

RIKEN NEWS

2026年度・第5期中長期計画2年目を迎えて

— 基礎科学の力で未来を拓く — p.02

実験はAIとロボットに任せる
「一億総研究者」時代へ p.04

遺伝子カプセルが進化を促す p.06

「思い出されたとき」に強くなる恐怖 p.08

信号処理とデータ収集・解析で金字塔研究に貢献 p.10

納得できる説明をしてくれるAIをつくりたい p.11

埼玉グルメはかき氷がおすすめです p.12



いま、人類社会は歴史的な転換点に立っています。

生成AIに象徴される技術革新が急速に進む一方で、気候変動、エネルギー・資源制約、国際紛争、社会の分断など、地球規模で解決すべき課題はますます深刻化しています。

課題の克服には、国籍や文化、世代の違いを超え、人類が協働することが不可欠です。科学の普遍性、知への信頼、新たな可能性の発見がもたらす感動と共感こそが、その確かな基盤となります。

2026年度を迎え、理化学研究所（理研）は第5期中長期計画の2年目に入りました。本計画は、卓越した基礎科学の探究をより良い社会の形成へとつなげることを目的としています。理研は、未知に挑む研究の中で生まれる発見を、研究者だけの喜びにとどめることなく、社会の皆さまと分かち合い、共に生きる未来への希望として育てていきたいと考えています。そのため、分野や組織の壁を越えて、世界の研究機関や産業界、国民の皆さまとの協働をさらに進化させてまいります。

2026年度・第5期中長期計画2年目を迎えて

基礎科学の力で未来を拓く

「Computation」に立ち返る

人類が直面している問題はいずれも、要因が複雑に絡み合っています。これらを高次の視点から解きほぐし、新たな次元での解決を探ろうとする方法論が、地球規模で求められています。

いま改めて立ち返りたい概念が“Computation”です。

“Computation”の語源はラテン語の“computare”に遡ります。その語根である“putare”は「整える」「剪定する」「考える」を意味しました。木の未来のありようを想像して枝を剪定するように、不要なものを削ぎ、複雑さから本質を把握し、構造を明確にして理解や必要性の判断が可能な形へ整える思考の営みを指します。そこに接頭辞の“com”がつくことで、「共有できる形に整え、共に考える」という意味が加わります。これに対し、計算を意味するもうひとつの英語“Calculation”は、古代ローマの算盤に使われた石灰石“calx”や小石“calculus”に由来し、石を並べて数える操作を表しました。

その意味で、“Computation”は単に規格化された計算ではなく、創造的な実践です。複雑な世界の本質を固有の関係構造として明晰に対象化し、共有可能で活用可能な普遍的な知へと昇華するプロセスです。実験・観測・理論を横断して統合する、科学の実践そのものだと言えるでしょう。

理研が掲げる「つなぐ科学」は、培ってきた総合基礎科学の蓄積の上に“Computation”の横断軸を加え、分野を越えて新たな知識と学理を創成する挑戦にほかなりません。

計算基盤の進化と量子×HPC

その挑戦の中核にあるのが、次世代スーパーコンピュータ「富岳NEXT」の開発です。ハードウェアからソフトウェア、アルゴリズムにまでいたる革新の総合により、「富岳」の100倍の計算性能を目指しています。この開発は多様な研究分野を横断的に支える基盤となります。

量子技術との融合も“Computation”の重要な柱です。理研では国産量子コンピュータ「叡」を富士通株式会社をはじめとする国内協力機関との連携のもとで開発してきました。2023年11月からは、経済産業省のNEDOプロジェクトとして方式の異なる二

つの商用量子計算機を導入し、「富岳」と接続したハイブリッド計算法の研究開発を進めています。

2025年2月にはQuantinuum製イオントラップ型量子コンピュータ「黎明」が和光で本格稼働し、高忠実度量子計算を活用した実証研究が始まりました。同年6月には「IBM Quantum System Two」が神戸の理研 計算科学研究センターに設置され、「富岳」と直接接続した量子・古典融合ワークフローの開発が進められています。10月には創薬や材料科学など具体的応用を目指す量子-HPC連携のテストユーザプログラムが始動し、11月には量子-HPC連携を前提とした次世代スーパーコンピュータの設計構成を決定しました。

2026年度は、こうした基盤を活用し、成果を創出する段階に入ります。量子-HPC統合環境の安定運用と利用拡大を図るとともに、誤り抑制技術の向上やハイブリッドアルゴリズムの高度化を進めます。創薬、材料設計、最適化問題などの具体的テーマで、基礎科学および産業応用につながる成果を目指します。量子と古典が相乗的に機能する次世代計算基盤の実装に向け、準備を加速してまいります。

日米連携の深化とAI for Science

生成AIは、大規模言語モデルを中心にかつてない速度で進化して社会実装が進みましたが、その基盤をなす言語データはいずれ飽和局面に達します。一方で、科学計測から生み出される非言語データは無尽蔵であり、飛躍的に拡大しています。これらを取り込むAI技術の進展こそが、AIの次の段階を切り拓きます。

そのなかで、AI for Scienceの進展が加速しています。それは単なる研究の効率化ではありません。知識創出の主体や方法、スケールそのものにパラダイムシフトをもたらすものです。こうした変化は科学の研究にとどまらず、その成果を活用する社会経済全体の構造転換へと直結するでしょう。

この大変革を正しく捉え、いかに次の時代を主導する立場を確立することができるか。それが、いまの日本の産業戦略・科学技術政策の核心であり、理研として責任をもって貢献していきたいと考えています。

しかし、この変化への対応は一国の努力だけでは完結しませ

ん。米国は昨年11月、大統領令として「Genesis Mission」を発表し、科学研究の生産性の倍増を掲げました。その中核に位置づけられているのがAI for Scienceであり、それを支える最先端の計算基盤を国家規模で整備する構想が示されています。

2026年1月27日、理研は米国エネルギー省 (DOE) 傘下のアルゴンヌ国立研究所、富士通、NVIDIA Corporationとの間で、AIおよびHPC分野における協力協定を締結しました (写真)。本協定は、次世代計算基盤の構築と活用、システムソフトウェアや科学・工学アプリケーションの高度化、科学分野におけるAI活用の推進を目的としています。

科学研究にAIという強力な加速装置が組み込まれたいま、基礎研究の成果を待ってから産業が動く時代は過ぎ去りつつあります。研究現場そのものが産業の最前線となり、産業の現場で直面する課題を、基礎科学が新たに問わなければならない局面になっているのです。

日米両国は、国家戦略として推進する「AI for Science」を中核に据え、グローバルな「科学のプラットフォーム」を共に構築するというビジョンを共有しています。理研はこれまでも「富岳」を中核に、計算科学・データ科学・AIの融合を推進し、その基盤としてTRIP (Transformative Research Innovation Platform of RIKEN platforms) 事業を展開してきました。気候、防災、創薬、材料科学などで具体的成果が生まれています。

2026年度からは、前述の量子HPCハイブリッド環境で導入したGPUと合わせて最新GPU約2000基規模のAIスーパーコンピュータを本格運用します。計算資源の段階的拡充を通じて、「富岳NEXT」や量子基盤と連携した統合的次世代計算環境の

構築を目指します。

HPC、AI、量子技術を統合し、科学の方法論そのものを高度化する挑戦は、「つなぐ科学」を世界規模で展開する歩みであり、「Made with Japan」の理念を体現するものです。

