

RIKEN NEWS

No.439 January 2018

1



新春特別対談 ②

イノベーション創出の条件

森 雅彦 DMG森精機株式会社 取締役社長 × 松本 紘 理化学研究所 理事長

研究最前線 ⑥

クライオ電子顕微鏡で 生命科学に革新を

研究最前線 ⑩

機械学習と実験により、 脳の普遍的な計算原理を探る

TOPICS ⑭

- ・ SPring-8 供用開始二十周年記念式典を開催
- ・ 「nano tech 2018 第17回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」 出展のお知らせ
- ・ 「スパコンを知る集い in 大分」 を開催
- ・ 新研究室主宰者の紹介

原酒 ⑯

川、谷、海を越えて

森 雅彦 × 松本 紘

DMG森精機株式会社 取締役社長

理化学研究所 理事長

司会：小谷元子 理化学研究所 理事

イノベーション創出の条件

■ 長期的な信頼を築く

小谷：本日は、工作機械でものづくりをリードするDMG森精機株式会社の森 雅彦 取締役社長をお迎えして、松本 紘 理事長と、イノベーションをキーワードに意見を交わしていただきたいと思います。お二人とも奈良県大和郡山市で育ち、京都大学工学部を卒業されたという共通点を持つ旧知の間柄です。

松本：森さんたちは、ドイツの同業企業と資本・業務提携を行い、さらに経営統合を進めて、工作機械というものづくりの基盤を築いてこられました。なぜドイツ企業を選んだのですか。

森：20~30年前から、日本とともにドイツの工作機械産業が目に見えて強くなったからです。工作機械は20年間ほど使われます。私たちは工場に工作機械を収めた後、その機械について20年先まで責任を持つこととなります。そのような産業は、米国のように短期の利益を追求する激しい資本主義には向いてい

ません。1970年代まで、米国の工作機械産業は大変強かったのですが、80年代に資本主義が過激になり始め、衰えていきました。ドイツや日本のように長期の利益を図る緩やかな資本主義が、工作機械のような産業には向いています。米国などのものづくりが弱体化する中、日本の工作機械メーカーは自動車産業などとともに海外へ進出していきました。

松本：その中で、DMG森精機が業績を大きく伸ばしてきた要因は何ですか。

森：工作機械は景気の波に左右されやすく、不況になると企業は工作機械の買い替えを真っ先に延期しますが、いつかは買い替える必要があります。私たちは進出した地域から石にかじりついてでも一切撤退しませんでした。すると、徐々に業績が伸びていきました。

松本：進出した地域で長い時間をかけて信頼を築いていったのですね。いいお話を伺いました。工作機械はものづくりにおける縁の下の力持ちですね。

森：私たちの顧客の産業別比率でいうと、自動車25%、航空機10%強、精密機械10%、金型10%、医療用のインプラントが7%などです。さまざまな産業を工作機械で支えているという実感があり、それがやりがいです。

松本：医療用も手掛けているのですか。広範囲ですね。

森：人工関節をつくるための工作機械です。この分野は大きく発展すると期待しています。現在はサイズが10種類くらいですが、近い将来、X線で関節の形状やサイズを測定して、個人ごとに最適な人工関節をつくるようになるそうです。チタン系の材料を加工し、軟骨部分は特殊なプラスチックを uses。

松本：理研でも生体に使えるプラスチックの研究が行われています。

森：理研ではフェムト（ 10^{-15} = 1000兆分の1）秒レーザーの研究もされていますね。私たちのレーザー加工機はかなりの売り上げがあります。産業用レーザーは、ドイツ製に頼っています……。



森 雅彦
(もり・まさひこ)

京都大学工学部卒業。博士（工学）。1985年、伊藤忠商事入社。1993年、森精機製作所（現DMG森精機）入社。1999年より現職。2003年、博士号（東京大学）取得。

松本：フェムト秒レーザーに関しては基礎から応用まで理研は世界トップクラスです。最近では、高出力のアト（ 10^{-18} = 100京分の1）秒レーザーの開発や、X線自由電子レーザー施設「SACLA」を使ってタンパク質の構造が反応で変化する過程を見る実験などを進めています。それらのレーザー技術が工作機械に使われるまでには時間がかかるでしょうが、レーザーに限らず理研とDMG森精機で共同研究を行う余地は十分にありそうですね。生物学や医学分野の実験でも自動化が進められており、工作機械の技術を応用すれば素晴らしい実験装置ができるでしょう。

■ものづくりの未来——デジタル化の次へ

小谷：米国ではあらゆるモノをインターネットで結ぶIoT（モノのインターネット）、ドイツでは製造業のデジタル化によるインダストリー4.0、日本ではサイバー空間とフィジカル空間（現実社会）を高度に融合させたSociety 5.0が目指されています。ものづくりのイノベーションについて、展望をお聞かせください。

森：米国は製造現場が縮小しています。現場がなければ、ものづくりのイノベーションを起こすことは難しいでしょう。ドイツや日本のように製造現場を持つ国から、ものづくりを革新する技術が生まれるでしょう。ドイツのインダストリー4.0には人材や技能の不足をデジタル化により補うという思想性があり、強く共感できます。ただしドイツは、日本ほど製造現場に多様性がありません。ものづくりのイノベーションにおいて、さまざまな分野・規模の製造現場を持つ日本の果たす役割はとて大きいと思います。

松本：大いに期待したいですね。産業界の方々は、大学や研究機関の研究成果を応用できないかと虎視眈々と狙って見ておられる。一方、研究者は見られているという意識が薄い人が多い。その間をつなぐことができれば、イノベーションを創出することができます。私たちは経済的な利益だけを求めてイノベーション創出を目指しているわけではありません。理研では、未来を予測し、あるべき社会を描き、研究現場にフィードバックする「イノベーション・デザイナー」を育成しようとしています。森さんは、ものづくりの未来をどのように予測していますか。

森：ものづくりの世界では今、人の知恵や技能というアナログ

情報をデジタル化して保存する取り組みが進められています。音楽の世界では最近、デジタル化された昔の音源を組み合わせ、そこに自分なりのタッチを付けて新しい曲を生み出しています。ものづくりの世界でも、デジタル化された人の知恵や技能を組み合わせ、そこに独自のアイデアを加えて、新しい技術を生み出すようになるでしょう。

松本：人の知恵や技能がデジタル化されてロボットに組み込まれ、仕事がロボットに全て奪われてしまうという不安が広がっていますね。

森：少なくとも工作機械の分野では、それはあり得ません。人の知恵や技能をデジタル化できるのはせいぜい9割で、重要な部分、微妙なタッチは失われてしまうからです。デジタル化だけでもものづくりが劇的に変わることはないと思います。

ドイツでは、製造業をデジタル化するインダストリー4.0の次は、生物に学んだ技術の応用がイノベーション創出の鍵になると主張している人がいます。

松本：生物に学ぶことは山ほどありますね。洪水のときヒアリは集まって「いかだ」をつくり、女王アリを上に乗せて守るそう



松本 紘
(まつもと・ひろし)

京都大学工学部卒業。工学博士。京都大学教授、同大学総長（2008年10月～2014年9月）などを経て、2015年4月より現職。専門は宇宙プラズマ物理学、宇宙電波科学、宇宙エネルギー工学。



小谷元子

(こたに・もとこ)

東京大学理学部卒業。理学博士（東京都立大学）。東北大学大学院理学研究科教授、同大学材料科学高等研究所長。2017年4月より現職。専門は数学。

です。ヒアリの脳は小さく、1匹がいかだをつくれと指示しているとは考えられません。人体でも、脳が各臓器へ一方的に指示を出して制御していると考えられてきましたが、最近では脳を含む各臓器同士が情報をやりとりして制御し合っていることが分かってきたそうです。そのような分散型の制御システムを工学に応用することで、無駄のないものづくりが実現できるかもしれません。

■異なる発想や若い力を活かす

松本：生物の仕組みを工学へ応用するにしても、大学のときに工学部の学生が生物学者と話す機会はなかったでしょう。教授同士でも同じです。異分野の研究者と一緒に研究する体制が大学にはあまりできていません。一方、理研は自然科学の総合研究所です。「総合」が重要で、異分野の研究者が日常的に交流して新しい研究を進めています。森さんたちの会社では、機械工学以外の分野を学んだ学生を受け入れる余地はありますか。

森：大いにあります。最近ますます強く感じるのですが、私たちの主軸の機械工学以外の技術、計算機や化学、生物分野の技術が急進展していて、5年前にできなかったことが今はできるようになっています。それらの分野については、先輩の意見は聞くな、と社員に言っています。

ベテラン社員たちは経験に基づき立派な仕事をしますが、一般論でいえば、ベテランに任せていてもイノベーションは起きません。20年ぶりに新工場をつくる時、優れた経営者は、少し現場のことが分かってきた30歳くらいの若手社員たちにプロジェクトチームをつくらせ、50歳以上のベテラン社員には関与させない、といった体制で進めます。すると、最新方式の工作機械を導入します。一方、工場長クラスのベテラン社員が関与すると、自分たちが扱ったことのある旧方式の工作機械を選ぶケースが多いですね。

