科  
准教授

<https://www.jst.go.jp/diversity/activity/report/report42.html>



輝く女性研究者活躍推進賞  
(ジュン アシダ賞)



輝く女性研究者賞  
(科学技術振興機構理事長賞)



永塚 尚子

海洋研究開発機構 地球環境部門  
地球表層システム研究センター  
海洋生態系研究グループ  
副主任研究員

輝く女性研究者賞(ジュン アシダ賞)に相当すると評価できる応募者について科学技術振興機構理事長賞を設置し、表彰しています。

# 「グランドチャレンジ2025」がスタート 革新的な情報通信技術を創出、人材育成も

## 中尾 彰宏

Nakao Akihiro

東京大学 大学院工学系研究科 教授  
CRONOSプログラムオフィサー

## 篠原 弘道

Shinohara Hiromichi

日本電信電話株式会社 相談役  
CRONOSプログラムディレクター

## 川原 圭博

Kawahara Yoshihiro

東京大学 大学院工学系研究科 教授  
CRONOSプログラムオフィサー

JSTは2024年度より情報通信科学・イノベーション基盤創出(CRONOS)をスタートさせた。新たな発想に基づく革新的な情報通信技術の創出と人材育成が狙いだ。2年目となる「グランドチャレンジ2025」について、篠原弘道プログラムディレクター(PD)、中尾彰宏プログラムオフィサー(PO)、川原圭博POが今後の展望や研究者へのメッセージを語り合った。

## 社会発展に不可欠なインフラ 相乗効果で進化・深化目指す

**篠原** 情報通信システムはこれからの社会と経済の発展になくてはならないインフラです。日本では従来、情報通信と情報処理といった情報通信科学の分野は、それぞれ独立した研究領域となっていました。未来社会に変革をもたらす革新的な情報通信システムを築くには、両者が一体となって研究を進める体制を整えることが必要です。こうした理念に基づきCRONOSでは社会に大きなインパクトをもたらす挑戦的な目標である「グランドチャレンジ」(P.13上図)を設定し、情報通信と情報処理の連携や、基盤研究と応用技術の連動を促進し、新たな発想に基づいた研究開発を推進します。

**川原** 欧米を中心としたコンピューターサイエンス系の学会は情報と通信がうまくオーバーラップして融合していますよね。2011年に私が留学した米国の大学のカリキュラムも情報通信と情報科学をトータルに扱い、社会科学も取り込むことで将来社会を予測した研究が行われていました。一方、日本ではそこが分かれてしまっていたので、JSTが情報通信分野の事業を新設すると聞いた時は

少し驚いたのですが、今はCRONOSによって垣根を越えて他分野とつながることで、日本の情報通信科学にも新たな世界が広がっていくことを期待しています。

**中尾** 私が危機感を抱いていることとしては、この20年間で所属する電子情報通信学会の会員をはじめ、情報通信分野を研究する若手人材が減少していることです。新しい技術の発展には人材が欠かせません。CRONOSが人材育成を前面に掲げたことは、若い研究者への力強いメッセージとなったと思います。

**篠原** 1990年代から2000年代にかけて、日本は光通信に代表される高速・大容量のブロードバンドネットワーク作りで世界をリードしました。一方、米国はアプリケーションに比重をおいて開発を進めたことで、GAFAに象徴されるビジネスが育ちました。このような背景もあって、日本でもアプリケーションを志す研究者が増え、相対的に通信基盤の研究者が減ってきてしまったのだと考えられます。