地球規模課題と科学の責任

2025年、ブラジル・ベレンで開催されたCOP30では、温暖化対策に関する国際的議論が抑制から適応へと重心を移しつつあることが示されました。排出削減工程表が合意されなかったことに対し、強い懸念や失望の声も上がっていますが、レジリエンスの強化は人類共通の急務です。抑制・緩和策と適応策はいずれも欠かせません。

その両立には、自然と社会の複雑系を理解し、リスクを定量化し、長期的影響を予測する科学的基盤が不可欠です。科学的知見なくして合理的で公正な政策判断の正義は成り立ちません。

理研は、気候、環境、生態系、資源循環、防災などを横断し、「グローバル・コモンズ」の持続可能性確保に資する研究を推進しています。大気・海洋・陸域を統合した高精度シミュレーション、極端気象予測の高度化、都市スケールでの災害リスク評価など、ここでも計算科学が重要な役割を果たします。

未来へ

量子科学技術、スーパーコンピューティング、AI for Scienceを結び、総合基礎科学をさらに前進させる一年が始まります。

それを担うのは「人」です。

若手研究者の育成のため手厚い支援を行うRIKEN Early Career Leaders Program (理研ECL制度) は2023年度に開始され、2025年度公募では応募倍率約70倍という高い関心を集めました。国内外の優れた若手研究者が理研を挑戦の場として志望していることは、私たちの責任の重さを示しています。

理研は、科学の普遍的価値を礎に、アカデミア・産業界との連携を深化させ、未来を担う人材を育て、その総合力で世界規模課題の解決に挑み続けます。

本年度も皆さまのご支援とご協力を心よりお願い申し上げます。





おち あい こう じ
落合 幸治 客員研究員 (左)
お ざき はるか
尾崎 遼 チームディレクター (右)
生命機能科学研究センター
AI 生物学研究チーム

実験は AI とロボットに任せる 「一億総研究者」時代へ

「究極的には、人類が減んだ後も実験が続くような『自動化実験室』を実現したい」。そんなSFのような着想から、生命科学の現場を劇的に変え得る新たな設計思想が生まれた。落合 幸治 客員研究員や尾崎 遼 チームディレクターらの共同研究グループが論文発表した「自己保守能力」だ。実験室が自分で適切な状態を保ちながら稼働し、人間は研究のアイデアや実験の承認を与えればよい未来。その核心に迫る。

■「ロボットのお世話を人がする」という矛盾

生命科学や化学などの研究分野では、ロボットが実験操作を担う「実験自動化」が目覚ましく進歩している。正確な量の試薬を的確なタイミングで注入するロボットや、大量のデータを解析するAIの登場で、研究の現場は様変わりしつつある。

しかし、現場では矛盾も生じている。「実験操作を自動化するためには、実験スケジュールから消耗品の配置まで事前に完璧に準備しなければならないし、試薬が切れたら補充をしなければなりません。人間が『ロボットのお世話』にかかりきりになっているのが現状です」。アイデア出しとソフトウェア開発を担当した落合 客員研究員は指摘する。

実験手順の作成、消耗品の補充、機器のメンテナンス、トラブル対応……。実験の本質ではないが不可欠なこれらの裏方作業を、研究グループは「ケア」と名付けた。「これまでケアは当然、人間の仕事だとされてきました。炊飯器を使うときに人間が米と水を入れるのが当たり前なのと同じです。実験室の完全自動化の課題は、まさにこのケアの部分にあるのです」(尾崎 チームディレクター)

■実験室を「細胞」に見立てる

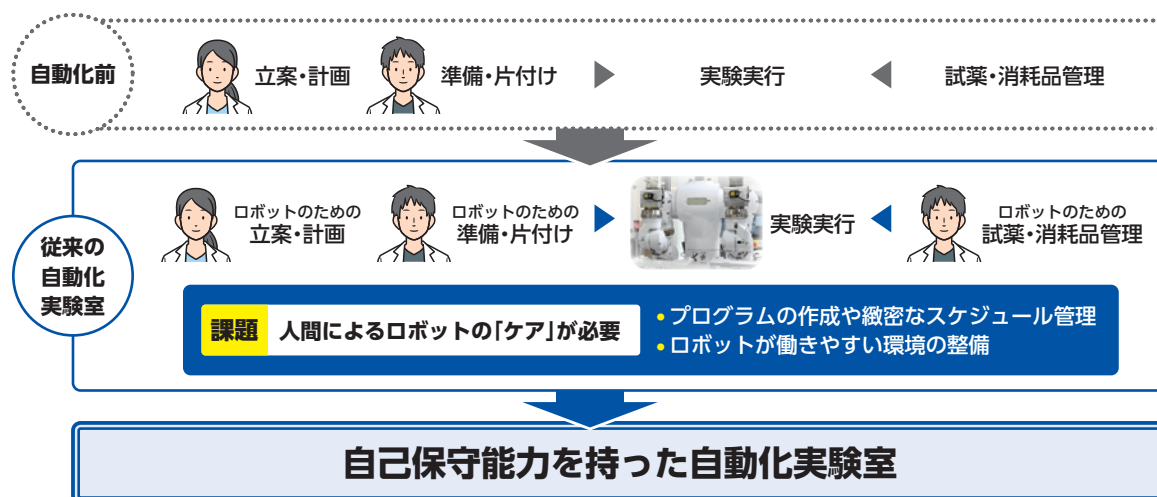
この壁を突破するために研究グループがたどり着いたのが、「実験室全体を一つの『生き物』のように捉える」という発想の転換だった。ヒントになったのは生物学者が最もよく知るシステム——「細胞」だ。細胞は、外部から栄養を取り込み、内部でエネルギーを生み出し、不要なものを外に出す。常に自己の状態をモニタリングし、環境の変化に合わせてホメオスタシス(恒常性)を維持している。

「私たちが考えた実験室も同じです。消耗品を外から取り込み、内部で実験し、データや廃棄物を外に出す。実験室全体がセンサーで自分の状態を把握し、ちょっとしたトラブルなら自分で直す。この『自己保守能力』を実験室自体に持たせようというのが、今回の論文の柱です」(尾崎 チームディレクター)

用語解説

自己保守能力 (SeM: Self-maintainability)

共同研究グループが提案する、生物の細胞が持つ恒常性機能をモデルにした概念。システムが自身の状態を常に監視し、物資の枯渇やエラーなどの変化に対応して、機能を維持し続ける能力のこと。



【図1】従来の自動化実験室では人間がロボットの「ケア」をする必要があり、完全自動化の障壁となっているため、研究グループは新たな自動化実験室を研究した

■「指示」から「意図の共有」へ

自己保守能力を備えた実験室が実現すれば、研究者の日常は劇的に変わる。これまでの自動化機器は「Aの棚の3番目からチップ（ピペットの先端につける消耗品）を取り、Bの試薬を10マイクロリットル吸って……」というように細かくプログラミングしなければならなかった。しかし、新たな自動化実験室では、研究者はAIに「この細胞とあの細胞は、どっちが増えやすいか比較したい」といった抽象的な「意図」を伝えるだけで済むようになる。

「実験室のAIが『今の在庫状況ならこの実験ができます』『予算を追加すればもっと精度の高い実験も可能です』といった対話をしてくれるようになります。研究者は『じゃあ、そのプランで』と承認するだけ。あとは実験室が自律的に動き、結果が通知される。そんな未来を描いています」（落合 客員研究員）