松本：そこは大事なポイントですね。人は年齢を重ねると新しいものを受け入れにくくなります。研究の世界でも、従来の常識では理解できないような発想を持つ若者を発掘することが重要です。

小谷：松本理事長は、世界的研究リーダーを育成するために

「理研白眉制度」を導入しました。科学的・社会的にインパクトの高い野心的な研究に挑戦する若手研究者を対象にしています。

松本：博士号も必要なし、という思い切った条件で募集したところ、国内外から300名ほどの応募がありました。飛躍したいという志を持つ若者がたくさんいることをうれしく思いました。

森：いいですね。一方で、若い研究者たちが現状に閉塞感を抱いていることの表れかもしれません。

松本：今の若手研究者はかわいそうです。博士号を取っても安定した就職口が少なく、任期5〜7年のポストを数回繰り返して40半ばになったという人も多い状況です。

森：私たちは博士を大歓迎で採用していますが、日本では博士を採用しない企業が多いことは大問題だと思います。

松本：専門分野しか扱わない大学院教育もよくないですね。企業では経済や社会情勢などさまざまな知識が求められます。

森：日本では、文系の博士も少な過ぎます。わが社では、日本側の博士は全て理系ですが、ドイツ側の博士は8割が文系です。マーケティングや経済、人事の博士が活躍しています。

松本：日本では、博士号を持つ経営者も少ないですね。森さんは社長を務めながら東京大学大学院で研究を行い、2003年に工学の博士号を取得されました。

森：ドイツなどで、博士号を持って活躍している経営者や工場長と接し、自分も機会があれば取得したいと思うようになりました。

松本：日本の経営者は優秀ですが、仕事では熱弁を振るって、仕事以外の話題になると寡黙になってしまう人が多いですね。日本の研究者も同じで、専門以外には口を出さない人が多い。一方、欧米の博士は一つの研究テーマを追求する過程でさまざまな分野の人と交流する機会があり、話題も豊富です。その横の広がり欧米で博士号を取った人たちの強みです。

■多様性を尊重する

小谷：次に、多様な人材を活用するダイバーシティについて伺います。DMG森精機では、さまざまなバックグラウンドを持つ40を超える国籍の約1万2000名の社員がいらっしゃいます。一方、理研は約3,500名の職員のうち約700名が外国籍で、そ



DMG森精機株式会社 東京グローバルヘッドクォータにて

の国籍は50を超えます。2016年、理研は文部科学省科学技術人材育成費補助事業「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ」に採択され、ダイバーシティ推進室を設置しました。

ダイバーシティの課題の一つに、日本では女性研究者の割合が低いという問題があります。私も長年、この問題に取り組んできましたが、進展に時間がかかり過ぎています。

森：その解決は簡単です。政治が何年までに何%にするという数値を設定して義務付ければよいのです。ドイツでは、例えば大企業の監査役会における女性の割合について法律で規定されています。最近、英国やフランスの政府が2040年にガソリン車やディーゼル車の販売を禁止する方針を発表しました。できるかどうかは別にして、何年までにこうすると方針を明示するところが、欧州の政治の素晴らしいところです。

松本：女性が社会で活躍する上での障壁は取り除くべきですね。

森：ダイバーシティの中で、年齢や男女の割合に関しては、政府がルールをつくれば着実に進展すると思います。一方で、国籍や出身地、歴史、宗教などに根差した多様性を尊重していくことは、大変難しい課題だと実感しています。私は、フランスの哲学者エリン・メイヤーさんが著した『異文化理解力』を、ドイツ側も含め社員全員の必読書にしました。そこで指摘されていますが、日本語は一つの単語にいろいろな意味が含まれています。一方、ドイツ語は一つの単語が一つの事象・意味だけを指します。ドイツ人と話すときは人格を変えるくらい意識して話さないと、理解してもらえなかったり相手を傷つけてしまったりします。それくらい言語や思考の構成が異なります。

松本：両国の人の違いを、どのような場面で感じますか。

森：執行役員と契約するとき、ドイツ人とは細部にわたり明文化するため契約書の厚さが数cmになります。一方、日本人と

の契約書はA4で2枚ほどです。ドイツ人とは契約に合意するまでは時間がかかりますが、その後は安心して任せることができます。真面目に働く、時間に正確、うそをつかない、約束を守る、真摯である、といったところは日本人と似ています。

■ 地域貢献と次世代への支援

小谷：日本が発展するためにも、地域の産業や文化の振興が重要ですね。

森：日本にある奈良県と三重県の工場は私たちの宝であり、徹底的に強化していく方針です。それらの工場に世界中から人が集まる状況を維持していく必要があります。

地域への貢献としては、会社の周りをきれいにするところから始め、次世代を支える地元の学生への奨学基金の設立や学校の先生たちへの支援など、できることから行っています。

松本：日本では科学を志す子どもたちが少ないですね。私は、理研のあるべき姿を「科学道」という言葉に託しました。その一環として、科学の面白さを伝える書籍「科学道100冊」を選びました。さらに小学生などを対象にした「科学道100冊ジュニア」も選定しました。「道」は、東洋独特の哲学かもしれませんが……。

森：私たちは、現場の技能向上を目的にした「道場」を欧州の工場にもつくっています。欧州の人たちは「道場」という言葉を格好いいと言います。

松本：森さんたちは実に幅広い活動をされていますね。ものづくりのイノベーションを大いにけん引してください。また、この対談を機会に理研の研究をご覧いただき、一緒に新しいことを始めたいですね。

小谷：今日は、どうもありがとうございました。

(取材・構成：立山 晃 / フォトクリエイイト、撮影：STUDIO CAC)

タンパク質など生体分子の立体構造を調べることに、X線結晶構造解析がよく用いられている。

一方、放射光科学総合研究センター 米倉生体機構研究室の米倉功治 主任研究員が取り組んでいるのは、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析とそのための技術開発である。

「クライオ電子顕微鏡による構造解析は、結晶をつくらなくていいだけでなく、

電荷の分布も分かるなど、いくつもの利点があります。私は、クライオ電子顕微鏡を中心に、

さまざまな技術を取り入れることで、生体分子の立体構造から、その作動機構を解明することを目指しています」

2017年ノーベル化学賞の対象にもなったクライオ電子顕微鏡を用いた

生体分子の立体構造解析の最前線を紹介します。

クライオ電子顕微鏡で生命科学に革新を

■ クライオ電子顕微鏡とは

「2017年のノーベル化学賞はクライオ電子顕微鏡法の開発でしたね」。米倉主任研究員は、開口一番、満面の笑みを浮かべながら、そう言った。「私は学生時代からクライオ電子顕微鏡を使って、膜タンパク質やタンパク質複合体など生体分子の立体構造解析や解析技術の開発を行ってきました。これまで関わってきた技術、そしてよく知っている研究者がノーベル賞を受賞して、とてもうれしく思います」

2017年のノーベル化学賞は、クライオ電子顕微鏡法の開発に貢献したスイス・ローザンヌ大学名誉教授のジャック・デュボシェ博士、米国コロンビア大学教授のヨアヒム・フランク博士、英国

MRC分子生物学研究所プログラムリーダーのリチャード・ヘンダーソン博士に贈られた。

クライオ電子顕微鏡法とは、どのような技術なのだろうか。「文字どおり、試料を凍結させ、低温（クライオ）のまま電子顕微鏡で観察、構造解析する手法です」と米倉主任研究員。光学顕微鏡は、試料に可視光を当て、透過光をレンズで集めて拡大像をつくり観察する。電子顕微鏡は、可視光の代わりに電子線を使う。どのくらい細かくものを見ることが出来るかの指標を分解能といい、光学顕微鏡では一般的に、可視光の波長のおよそ半分当たる200nmが分解能の限界となる。電子線の波長は可視光の10万分の1以下の

で、電子顕微鏡を用いると光学顕微鏡よりはるかに詳細に観察できる。

「ただし、生体分子を電子顕微鏡で観察するには、深刻な問題があります。試料を真空中に持ち込まなければならないこと、高エネルギーの電子線を照射すること、この二つが大きなハードルでした。試料をそのまま高真空の電子顕微鏡の鏡筒内に持ち込み、電子線を当てると、干からび、破壊された残骸を見ることになりかねません」と米倉主任研究員は指摘する。それらの問題の解決に貢献したのが、今回ノーベル賞を受賞した3人である。