**川原** インターネットが普及した今日、例えばAI(人工知能)を活用した革新的な情報通信システムを開発するには、アプリケーションの研究者だけでなく、先端的な通信基盤技術に挑む研究者と二人三脚で考えてい

くことがいっそう重要です。

**篠原** これからはいかに研究者の知恵を結集するかが焦点です。通信技術の発展が情報処理システムを進化させ、情報処理システムの発展が通信技術を深化させるといった相乗効果が必要であり、これはCRONOSの目指すところでもあります。

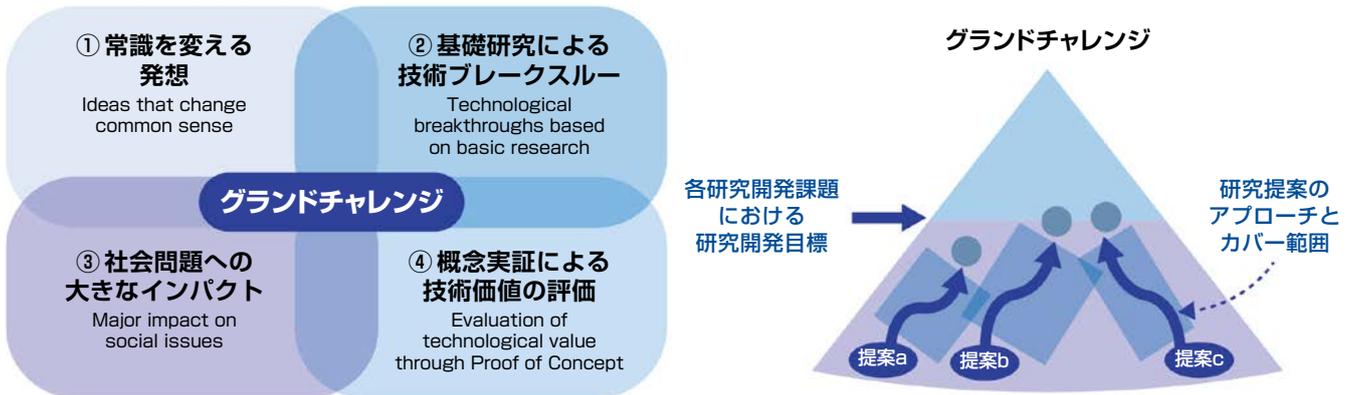
## 昨年末にワークショップ開催 研究者が広く参加し相互理解

**篠原** 初年度の「グランドチャレンジ2024」では147件の提案があり、各PO合わせて18件を選んでいただきました。

**中尾** 選考にあたっては、グランドチャレンジの方向性を理解し、情報通信全体の進化を意識しているか、大胆な発想に技術の裏付けがあるか、人材育成や社会貢献の視点があるかなどの点を重視しました。30代、40代の研究者の応募も多く、大きなテーマに意欲的に取り組む気概を感じました。

**川原** 魅力的な提案が多く選ぶのは大変でしたが、採択した提案は、チャレンジの内容が明確で広がりがある、面白くてワクワクする、わかりやすく説得力があるという点が共通している印象でした。

● グランドチャレンジのコンセプト



グランドチャレンジはさまざまな技術領域・階層を包摂する目標であり、達成に向けた取り組みを通じて、革新的な情報通信技術の創出と研究人材の育成を目指す。CRONOSで採択された研究課題は、グランドチャレンジを達成するためにそれぞれの目標を設定し、多様なアプローチをとっている。

**篠原** 前回の取り組みを踏まえ「グランドチャレンジ2025」に向けて改善点を確認し、2024年10月下旬から12月上旬にCRONOSのウェブページ上で行った情報提供募集なども踏まえ、同月に有識者によるワークショップを開催しました(P.14参照)。

**中尾** ワークショップには幅広い分野の研究者に参加いただき、私の担当セッションでは①通信アーキテクチャー②通信の要素技術③通信応用・セキュリティーをテーマに意見交換がなされ、相互理解を深めることができました。今年度の募集テーマを考える上で有意義な会となりました。

**川原** 最近の情報システムの研究は、AIにおける大規模言語モデルの開発に代表されるように、多方面の研究者が連携して取り組むことが求められます。私のセッションでは①社会の重要課題に挑む問題のモデル化とベンチマーク②新たなニーズが牽引する情報通信システムの革新の

2つをテーマに議論しました。このような議論を通じて領域を越えた研究者間のネットワークが広がることに期待しています。

**未来に価値与える提案を期待 みんなで「大きな山」に挑もう**

**篠原** 3月より募集が開始された「グランドチャレンジ2025」では、さらに未来社会の変革につながる新たなチャレンジを、積極的にご提案いただきたいと思います。

**中尾** CRONOSは若い研究者の登竜門でもあります。サイバーインフラを支える(1)アーキテクチャー(2)要素技術(3)サービス・セキュリティーの革新を軸として、研究領域の垣根を越えたヒューマンネットワークを生かし、未来社会に価値を提供するチャレンジングな提案に期待しています。