■「一億総研究者」の時代へ

この実験室（図1）の実現によって、単に研究者が楽になるだけではない。まず、実験の自動化が広がり、科学の質の向上につながると考えられる。人間が実験をしたり「ケア」を担ったりする場合、正確さなどのばらつきや、無意識のバイアスが生じる余地がある。しかし、実験室全体が自動化され、すべての操作をログとして客観的に記録すれば、実験データの信頼性が飛躍的に高まる。捏造などの不正が入り込む隙もなくなるだろう。

さらに、尾崎 チームディレクターは、その先にある「一億総研究者」の可能性を語る。

「実験のスキルがなくても、アイデアさえあれば誰でも実験ができるようになります。育児や介護で実験室に行けなくなった人もオンラインで研究が続けられるし、難病で寝たきり状態の人が自分の病気を研究することだってできるようになります。サイエンスの担い手が爆発的に広がる可能性があります」

また、従来の自動化が「大量生産」だとすれば、新たな実験室

は「オーダーメイド」と言える。患者一人一人の遺伝子変異に合わせた研究など、自動化が困難だった複雑な研究が可能になる。

■SFではなく、現実の未来へ

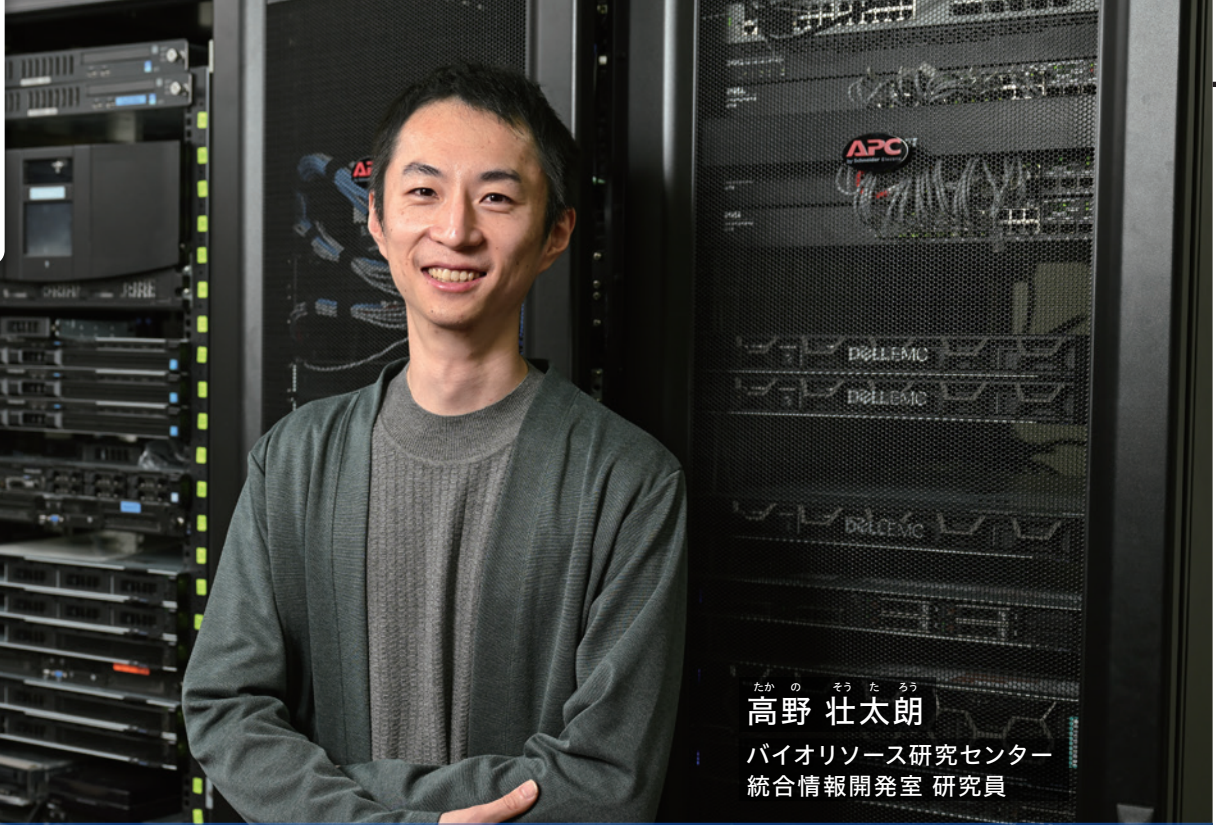
研究グループは、2027年度末までに、一つの部屋（ルームレベル）での「自己保守能力を備えた実験室」の実装を目指している。

「最初は自動化しやすい実験からスタートし、徐々に対応できる実験の幅を広げていきたいですね」（尾崎 チームディレクター）

研究グループには産業用ロボット開発の企業も参画し、産業界での実装を見据えている。落合 客員研究員が夢見た「人類が減んだとしても動き続ける実験室」——それはSFの話ではなく、科学の歩みを加速させるための現実的なロードマップの上に描かれているのだ。



【図2】自己保守能力を持つ未来の実験室の利点



たかの そうたろう
高野 壮太郎

バイオリソース研究センター
統合情報開発室 研究員

遺伝子カプセルが進化を促す

遺伝情報が伝わる仕組みには、親から子へと受け渡される垂直伝播^{でんぱ}と、他生物間で受け渡される水平伝播がある。水平伝播は主に細菌で見られるが、近年こうした遺伝子のやり取りを促す小さな粒子の存在に注目が集まっている。高野 壮太郎 研究員らの共同研究グループは、細菌がつくるナノサイズの遺伝子カプセルといえる「細菌膜小胞」に注目し、その一つ一つに含まれる断片的な遺伝子配列を網羅的に解析する技術を開発。細菌膜小胞が細菌の生存に重要な遺伝子を多く含むことを明らかにした。これらの細菌膜小胞を通じて細菌同士が遺伝子を受け渡すことで、進化が促されてきた可能性が示されている。2025年9月に発表した。

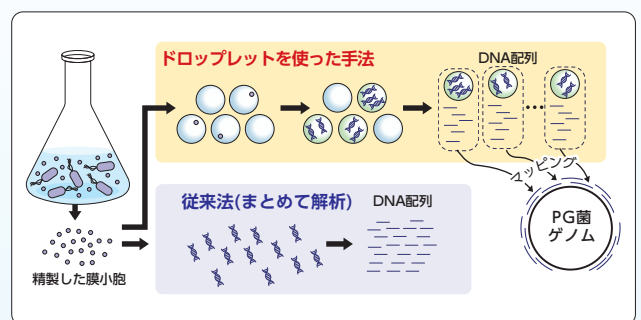
■ナノサイズの膜小胞をドロップレットで1粒ずつ解析

ヒトを含むさまざまな生物の細胞は、膜小胞と呼ばれる直径100ナノメートル (nm、1nmは100万分の1mm) 程度のカプセルを放出している。中にはタンパク質や核酸 (DNAやRNA) などが入っていて、細胞間の情報伝達や物質輸送に関わっている。ヒト体内にも数多く存在し病原性にも関与しているため、最近は創薬や疾患の診断に応用できると注目を浴びている。