ヘンダーソン博士は、膜タンパク質が2次元に並んだ特殊な結晶を用いれば、高分解能で構造決定が可能なことを証

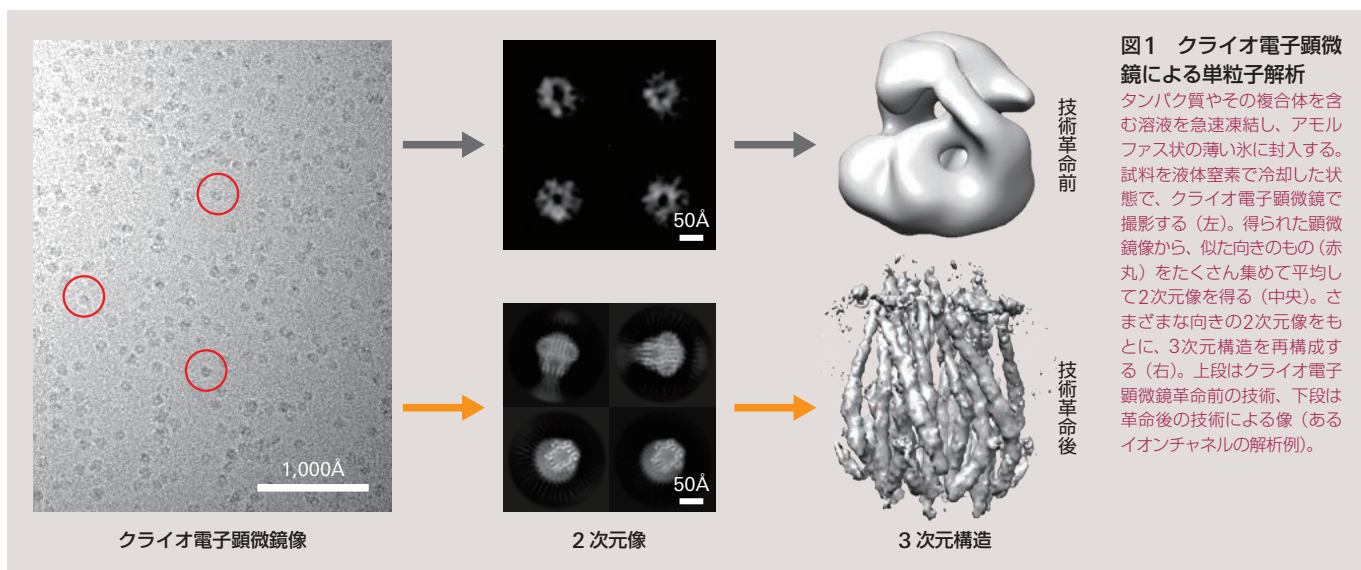


図1 クライオ電子顕微鏡による単粒子解析
タンパク質やその複合体を含む溶液を急速凍結し、アモルファス状の薄い氷に封入する。試料を液体窒素で冷却した状態で、クライオ電子顕微鏡で撮影する（左）。得られた顕微鏡像から、似た向きのもの（赤丸）をたくさん集めて平均して2次元像を得る（中央）。さまざまな向きとの2次元像をもとに、3次元構造を再構成する（右）。上段はクライオ電子顕微鏡革命前の技術、下段は革命後の技術による像（あるイオンチャネルの解析例）。

米倉 功治 (よねくら こうじ)放射光科学総合研究センター
米倉生体機構研究室 主任研究員

1969年、東京都生まれ。博士(理学)。東京工業大学大学院バイオサイエンス研究科博士課程修了。松下電器産業(株)国際研究所 リサーチアソシエイト、科学技術振興機構ERATO難波プロトニックナノマシンプロジェクト形態変換グループグループリーダー、米国カリフォルニア大学サンフランシスコ校Keck fellowなどを経て、2008年より理研米倉生体機構研究室 准主任研究員。2017年より現職。



明。フランク博士は、顕微鏡の視野にばらばらに散らばったタンパク質複合体の2次元像から3次元構造を再構成する「単粒子解析」の基礎をつくった。デュボシェ博士は、タンパク質などを含む溶液を急速凍結してアモルファス状の氷に封じ込め、そのまま低温で観察する手法を開発。アモルファスとは、分子が不規則に並んだ固体の状態をいう。「試料を氷の中に保持することで電子顕微鏡内の真空に持ち込めるようにし、低温で観測することで電子線のダメージをある程度まで抑えることもできるようになりました。こうして電子顕微鏡を用いて自然な状態の生体分子構造を詳細に観察できるようになったのです」

しかし、クライオ電子顕微鏡法は、長らく生体分子の構造解析の主役にはなり得なかった。得られる構造の分解能が、一部の特殊な試料を除いてX線結晶構造解析に遠く及ばなかったからだ。その状況を劇的に変えたのが、電子を直接検出できるカメラの登場である。統計に基づく画像解析技術の向上も相まって、ここ数年で分解能は2~3Å (1Åは100億分の1m=0.1nm) と、X線結晶構造解析に匹敵するようになった。解析に適した試料では、X線結晶構造解析をしのぐ。「クライオ電子顕微鏡による構造解析は今、構造生物学の主役に一気に躍り出る勢いです」

■ 結晶化せずに自然な状態の 立体構造を見る

「生体内にはさまざまなタンパク質やその複合体があり、それらが正しく動い

て機能することで、生命活動が維持されています。私は、そうした生体分子の作動機構を知りたいのです」と米倉主任研究員。「動きや機能は原子配置と密接に結び付いているので、生体分子の作動機構を理解するには、その立体構造を原子レベルで見る必要があります。それには、X線結晶構造解析よりクライオ電子顕微鏡の単粒子解析の方が適している場合があります。結晶をつくらなくていい、というのが第一の利点です」

X線結晶構造解析では、高品質かつある程度の大きさの結晶が必要とされる。しかし米倉主任研究員は、「ダイヤモンドや塩と違って、複雑で巨大なタンパク質、特に膜タンパク質やタンパク質複合体の結晶作製はとても難しく、試行錯誤を繰り返し長い時間を要することも普通です」と言う。pH(水素イオン濃度)や、添加剤や沈殿剤の種類・濃度などの条件を網羅的に試し、結晶化する条件を見つけ出すのだが、それは多くの場合、生理的な環境とは異なる。また、不安定なループ構造を持つタンパク質は、ループ部分を切ったり、ほかの配列を加えて安定化させたりして、結晶化することもある。「結晶化されたタンパク質の構造は、必ずしも自然の姿ではないのです。クライオ電子顕微鏡の単粒子解析であれば、結晶をつくる必要はなく、生理的な環境に近い状態で立体構造を見ることができます」

単粒子解析の基本的な手順を紹介しよう(図1)。試料を急速凍結し、クライオ電子顕微鏡で観察する。すると、そこにはさまざまな方向を向いているタン

パク質が見える。複数の試料を使ってたくさんのタンパク質の画像を撮影し、似た向きのものを集めて平均して2次元像を得る。そして、さまざまな向きの2次元像をもとに、タンパク質の3次元構造を再構成していくのだ。

■ 単粒子解析でイオンチャネルの 構造変化を見る

米倉主任研究員は、クライオ電子顕微鏡の単粒子解析を用いてさまざまなタンパク質の立体構造を明らかにしている。その一つが、細菌の表面に生えているべん毛である。細菌は、べん毛を高速で回転させて前進し、瞬時に方向転換もする。べん毛の構造は人工モーターに似ているが、イオンの流れを回転に利用するなど作動機構は異なっており、その詳細は分かっていない。そこで、べん毛のうちプロペラのように回るべん毛繊維を構成するフラジェリンというタンパク質を解析。べん毛繊維がらせん対称性を持つことを利用した解析技術を開発し、新型カメラの登場前にもかかわらず4Åという高分解能で構造決定に成功し、2003年に報告した。米倉主任研究員と共同研究者の眞木さおり研究員は、それらの業績により、2009年にエルンスト・ルスカ賞を受賞。この賞は、電子顕微鏡を開発したノーベル物理学賞受賞者のエルンスト・ルスカ博士を記念して創設されたもので、クライオ電子顕微鏡の分野で唯一の日本人受賞者となっている。