**川原** AIの進歩、高速コンピューティ

ングなどと通信基盤技術の発展が結びついて初めて新しい可能性が生まれます。その最前線に立つために、次の時代が求めるものを洞察し(1)基盤アーキテクチャーとアプリケーションの新しい仕組み(2)データによる意志決定支援と予測の不確実性の克服(3)ベンチマークとなるデータを蓄積・分析により発展する情報処理の展開の3本柱で考えてほしいですね。グランドチャレンジが示す目標は、未来社会において実現が期待される社会の姿です。その大きな山には、研究者一人ではとても登り切れませんが、この山を「みんなで登ろう」と呼びかけるリーダーシップがある人、そのために他分野の人をも巻き込んでいく研究者の登場に期待します。

**篠原** CRONOSは大きなチャンスです。常識にとらわれない斬新な発想で「大いなる夢」を描き、その実現にチャレンジされることを願っています。

(TEXT: 森部信次, PHOTO: 石原秀樹)

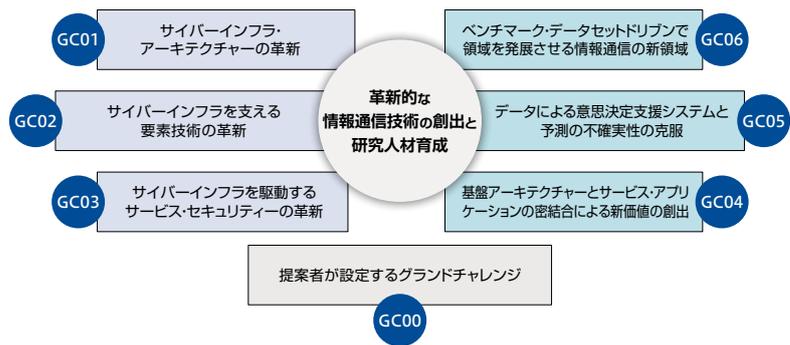
2025年度研究開発提案募集開始

**【募集期間】**  
2025年3月5日(水)～5月21日(水)日本時間正午まで  
**【募集ページはこちら】**  
募集説明会についても掲載中です。  
<https://www.jst.go.jp/kisoken/cronos/koubo/2025/index.html>



● 2025年度グランドチャレンジ

情報提供募集やワークショップなどを踏まえて、今年度のグランドチャレンジを右図のように設定しました。革新的な情報通信科学の創出と研究人材育成の実現に向けた皆さまの新たな発想による挑戦的な研究開発提案をお待ちしております。



## CRONOSグランドチャレンジWS2025を開催 基礎と応用の垣根を越え、大胆な発想で研究を

JSTでは、Society 5.0以降を見据えた社会変革を可能とする革新的な情報通信技術の創出と研究人材育成のため「情報通信科学・イノベーション基盤創出(CRONOS)」を実施し、日本の情報通信技術の強化を目指しています。CRONOSでは、2025年度の募集対象となるグランドチャレンジのテーマを設定するため、24年10月下旬から12月上旬に情報提供募集を行い、その結果などを踏まえて、同月にワークショップ(WS)を開催しました。

当日は、篠原弘道プログラムディレクター、情報通信分野を担当する中尾彰宏プログラムオフィサー(PO)、情報処理分野を担当する川原圭博POをはじめ、関連分野で活躍されている有識者や事前の情報提供募集でご協力いただいた研究者など、リモート参加を含め45人が参加しました。各POがそれぞれの領域で討論テーマを設定し、中尾領域では①通信アーキテクチャー・セキュリティ②通信の要素技術③通信応用の3つ、川原領域では①社会の重要課題に

挑む問題のモデル化とベンチマーク②新たなニーズが牽引する情報通信システム技術の革新の2つのテーマに沿って合計19人の研究者が発表し、活発なディスカッションが交わされました。

一連の議論を通じ、基礎研究と応用研究の垣根を越えた連携や他分野との融合の重要性を改めて確認し、社会科学を含めた長期的かつ大きな視点から大胆な発想で研究開発を推進するための募集テーマを検討しました。今回のWSなどを通して設定されたグランドチャレンジのもと、2025年3月より研究開発の募集を開始しています。



それぞれの発表者が熱意を込めて研究動向を語り、時間に収まりきらないほどであった。領域を越えた研究者同士が幅広い視点から意見を交わした。

## 研究成果

### ムーンショット型研究開発事業

目標2「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」  
研究課題「恒常性の理解と制御による糖尿病および併発疾患の克服」