こうした膜小胞のうち細菌がつくるものが細菌膜小胞で、代表的な役割の一つが、遺伝子を運ぶ「遺伝子カプセル」としての機能だ。これまでの研究から、細菌膜小胞を介した遺伝子水平伝播が細菌の進化を加速させる仕組みとして重要だと指摘されていたが、直径が50~200nm程度と小さく、中身が微量のため解析が難しく、詳細な機能は未解明だった。また、これまでは大量の細菌膜小胞をまとめて解析する方法が一般的だったため、細菌膜小胞ごとのばらつきを考慮した解析はできなかった。

高野 研究員らは、ドロップレットと呼ばれる微小な水滴の中に遺伝子や細胞を閉じ込めて解析する技術を応用し、その課題を解決。歯周病の原因菌の一つ、*Porphyromonas gingivalis* (PG菌) の培養液からPG菌がつくる細菌膜小胞を分離して、ドロップレット1個に細菌膜小胞1個を閉じ込め、中のDNAだけを

増幅させて、DNA配列を読み解いた (図1)。

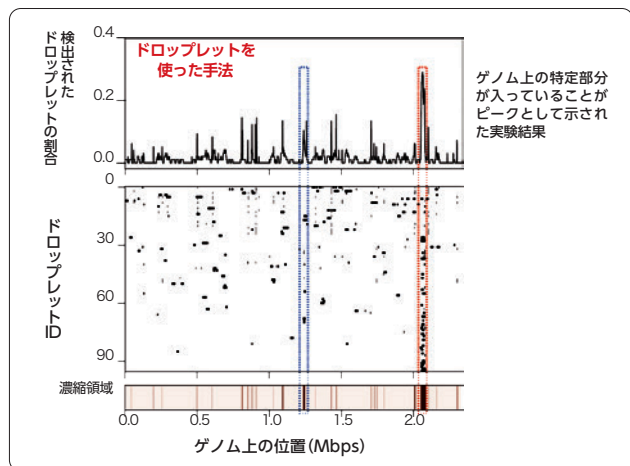


【図1】細菌膜小胞内部に含まれるDNA配列の解析
これまでは数十万~数百万個の細菌膜小胞をまとめて解析していたため、平均化されたDNA配列情報が得られなかった。ドロップレットの活用で一個一個の細菌膜小胞に含まれるDNA配列を解析できた。

■放出したい遺伝子を選んでいる?

次に、ドロップレットごとに得られたDNA配列を、PG菌の染色体ゲノム配列と照合して、染色体ゲノム上のどの領域にあるDNA配列が、細菌膜小胞に多く含まれているかを調べた。結果は高野 研究員の予想を覆すものだった。「膜小胞で遺伝子を受け渡して進化を促す仮説に対して当初は懐疑的でした。膜小胞

は細胞が死んだ時にできる副産物でもあり、内部のDNAも偶然の産物というイメージがありました。そのため、細菌膜小胞に含まれるゲノム領域はランダムだと予想していたのです。ところが、染色体ゲノム上の特定のゲノム領域が多く含まれていました(図2)。この結果は、細菌が外部に放出したい遺伝子を選んで細菌膜小胞に入れているとも考えられます」



【図2】ドロップレットごとの検出ゲノム領域の解析
ドロップレットごとに検出ゲノム領域を調べたところ、多くの細菌膜小胞で特定の領域が含まれていた。

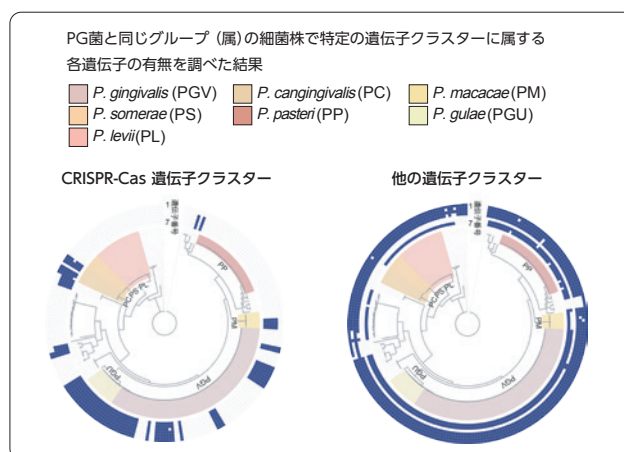
さらに、細菌膜小胞の中で頻繁に見つかるゲノム領域に特定の遺伝子が集中して存在することが分かった。そこに含まれる遺伝子の機能を調べたところ、細菌膜小胞の約30%がCRISPR-Cas遺伝子群を含んでいることが分かった。「30%という高い割合にも驚きました。CRISPR-Cas遺伝子群は細菌が自身に感染するウイルスから身を守るための免疫システムとして働きます。つまり、細菌が天敵から身を守る重要な遺伝子を選択的に、数多く外部に放出しているのではないかと推測できます」

■遠い仲間でも遺伝子がそっくり

では、このCRISPR-Cas遺伝子群は進化の過程で、実際に水平伝播していったのだろうか。検証のため、PG菌の主要な七つの細菌種について、CRISPR-Cas遺伝子群の有無を調べた。その結果、同じ細菌種のグループの中でも、遺伝子群を持たない株もあれば、持つ株もあり分布は一樣ではなかった(図3)。「同じ細菌種でも系統的に一貫せずにバラバラということは水平伝播が起きたことの証拠と考えられます」

さらに、PG菌と近い種類の300種の細菌の系統樹をつくり、生物として近い種類であることを示すゲノム全体の類似度と、CRISPR-Cas遺伝子群の類似度を比べた。すると、生物としては系統的に遠いはず(ゲノム全体の類似度が低い)なのに、CRISPR-Cas遺伝子群の類似度が高い細菌が見つかった。

「生物として系統的に近い細菌同士が同じようなCRISPR-Cas遺伝子群を持っているのは当たり前ですが、生物として系統的に遠い細菌同士が同じような遺伝子群を持っていることが分かりました。これは進化の過程で水平伝播によって広まった可能性が高いと推測できます」。細菌膜小胞による遺伝子の水平伝播が起き、これにより細菌の生存に有利に働く遺伝子が広がった。つまり、細菌の進化に重要な役割を果たしてきたということになる。



【図3】近縁種におけるCRISPR-Cas遺伝子クラスターの分布
遺伝子群として存在していた場合は青、持たない場合は白。同じ細菌種であってもCRISPR-Cas遺伝子群の場合、遺伝子を持つものと持たないものが混在しているため、株ごとに異なる進化的な経験をしてきたことを示唆する(左)。一方で、他の遺伝子クラスターの場合は近縁の幅広い細菌種に保持されており、垂直伝播によって受け渡されてきたことを示唆する(右)。

■身近な自然界でも起きている“遺伝子の運搬”

ここまでの研究は試験管の中での実験。そこで、実際の自然界でも同様のことが起きているのかを調べるため、ヒトの口の中の細菌叢の細菌膜小胞についても、ドロップレットを使った同様の解析を行った。