「今は、より難しい、分子量のあまり大きくないイオンチャネルの構造解析に

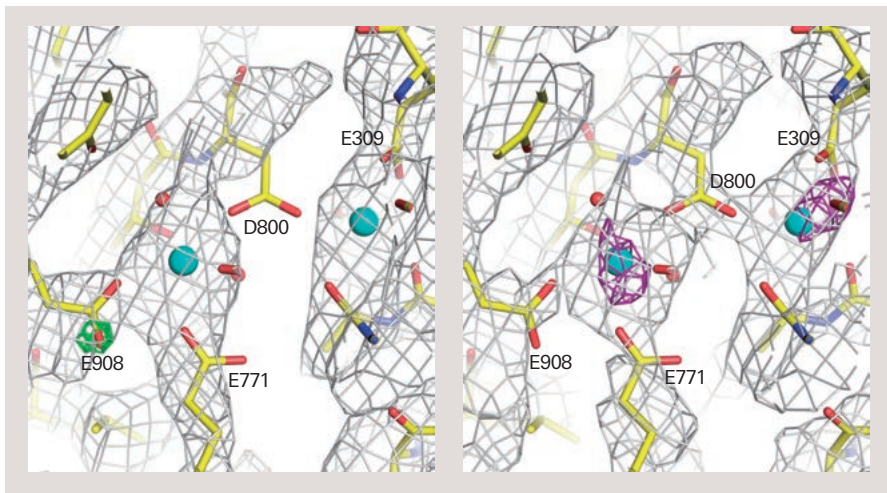


図3 クライオ電子顕微鏡による結晶構造解析で得られた静電ポテンシャルマップ

ウサギ筋小胞体Ca²⁺-ATPaseのCa²⁺（水色の丸）結合部位を解析した。分子構造を黄、赤、青の棒線のモデルで、電位の分布（静電ポテンシャル）を網目で表している。負電荷を持つ部分は密度が低くなるため網目がなくなる。左は、3.4~8Å分解能の電子線回折から得られた静電ポテンシャルマップ。800番目のアスパラギン酸（D800）側鎖部分の網目が欠損していることから、大きな負電荷を持つことが分かる。また、908番目のグルタミン酸（E908）側鎖に密度が高い部分（緑）があることから、プロトンが結合していることが明らかになった。右は、3.4~5Å分解能の電子線回折から得られた静電ポテンシャルマップ。D800の側鎖部分に網目が現れている。電荷の影響は分解能が低い方がより顕著になるため、理論計算の結果とも一致しており、この解析手法により電荷分布を正しく可視化できることが示された。

取り組んでいます」と米倉主任研究員。イオンチャネルは、細胞や細胞小器官の内と外を仕切る膜に埋め込まれた膜タンパク質の一つである。膜タンパク質は、イオンや物質の透過、情報伝達に関わっており、創薬の主要なターゲットになっている。しかし、結晶化が難しい。だからこそ結晶が不要なクライオ電子顕微鏡の出番なのだが、クライオ電子顕微鏡で得られる像はコントラストが低く、分子量が大きくない分子の場合、大まかな形すら捉えられないことがある。また、膜タンパク質の場合、界面活性剤で膜から溶かし出さなければならず、このことが構造解析をより難しくする。そうした難易度の高い試料ではあるが、米倉主任研究員がクライオ電子顕微鏡による単粒子解析を目指すのには、大きな理由がある。

イオンチャネルに限らずタンパク質は、構造を変化させ機能を実現する。しかし結晶内のタンパク質の構造は同一であることが前提となるため、結晶か

ら得られるのはそのタンパク質の状態の一つの構造にすぎない。一方、クライオ電子顕微鏡の画像には、そのタンパク質が取り得るいろいろな構造が写っており、それぞれが機能を反映している可能性が高いのだ。

「論文が審査中のため詳細を紹介できないのですが」と前置きして、米倉主任研究員は話す。「現在取り組んでいるイオンチャネルの単粒子解析では、多様な構造、しかも予想していなかったほど大きな変化が見えてきています。この結果は、クライオ電子顕微鏡の単粒子解析の大きなポテンシャルを示しています。引き続き研究していきます」

■ クライオ電子顕微鏡で結晶を解析し電荷の分布を見る

研究室では、クライオ電子顕微鏡を用いて結晶構造解析も行っている。「電子線は、物質と相互作用する力がX線より10万倍も強いので、微小な結晶でも高分解能で立体構造を解析できます。そ

こで、これまでX線結晶構造解析には使えず捨てられることが多かった、大きさ1μm以下、厚さ数十nm以下の微小で薄い結晶をクライオ電子顕微鏡で解析する手法の開発に取り組んできました」

結晶構造解析にクライオ電子顕微鏡を用いるのは、微小な結晶を使えること以外に、実はもっと大きな狙いがある。「電子線の電子はマイナスの電荷を持っているため、電荷を持っている原子と中性の原子では散乱のされ方が変わります。電子線では、タンパク質のどの部分が正に、あるいは負に荷電しているのか、電荷分布の3次元情報を反映した静電ポテンシャルマップが得られます。電荷間に働く静電力は生体分子の構造、機能に大きな影響を及ぼします。電荷の分布を可視化することで、生体分子の作動機構の理解が進むはず」

そして、ウサギの筋小胞体Ca²⁺-ATPaseという、筋収縮の際に放出されるカルシウムイオン（Ca²⁺）を筋小胞体に回収するイオンポンプの、微小で薄い結晶を解析。イオンポンプは、生体膜に仕切られてできるイオン濃度の勾配に逆らってイオンを輸送する膜タンパク質である。米倉主任研究員は、3.5Åという高い分解能でイオンと結合する部位の荷電状態の可視化に成功した。

大きな役割を果たしたのは、エネルギーフィルター（電子分光装置）だ。電子が試料と相互作用すると、エネルギーを失う非弾性散乱と、エネルギーを失わない弾性散乱が起きる。電荷分布の情報を正しく反映するのは、弾性散乱をした電子である。非弾性散乱をした電子を

図2 微小結晶からの電子線回折パターン

エネルギーフィルターを用いないと、回折パターンのバックグラウンドノイズが高い（左）。エネルギーフィルターで非弾性散乱の電子を除いて弾性散乱の電子のみを結像に用いると、バックグラウンドノイズを劇的に減らし、電荷情報を正確に反映する回折パターンが得られる（右）。図の中心から離れるほど分解能は高く、右では2Åより良い分解能の回折点が確認できる。

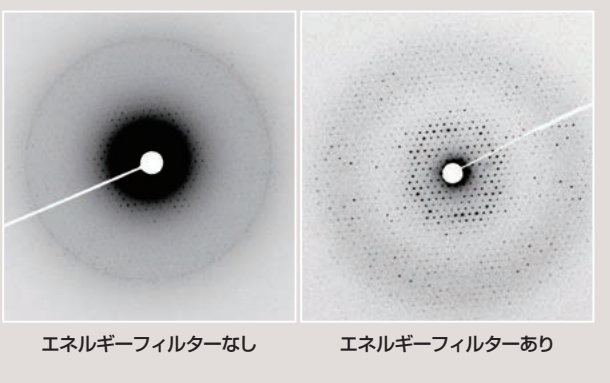




図4 クライオ電子顕微鏡
 左は現有のもの。右は導入予定の次世代クライオ電子顕微鏡。主要部をキャビネットに収めることで、振動などの外乱を軽減する。高干渉性電子銃、エネルギーフィルター、高性能カメラ、位相板などを備え、自動撮影、自動冷却にも対応する。日本電子(株)の新型電子顕微鏡CRYO ARM® 300をベースに、高分解能単粒子解析と微小結晶解析に最適にデザインしたシステムで、より高品質、高分解能の像、回折パターンを取得し、高精度な解析を実現する。

関連情報

- 2016年8月25日プレスリリース
生体分子の電荷分布の高精度解析法
- 2016年1月29日プレスリリース
XFELと顕微鏡の相補利用で生体試料を高効率に観察
- 2015年2月23日プレスリリース
微小で薄いタンパク質結晶の電子線構造解析
- 2015年1月28日プレスリリース
生体試料の高分解能・高信頼度イメージング法を開発

のぐ分解能を達成できると考えています」(図4)

これまで、タンパク質の構造が変わっていく際の小さな変化は区別できなかった。最新鋭のクライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析ならば、それらの中間体の構造も捉えられるかもしれない。またイオンは荷電粒子なので、イオンが通過するときのイオンチャンネルの荷電分布の変化が見える可能性もある。「単粒子解析で荷電分布の解析に成功した例はまだありませんが、私たちはそれが可能であることを示唆するデータを2016年に報告しています。単粒子解析と結晶解析を組み合わせて(図5)、構造と電荷分布の変化を同時に見ることも可能になれば、生体分子の作動機構の解明に大きく近づくことでしょう。新たに導入するシステムはそれが可能のようにデザインしました」

細胞間の情報伝達に関するエクソソームの構造解析にも、産業技術総合研究所の研究者と取り組む計画だ。「エクソソームは、膜タンパク質や遺伝物質を含む小さな細胞ともいえる複雑なものです。より難しい試料に挑戦し、重要な生命現象を明らかにしていきたいですね」

ノーベル賞発表前の2017年8月、米倉主任研究員はインドで開催された国際結晶学会でヘンダーソン博士の発表を聴き、意見を交換した。「クライオ電子顕微鏡を用いた研究は、今後もさらに大きく発展するだろうと予想されていました」と米倉主任研究員。「私も同意見です。その最先端でいたいと思います」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

エネルギーフィルターで取り除くことで、バックグラウンドノイズを大幅に下げた回折パターンが得られる(図2)。この解析には、国産の電子顕微鏡システムを用いた。「電子顕微鏡の市場は現在、米国の1社に大きくリードされています。試料交換や自動撮影といった操作性の面で、日本のメーカーが立ち遅れたからです。エネルギーフィルターと干渉性の高い電子銃の技術は、巻き返しを図る契機になるのではないかと期待しています」