## 甘党の体重増加を抑える腸内細菌を発見 肥満や糖尿病の予防・治療法開発に応用期待

ケーキなどの高脂肪・高糖分の食べ物はおいしい一方で、肥満や糖尿病のリスクを増大させます。主な原因はスクロース(砂糖)の過剰摂取で、肥満や糖尿病の予防・治療法の開発は急務です。京都大学大学院生命科学研究所の木村郁夫教授らの研究チームはこれまでに、キムチを作る乳酸菌が生成する「菌対外多糖(EPS)」が健康に良い影響を与えることを明らかにしていました。

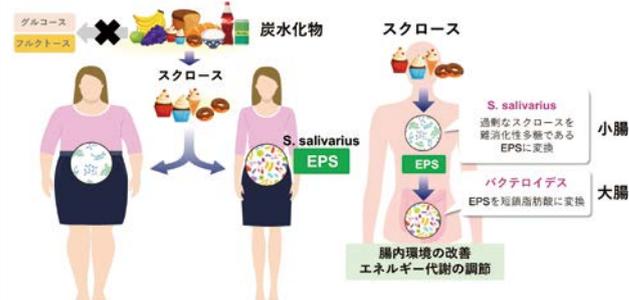
今回、同研究チームはヒト腸内細菌由来のEPS産生菌を探すために、約500人の健康者と肥満症患者の便を分析しました。その結果、スクロース誘発性の肥満を抑制する腸内細菌「*Streptococcus salivarius*(*S. salivarius*)」を発見。この腸内細菌がスクロースから作るEPSは消化できない食物繊維のような物質で、このEPSを利用できる腸内細菌が特異的に増殖し、短鎖脂肪酸が増加することがわかりました。短鎖脂肪酸は腸内環境を改善し、血糖値の急上昇を抑える働きなどがあります。

次に、肥満のマウスで実験したところ、EPSを摂ることで体重増加が抑えられ、血糖値も改善しました。しかし、短鎖脂肪酸を認識できないマウスでは、この効果が消えてしま

いました。つまり、代謝機能の改善には、腸内細菌が産生する短鎖脂肪酸が関与しているということです。また、無菌のマウスに*S. salivarius*などの腸内細菌を入れて実験した結果でも、EPSを作れないマウスに比べて体重増加が抑えられ、短鎖脂肪酸が増えることで血糖値が改善しました。

今回、甘党な人の肥満を抑える腸内細菌を発見したことで、スクロース誘発性の肥満を防ぐ一連のメカニズムが明らかになりました。この研究成果は、腸内細菌由来の代謝物を利用した新しい肥満や糖尿病の予防・治療法の開発に向けて、応用されることが期待されます。

### ■ スクロース誘発性の肥満を防ぐメカニズム



研究チームが発見した*S. salivarius*がスクロースからEPSを産生することで、スクロース誘発性の肥満を防げる。

## こすると円偏光発光が切り替わる有機結晶

3Dディスプレイや偽造防止印刷への応用に貢献

キラル分子は、右手と左手のように互いに鏡像関係にある構造を持つ有機分子です。キラル分子が紫外線などの光を吸収し可視光の光を放出する時、その発光は、左回転または右回転の偏りのあるらせん状の発光である円偏光発光(CPL)となります。CPLは、3次元(3D)画像を表示するディスプレイの光源や、紙幣の偽造防止用の印刷インクなどへの応用が期待される一方で、固体材料のCPLを機械的刺激で切り替える研究は進んでいませんでした。特に、機械的刺激を加えると結晶が崩れて分子の周期的配列が失われ、CPLの効率が大きく低下することが問題となっていました。

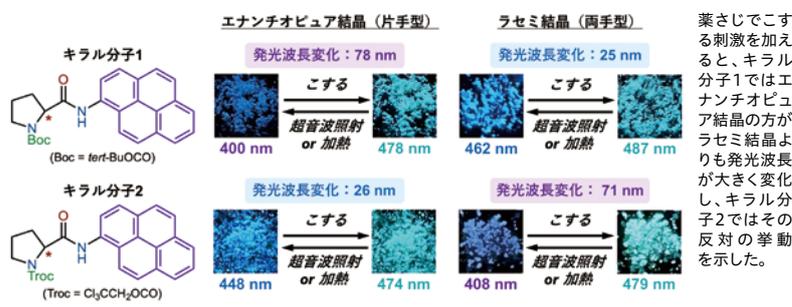
横浜国立大学の伊藤傑准教授らの研究グループは、アミノ酸の一種であるプロリンに発光性の多環芳香族炭化水素であるピレン環をつなげた2つのキラル分子を設計・合成することで、こする刺激によりCPLの波長が長くなるキラル有機結晶材料を開発。葉さじを使って刺激を与えると、開発したキラル分子1