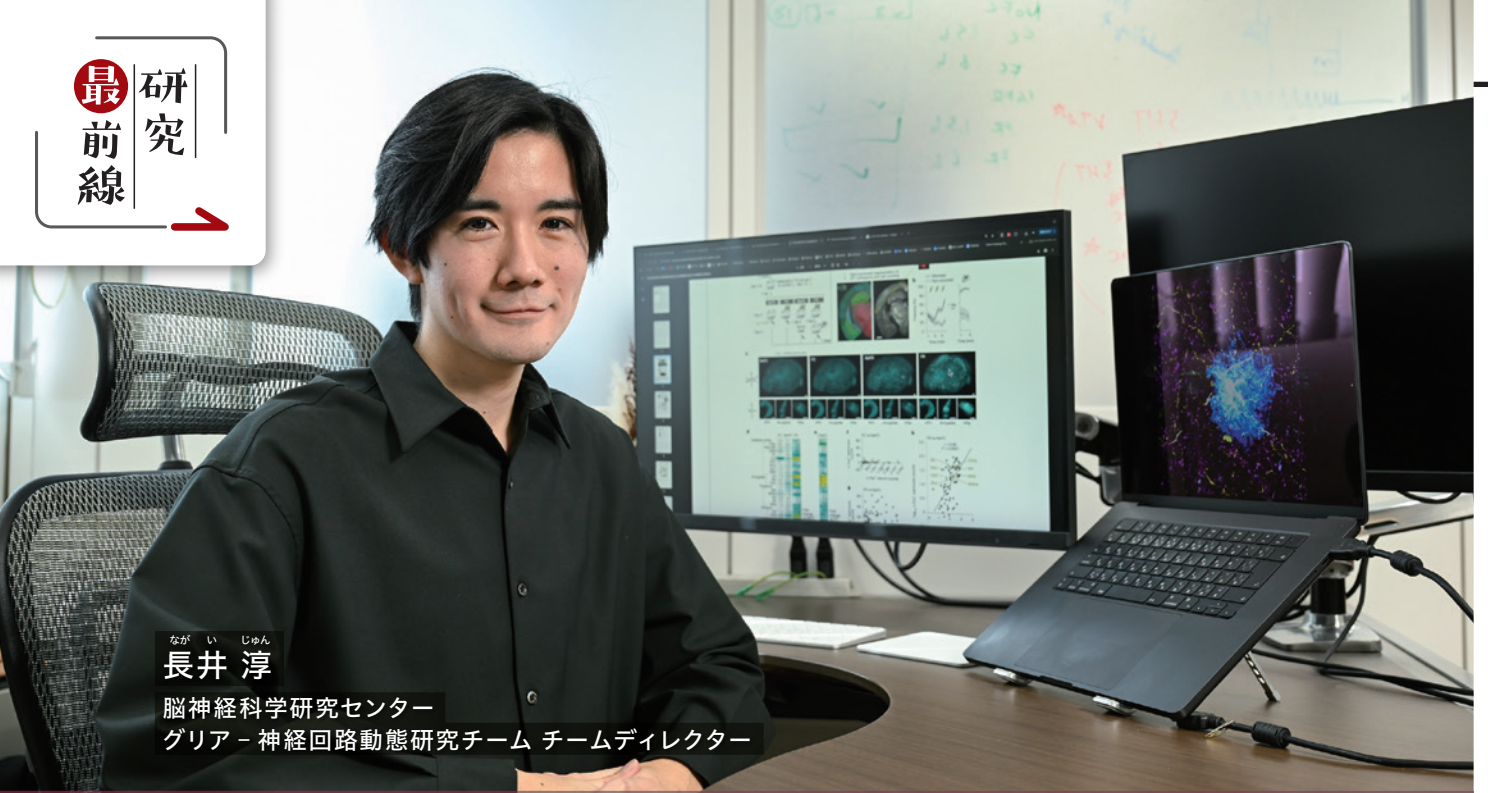
その結果、口の中の細菌でも存在量が1%以下の少ない細菌由来するDNAが、細菌膜小胞から多く検出された。さらに細菌膜小胞中の遺伝子の機能を調べると、細菌の病原性に関わるリポ多糖合成遺伝子群が約15%に含まれていた。「実際の自然界でも同じようなことが起きていて、病原性に関わる遺伝子を放出しています」

■ヒトの免疫を制御して病気の治療も

細菌膜小胞は細胞が死ぬ場合と細胞膜が変形する場合につくられる。そこで、CRISPR-Cas遺伝子群はどちらの場合に含まれるかを、細胞死を起こす薬剤と細胞膜変形を起こす薬剤をPG菌に加えて比較した。この分析にはドロップレットではなく、定量PCR(ポリメラーゼ連鎖反応)によって簡単に検出できる方法を開発し利用した。その結果、CRISPR-Cas遺伝子群は、細胞膜を変形させて細菌膜小胞ができるときに含まれることが分かった。

「ある条件のときだけ特定の遺伝子を含む細菌膜小胞ができるということは、細菌膜小胞をシグナルとして、将来的な病原菌の活動を予測できる可能性があります。さらに、PCRはドロップレットを使うより100分の1くらいのコストで分析可能なので、特定の疾患を対象にした新しいバイオマーカーとして活用できるかもしれません」

また、実際の自然界で病原性に関わる遺伝子が放出されていることを応用すると、細菌膜小胞を使った創薬技術への夢が膨らむという。「病原性の強い細菌はヒトの免疫応答を強めるので細菌も殺されてしまいます。例えば人為的に病原性の弱い細菌をつくります。細菌膜小胞は細菌にとって生存に有利な遺伝子を放出すると考えると、病原性の弱い遺伝子が細菌膜小胞を使って広まっていき、われわれヒトとの間で良好な共生関係を築くこともあり得るのではないのでしょうか」



ながい じゅん
長井 淳

脳神経科学研究センター
グリア - 神経回路動態研究チーム チームディレクター

「思い出されたとき」に強くなる恐怖

恐怖を感じた体験は、強く記憶に残る。しかし、恐怖の記憶を支えるのは、体験の瞬間の神経活動だけではない。長井 淳 チームディレクターの研究チームは、後日その体験を思い出す「想起」のタイミングで、記憶を安定化させる仕組みを明らかにした。脳は、電気信号で情報を伝達する神経細胞（ニューロン）と、その隙間を糊（グルー）のように埋めるグリア細胞からなる。これまで、記憶の情報は特定の神経細胞群に保存されることが分かっていたが、グリア細胞の関与の詳細は不明だった。ところが、グリア細胞の一種であるアストロサイト（星状膠細胞）がこうした記憶を脳に定着させる「安定化スイッチ」の役割を果たしていることが分かってきた。

■ニューロンとグリア細胞の相互作用に興味

「小学生の頃、支援学級の友だちと遊ぶことも多かったのですが、彼らが抱える脳の問題は、当時は解決できないと言われていました。子ども心に、脳のことが分かれば友だちの役に立つかもと思いました。それが、脳の細胞メカニズムを明らかにしたいと考えようになったきっかけです」

そう振り返る長井 淳 チームディレクターは、早稲田大学大学院生命医科学専攻でニューロンについて学び、2015年に博士（理学）を取得。この頃、研究者の数が今ほどはなかったグリア細胞に興味を持ち、2016年4月、カリフォルニア大学ロサンゼルス校医学部でアストロサイトの研究を始めた。2020年11月、理研 脳神経科学研究センター（CBS）でラボを立ち上げ、「なぜ私たちの脳はグリア細胞が必要なのか」という問いに挑んでいる。

■アストロサイトの反応を全脳レベルで見ると

脳細胞の記憶の研究としては、マウスで、恐怖体験の直後とその体験を思い出したときのニューロンの活動を比較する実験が知られていた。そこで研究チームは、アストロサイトの活動について、ニューロンと同様の比較実験を行うことにした。そのために、