米倉主任研究員は、荷電状態の解析を行うプログラムを開発。ウサギの筋小胞体Ca²⁺-ATPaseについて解析した結果、Ca²⁺結合部位にあるアミノ酸、具体的には800番目のアスパラギン酸が一番大きな負電荷を持つことが明らかになった(図3)。また、908番目のグルタミン酸にはプロトン(水素イオン)が結合していることも分かった。このプロトンによって、近くにある771番目のグルタミン酸と水素結合が形成され、Ca²⁺結合部位を安定化させていると考えられる。

「電荷分布の実測に基づく解析はこれまでほとんど行われていません。特に、特定のアミノ酸のプロトン化は機能に関わる重要な知見となります。とても挑戦しがいがあることです」と米倉主任研究員は意気込む。「現在は、より高精度な電荷分布の解析を目指し、どのくらいの電荷を持っていると、どのように散乱されるのか、散乱因子の理論的な計算を詳細に行っているところです」

最新鋭のクライオ電子顕微鏡を導入

米倉主任研究員は「とても楽しみなことがあります」と顔をほころばせる。「最新のクライオ電子顕微鏡システムを導入するのはです。その実現のため、何年も努力し、多くの方にご協力いただきました。干渉性が非常に高い電子線を発生できる電子銃と、高性能なカメラを搭載するため、高分解能の実現に必要な弱い信号も減衰せずに捉えられます。分子量の大きくない膜タンパク質でもX線結晶構造解析に匹敵する、もしくはそれをし

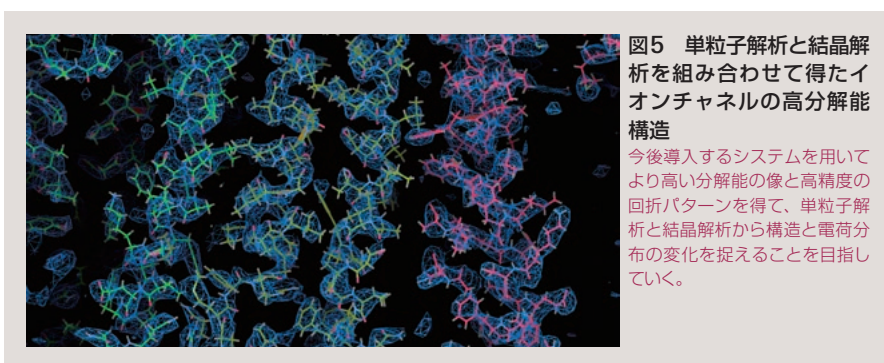


図5 単粒子解析と結晶解析を組み合わせて得たイオンチャンネルの高分解能構造
 今後導入するシステムを用いてより高い分解能の像と高精度の回折パターンを得て、単粒子解析と結晶解析から構造と電荷分布の変化を捉えることを目指していく。

脳は外部の環境を認識して次の行動を決定する情報処理を行っている。
 しかし脳がどのような方程式を用いて情報処理を行っているのか、その普遍的な計算原理は分かっていない。
 脳科学総合研究センター 行動・神経回路研究チームのAndrea Benucciチームリーダー（TL）たちは、
アンドレア ベヌッチ
 マウスの神経活動の計測データを機械学習の数理モデルで解析して
 脳が用いている方程式を導き出し、さらに神経細胞の活動を光で操作して
 その方程式を脳が本当に用いているか検証する実験を進めることで、
 脳の普遍的な計算原理を探っている。

機械学習と実験により、 脳の普遍的な計算原理を探る

■ 脳はどんな方程式を用いているのか？

コンピュータの集積回路には、膨大な数のトランジスタが組み込まれている。情報処理を行うための方程式を、計算手順（アルゴリズム）に従い、それぞれのトランジスタが電気を通す（オン）・通さない（オフ）を1と0に対応させて解いている。

一方、脳では膨大な数の神経細胞がつながり合って複雑な神経回路をつくっ

ている。神経細胞は電気信号を出す（オン）・出さない（オフ）を繰り返して情報をやりとりしている。ただし、脳による外部環境の認知およびそれに基づいた行動の決定が、神経細胞間のどのような情報のやりとりによって実現されているのかは分かっていない。

「脳でも、何らかの方程式を用いていると考えられます。その普遍的な計算原理を知りたくて研究を続けています」と

ベヌッチTLは言う。

■ マウスの自動訓練装置を開発

脳の計算原理を知るには、まず認知の情報処理を行っているときの多数の神経細胞のオン・オフを計測する必要がある。そのためにベヌッチTLたちは、さまざまな実験手法が開発されているマウスを使い、訓練や実験がしやすい視覚情報の認知を主な実験対象にしている。

ただし、マウスに複雑な認知課題を訓練させることは大変だ。従来、1種類の認知課題を学習させるのに、実験者がそばに付いて数カ月以上かけて訓練を行うのが一般的だった。そのため、何十匹ものマウスを訓練して実験を行うには、多くの人手や時間、コストがかかるため、現実的には難しかった。

また、訓練の手法や装置は研究室ごとに最適化されることが多い。そのため、異なる実験者や研究室が行った訓練に基づく実験データを比較することが難しく、再現性も確認しにくいという問題もあった。

ベヌッチTLたちは、マウスに対して複雑な認知課題を自動で訓練する装置をメーカーと共同開発した（図1）。それにより、多数のマウスの訓練の同時並行化、および各個体における学習に要する時間の短縮化に成功した。また、この自動訓練装置を用いれば実験が標準化されるので、異なる研究室で行われた実験データを容易に比較することができる。

一例として、ベヌッチTLたちは、その自動訓練装置を用いて、マウスに「垂直」という概念を学習させて、認知課題

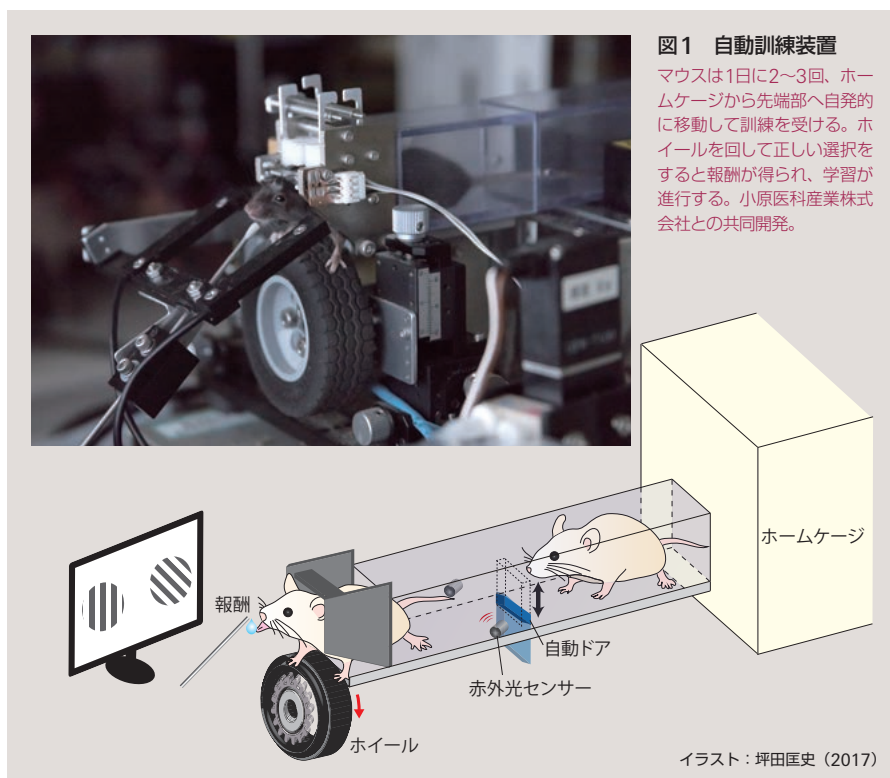


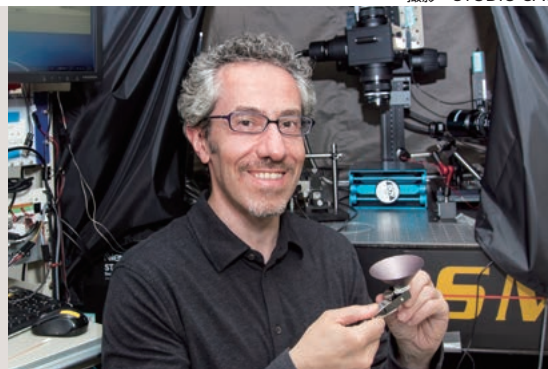
図1 自動訓練装置
 マウスは1日に2~3回、ホームケージから先端部へ自発的に移動して訓練を受ける。ホイールを回して正しい選択をすると報酬が得られ、学習が進行する。小原医科産業株式会社との共同開発。

Andrea Benucci

(アンドレア・ベヌッチ)

脳科学総合研究センター
行動・神経回路研究チーム
チームリーダー

スイス連邦工科大学チューリッヒ校とチューリッヒ大学の連携プログラムにて神経科学分野でPh.D取得。ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン（英国）での上級リサーチ・アソシエイトなどを経て、2013年より現職。