では、片手型の分子のみからなる「エナンチオピュア結晶」の方が両手型の分子を含む「ラセミ結晶」よりも発光波長が大きく変化し、キラル分子2ではその反対の挙動を示しました。

この独自の分子設計により、従来のキラル分子と異なり非晶質状態においても良好にCPLが観測でき、効率低下の問題が解消されました。また、非晶質状態でCPLを示す励起2量体の構造解明にも成功しました。

今回の成果は、固体CPL材料の開発に新たな設計指針を提供するものです。得られた知見は、機械的刺激に限らず、さまざまな外部刺激によりCPLが切り替わる実用的な固体材料の開発にも貢献すると期待されます。

■ こすると発光波長が変化するキラル分子1と2の結晶の比較



## 「飼い殺し型寄生蜂」、毒遺伝子を同定

宿主ハエの細胞死誘導、天然医薬へ活用も

寄生蜂は、他の昆虫やクモなどに卵を産み、これらを宿主にして寄生するハチです。中には、ハチの幼虫が宿主から栄養を奪いながら宿主と共に成長し、宿主がサナギになると宿主を食べて羽化するタイプがあります。このような「飼い殺し型寄生」を実現するためのカギが、寄生蜂が産卵時に宿主に注入する「毒」です。

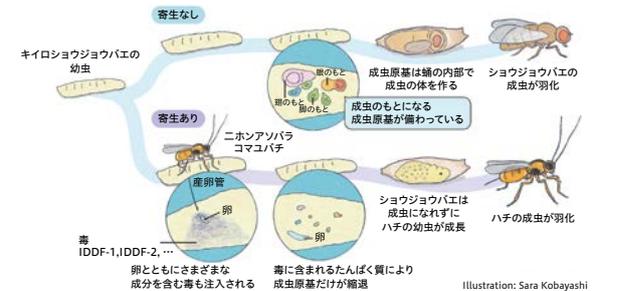
筑波大学生存ダイナミクス研究センターの島田裕子准教授らの研究チームは、寄生蜂の毒が、宿主ハエが成虫の体になるために必要な「成虫原基」だけを縮退させることを発見し、この現象を「成虫原基縮退(IDD)」と名づけました。一方で、ハエ幼虫の行動や発育に必要な器官には変化がなかったため、ハチの毒はハチにとって必要ない成虫原基だけを選択的に殺すことが示唆されました。

そこで、宿主ハエの成虫原基で細胞死を誘導する毒成分を特定するために、寄生蜂の全ゲノム配列を解読し、63のIDD関連の毒遺伝子候補を同定しました。これらの機能を調べるために、特定の遺伝子の機能を抑制する手法を開発し、個々の標的遺伝子の機能を働かないようにしたハチを作製。これらのハチで実験したところ、特定の2つの毒遺伝子

いずれかが働かないと、毒による細胞死が誘導されることがわかりました。また、細胞死の抑制によって、IDDも顕著に抑制されていたことから、この2つの毒遺伝子がIDD誘導に必須の遺伝子であることが明らかとなりました。

この成果は、寄生蜂の毒遺伝子を同定し、飼い殺し型寄生の分子機構の一端を明らかにするとともに、寄生蜂毒が新しい生物毒の研究対象となる可能性を示しました。今後、さまざまな昆虫を標的とする寄生蜂毒の作用メカニズムを調べることで、農業や天然医薬資源のシーズとしての活用が望まれます。

■ 宿主ハエにハチが寄生しなかった場合と寄生した場合のライフサイクル



# さきがける 科学人

vol.150

PROFILE

**井上 史大**

横浜国立大学 大学院工学研究院  
システムの創生部門 准教授

Inoue Fumihito

兵庫県出身。2013年関西大学大学院博士後期課程理工学研究科総合理工学専攻修了。博士(工学)。imec研究員などを経て21年より現職。24年より同大学総合学術高等研究院半導体・量子集積エレクトロニクス研究センター副センター長。22年よりさきがけ研究者、24年よりA-STEP研究責任者。