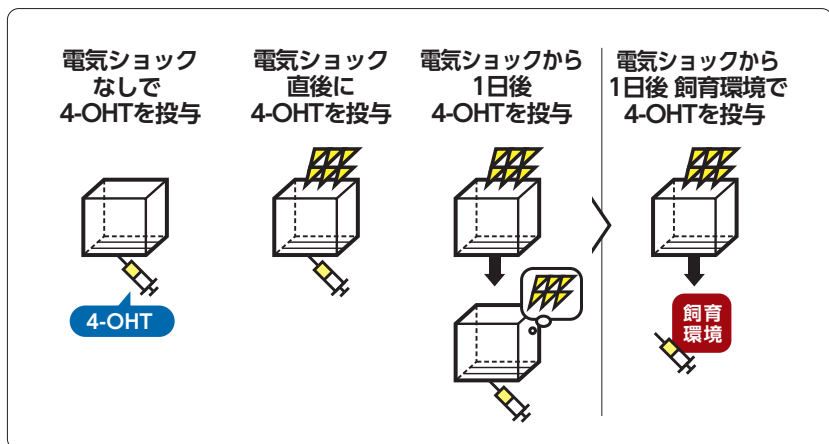
静脈注射で脳全体に必要な遺伝学ツールが届けられる新たな分子生物学的方法を開発。これに既存の技術を組み合わせ、恐怖体験・想起中のアストロサイトの反応を全脳レベルで観察できる実験に取り組んだ。

実験では、遺伝子操作したマウスに電気ショックを与え、「恐怖」という「強い感情」を起こさせる。恐怖に伴い脳内でアストロサイトが活動すると、刺激に対してまず反応する最初期遺伝子（Fos遺伝子）が発現する。それに伴って蛍光タンパク質を合成させて、反応した細胞を蛍光標識する。ただし、蛍光タンパク質の合成は4-OHT（4-ヒドロキシタモキシフェン）を投与したときのみ起こるよう制御する。こうすると、見たいタイミングに4-OHTを投与すれば、脳のどこにどれだけ恐怖に関連したアストロサイト活動があるかが分かるのだ。

■探究的な研究で画期的な発見

「仮説にとらわれず、一つ一つ検証していくのが好きなんです。探究こそが研究の醍醐味だと思っています」と長井 チームディレクターは話す。

そこで、実験は4-OHTの投与の仕方を変えて実施した。まず、恐怖体験を与えない「電気ショックなしで投与」、恐怖体験（1回



【図1】四つの条件下におけるアストロサイトの比較実験

目の体験)を与えてすぐの「電気ショック直後に投与」、恐怖体験の1日後に実験場に連れて行ったとき(2回目の体験)の「電気ショックから1日後に投与」という三つのパターンを設定した(図1)。

まず得られたのは、「電気ショックなし」と「電気ショック直後」の実験結果だ。いずれもアストロサイトの反応は乏しく、電気ショックの有無の差はほぼなかった。アストロサイトと記憶のメカニズムの関連性は低いのだろうか。

「がっかりしました。しかし、そのあと、『電気ショックから1日後』のパターンの結果の画像を見て驚きました。こちらの反応はすごかったんです」

電気ショックから1日後のマウスでアストロサイトが強く反応したのは、実験場に移されたことで、1日前に電気ショックを与えられたときの恐怖体験を思い出したためではないかと考えた。

「思い出すこととは関係なく、単に時間が経過したことで反応しただけでは?」という可能性を排除するため、四つ目のパターンとして「電気ショックから1日後、電気ショックを与えた実験場ではなく、飼育環境で4-OHTを投与」の実験を追加。このパターンでは、アストロサイトは体験直後よりも反応はしたが、実験場に移したマウスの反応には及ばなかった。これで「アストロサイトは恐怖体験直後より、のちにその恐怖体験を思い出したときの方が反応する」ことが確かめられた。

■アストロサイトが記憶の安定化に寄与

この実験結果を、CBSで2カ月に1回開催される、PI(チームディレクターなどの研究室主宰者)の集まりで発表して意見を求めた。

「みなさん、意味は分からないけど面白い研究だと言ってくれました」

専門分野の枠を超えた横断的な議論がヒントとなり、次の展開につながった。

恐怖体験を思い出したときに反応したアストロサイト群に注目し、その変化を分子レベルで解析したところ、恐怖を体験すると、アストロサイトは「アドレナリン受容体」を数時間から数日かけて増やすことが分かった。これは記憶の固定や感情調整などに重要な役割を担う神経伝達物質(ノルアドレナリン)

に反応する受容体だ。

「また怖いことが起こるかもしれない、と次の恐怖体験に備える“準備状態”に入っていると考えられます」。そして、再び恐怖を感じたときには、アドレナリン受容体が多いほど反応するアストロサイトの数も増えていた。

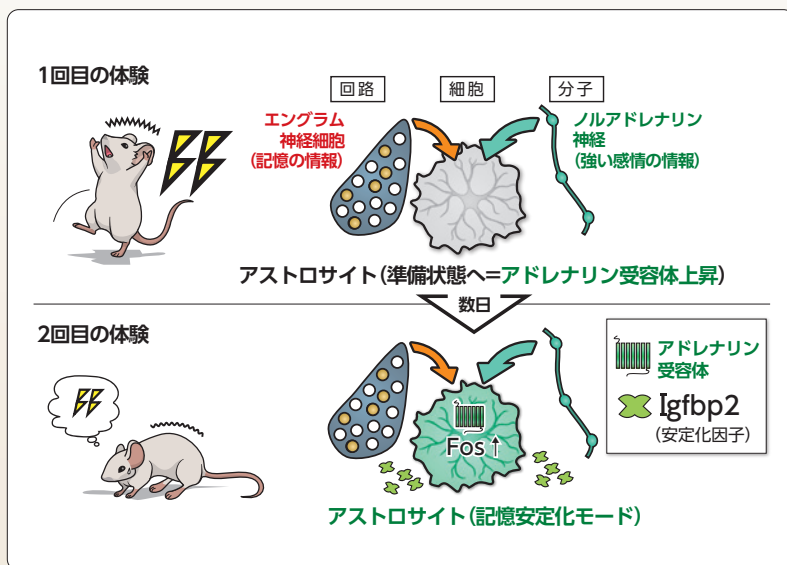
また、準備状態にあるアストロサイトは、恐怖を想起したとき、感情に関わるノルアドレナリン神経活動だけでなく、記憶に関わるエンGRAM神経活動を同時に感知することで、Fos遺伝子を発現させることも確かめられた。そして、Fos遺伝子の発現により、Igfbp2(脳回路を固定化に導く分子)が分泌されていた。「Igfbp2が『安定化因子』として働いているのです」(図2)

ところが、恐怖体験から14日後に恐怖を思い出させる実験をしても、恐怖に対応するアストロサイト群は形成されなかった。「タイミングが重要です。そのタイミングを左右するのが、恐怖体験に備える“準備状態”なのです。準備状態は3日までは保たれることを確認していますが、14日後には普通の状態に戻っていました」

研究チームは最後に、恐怖想起時のアストロサイトの役割を確認した。アストロサイトの活動を抑制した状態で恐怖を思い出させると恐怖記憶は不安定になり必ずしも定着しなかった。逆に、アストロサイトのアドレナリン受容体を強制的に発現させた状態で思い出させると、恐怖体験をしていない場所でも身をすくませるPTSD(心的外傷後ストレス障害)のような状態になることが観察された。

これらの結果は、アストロサイトが「どの記憶を選び、残すか」という記憶の「思い出しやすさ(安定性)」を調節していることを示している。

「私には、脳の疾患を治したいというモチベーションがあります。将来的にアストロサイトと記憶のメカニズムの研究が進めば、脳の理解も進み、テーラーメイドな治療の突破口が開けるかもしれません」



【図2】恐怖体験時と回想時のアストロサイトの変化

信号処理とデータ収集・解析で 金字塔研究に貢献

仁科加速器科学研究センター
RI ビーム基盤開発部 情報処理技術チーム チームリーダー

ばば ひでただ
馬場 秀忠さん

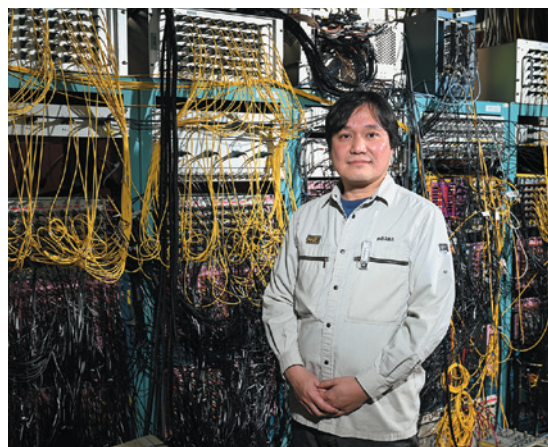
「魔法数」という言葉をご存じだろうか。陽子や中性子がそれぞれある決まった数をとると、原子核の構造が格段に安定する。この数字を魔法数と呼び、2、8、20、28、50などが知られている。陽子と中性子がともに魔法数のとき、原子核は特に高い安定性を示す。これを「二重魔法性」と言う。しかし、陽子より中性子が多い原子核では魔法数の性質が消失すると考えられていて、陽子28個、中性子50個のニッケルで二重魔法性が成立するかどうかを実験で示すことは、原子核物理学における長年の課題だった。馬場 秀忠 チームリーダーは、その証明に欠かせない実験装置の部品設計、組み立てから、データの収集・解析システムの研究開発までを担う「縁の下の力持ち」として研究を支え、直接的な証拠を発見した。成果は2019年5月の科学雑誌『Nature』に掲載され、5カ国、総勢71人に及ぶ大規模研究チームの一人として名を連ねた。

同じ目線で真摯に向き合う

大学院終了後の2005年、仁科加速器科学研究センター(RNC)で基礎科学特別研究員として理研での研究をスタートした馬場 チームリーダー。2年後、放射性同位元素(RI)を使って原子核の性質を追究するための加速器施設「RIビームファクトリー(RIBF)」が本格稼働した。RIBFは従来の施設より性能が約100倍向上、ウランまでの全元素のRIをつくれるようになった。これにより「新元素を発見したい」「宇宙で使用可能な半導体を開発したい」「がんの治療に生かしたい」など、研究者たちの期待が膨らむ一方、得られる実験データ量が激増した。以来ずっと、データを収集し処理するシステムの開発や整備、運用に携わってきた。

「一つの実験を行う期間は1週間程度ですが、その準備段階であるシステムの開発には数カ月から数年かかります。関わる分野が幅広いことに加え、欧米アジア各国との国際共同研究も多く、中長期的に理研内外の研究者と打ち合わせる機会も増えた。

「大切にしているのは、誰とでも同じ目線で真摯に向き合い、『実験が回り、成果が得られる』ようにすることです。それは、わが国最初のサイクロトロン(荷電粒子の円形加速器)を建設し、日本の原子核物理学の父と呼ばれる仁科 芳雄 博士の姿にも通じる。



自ら開発したシステムを膨大な配線で接続して
実験データを収集している

若き仁科 博士がデンマークの首都、コペンハーゲンのニールス・ボーア 博士(1922年ノーベル物理学賞受賞)の元に留学し、持ち帰ったのが、自由で闊達な、そしてユーモアに富んだ討論と対話によって現代物理学誕生の下地となった「コペンハーゲン精神」だった。

目指すは利便性の高いシステム

設計やシステム開発の面白さを知ったのは、立教大学4年生のときにさかのぼる。幼少期はおもちゃを分解し内部の構造を調べて楽しみ、中学、高校では数学と理科が得意だったので大学は物理学科に進学した。ところが、量子や宇宙物理などの講義を聴いてもまったく心に響かず、「最も物理学から遠いテーマ」という理由で、原子核物理の研究室で提案されていたデータ収集システム開発という卒業研究に飛びついた。そこで初めて心が躍り始めた。装置が自分のつくったプログラムに従って動くことで、「装置を完全に手はずけたような気持ちになりました。自分のやりたいことは、これだと気付いたのです」と振り返る。

今後の目標は、RNCに年間100テラバイト近くも蓄積されるデータの有効活用だ。例えば、冒頭で触れたニッケルの二重魔法性を解明した論文で解析に使用したのは、実験データのごくわずかで、残された大部分のデータにも宝が眠っている。「先駆的なシステム開発から次代の実験手法を提案するとともに、情報処理能力をさらに高め原子核研究の新たな境地を切り開きたい」と意気込む。

チームワークで新発見目指す

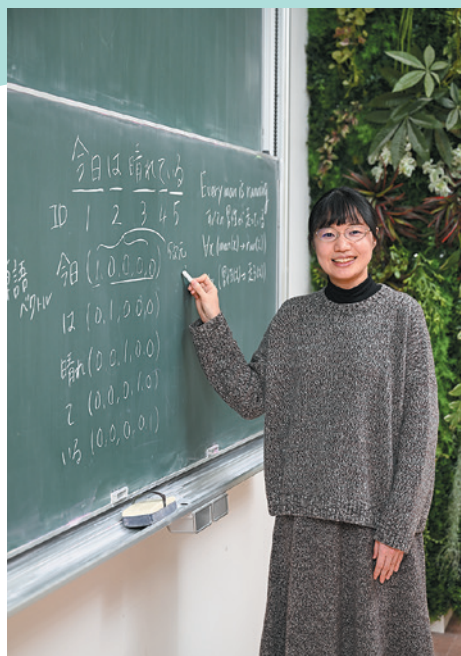
週末は、高校時代から続ける木管楽器のファゴットを携え、アマチュアオーケストラに参加する。最近ソフトボールの監督も引き受け、慌ただしく過ごす。野球の経験すらなかったが、仲間を大切に作る姿に、友人からの信頼が寄せられた結果だ。

「オーケストラも監督も、研究と同様にチームワークが大切です。多くの優秀な同僚たちと一緒に、ビジョンを持って、わくわくする新しい現象を発見したいと思います」

納得できる説明をしてくれる AIをつくりたい

革新知能統合研究センター フィジカルインテリジェンスグループ
説明可能 AI チーム チームディレクター

や なか ひとみ
谷中 瞳さん



ChatGPTをはじめとする生成AI。熱い注目を集める研究分野の中で、谷中 瞳 チームディレクターは「本当に信頼できるAIをつくる」という目標を掲げている。「中学のときからウェブサイトをつくっていた」と語る「デジタルネイティブ」だったが、人が書いたり話したりすることばをコンピュータで処理する「自然言語処理」という、AI研究の中核をなすテーマにたどりつくまでには紆余曲折があった。

ウェブサイト制作に「沼る」中学時代

「今の生成AIは答えを出すことはある程度、できます。でも本当に人間の意思決定を支援するAIになるには、どういう判断でこの答えに至ったかを説明できることが必要でしょう」と谷中 チームディレクター。

「回答への過程を説明できるようにする」には、人間にとって分かりやすい説明とは何か、AIは何に注目して重要と判断したか、人間の入力とAIの出力の間のギャップはどうなっているのか、自然言語（人間のことば）をどのように論理式や数値（ベクトル）化して記述すればよいか、など検討すべき複数の課題があり、またさまざまなアプローチ方法がある。これらの研究分野は自然言語処理や計算言語学と呼ばれている。

「中学からウェブサイトづくりにはまって、夜な夜なパソコンに向かっていました」。しかし、つつい勉強のほうがおろそかになり、後ろめたい気持ちもあった。高校になると情報の授業はあったが、将来の研究対象になるとは思ってもいなかったし、得意な数学や化学を研究したいと考えていたという。

就職後、一念発起して博士課程へ

大学では応用化学を学んだが実験が苦手だった。「実験は難しくて教科書どおりになりません。器用でもありませんでした」。大学院では実験が必要ない医療の品質管理を専攻した。実社会を知りたいと考え博士課程には進まず、たまたま受けたウェブ工学の授業にひかれ、アプリケーションエンジニアとして民間企業に就職。専攻で学んだことが生かせる特許の分析や検索システムの開発部門を選んだ。

入社3年目のとき、化学メーカーの顧客から「特許検索のときに、もっと精密な検索がしたい。例えば〇〇という化合物が〇グラム使われているなど自由に記述して検索できるとか」という要望を受けた。これは2015年当時、難しい課題だった。

「どう文章を入力するかでコンピュータは理解できたり、できなかったりするのです」。このとき自然言語処理という研究分野に興味を持った。「もともと博士課程への憧れがあったので、行くなら今しかないと考えたのです」

ことばを数学する 著書も好評

再び大学院へ。研究は新鮮で面白かった。「3年ではとても終わらなくて、また沼にはまってしまいました。研究を続けたいと思って理研に入りました」。現在は母校の東京大学大学院で准教授を務め学生の指導に当たる一方、理研で研究生生活を送る。

大学での講義内容をもとにまとめたのが、2024年10月に出版した『ことばの意味を計算するしくみ』（講談社）だ。「私たちの頭の中では、ことばに対してどのような処理が行われているのか」「頭の中で行われている処理は、コンピュータで再現できるか」という問いに答える内容で好評だという。「かなり難しい本です。文章を書くのは好きなので、いつかエッセイも出版したいですね」

行き詰るとジャズピアノ

実際の研究はパソコン1台でも可能だ。「新型コロナ流行のときも在宅で研究が進みました」とはいえ仮説を立てて検証するという手法は、他の自然科学と変わらない。「どうしたらいいか、こうしたらいいか。いつも考えています。AI分野は先行研究が多いので、批判的に検証して仮説づくりに役立っています」

パソコンに向かう時間はどうしても長くなる。1日10～12時間に及び、眼精疲労と肩こりがきついとこぼす。ただ、研究のヒントを得るのはパソコンに向かっていないときが多いらしい。特に大学時代に没頭したジャズピアノは、今でもライブハウスに出演するほどの腕前だ。「音楽を聴いたりピアノを弾いたりしているときに、研究で行き詰まっていたところがつながるのです」

原酒

埼玉グルメは かき氷がおすすめ

安全・地区統括本部 安全管理部 神戸安全管理課 主事

間中健太
(マナカ・ケンタ)



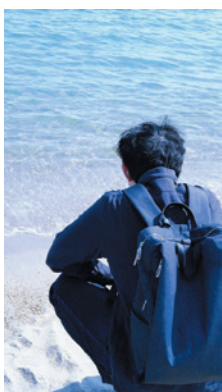
本 NEWS」は、1968年10月に第1号(当時は「理化学研究所ニュース」)が発刊されたそうです。前年3月、埼玉県大和町(現在の和光市)に開所した、後の理研和光地区である大和研究所が貴重な写真とともに紹介されています。この第1号発刊から30年後の5月、私は和光市駅近くのある産婦人科でこの世に生を受けました。

私はしばしば埼玉県人を自称します。県内の市立小中学校、県立高校、国立大学、大学院を卒業し、2023年4月に埼玉県和光市を本部とする理研に新卒職員として入所しました。入所後筑波地区へ配属となったことを機に埼玉県を離れることになりましたが、今でも「獅子党」*1ですし「風が語りかけてくる」*2、饅頭が好物です。毎年11月14日は祝日*3でしたが、私はその日に某夢の国に行ったことはありません。仁科RIBF棟の裏手の和光市レクリエーション広場では少年野球の試合をしたことがあります。

そんな生粋の埼玉県人である私も、茨城県つくば市での暮らしを経て現在は兵庫県神戸市在住です。初赴任地となった筑波地区では、学生生活との違いに四苦八苦しながらも諸先輩方また多くの研究者の方々にさまざまな場所をご指導いただき、理研で働く上で大切なことをたくさん学ばせていただきました。私生活でも四半世紀住んだ埼玉の地を離れることとなり、慣れない環境で大変なこともありましたが、少し背伸びをして手に入れた中古の愛車を乗り回し茨城を堪能しました。「常磐もの」の新鮮な海鮮、筑波山の四季折々の絶景、魅力度ランキング46位(埼玉県は47位)*4が嘘であるかのように、約2年間の生活は彩りあるものでした。異動の辞令を受けた私は、2025年度より神戸地区にて勤務しています。担当業



万博帰りの風景。この日はイタリア、イギリス、TECH WORLDとたくさんのパビリオンを巡ることのできた運のよい一日でした



須磨海岸で海を眺める埼玉県人

ます。さすがは魅力度ランキング軒並み上位の関西地区(埼玉県は47位)。淡路島や生野銀山を訪れたり、祇園祭に参加したり関西生活を満喫する中で、異動となった年に大阪・関西万博が開催されたのは人生の中でも指折りの幸運であったと思います。

理研入所以降、海に面する県での生活を謳歌する私ですが*5、冒頭でも述べた通り生粋の埼玉県人であるという気持ちは変わりありません。ですが今すぐ埼玉に帰りたいとも思っていないません。理研に勤め続けていればいつか和光勤務の機会が巡ってくるはず。その時、さまざまなことを経験した私が、どんな埼玉県の魅力を再発見できるか今からとても楽しみなのです。

- *1 埼玉県所沢市を本拠地とするプロスポーツチームのファンの総称
- *2 埼玉県を代表する銘菓のキャッチフレーズ
- *3 埼玉県民の日。明治4年のこの日に廃藩置県により埼玉県が誕生したことによる
- *4 株式会社ブランド総合研究所調べ(2025年)
- *5 埼玉県はその区域の一切が海に面さない

最新記事はウェブサイトでご覧いただけます。

「RIKEN NEWS」は、理研の研究の最前線や研究者の人物像に迫るウェブコンテンツ「クローズアップ RIKEN」を再収録した季刊誌です。最新記事は理研ウェブサイトにて随時更新中。ぜひご覧ください。

www.riken.jp/pr/closeup/



理研の活動をご支援ください。

理研の研究の充実、さらなる発展は、法人や個人の皆さまからのご寄附で支えられています。お問い合わせ先 連携促進部 寄附金担当

kifu-info@ml.riken.jp



www.riken.jp/support/



リサイクル適性
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。