を行わせている（図2）。異なる角度で傾いた二つのしま模様を見せる。右のしま模様が垂直に近ければ右を、左が垂直に近ければ左を選べば正解とする。正解するとマウスは報酬がもらえる。

外部の環境を認知するとき、過去の記憶と照らし合わせるケースや、暗かたり一瞬しか見えなかったりなど不十分な情報から答えを推論しなければならないケースがある。ベヌッチTLたちは、二つのしま模様を見せた後、しばらく時間を置いてから選ばせる記憶力が必要な実験や、マウスに見せるしま模様になどとノイズを加えて、情報が不十分な状況で推論させる実験を行っている。注意力の違いで認知にどのような差が出るのか調べる実験も行っていく予定だ。

「状況に応じて、認知に関わる神経細胞の領域や情報処理の仕方は違ってきます。複雑な認知活動では、脳の広い領域の神経回路が複雑な階層構造を形

成しつつ関与するので、単一の階層に属する小さな領域の少数の細胞を見るだけでは駄目なのです」

しかしこれまで、脳の広い領域のたくさんの神経細胞の活動を同時に調べることは難しかった。「私たちは、個々の神経細胞の活動度に応じて明るく光るように遺伝子を改変したマウスを用いて、脳の広い領域の数百個もの神経細胞の活動を計測しています」（図3）

■ 機械学習で脳の方程式を導き出す

ベヌッチTLたちは、得られた実験データをもとに、神経回路が視覚情報をどのように認知して意思決定しているのか、その数理モデルを導く研究を同時に進めている。

1940年代から、ニューラルネットワークと呼ばれる数理モデルの研究が始まった。脳の神経回路を模した計算モデルをつくり、課題を与えて学習させること

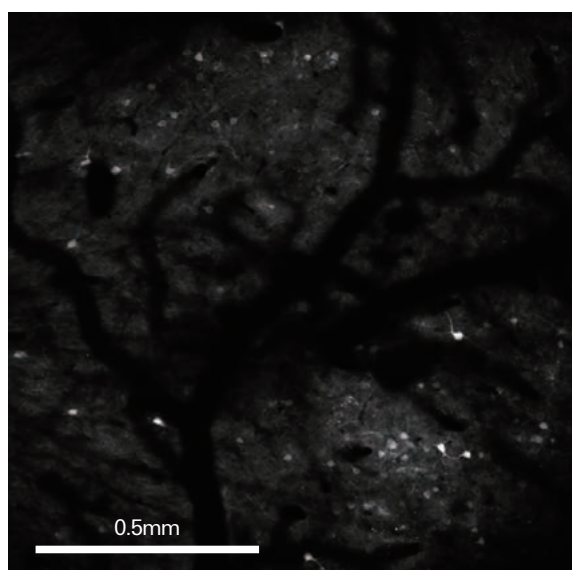
で正解を出せるようにするものだ。しかし20世紀のコンピュータの計算速度は遅く、ニューラルネットワークの研究はなかなか進展しなかった。

21世紀に入り、コンピュータの計算速度は飛躍的に高速化し、さらに数理研究の進展もあり、ニューラルネットワークの研究は機械学習や人工知能（AI）と呼ばれる分野に発展を遂げ、さまざまな領域で応用されている。

「機械学習やAIは、脳の計算原理を理解するための数理モデルを提供してくれるようになりました。私たちは、マウス脳の神経回路を模した数理モデルを『再帰型ニューラルネットワーク』を使って作成し、認知課題を行っているときのマウスの神経活動のデータを学習させています。それにより、再帰型ニューラルネットワークが自身のパラメータを調整して、マウスの神経細胞活動の時間変化の特徴的な性質を抽出できるようにな

**図2 垂直の概念を用いる認知課題**

スクリーンに映る二つのしま模様のうち、垂直に近い方を選び、選んだ方へホイールを回転させる。

**図3 脳の広い領域の神経活動の計測**

神経細胞の活動の強さに応じて明るく光るように遺伝子を改変したマウスを用いて、認知課題を行っているときの数百個もの神経細胞の活動を計測している。

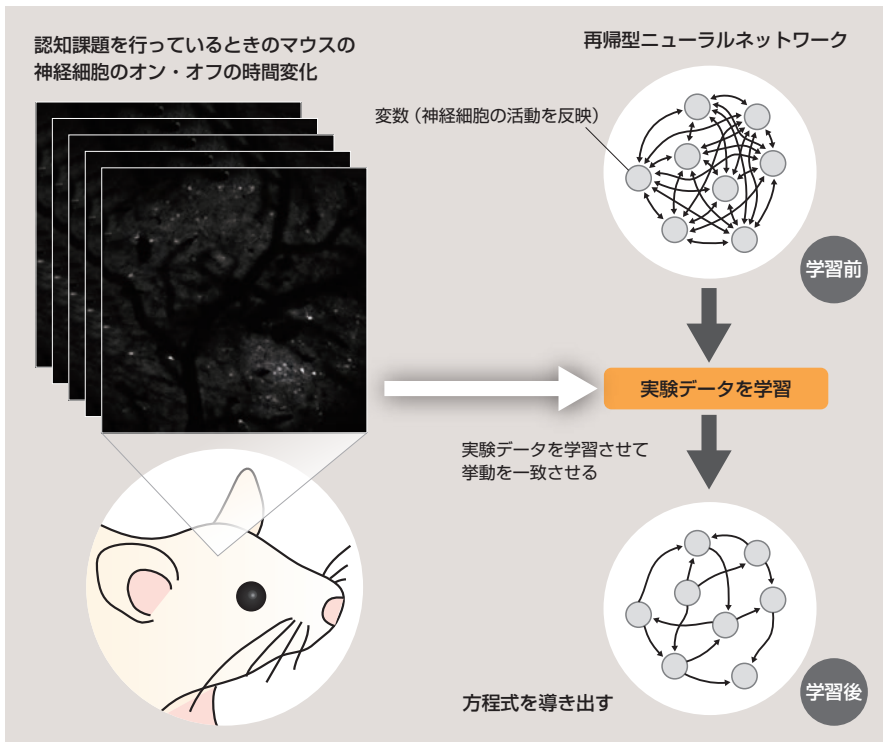


図4 実験データによる再帰型ニューラルネットワークの学習

学習前は、方程式の全ての変数が双方向に結合し、変数間の情報の伝わり方はランダムな状態。実験データを学習させると、マウスの神経細胞のオン・オフの時間変化と再帰型ニューラルネットワークの挙動が一致するように、方程式のパラメータ値が調整され、変数間の情報の伝わり方が変わる。

再帰型ニューラルネットワークは、情報が一方の変数から他方に伝わるだけでなく、フィードバックされるという特徴を持つ。そのため今の状態に過去の状態を反映させるモデルが構築でき、神経細胞集団の時間変化を表現する方程式を導き出せる。

で、多くのことを学ぶことができるでしょう。最近、機械学習やAIの研究者により、脳の計算原理の理解に役立つ、新しい数理モデルが次々と生み出されています。その新しい数理モデルを使ってマウスの計測データを解析することも可能でしょう」

ります。このようにして、脳が用いている方程式が導き出されるのです」(図4)

■ 光遺伝学で方程式を検証する

さらにベヌッチTLたちは、その方程式が本当に脳で使われているかを検証する実験を進めている。そのために、光の照射によって神経細胞のオン・オフを操作することを可能とする光遺伝学という技術を用いている。

「私たちは、数百個の神経細胞それぞれを独立に操作する技術を確立しました。神経細胞Aをオンにした後、Bをオンにして、次にCをオンにするといった一連の操作をミリ(1,000分の1)秒の精度で行うことができます。多数の神経細胞の活動をこのような高い精度で操作する技術を持つ研究室は、世界的にも限られています」

ベヌッチTLたちの再帰型ニューラルネットワークは、脳の神経細胞の構造を模したもので、方程式の各変数は、脳の神経細胞と対応関係がある。もし、その方程式が脳で使われていれば、方程式のある変数を操作することで生じる再帰型ニューラルネットワークの挙動の変化を調べることで、対応する神経細胞を操作して生じる全神経細胞のオン・オ

フの時間変化を推定できるはずだ。

「例えば、マウスに二つとも水平なしま模様を見せます。この場合、正解がないので、マウスはホイールをどちらに回せばよいか分かりません。そのとき、右に回す意思決定に対応する神経細胞活動を再帰型ニューラルネットワークから予測し、それら神経細胞を操作すれば、右に回すことが正解だとマウスに認識させることができるはずだ。そのとおりマウスが右に回せば、脳でその方程式が用いられていることの証明になります」(図5)

行動・神経回路研究チームには、マウスの訓練や実験、神経活動の計測から、機械学習による計測データの解析まで、脳の計算原理を探るために必要な技術と人材がそろっている。「数理や生物学など異分野の研究者たちが連携しながら研究を行っている点が、私たちの研究チームの大きな特徴です」とベヌッチTL。

もし、再帰型ニューラルネットワークが導き出した方程式が、マウスの脳で使われていないと分かったら、研究をどのように進めるのか。「その場合、方程式の予測と実際の神経活動のパターンがどのように違うのかを調べること

■ 人工知能 vs 脳

例えば、私たちはネコをどのように認識しているのか、その視覚的な概念を言葉で言い尽くすことは難しい。しかし、私たちはネコとイヌを簡単に識別することができる。

ベヌッチTLたちが訓練したマウスも、垂直という視覚的な概念を学習して、それにより二つのしま模様で垂直に近い方を選ぶことができるようになった。

最近ではAIも、「ネコの顔」などの視覚的な概念を学習できるようになっている。「ただし、そのような概念の学習には、多くの電力を消費するスーパーコンピュータが使われています。一方、マウスの脳のサイズはわずか1cmほどで、その消費エネルギーはごくわずかです。概念を学習するための方程式は、AIと脳で似ていると私は予測しています。ただし、計算素子はトランジスタと神経細胞とは異なり、AIと脳では異なるアルゴリズムを採用していることは明らかです。その違いを具体的に明らかにしていきたいと思います」

小型で低エネルギー消費の脳で使われているアルゴリズムが分かれば、それはAIの発展にも大きく貢献するだろう。「私は、IT企業のAI研究者や脳科

学者とも密に連絡を取り、連携を深めています」

■ 脳の普遍的な計算原理の解明へ向けて

ベヌッチTLたちは、主に視覚について研究を進めているが、聴覚や触覚などほかの認知システムは、どのような計算原理を用いているのだろうか。

「認知を行う大脳皮質において、視覚や聴覚はそれぞれ異なる領域で処理されています。しかし神経細胞の種類や並び方、つながり方などを顕微鏡で観察すると、大脳皮質ではどの領域もほとんど同じ構造です。視覚でも聴覚でも、認知の普遍的な計算原理は同じであることを、これまでの多くの研究が示唆しています。従って、垂直という概念を認知するといった特定の認知課題の計算原理が分かれば、それは脳の認知システムの普遍的な計算原理である可能性が高いのです」

マウスの脳の計算原理は、ヒトの脳の

理解に役立つのだろうか。「マウスで見つけ出そうとしている大脳皮質の計算原理が、ヒトに至るほかの哺乳類の大脳皮質にも共通していると期待しています。1980年代にネコを用いた実験によって、脳には神経細胞の活動の過度な興奮や抑制を防ぎ一定の範囲内に制御する仕組みがあることが発見されました。その後、ほかの研究者たちにより、その仕組みがショウジョウバエやマウス、サルなどでも働いていることが確かめられ、その仕組みは多くの生物に共通していることが分かりました。私たちがマウスの大脳皮質で働く計算原理を発見できれば、それがほかの哺乳類の大脳皮質にも共通しているかどうか、大きな大脳皮質を持つ霊長類のマーマセットなどの研究者が確かめようとするでしょう」

■ 脳と機械を直接結ぶ研究にも貢献

ベヌッチTLたちの研究は将来、医療にも貢献できる可能性がある。「人工網

膜などが最初の応用例になるでしょう」

現在、網膜が機能不全になった人のために、CCD（電荷結合素子）で捉えた視覚情報を脳に送り視力を回復させる人工網膜の開発が進められている。ただし現状では、明るい点がおぼろげに見える程度だ。

前述のように、ベヌッチTLたちは、機械学習で導き出した方程式を検証するために、特定の神経細胞を操作してマウスの認知が方程式の計算どおりに変化するかどうか調べる実験を進めている。その技術や知見を応用し、CCDで捉えた視覚情報に基づき、的確に視覚領域の神経細胞を操作することで、より鮮明な画像が見えるように視力を回復させることができる可能性がある。

脳波などの脳活動の情報を読み取り、機械を操作するブレイン・マシン・インターフェース（BMI）の研究も進み、脳の疾患で手足が不自由になった人のリハビリや、精神疾患の診断・治療への応用も期待される。

「私たちの研究は将来、脳と機械が直接コミュニケーションを行うブレイン・マシン・インターフェースの研究にも貢献できるでしょう。ただし、具体的な応用に役立つには、まだ多くの研究ステップが必要です」とベヌッチTL。

行動・神経回路研究チームの世界的にも独創的な研究は、脳科学のみならず、AIやブレイン・マシン・インターフェース、医療などにブレークスルーをもたらす可能性を秘めている。

（取材・執筆：立山 晃／フォトクリエイト）

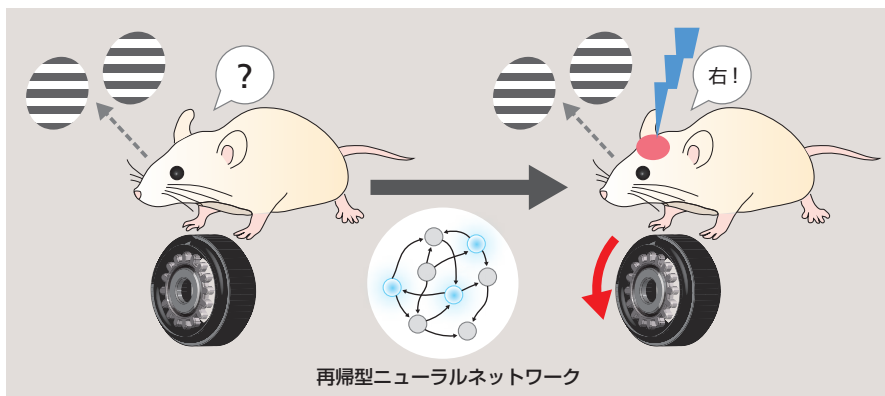


図5 光遺伝学による検証

学習させた再帰型ニューラルネットワークの挙動を調べれば、例えば、ホイールを右に回すときに活動する複数の変数が特定できる。マウスに二つとも水平なしま模様を見せて判断がつかない状態にしておき、特定した変数に対応するマウスの神経細胞を光で刺激する。右に回す行動が誘発されれば、再帰型ニューラルネットワークで導き出した方程式が脳で用いられていることの証明になる。

SPring-8供用開始二十周年記念式典を開催

2017年10月13日、姫路城（兵庫県姫路市）にて、SPring-8^{スプリングエイト}供用開始二十周年記念式典を開催しました。

松本 紘^{ひろし} 理研理事長の主催者あいさつでは、関係者の方々への感謝の意を表するとともに今後の決意を述べました。また、ご来賓の石見利勝^{いわみ} 姫路市長、中川敦史^{あつし} SPring-8ユーザー協体会長、土肥義治^{よしぢ} 高輝度光科学研究センター理事長、佐野 太^{ふとし} 文部科学省科学技術・

学術政策局長、井戸敏三^{としみ} 兵庫県知事、大宮英明^{ひさし} 三菱重工業株式会社社長、フランシスコ・セッテ^{せつて} 欧州シンクロトロン放射光研究所（ESRF）所長から祝辞を頂戴し、SPring-8やSACLAへの今後の期待も寄せられました。

会場では、式典のために作成されたプロジェクションマッピング（写真）や、SPring-8の建設当時からこれまでの歩みをまとめた歴史映像も上映されました。

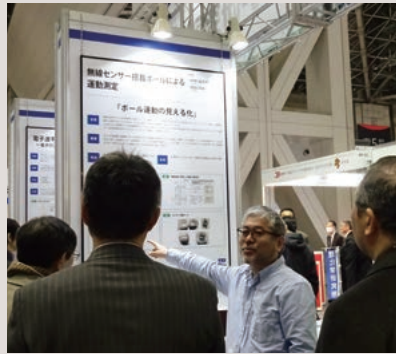


「nano tech 2018 第17回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ

理研は、産業連携を見据えた物理・工学系分野の最先端技術を出展します。理研ブース内にて、ポスター発表とプレゼンテーションを予定しています。研究者と分野を超えたネットワーク構築の機会として、皆さまのご来場をお待ちしています！



国際ナノテクノロジー 総合展・技術会議



昨年度出展の様子

日時	2018年2月14日（水）～16日（金） 10：00～17：00
場所	東京ビッグサイト東4・5・6ホール &会議棟（東京都江東区有明3-11-1）
最寄駅	ゆりかもめ「国際展示場正門駅」 りんかい線「国際展示場駅」
入場料	3,000円 （WEB事前登録の場合、入場無料）
詳細	http://www.nanotechexpo.jp/

新研究室主宰者の紹介

新しく就任した研究室主宰者を紹介します。

- ①生まれ年、②出生地、③最終学歴、④主な職歴、
⑤活動内容・研究テーマ、⑥信条、⑦趣味

創発物性科学研究センター



統合物性科学研究プログラム
トポロジカルスピントロニクス研究ユニット
ユニットリーダー

塩見雄毅 しおみ・ゆうき

- ①1985年 ②三重県 ③東京大学大学院工学系研究科博士課程 ④東北大学助教 ⑤物性物理学とスピントロニクスの融合研究 ⑥努力が足りない ⑦ジム、読書

革新知能統合研究センター



数理解析チーム
チームリーダー

太田慎一 おおた・しんいち

- ①1978年 ②宮城県 ③東北大学大学院理学研究科博士課程 ④京都大学、大阪大学 ⑤曲率に関わる幾何学・解析学 ⑥人と違うことをする ⑦ランニング



トポロジカルデータ解析チーム
チームリーダー

平岡裕章 ひらおか・やすあき

- ①1978年 ②大分県 ③大阪大学大学院基礎工学研究科 ④広島大学、九州大学、東北大学 ⑤トポロジカルデータ解析、応用トポロジー ⑥こつこつ ⑦魚釣り、演奏

「スパコンを知る集い in 大分」を開催

スーパーコンピュータ「京」を中心とするスパコンやシミュレーションの役割・重要性を紹介する一般向け講演会を大分市で開催します。スパコンとは何か、スパコンを利用した研究とそこから生み出される成果などを、最先端の研究開発に携わる方々にお話しいただきます。

日時	2018年2月10日(土) 13:20~16:00(受け付け12:50から)
場所	コンパルホール 文化ホール (大分市府内町1-5-38)
アクセス	JR大分駅下車徒歩5分
主催	理化学研究所 計算科学研究機構
後援	大分県、大分県教育委員会、大分市、大分市教育委員会、NHK大分放送局、大分合同新聞社
協賛	計算科学振興財団、高度情報科学技術研究機構
参加申し込み方法	WEB参加登録フォーム (www.aics.riken.jp/shirutsudoil/) にて、もしくはFAX (048-825-3274) にて氏名(ふりがな)、職業、FAX番号、ご連絡先(電話番号等)、年齢、講演会で質問したいことを記入の上、お申し込みください。
問い合わせ	078-940-5596

プログラム

13:20~ 主催者あいさつ

13:25~14:10 私たちに身近なスパコンについて知ろう!

横川三津夫 理研・計算科学研究機構 客員主管研究員
神戸大学大学院システム情報学研究科 教授

- ▶「京」メイキング動画上映
- ▶ショートレクチャー
- ▶参加者からの質問コーナー



横川三津夫 客員主管研究員が楽しいトークを交えてスパコンについて分かりやすくお話しします。

14:10~14:35 ようこそ展示コーナーへ

パネル展示のほか、普段入ることができない「京」が設置してある部屋を映像で紹介するバーチャルツアー、タブレット端末でチャレンジできるゲームも。



14:35~15:15 講演「スパコンで迫る生体分子の働き」

宮下 治 理研・計算科学研究機構 上級研究員

病気の理解や創薬に重要なタンパク質などの生体分子の構造を実験データの解析から明らかにし、シミュレーションによりそれらの細胞内での動きを再現する研究を紹介。

15:15~15:55 講演「自動車開発を支えるスーパーコンピュータ～京が拓いた次世代の空カシミュレーション～」

坪倉 誠 理研・計算科学研究機構 チームリーダー
神戸大学大学院システム情報学研究科 教授

メーカーと連携して開発した次世代の自動車空カシミュレーションと、「京」から「ポスト京」へスパコンの活用により大きく変わる次世代のものづくりについて紹介。



15:55~16:00 エンディング

科学技術ハブ推進本部 医科学イノベーションハブ推進プログラム



健康医療データ多層統合プラットフォーム推進グループ
がん免疫データ多層統合ユニット
ユニットリーダー

垣見和宏 かきみ・かずひろ

- ①1963年 ②兵庫県 ③京都大学大学院医学研究科 ④三重大学、東京医科大学、東京大学医学部附属病院 ⑤腫瘍免疫 ⑥Slow and steady wins the race. ⑦スポーツ観戦



健康医療データ多層統合プラットフォーム推進グループ
発達障害データ多層統合ユニット
ユニットリーダー

小西行郎 こにし・ゆくお

- ①1947年 ②香川県 ③京都大学医学部医学科専門課程 ④福井医科大学助教授、東京女子医科大学教授、同志社大学赤ちゃん学術センター教授、兵庫県立リハビリテーション中央病院子どもの睡眠と発達医療センター参与 ⑤発達行動学、発達障害 ⑥この子らを世の光に ⑦子どもたちと遊ぶこと



健康医療データ多層統合プラットフォーム推進グループ
健康医療データAI予測推論開発ユニット
ユニットリーダー

川上英良 かわかみ・えいりょう

- ①1982年 ②岡山県 ③東京大学大学院医学系研究科博士課程 ④ERATOプロジェクト、理研統合生命医科学研究センター ⑤統計・機械学習・ネットワークに基づく疾患・生命現象の理解と予測 ⑥最初の一歩を躊躇わない ⑦ドラム、フットサル、ロードバイク



健康医療データ多層統合プラットフォーム推進グループ
健康医療データAI解析標準化ユニット
ユニットリーダー

清田 純 せいた・じゅん

- ②東京都 ③東京大学大学院医学系研究科博士課程 ④筑波大学附属病院心臓血管外科、米国スタンフォード大学、理研統合生命医科学研究センター ⑤システムバイオロジーのシステム医学への拡張 ⑦サイエンス

川、谷、海を越えて

松本洋一郎 まつもと・よういちろう

理化学研究所 理事

『理研ニュース』から本コラム「原酒」の執筆の依頼を受けました。『大辞林』によれば、「①もろみを压榨したもので、加水などしていない清酒。②ウイスキーの原液。麦芽と水をまぜて糖化・発酵させたものを蒸留し、熟成のために樽に詰めて貯蔵する。」とあります。一つの蒸留所の原酒のみからつくられたものが、シングルモルトウイスキーですが、蒸留所の個性を強く持ち、飲む人を魅了するようです。理研の研究の特徴を示唆しているのでしょうか。担当に聞いてみると名付けの由来は、仁科加速器研究センターにあるようです。

さて、最近はこちらを向いても、イノベーション、イノベーション、イノベーションと叫ばれています。イノベーションをイノベーションとするには、いくつもの関門が存在しています。理研が得意とする基礎研究と、企業などによる開発研究・技術開発の間には「魔の川」が、技術開発と製品化・事業化の間には「死の谷」が、さらに事業化と市場・産業化の間には「ダーウィンの海」が横たわり、発明・発見が市場・産業にまで展開していくにはさまざまな困難が待ち受けています。

「魔の川」とは、研究開発プロジェクトが基礎研究から出発して、製品化を目指す開発段階へと進めるかどうかの関門です。単なる研究で終わってしまわないように、研究室主宰者（PI）に加えて、プロジェクトマネージャー（PM）の参加が重要になります。

「死の谷」とは、開発段階から事業化段階へ進めるかどうかの関門です。この関門を乗り越えられずに終わってしまうプロジェクトも多く、死の谷と呼ばれています。

「ダーウィンの海」とは、市場に出された製品やサービスが、さまざまな競争や需要という荒波にもまれ淘汰される関門を指します。ダーウィンが自然淘汰を進化の本質としたことを受けて、ダーウィンの海というようです。



写真・イノベーションの種を求めて、水産研究・教育機構 西海区水産研究所 亜熱帯研究センター（沖縄県石垣市）を訪問（筆者は前列左から4人目）。

同じような構造が基礎研究にもあります。極めて細分化された専門領域内の活動は、ある意味で飽和・成熟の段階にあり、個々の専門領域内での飛躍的發展よりは、むしろ学際領域における領域融合型研究への期待が高いといえるでしょう。

理研には、自らの基礎研究と企業の開発研究をつなぐ「バトンゾーン」と呼ぶ仕組みがあり、アンダーワンレベルで研究を行うことができます。のみならず、企業の名を冠した連携センターの運営など、理研の研究をイノベーションにつなげるべく、「魔の川」を渡るさまざまな取り組みがなされています。理研の特徴を生かしつつ、社会に貢献していくには、性、年齢、国籍、過去の経験を越えた多様な人材の参加を促すべく、より踏み込んだ広範な改革が必要だと思います。さらに「死の谷」、「ダーウィンの海」を越えていくには、理研以外のさまざまな組織との緊密な連携が必須です。

自律分散的に創造され、細分化された知識をつなぐ領域融合型イノベーションを実現するには、閉じた専門領域の内側だけを見て、思考を硬直化・画一化させることなく、斬新な発想を展開し、高度専門化社会のわなに陥ることなく、自由闊達に社会的環境の変化に対応し得る組織構築が重要です。理研として「研究開発成果の最大化」を目指し、世界のトップランナーとして、ますますの発展を実現していきたいと思っています。

創立百周年記念事業への寄附金のお祝い

創立百周年（2017年）の記念事業へのご支援をお願いします。

問合せ先 ● 理研 外部資金室 寄附金担当

Tel : 048-462-4955 Email : kifuf-info@riken.jp

理研 寄附金
Support RIKEN

理化学研究所 創立百周年
RIKEN 100th Anniversary



http://www.riken.jp/