企業の研究者と切磋琢磨し、第30回半導体・オブ・ザ・イヤー2024半導体製造装置部門「優秀賞」を受賞しました。

## 小さなチップを積み重ねる3D技術開発 日本から半導体の新時代を切り開く

### Q1. 研究者になったきっかけは？

#### A1. どのようにロボットが動くか知りたい

子どもの頃からロボットアニメや新しいガジェットが好きで「なぜこんな動きができるのか」と考えるうちにもものづくりに興味を持つようになりました。大学院で研究室に入った当時は、国内の半導体研究がかなり落ち込んでいた時期だったため「チャレンジするなら海外に行くしかない」と考えました。

そこで、博士課程に在籍していた2011年にベルギーに拠点を置く世界的な半導体研究機関imecのインターンシップに参加。現地とのコネクションはなく、インターネット経由で応募したのがきっかけでした。学位取得後も約10年間にわたってimecに研究員として在籍し、最先端の研究に携わることができました。

当時から取り組んできたのが、半導体の3次元(3D)集積技術の開発です。半導体はこれまで集積回路の微細加工を進めることで性能を向上させてきましたが、近年は投資コストが増大し、技術面でも限界が近づいています。この状況を打破して半導体の性能をさらに向上させるためには、後工程領域における効率的なパッケージング技術の開発が必要だと感じていました。

### Q2. 現在取り組んでいる研究は？

#### A2. プラズマを用いた「ハイブリッド接合」

従来のように大きな集積回路を1つのチップとして作り込むのではなく、複数の

小さなチップに分割して製造し、立体的に積み上げてパッケージングする「3Dチップレット技術」の開発に取り組んでいます。小さなチップをブロックのように立体的に積み上げて接続することで、製造時に不良率が下がり、チップ間の配線距離の短縮化、省電力化、高性能化を実現できます。

しかし、チップ間をより高精細につなぐためには従来のハンダによる接合ではなく、プラズマを使った「ハイブリッド接合」という技術が必要です。さらに、JSTのさきがけでは半導体の3Dチップレット技術を量子に応用し、ヘテロ量子コンピューターの創出を目標に研究を進めています。量子コンピューター用のチップレット技術をつくるためには、極低温の動作環境や超伝導に対応した材料への変更、効率的な配線や接合技術の確立が不可欠です。

量子コンピューターはまだ新しい技術ですが、将来的には量産化される時代がやってきます。新時代を見据え、技術的な課題を1つずつ解決しながら、次世代半導体技術と量子向け開発を両立して進めていきたいです。また、2024年にはJSTのA-STEP産学共同ステージII(本格フェーズ)にも採択されました。社会実装に向けたより実用的な研究も産学連携体制で加速していければと考えています。

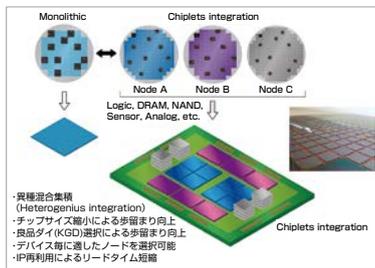
### Q3. 研究者を目指す人にメッセージを A3. 未来へ好奇心を持って飛び込んで

この研究の面白さは、現在進んでいる研究が10年後に実用化されている可能性があり、社会への貢献がわかりやすい点です。一方で進化のスピードが早いからこそ、少し先の未来を的確に捉え、社会に本当に必要とされる技術を生み出さなければなりません。

こうした考えから、企業やアカデミアの枠組みを超えたオープンイノベーションを促進するコンソーシアム「3DHI」を設立。また、2024年に新設された「半導体・量子集積エレクトロニクス研究センター」では副センター長を務めています。自分があらゆる研究者や異なる領域をつなぐハブとなり、日本の半導体産業を切り開いていきたいです。

皆さんが普段目にする機会はないかもしれませんが、半導体はスマートフォンや自動運転車などの発展には欠かせないものです。半導体がデバイスの中でどのようにして動き、これからどう進化していくのか。研究者を目指す人には、好奇心を持って半導体の世界に飛び込んでほしいと願っています。

(TEXT:村上佳代)



チップレット集積のイメージ図です。

## ものづくりと学問をつなぐ



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

JSTnews

April 2025

発行日/令和7年4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 JSTnews/https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー