

RIKEN NEWS

No. **448** 2018 **10**



研究最前線「SACLAの利用機会を拡大するマルチビームライン化に成功」より

02 **研究最前線**

SACLAの利用機会を拡大する マルチビームライン化に成功

06 **研究最前線**

ウイルス感染防御に効果的な抗体をつくる

10 **特集**

分子から個体、発生・誕生から老化までをつなぎ、 健康寿命の延伸を目指す

13 **TOPICS**

- ・「RIKEN 和光サイエンス合宿2018」レポート
- ・読書の秋は「科学道100冊ジュニア」!
- ・大阪地区と神戸地区で一般公開を開催
- ・新監事に石井康彦氏
- ・新研究室主宰者の紹介

16 **原酒**

「けいはんな」はこんなところ

2012年に共用が開始されたX線自由電子レーザー（XFEL）施設「SACLA」には、国内外から実験申請が殺到している。SACLAの生み出すX線レーザーによって化学反応の過程における原子や分子の瞬間的な動きなど、今まで見えなかったものが見えるからだ。しかしSACLAを含むXFEL施設には大きな課題があった。

実験を行う場所であるビームラインが1施設に1本しかつけれないため、利用機会が非常に限られていたのだ。

放射光科学研究センター XFEL研究開発部門 田中 均 部門長らは2017年、同時に複数の実験を並行して行うことが可能なマルチビームラインの実用化^{*}に世界で初めて成功した。

^{*}ビームライン1本の運転で得られる高性能のレーザーがマルチビームライン運転でも保障され、全ての実験で利用可能な状況を指す。

SACLAの利用機会を拡大する マルチビームライン化に成功

■ 常識を覆すマルチビームライン化

レーザーは、光の波長と位相（波の山と山、谷と谷の位置）がそろい、ほとんど広がることなく一方向へ直進する特徴を持つ。1960年代に発明されたレーザーは、私たちの身の回りの電子機器や光通信、ものづくりの現場や科学実験など、さまざまな場所で利用されている。ただし20世紀に実現されたレーザーの光の波長は紫外線までで、さらに波長が短いX線レーザーは「夢の光」といわれた。

2009年、米国のXFEL施設「LCLS」が世界で初めてX線レーザーの発振に成功。日本のSACLAは2011年に世界で2番目に発振に成功し、2012年以降、ライフサイエンスからナノテクノロジーまでさまざまな分野の実験や技術開発に利用されている。

SACLAに隣接する大型放射光施設SPring-8では、太陽光の100億倍も明るいX線により原子スケールで物質の構造

を解析できる。SACLAのX線レーザーは、SPring-8よりもさらに10億倍も明るく、発光時間が10フェムト秒（1フェムト秒=1,000兆分の1=10⁻¹⁵秒）以下と短いパルスであるという特徴がある。2017年には、韓国やスイス、欧州でもXFEL施設の運転が始まった。

SPring-8などの放射光施設では、リング状の加速器（蓄積リング）で電子ビームを加速して磁石で曲げることで、X線を含む放射光を発生させる。そのため蓄積リングの円周上に何本ものビームラインの設置が可能だ。SPring-8には現在、57本のビームラインがあり、低燃費タイプの開発や光合成の仕組みの解明など、さまざまな実験が同時並行で進められている。

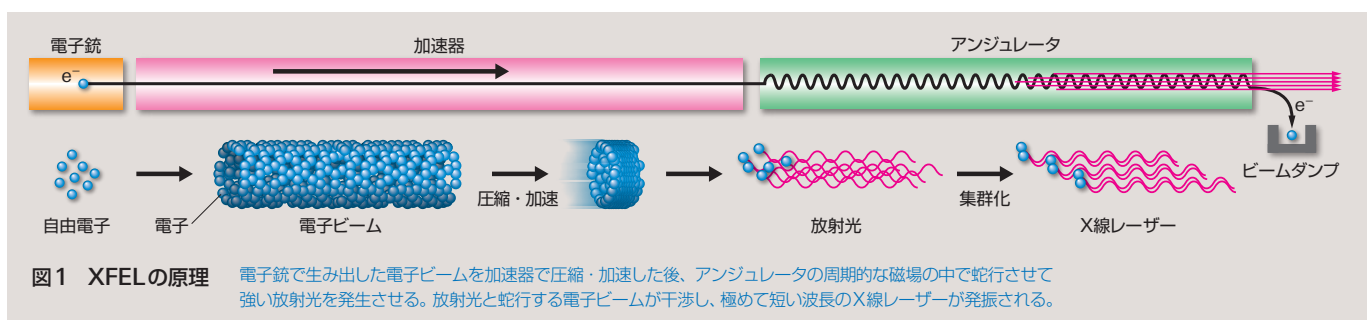
一方、SACLAをはじめとするXFEL施設では、線型加速器で圧縮・加速した電子ビームを、磁石を並べたアンジュレータという装置で蛇行させてX線レ

ザーを発振させる（図1）。

「線型加速器を用いるため、XFEL施設のビームラインは1本というのが常識でした」。1本のビームラインでは、実際に利用できる機会が非常に限られてしまう。施設の建設費が高額なこともあり、利用機会の拡大がXFEL施設の大きな課題だ。「その課題を解決するため、私たちはSACLAの設計段階から、5本のビームラインを設置するという常識外れのマルチビームライン構想を描いていました」と田中部門長は語る。

■ 「君たちの方法は失敗するぞ！」

SACLAには5本分のアンジュレータ設置スペースがあらかじめ設けられている。その中央部、線型加速器（Cバンド加速器）の延長線上に一つ目のアンジュレータが設置された。SACLAで最初にX線レーザーを発振したのは、そのビームライン（BL）3だ。



田中 均 (たなか・ひとし)

放射光科学研究センター
副センター長
XFEL研究開発部門 部門長

1957年、東京都生まれ。博士(工学)。東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。日揮(株)原子力事業本部、理研サイクロトロン研究室、(財)高輝度光科学研究センター加速器部門、理研X線自由電子レーザー計画推進本部などを経て、2011年4月、XFEL研究開発部門 部門長。2018年4月より現職。



BL3の隣に2mほどの間隔を空けてBL2のアンジュレータを設置(図2、表紙)。ただしBL2は線型加速器の延長線から外れているため、電子ビームを入射するには3度の角度で曲げて、曲げ戻す必要がある。「SACLAの線型加速器では、1秒間に60発の電子ビームを加速しています。1発目の電子ビームは進路を変えずそのままBL3のアンジュレータに入射し、2発目は進路を曲げてBL2のアンジュレータへ入射します。さらに3発目はBL3へ、4発目はBL2へと、加速器の出口に設置したキッカー電磁石で電子ビームを振り分けるというのが私たちのアイデアです」(図3A)

2012年にSACLAのBL3で外部ユーザーへの提供(共用)が始まった後、田中部門長たちは、マルチビームラインの本格的な開発に着手した。「そのころ韓国でXFEL施設の開発を進めていた知り合いの研究者から、『君たちの方法は失敗するぞ!』と面と向かって言われたことがあります」

電子ビームの進路を曲げると放射光が発生する。電子は光によって影響を受けるため、3度もの角度で曲げると発生した放射光の影響で電子ビームが広がり輝度が低下(品質が劣化)して、X線レーザーを発振できなくなる恐れがあるのだ。「もちろん、設計時からその影響は織り込み済みでした。電子ビームの広がり約10%と見積もっており、その程度ならばX線レーザーの発振に問題ないと判断していたのです」

米国のLCLSは全長2.2km、欧州XFELは全長3.4kmに対して、SACLA

の全長はわずか700mと非常にコンパクトという特長を持つ。ただし、加速器も短いため電子ビームのエネルギーも低く、そこから生まれるX線レーザーのパルスのエネルギー(光子の総数)は欧米に比べて少なくなる。「パルス全体のエネルギーは低くても、時間方向に圧縮して短いパルス幅にすればピーク出力が高くなり、観測に有利になります。そのため、電子ビームをどんどん圧縮して密度を高めていきました」

SACLAのパルス幅が一番良い条件で、3フェムト秒を達成している。「X線レーザーをタンパク質などの分子に当てると、分子がすぐに壊れてしまいます。ただし10フェムト秒以下のパルス幅ならば、分子が壊れる前に観測することができます。さらに、パルス幅が短いほど、短時間に起きる分子や原子の動きを捉えることができます。私たちの唯一の誤算は、電子ビームを圧縮して高密度にしたことで、電子ビームを振り分けてマルチビーム化するのが難しくなったことです」

密度が低い電子ビームの場合は、曲

げてもそれぞれの電子が放つ放射光の位相はそろわない。「位相がばらばらな放射光ならば電子へ与える影響は大部分が相殺され、電子ビームが受けるトータルの影響は小さくて済みます」

一方、密度の高い電子ビームを曲げると、それぞれの電子が放つ放射光の位相がそろい1個の波となる。「すると、その影響は相殺されず、電子に特定の大きな影響を与えます。高密度の電子ビームを曲げると、電子ビームの輝度が10分の1まで低下するという計算結果になりました。そのように極端に劣化した品質の電子ビームでは、実験に利用できる質の高いレーザーの発振は困難です」

また、高エネルギーの電子ビームを振り分けるには、強い磁場を発生させる必要がある。「BL3に送るときには磁場をゼロにして電子ビームの進路を曲げず、BL2に送るときには特定の強い磁場をつくり極めて高い精度で曲げます。しかも1/60秒ごとにやって来る電子ビームに合わせて正確なタイミングで磁場を切り替えます。それにはキッカー電磁石のコイ



図2 BL2(左)とBL3のアンジュレータ

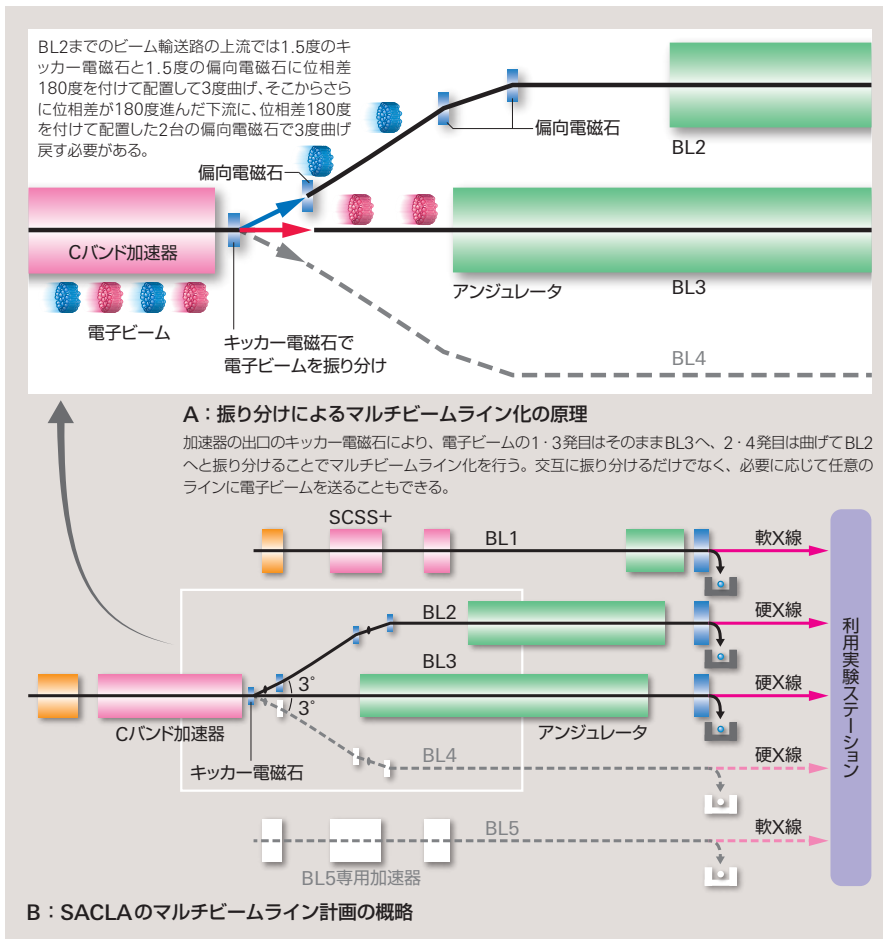


図3 振り分けによるマルチビームライン化の原理とSACLAのマルチビームライン計画の概略
 現在、BL1 (SXFELビームライン) は専用加速器 (SCSS+) で波長8~60nmの軟X線レーザーを発振し、BL2とBL3はCバンド加速器の電子ビームを振り分けて波長0.08~0.3nmの硬X線レーザーを発振している。
 将来、BL4はCバンド加速器の電子ビームを振り分けて硬X線レーザーを、BL5は専用加速器により軟X線レーザーを発振することが計画されている。

ルに正確なパターンで大電流を流すことができる電源が必要です」

従来のシリコン (Si) 半導体の素子1個に流すことができる電流の大きさには限りがある。「高エネルギーの電子ビームを大きく曲げる電磁石の電源には、たくさんのシリコン半導体素子が必要で、サイズが巨大になってしまいます。そこで、現実的な数mサイズの電源を使って、0.5度で小さく曲げるキッカー電磁石と、偏向電磁石を組み合わせ、まずは、あまり圧縮しない低密度の電子ビームを振り分けるマルチビームライン化を進めることにしました」

田中部門長らは2016年、BL3とBL2の2本のビームラインにX線レーザーを同時に供給するマルチビームライン化に世界で初めて成功した。「数年かけてやっと実現できました。しかし密度の低い電子ビームを振り分けたため、X線

レーザーのパルス幅は数十フェムト秒と長く、ピーク出力も低くなってしまいました。多くの利用者から『これでは目的の実験ができない』と言われ、実用化には達しなかったのです」

■ **パワー半導体の電源で実用化に成功**

ところが、わずか1年後の2017年、田中部門長らは、10フェムト秒以下のパルス幅でピーク出力が高いX線レーザーを2本のビームラインに供給することに成功した。わずかな期間になぜ実用化を実現できたのか。

「ハイブリッド自動車や電気自動車、電車や送電設備に用いられる電力変換器として、低損失で大電流を流すことができるシリコンカーバイド (SiC) などのパワー半導体のニーズが高まり、開発が急速に進んだのです。高性能のパワー半導体素子の市販品が手に入るように

関連情報

- 2018年6月16日プレスリリース
SiCパワー半導体技術を用いた高出力高安定化電源の開発
- 2017年3月29日トピックス
SACLAで2本の硬X線FELビームラインの同時高出力運転に成功
- 2016年7月22日トピックス
SACLAが「SXFELビームライン」の共用運転を開始
- 2016年2月17日プレスリリース
SACLA マルチビームライン運転に成功

なったおかげで、サイズは変わらないのに約6倍の電力 (電圧と電流の積) で作動する電源が開発できました。先進的なハイパワー半導体素子、高密度の電子ビームを劣化なく輸送するビーム輸送路、それまでに苦勞して開発した電源の精密制御・安定化技術を組み合わせることで、マルチビームラインの実用化を短時間で実現できたのです」(図4)

高密度の電子ビームを曲げることで発生する位相のそろった放射光により、電子ビームの輝度が10分の1に低下する問題は、どのように解決したのか。

「毎回異なるランダムな影響を制御することは困難ですが、位相のそろった放射光は、毎回、規則正しく特定の影響を電子ビームに与えます。そのシミュレーションで予想される影響を相殺するには、BL2までのビーム輸送路に均等に3度曲げて均等に曲げ戻す磁石を配置します。つまり、キッカー電磁石で1.5度曲げ、その影響を相殺するように配置した次の偏向電磁石でさらに1.5度曲げ、同様に影響を相殺するように配置した2台の偏向電磁石で3度曲げ戻す必要があります。その事実は分かっていたのですが、シリコン半導体素子を用いた電源では出力が足りず、1.5度で曲げるキッカー電磁石を駆動することができなかったというわけです」

2本のビームラインで波長の異なるX線レーザーを供給することも可能だ。「加速器で電子ビームを加速してエネルギーを高くするほど、波長の短いX線レーザーを発振できます。私たちは1秒間に60回発する電子ビームごとに加速

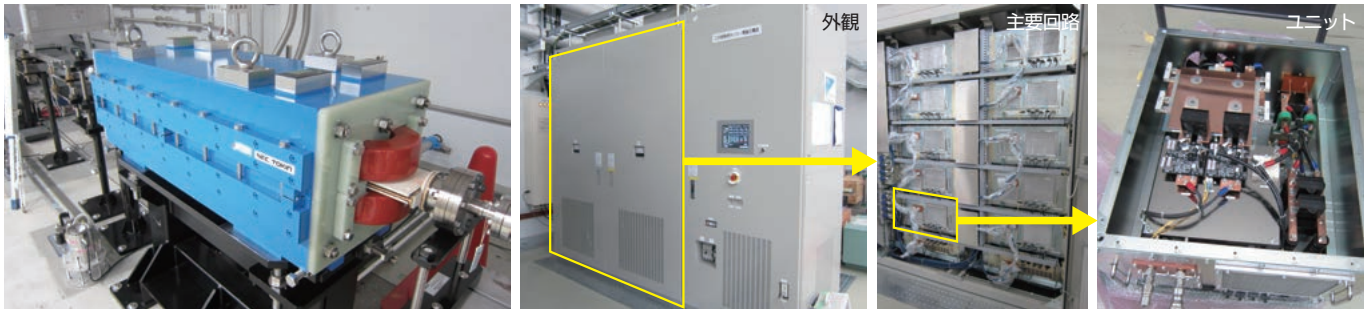


図4 キッカー電磁石(左)とパワー半導体を用いた電源

ニチコン株式会社と共同開発した電源の回路には、パワー半導体素子「SiC MOSFET」が用いられている。電源のサイズは、高さ2.7m、幅3m、奥行き1m。

の仕方を変え、それによってX線レーザーの波長を変えることに成功しました。そのために、加速器にかける電圧を変えたり、加速器を構成する144台の加速管のうち2台の加速管は休止させたりするといった方法で、電子ビームのエネルギーの大きさを制御します」

■ 5本のビームライン計画

0.3nm以下と波長が短く透過力の強いX線は硬X線、0.3～数十nmと波長が長く透過力の弱いX線は軟X線と呼ばれる。

振り分けに成功したBL2とBL3は、硬X線レーザーを発振する。一方、化学反応を促進する触媒の機能解明など、軟X線に適した観測領域がある。BL1は軟X線レーザーを発振する「SXFELビームライン」として2016年に共用を開始した。

BL1の加速器はBL2・BL3用とは別のもので、SACLAを開発する際のプロトタイプ機として開発された「SCSS試験加速器」を増強したもの（SCSS+）だ。こうしてSACLAは、軟X線レーザーと硬X線レーザーを同時に供給する世界で唯一のXFEL施設となった。

「2017年に共用を開始した韓国のXFEL施設は、私たちの振り分け方式とは異なる方式でマルチビームライン化を行おうとしています」。硬X線レーザー用に電子ビームを加速している加速器の途中から低エネルギーの電子ビームを分岐する方式だ。今後、そこから軟X線レーザーを発振する計画だという。

SACLAのマルチビームライン化を、今後どのように進めていくのか。「未設

置の2本のビームラインのうちBL5は、BL1と同様に専用加速器を新設して軟X線レーザーを発振、BL4は硬X線レーザー用のビームラインにする計画です。現在BL3とBL2に振り分けているキッカー電磁石でBL4へも電子ビームを振り分けることが可能です」(図3B)

ただし、1秒間に60発の電子ビームをBL2～4の3本に振り分けると、1ビームライン当たり20発になってしまう。「BL4に振り分ける際には、1秒間に120発の電子ビームを加速できるように加速器を改造することもオプションとして考えています。そのための技術開発も進めてきました。ただしビームラインの新設や加速器の改造にはコストがかかります。まず現在のBL1～3の3本のビームラインでさらに実験成果を示す必要があるでしょう」

■ X線レーザーを進化させる

今回、実用化に成功したマルチビームライン化と並ぶ大きな目標は、「シングルモード化」だと田中部門長は語る。「パルスの中の光の位相がそろい1個の波となった状態をシングルモードといいます。現在のXFEL施設で実際に実験に使われているX線レーザーは、パルスの中に位相や波長の異なる多数の波が存在するマルチモード状態であり、理想的なレーザーに比べスペクトル幅が広く、また、スペクトルがショットごとにふらつきます。レーザーのピーク出力が決定的に重要な非線形光学実験では可能な実験が制限され、狭い波長幅の光を利用するそのほかの実験においても、実験

の効率が低下している状況です」

田中部門長らは、アンジュレタラインの上流で発生したマルチモードのレーザーのスペクトルを純化して（波長幅を狭めて）シード光と呼ばれるレーザーの“種”をつくり、その種からシングルモードに近いX線レーザーを生成することに挑戦している。「それを欧米で開発された方法で進めましたがうまくいかず、独自手法に切り替えたところ良い成果が生まれつつあります。これが実現できれば、世界に大きなインパクトを与えるでしょう」

■ 2040年代の未来図

米国や欧州、中国では超伝導の加速器を用いて1秒間に1万発という高頻度で繰り返しX線レーザーを生成させる「高繰り返し」を目指している。それにより、短い測定時間で質の高いデータが得られるようになる。また、1万発を多数のビームラインに振り分けて、多くの実験を同時並行に行うことができるようになるだろう。

「私たちは、海外とは異なる独自路線、すなわち、SACLAの技術を発展させた常伝導の加速器による高繰り返しを目指します。コストや地球環境を考えれば、現在のSACLAと同程度の消費電力で、それを実現することが求められます。それには新しい加速器が必要で、実用化の目標は2040年代。ぜひ若い世代の人たちに、その新たな挑戦に参加してほしいですね」

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)

インフルエンザウイルスの感染によって、日本国内だけでも毎年およそ1,000人の死者が出ている。また、鳥インフルエンザやエボラ出血熱などの世界的な大流行も危惧されている。人類にとって、ウイルスや細菌の感染を防御できる、より効果的なワクチンの開発は急務だ。生命医科学研究センター 分化制御研究チームの黒崎知博チームリーダー (TL) は、これまでウイルスに対する免疫応答で中心的な役割を果たすB細胞について研究を進めてきた。最近では、ウイルス感染防御に必須の抗体がつくられる経路を発見し、その解明が新しいワクチン戦略の一つの鍵になると注目されている。

ウイルス感染防御に効果的な抗体をつくる

■ B細胞の抗体によるウイルス感染防御

「ウイルス感染から人類を守りたい」と黒崎TL。「ウイルス感染からの防御で一番重要な働きをするのは、B細胞がつくり出す抗体です。B細胞にウイルス感染防御に効果的な優れた抗体をつくらせることができれば、ウイルスから人類を積極的に守ることができるのではないかと考えて研究をしています」

もともと生物には、外界から侵入してきたウイルスや細菌などの抗原から体を守る免疫システムが備わっている。免疫システムにはさまざまな細胞や分子が関わっているが、黒崎TLが目指すのはB細胞や抗体だ(図1)。これらがどのような働きをしているか、簡単に説明しよう。B細胞は、T細胞と共に免疫システムの中核を担っているリンパ球である。B細胞は、骨髄で造血幹細胞からつく

られ、脾臓や、リンパ管の途中にあるリンパ節などの免疫組織に分布している。抗原がリンパ節に運ばれてきて、B細胞の表面にある抗原受容体に結合すると、B細胞が活性化される。

B細胞は、リンパ節の濾胞ろほうと呼ばれる領域に集まっている。抗原が結合してB細胞が活性化されると、濾胞の中に胚中心と呼ばれる構造が形成される。活性化されたB細胞は胚中心に移動し、そこで成熟。その一部は抗体の産生と分泌に特化したプラズマ細胞へ分化し増殖する。プラズマ細胞が分泌した抗体は、血液やリンパ液の流れに乗って全身を巡り、抗原に出会うと結合する。抗体が結合した抗原は、細胞の中に侵入できなくなる。ウイルスは細胞の中でなければ増えることができないため、抗体の働きによってウイルスの増殖を阻止できるのだ。抗体

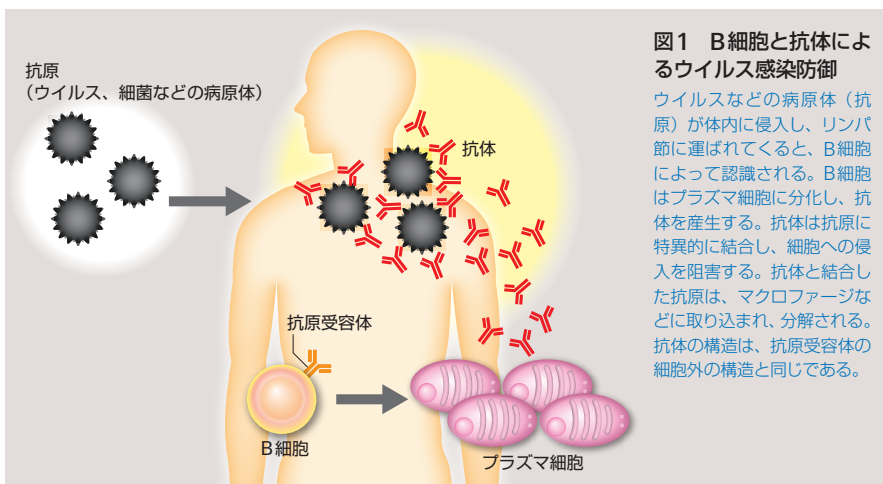
が結合した抗原は、マクロファージなどの免疫細胞に取り込まれて分解される。以上が、B細胞による免疫応答の大筋だ。

■ 多様な抗体を準備する

「抗体の大きな特徴は、手当たり次第に抗原を攻撃するのではなく、特定の抗原だけを狙って攻撃するという点です」と黒崎TL。「抗原には、さまざまなものがあります。どの抗原に対しても特異的に攻撃できるように、抗体もまた極めて多様です」

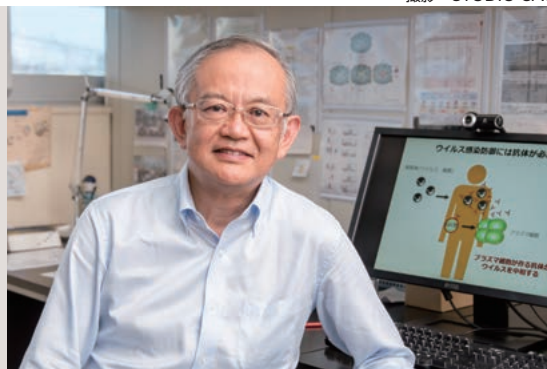
抗体の遺伝子はV、D、Jという三つの遺伝子断片から構成されており、V、D、Jそれぞれにも複数種類がある。B細胞が骨髄で造血幹細胞からつくられるとき、V、D、Jがランダムに1種類ずつ選ばれ、抗体の遺伝子として組み立てられる「VDJ遺伝子再構成」が起きる。その結果、非常に多様な抗体ができ、その種類は1,000億以上といわれる。

しかし、この仕組みには大きな問題がある。それは、あらゆる抗原に対応しようとするあまり、自分自身の細胞を攻撃する自己抗体までできてしまうことだ。自己免疫疾患などを引き起こさないよう、自己抗体を持つB細胞は骨髄から出る前に排除される。これを「ネガティブ・セレクション(負の選択)」という。この関門を通過し、脾臓やリンパ節に運ばれるのは、骨髄でつくられたB細胞のうち30%くらいである。



黒崎知博 (くろさき・ともひろ)
 生命医科学研究センター
 分化制御研究チーム チームリーダー

1955年、岡山県生まれ。博士(医学)。高知医科大学助手、米国メモリアルスローンケタリングがんセンター研究員、関西医科大学教授などを経て、2004年より理研免疫・アレルギー科学総合研究センター。統合生命医科学研究センターを経て、2018年4月より現職。2008年より大阪大学免疫学フロンティア研究センター特任教授。



■ **突然変異によって
 抗体の抗原親和性を上げる**

抗体が抗原に結合する能力を親和性といい、親和性が高いほど特定の抗原と強く結合する。「ウイルスを攻撃するには、抗原親和性の高い抗体の方が効果的はずです。抗原親和性の高い抗体を持つB細胞を選び出し、プラズマ細胞へと分化させる仕組みがあるのではないかと考え、確かめてみることにしました」

ネガティブ・セレクションを通過しリンパ節に運ばれたB細胞は、前述のように抗原と結合して活性化され、胚中心へと移動する。胚中心に移動したB細胞は増殖して数を増やす。その一部はプラズマ細胞へ分化して抗体をつくるのだが、感染の初期に分化したプラズマ

細胞がつくる抗体は抗原親和性が低く、抗原を駆逐する能力はない。感染から時間がたつにつれて抗原親和性が高い抗体をつくるプラズマ細胞が誕生し、抗原を駆逐できるようになるのだ。

「胚中心にあるB細胞が増殖する際、抗体の遺伝子に突然変異が繰り返し起きます。感染から時間がたつほど突然変異の回数が増えるので、多様な抗体がつくれ、抗原親和性が高いものもできるのです」と黒崎TLは解説する。「しかし、胚中心で起きる抗体遺伝子の突然変異では、骨髄で起きるVDJ遺伝子再構成のときと同じ問題が生じます」とも指摘する。

リンパ節に運ばれてきたB細胞はネガティブ・セレクションを通過しているの

で、その抗体は自分自身を攻撃することはない。しかし、胚中心での突然変異によって新たに自分自身を攻撃する自己抗体ができる可能性があるのだ。自己抗体を持つB細胞がプラズマ細胞に分化してしまうと、自分自身を攻撃する抗体を分泌し、自己免疫疾患を引き起こす危険がある。「どのような仕組みで、自己抗体を持つB細胞を排除し、抗原親和性の高い抗体を持つB細胞を選択してプラズマ細胞へ分化させているのかを知りたい。そこで、胚中心にあるB細胞を詳しく調べました」

■ **T細胞との相互作用の時間が
 B細胞の運命を決める**

黒崎TLらは、胚中心にあるB細胞の

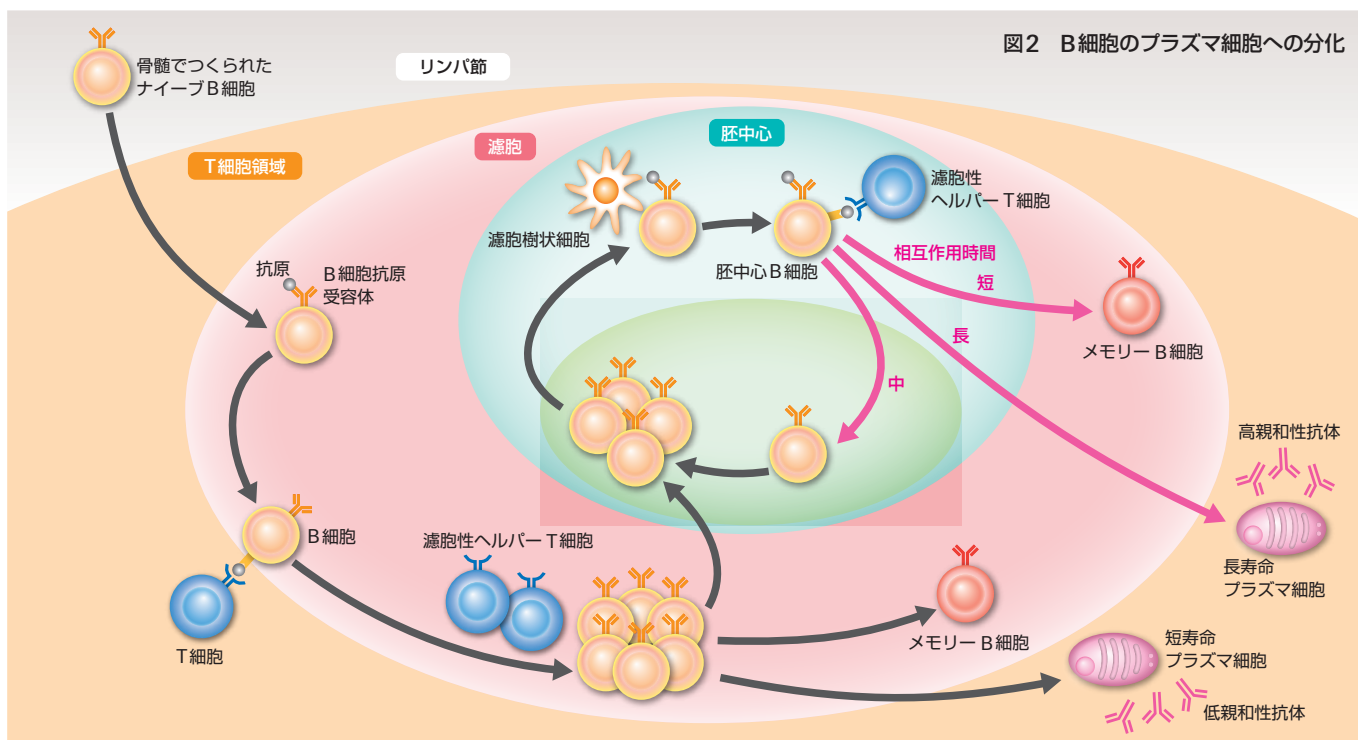


図2 B細胞のプラズマ細胞への分化

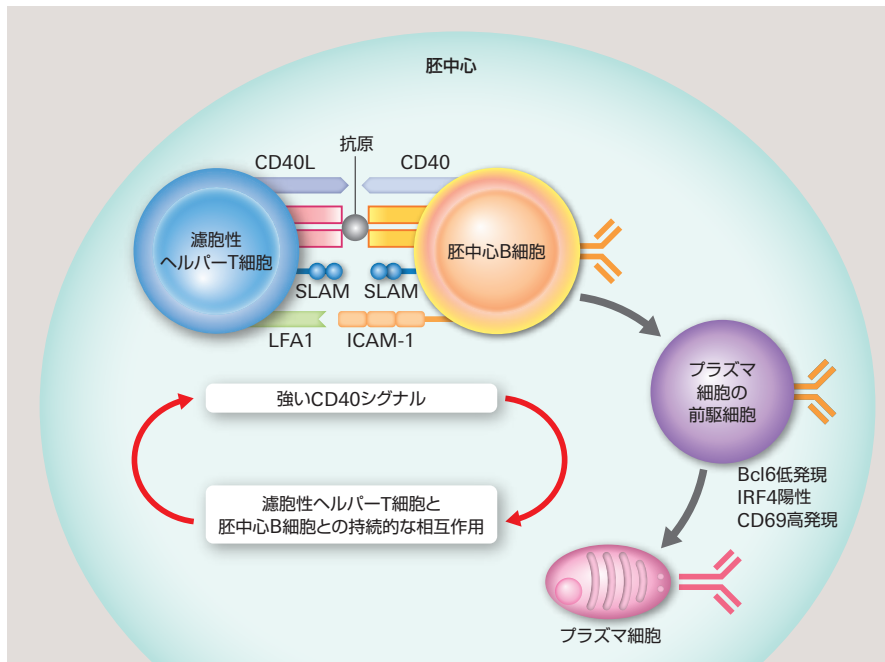


図3 良質な抗体をつくるプラズマ細胞が誕生する経路

胚中心B細胞のうち、濾胞性ヘルパーT細胞と長時間相互作用したものがプラズマ細胞の前駆細胞（Bcl6低発現IRF4陽性CD69高発現B細胞）となり、その後、抗原親和性の高い良質な抗体をつくるプラズマ細胞に分化する。濾胞性ヘルパーT細胞と長時間相互作用する胚中心B細胞は、接着分子であるSLAMやICAM-1が、ほかの胚中心B細胞より高発現しているため、CD40という受容体を介して濾胞性ヘルパーT細胞からのシグナルが強く入り、また持続的な相互作用が可能になる。

中には、プラズマ細胞へ分化することが運命づけられ、すでにプラズマ細胞への分化が始まっている前駆細胞があるのではないかと考えた。そして、プラズマ細胞へ分化することが運命づけられた胚中心B細胞は、Bcl6という転写因子の発現が低下し、IRF4という転写因子を強く発現し、かつ細胞表面にCD69という分子を持つことを突き止めた。Bcl6は、胚中心B細胞では発現しているが、プラズマ細胞に分化すると発現を失うことが分かっている。また、IRF4はプラズマ細胞への分化に必須の転写因子だ。

一方、胚中心のB細胞が成熟しプラズマ細胞へと分化するには、リンパ節の濾胞に存在する濾胞性ヘルパーT細胞からのシグナルが必要であることが分かっている。「胚中心B細胞と濾胞性ヘルパーT細胞が相互作用する様子を詳しく調べました。すると、プラズマ細胞になる運命を持った胚中心B細胞は、ほかの胚中心B細胞より、濾胞性ヘルパーT細胞と長く相互作用していたのです」（図2）

プラズマ細胞の前駆細胞を詳しく調べると、接着分子であるICAM-1とSLAMが、ほかの胚中心B細胞より多く発現していた。接着分子を多く発現しているため濾胞性ヘルパーT細胞と安定して結合し、濾胞性ヘルパーT細胞からのシグナルを長時間受け取ることができるのだ

（図3）。その後、プラズマ細胞へと分化する。このプラズマ細胞がつくる抗体は、抗原親和性が非常に高いことも確かめられている。

プラズマ細胞の前駆細胞の場合、濾胞性ヘルパーT細胞との相互作用は1時間にも及ぶ。一方で、相互作用が10～20分くらいの胚中心B細胞は、再び増殖するルートに入り、リサイクルされることも分かった。また、胚中心B細胞の中には、数分しか相互作用しないものもある。それは、後述するメモリーB細胞へと分化していく。

「胚中心B細胞を抗原親和性の高い抗体を産生するプラズマ細胞に誘導するには、濾胞性ヘルパーT細胞との長時間の相互作用が必要であることが明らかになりました。この知見を効果的なワクチンの開発に活かさないかと考え、研究を進めています」

■ ワクチンの効果を高める新戦略

生物の免疫システムには、免疫記憶といって、かつて侵入したことがあるウイルスなどの抗原が再び侵入してくると、1回目より大量の抗体を素早く作り出して速やかに抗原を除去できる仕組みがある。この仕組みを利用しているのが、ワクチンだ。

病原性を弱めたり、無毒化したウイル

スや細菌を接種すると、B細胞の免疫応答が起き、そのウイルスに一度感染したのと同じような状態になる。そのため、次に同じウイルスに感染したとき、大量の抗体を素早く作り出して速やかに抗原を除去でき、症状が出ないで済んだり、重症化せずに済んだりするのだ。

「ウイルスの感染時にできた抗原親和性の高い抗体をつくるプラズマ細胞の一部は、骨髄へ移動して長寿命プラズマ細胞として生存しています。ワクチン接種時に、抗原親和性の高い抗体をつくるプラズマ細胞を効率よく誘導することができれば、それが骨髄で長寿命プラズマ細胞として残り、次にウイルスに感染してしまったとき、より速やかに、そしてより強力にウイルスを駆逐できるのではないかと考えています」

そこで黒崎TLらは、胚中心B細胞と濾胞性ヘルパーT細胞を長時間相互作用させ、抗原高親和性の抗体を産生するプラズマ細胞を効率よく誘導する方法の開発に取り組んでいる。「ワクチン接種とその方法を組み合わせることで、ワクチンの効果を高めることができると期待しています」

■ メモリーB細胞にも注目

その一方で黒崎TLは、「免疫システムはとても複雑で、またバランスが大切です。抗原親和性の高い抗体だけをつくればいい、という単純な話ではありません」とも言う。ウイルスは変異が早いいため、1回目の感染と2回目の感染では、同じ種類のウイルスでも構造が変化していることがある。あまりにも一つの抗原

への親和性が高くなってしまうと、抗原の構造が変わっただけで、抗体として効力がなくなってしまうのだ。「適度に広範な親和性を持つ抗体と、特定の抗原に対して高い親和性を持つ抗体、その両方が2回目のウイルス感染の前に準備されていることが望ましいのです」

そこで黒崎TLが注目しているのが、メモリーB細胞である。胚中心B細胞のうち、濾胞性ヘルパーT細胞と数分だけ短く相互作用したものが、メモリーB細胞へ分化する(図2)。濾胞性ヘルパーT細胞との相互作用の時間が短いことから分かるように、その抗体の抗原親和性はそれほど高くない。メモリーB細胞は、胚中心から離れた場所で待機している。そして、2回目のウイルス感染が起きると、再び胚中心へ移動し、濾胞性ヘルパーT細胞と相互作用してプラズマ細胞へと分化する。

「メモリーB細胞は、初めて抗原に出合ったナイーブB細胞がプラズマ細胞へ分化する場合よりも非常に早く、より高い抗原親和性の抗体をつくります。また

胚中心で再び抗体遺伝子の突然変異が起こるため、ウイルスが変異していても、それに対して親和性の高い抗体をつくり認識し攻撃できるという利点があります。メモリーB細胞の効率的な誘導機構の解明を目指しています」

■ 変異ウイルスに強い抗体をつくる

黒崎TLにとって、ウイルス感染防御に効果的な抗体とは? 「ウイルスが変異しても認識し攻撃できる抗体」と返ってきた。

インフルエンザなどのウイルスは、RNAやDNAがエンベロップと呼ばれる膜に包まれ、エンベロップの表面にスパイクと呼ばれる突起の付いた構造になっている(図4)。抗体が認識しているのは、スパイクの一部である。また、スパイクには変異が起こりやすい場所と起こりにくい場所がある。多くの抗体が認識しているのは、変異が起こりやすい場所だ。だから、ウイルスが変異を起こしてしまうと、抗体はそのウイルスを認識できず、攻撃もできなくなるのだ。

「私たちが注目しているのは、スパイクのうち変異が起こりにくいヘマグルチニン(HA)の幹部です。変異が起こりにくい場所を認識する抗体を効率的に誘導できれば、たとえウイルスが変異を起こしても、そのウイルスを認識し、攻撃することができるでしょう」と黒崎TL。

現在のワクチンの多くは、ウイルスを無毒化するか、弱毒化したものを接種している。黒崎TLらは、抗体が認識するヘマグルチニンのうち変異が起こりにくい幹部だけを人工的につくって接種することで、その抗原に高い親和性を持つ抗体を誘導できないかと考えているところだ。

黒崎TLらがワクチン開発のターゲットの一つとしているのが、鳥インフルエンザウイルスだ。鳥インフルエンザウイルスは、その名前のとおり鳥類に感染するウイルスで、通常、別の生物種に感染することはない。しかし、変異を起こしてブタに感染するようになり、さらに変異を起こしてヒトに感染するものが出現することがある。「私たちは鳥インフルエンザウイルスに対する免疫を持っていないため、流行したら世界で何百万人も死者が出ると予測されています。現在私たちが研究中的の方法は、変異の早い鳥インフルエンザウイルスのワクチン開発に有効だと考えています」

黒崎TLは、「B細胞やプラズマ細胞、抗体について、これまでの研究で明らかにしてきたことを、効果的なワクチンの開発につなげたい」と語る。「それは免疫の基礎研究者としての責務です」

(取材・執筆: 鈴木志乃/フォトンクリエイト)

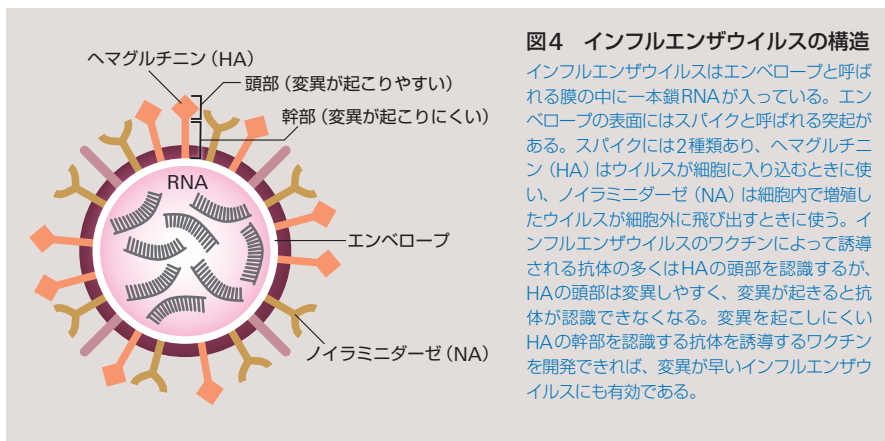


図4 インフルエンザウイルスの構造

インフルエンザウイルスはエンベロップと呼ばれる膜の中に一本鎖RNAが入っている。エンベロップの表面にはスパイクと呼ばれる突起がある。スパイクには2種類あり、ヘマグルチニン(HA)はウイルスが細胞に入り込むときに使い、ノイラミニダーゼ(NA)は細胞内で増殖したウイルスが細胞外に飛び出すときに使う。インフルエンザウイルスのワクチンによって誘導される抗体の多くはHAの頭部を認識するが、HAの頭部は変異しやすく、変異が起きると抗体が認識できなくなる。変異を起こしにくいHAの幹部を認識する抗体を誘導するワクチンを開発できれば、変異が早いインフルエンザウイルスにも有効である。

2018年4月、理研のライフサイエンス系のセンターが再編され、その一つとして、生命機能科学研究センター（BDR）が設立された。BDRの目標は、独自の視点で生物としてのヒトの発生から老化までの現象を理解し、ヒトの「健康寿命」、すなわち健康で自立した日常生活を送れる期間を長く延ばすことに貢献する生命科学の推進だ。その実現に向けた研究の構想と展望について西田栄介 BDRセンター長に聞いた。

分子から個体、発生・誕生から老化までをつなぎ、健康寿命の延伸を目指す

■ 分子から個体までの階層をつなぎ、ライフサイクル全体から老化を理解する

——ヒトの健康寿命の延伸を、BDRの目標に定めた経緯について教えてください。

西田：3年ほど前に、生命科学者を中心に物理や化学など異分野の研究者も参加して、理研の生命科学はどこへ向かうべきか議論が行われ、「ヒトの生物学」という方針が打ち出されました。その方針をもとに、この4月にライフサイエンス系センターが再編され、その一つとしてBDRが設立されました。BDRの前身の一つは、発生・再生科学の研究を進めた多細胞システム形成研究センター（CDB）です。数年前、京都大学で研究を進めていた私は、国内外の有識者が集まり次代の発生物学の展望を議論する、理研主催のシンポジウムに参加しました。そこで一致した意見は、受精卵から個体が誕生する発生過程だけでなく、誕生から老化までのライフサイクル全体に視野を広げて研究を進めるべきだ、というものです。そのようなさまざまな議論を背景に、ヒトの健康寿命を延ばす、というBDRの目標が定められました。

——どのような視点で老化研究を進め、ヒトの健康寿命の延伸につなげていくのですか。

西田：老化の過程を解析しただけでは、老化についての包括的な理解は得られません。発生から誕生、成長、子孫を残す生殖、老化まで、ライフサイクル全体から老化を捉えるという独自の視点でBDRは研究を進めます。例えばBDRには、不妊や先天性疾患のリスクとなる卵子の老化が起きる仕組みを解明している研究者がいます。また、胎児期や成長期の環境が、自身や子孫の健康や老化にどのように影響するかも重要なテーマですね。

老化を理解する上でもう一つの重要な視点は、分子から個体に至る各階層をつなぐことです。生命科学では、DNAやタン

パク質などの生体分子から細胞小器官、細胞、組織や臓器、個体に至るまで、それぞれの階層に適した手法で解析が行われています。階層が上がるごとにシステムがどのように構築され、健康が維持されているのかを知る必要があります。そして健康寿命を延ばすには、ライフサイクルのどの時点で、どのような要因で健康状態のバランスが崩れるのかを知り、病気を発症する前に予防や診断・治療を行うことが求められます。

BDRでは、分子から個体に至る各階層と、発生・誕生から老化までのライフサイクルという時間軸をつなぐことでヒトを理解し、健康寿命の延伸を目指します（12ページ図）。ただし、全ての現象をヒトで直接観察・検証することは困難です。そこで、モデル動物を使った実験や、数理科学を駆使したシミュレーション、ヒトを対象にした非侵襲的な測定などを駆使した、新しい方法論の開発が必要となります。

■ 老化の謎はどこまで解けたのか？

——西田センター長ご自身は、線虫を使って老化や寿命の研究を進めてこられたそうですね。

西田：線虫は1,000個ほどの細胞から成る全長約1mmの生物で、寿命は3週間です。1980年代末、一つの遺伝子の変異することで寿命が2~3倍に延びる線虫の変異体が見つかりました。この発見は寿命や老化という現象を、DNAやタンパク質などの分子の視点から扱えることを示しています。私もその発見をきっかけに、線虫による老化研究を始めました。寿命が延びた線虫の変異体は、インスリン/インスリン様成長因子(IGF-1)の細胞内シグナル伝達経路に関わる遺伝子に変異があります。その経路は線虫からヒトに至るまで保存されており、生物に普遍的な老化制御の仕組みに関係していると考えられます。

また、カロリー制限により寿命が延びることが、さまざまな種類の動物で確かめられています。1回当たりの食事量を減ら



西田栄介 (にしだ・えいすけ)

生命機能科学研究センター センター長

1953年、埼玉県生まれ。理学博士。東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了。東京大学理学部助手、京都大学ウイルス研究所教授、同大学院理学研究科教授を経て、1999年より同大学院生命科学研究科教授。2005～09年、同研究科長。2018年4月より現職。

すことによって寿命が延びますが、私は線虫を使って断続的な絶食によっても寿命が延びることを明らかにしました。では、なぜカロリー制限で寿命が延びるのか。いろいろな側面が分かってきましたが、明確な答えは得られていません。

老化には、経年劣化という受動的な側面だけでなく、能動的な側面もあることが分かってきました。生物には積極的に老化するプログラムがあり、寿命の長さや性成熟年齢が関連することも知られています。子孫を残す生殖を含めたライフサイクル全体から、老化を包括的に理解する必要があります。

■ 見た目でも細胞状態を予測する

——BDRの具体的なミッションについて教えてください。

西田：大きく三つのミッションを担っています(12ページ図)。一つ目は、細胞状態の予測と細胞操作です。そのために、細胞状態の「見える化」を進めます。ある細胞を顕微鏡で観察しただけで、その細胞がどれくらい老化しているかなど、内部の状態が分かるようにするという野心的な目標です。

BDRには、タンパク質の構造や機能の解析や、1個の細胞を解析する技術を持った研究者が集結しています。さらに、数理科学に基づき生体分子や細胞のモデル化と予測を進めている研究グループもあります。さまざまな種類の細胞1個1個の中で、どの遺伝子が発現して、どんなタンパク質が細胞内のどこで活動しているのかを解析するとともに、その細胞の見た目を記録します。その膨大なデータをAI(人工知能)に学習させて特徴を抽出し、この見た目のときには、この遺伝子やタンパク質が働いていて、どれくらい老化しているかなど、細胞状態を判定できるようにします。さらに細胞状態を記述できる数理モデルをつくり、1カ月後のがん化する可能性が高いなど、細胞の未来を予測できるようにすることを目指します。

見た目でも細胞状態を予測できれば、それを将来、例えば内視鏡などによる非侵襲的なヒトの診断法に応用して病気の発症予測を行い、健康寿命の延伸につなげていくことができるかもしれません。そのためにもまず、線虫のような細胞数が少なく寿命が短い生物から、より複雑な動物へ対象を広げ、ひいてはヒトの理解へつなげていきます。線虫とヒトの間をつなぐ生き物として、BDRでは、既知の脊椎動物の中で最も寿命が短い、ア

フリカン・ターコイズ・キリフィッシュの実験系を準備しています。生命科学でよく使われるゼブラフィッシュは4～5年、マウスは3年ほどの寿命ですが、キリフィッシュの寿命は4～5カ月。老化に関する実験時間を短縮化できます。先ほど紹介したインスリン/IGF-1のシグナル伝達系のような普遍的な老化制御の仕組みがある一方で、脊椎動物にしかない仕組みもあるはずです。それをキリフィッシュで見つけたいと思います。

——老化の進行を遅らせるように、細胞を操作することも可能になりますか。

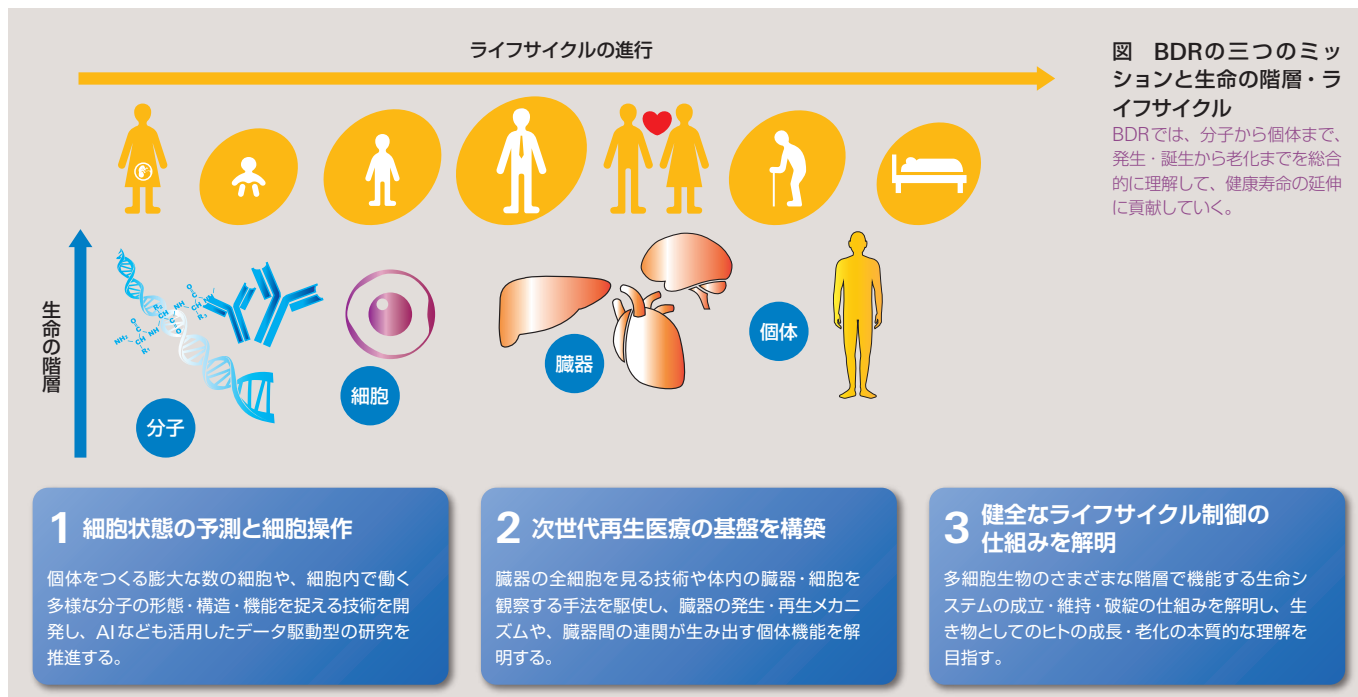
西田：老齢マウスと若年マウスの毛細血管をつなぐと、老齢マウスは若返り、逆に若年マウスの老化が進むという実験が報告されています。血管を流れる何らかの因子が老化を制御しているのです。その老化制御因子を見つける研究が行われていますが、まだ確実な因子は見つかっていないといっています。線虫には血管がありませんが、キリフィッシュにはあります。キリフィッシュなどの実験により、BDRで老化を遅らせる因子を発見できるかもしれません。

■ 試験管の中のミニ臓器を再生医療や老化研究に役立てる

——二つ目のミッションは何ですか。

西田：次世代再生医療の基盤を構築することです。試験管の中でミニ臓器(オルガノイド)をつくり、臓器の形成機構や機能を調べ、創薬や再生医療への応用を目指す研究が世界中で行われています。BDRには、iPS細胞を利用した網膜の滲出型加齢黄斑変性に対する再生医療の研究を進める高橋政代プロジェクトリーダーをはじめ、脳組織や腎臓、肺、毛包器官など、オルガノイドをつくる研究で世界トップを走る何人もの研究者がいます。

オルガノイドは老化の仕組みを探る研究にも役立ちます。組織や臓器の機能がどう維持されるのか、機能低下がどのように



起きるのかを調べるときに、体内にあるものを取り出して調べるわけにはいきません。試験管の中のオルガノイドならば、さまざまな実験が可能です。マウスの実験で老化した細胞を取り除くと寿命が伸びたという報告があります。老化した細胞が炎症などを引き起こす物質を分泌し、それがほかの組織の細胞の老化を促進することが報告されています。しかし、体内の組織や臓器の中で老化した細胞がどのようなタイミングで老化促進物質を分泌するのか、解析は始まったばかりです。オルガノイドはそのような解析にも役立つでしょう。

—それぞれの組織や臓器の機能低下は、体全体の老化にどのように結び付くのですか。

西田：脳の神経細胞が若返ると、その情報がホルモンを介して腸へ伝わり腸の細胞も若返ったという動物実験の報告があります。そのような臓器間・組織間のネットワークにより個体の健康が維持されています。現在の生命科学は、臓器間・組織間のネットワークから個体を理解する研究が大きな潮流になっています。先ほど紹介したカロリー制限と寿命の関係は、その状況を脳の神経細胞が感じ取り、脳から各臓器・組織へ情報が伝わり老化の進行を遅らせる仕組みが働くからだと考えられます。ただし、臓器や組織の一部で起きた影響が臓器間・組織間のネットワーク全体にどのような変化を引き起こすのか、ほとんど分かっていません。また、老化の中核が脳だけとは限りません。個体の恒常性維持や老化を制御する複雑なネットワークを理解するには、膨大な測定・実験データを解析して数理学に基づくシミュレーションを行う必要があるでしょう。

そして、三つ目のミッションは、健全なライフサイクルがどのように維持され、老化とともになぜ破綻してしまうのかを解明することです。一つ目の細胞状態の予測と細胞操作と、二つ目の次世代再生医療の基盤構築の研究と相互に関連させなが

ら、ライフサイクルを制御する仕組みの理解を進めます。これら三つのミッションにより、健康寿命を延ばすために本質的なことは何かを見いだせると期待しています。

■ 日本の老化研究をリードする

—BDRをどのように率いていきますか。

西田：BDRの各チームの強みを生かし、ほかのチームと協力して研究を進展させることで、老化を含めたライフサイクル研究に取り組みます。そのために、BDRの幅広い分野の研究者が集まり情報交換や議論、そして共同研究を始めています。

BDRには素晴らしい人材が集結しているので、現時点である程度想像できること、例えば、老化にはこのような分子やメカニズムが関わっているのではないかと、という仮説の検証は十分に達成できると考えています。しかし最も期待しているのは、老化制御などで想定外の現象や仕組みを発見することです。

老化研究で世界的な成果を上げている研究者が日本にもいますが、日本におけるこの分野の研究者人口は多いわけではありません。高齢化がいち早く進行している日本において、健康寿命の延伸は個人にとっても国にとっても最重要課題の一つです。

私は長年、京都大学で研究を続けてきましたが、日本の生命科学は低迷していくのではないかと危機感を抱いていました。日本の大学では研究の道へ進まない若者が増え、研究活動が低下していくことが懸念されています。BDRは大学との緊密な連携も重要視しています。大学の学生や研究者が、さまざまな分野の最先端の人材と技術がそろった理研と交流することで視野が広がり、日本全体の研究力が向上するはずですが。日本の老化研究のみならず、生命科学をリードしていきたいですね。

(取材・構成：立山 晃/フotonクリエイト)

「RIKEN和光サイエンス合宿2018」レポート

毎年、夏休みシーズンに開催される高校生対象のRIKEN和光サイエンス合宿。理研和光地区の研究室で3日間を過ごし、理研の最新研究成果に触れ、科学の最前線を全身で感じることのできるプログラムです。

今年は87人の応募者の中から選ばれた高校生16人が参加、A、B、C三つのコースに分かれ、7月25日(水)から27日(金)までの2泊3日で研究者の指導を受けながら研究活動を行いました。

北は北海道から南は沖縄まで全国から参加した高校生たちに、松本 紘 理事長は「人生百年といわれるが、人間というのは壊れやすいものです。社会や文明も同じ。それを壊さないためにどうするかを考える柱の一つがサイエンスです。いろいろな分野の知識を吸収し、つなげることを学べるのは高校生まで。知識をたくさん吸収して帰ってほしい」とエールを送りました。

最終日の午後には成果発表会を行い、質疑応答に続いて小安重夫 理事による講評を受けました。

理事は、冒頭、英語であいさつし、研究には英語も必要であることを強調した上で、各チームのしっかりした、かつユーモアあふれるプレゼンテーションに「感心した」と、実験結果はもとより考察も含めて高く評価しました。原理を理解し、結果につなげる実験を設計してくれた研究者に感謝するとともに、高校生には、実験の目的や実験計画の改善などの考察も大切というメッ

参加した16人の高校生と、生徒を受け入れた研究室の研究者たち、理事長や理事も一緒に記念撮影。



セージで締めくくりました。

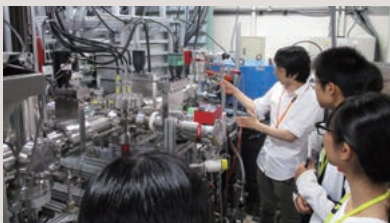
受け入れた研究室では、高校生たちに短い期間で原理を理解させ結果につながるようなプログラムを考案し、テキストの作成から学年の異なる高校生の学習レベルに合わせた指導までを行うなど、研究とは違った苦労もあったようです。それでも「自分の研究の意義や、理解しやすい説明の仕方などを再認識・再確認できた」「高校生の発表を聴いて、自分自身もほかの研究領域への興味が湧いた」「これから科学を本格的に学ぶ高校生に、非常に早い段階で現場を体験させてあげられたことをうれしく思う」といったコメントが寄せられました。

参加した高校生の1人は、「最先端の現場での実験は想像以上に難しいということが分かりました。学校でやる実験は結果が分かっているけど、研究者は答えがない領域に挑んでいるんですね」と感想を語ってくれました。

Aコース 「宇宙空間に浮かぶ分子を地上で再現してみよう！」

東原子分子物理研究室(東 俊行 主任研究員)

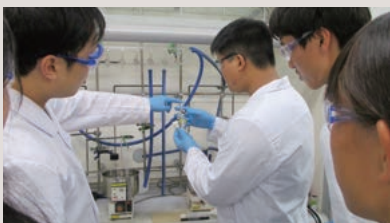
宇宙空間と同じ極低温条件をつくり出すイオン蓄積リングという装置にイオン分子のビームを導入し、その動きをモニターしながら思いどおりに動かす実験。最新の研究を支える技術の基礎を体験しました。



〈参加者の声〉 「イオンビームをコントロールして蓄積リングを10周させるのが目標です。調整をうまくしないと回らないのですが、100V、10Vと少しずつ電圧を変えて調整するのに半日かかりました。その結果、70周を達成。まだまだいけたのですが制限時間いっぱいになりました。物理の面白さを感じ、家にも学校にもない特別な装置に触れることができたのもよかったです」

Bコース 「光を電気に変えてみよう：軽くて柔らかい太陽電池をつくる！」 創発機能高分子研究チーム(但馬敬介チームリーダー)

太陽電池の材料となる有機半導体ポリマーをフラスコの中で合成することから、原理を知るための物理の理論まで、さまざまなトピックの研究を体験しました。



〈参加者の声〉 「有機材料の合成では、作製した高分子を使って光吸収測定などを行うことができました。自作の高分子は合宿の3日間では時間が足りず太陽電池製作に必要な純度には達しないので、研究室で用意してもらった材料で太陽電池も作製し、光電変換効率6.36%を達成できました。チームワークが良くないと実験ができないことがよく分かりました」

Cコース 「生命のセントラルドグマを試験管の中で再現してみよう！」 岩崎RNAシステム生化学研究室(岩崎信太郎 主任研究員)

DNAからRNAを、そしてRNAからタンパク質をつくる、というセントラルドグマの過程を一つ一つ、自分たちの手によって試験管の中に再現しました。



〈参加者の声〉 「オワンクラゲのDNAを使い、ポリメラーゼ連鎖反応や電気泳動、酵素反応などを駆使して緑色に蛍光を発するタンパク質を合成・確認しました。DNAを見たくてたまらなかったのが、参加できてよかったです。事前資料を見たら英語ばかりで予習が大変でした。理科の分野でも、英語などいろいろな学習が身に付いていて初めて理解が深まるのだと感じました」

読書の秋は「科学道100冊ジュニア」！

本誌7月号でご紹介しました「科学道100冊」に、子ども向けの「科学道100冊ジュニア」もあることはご存知でしょうか？子どもたちに科学の世界を、楽しく深く学んでほしいという思いから100冊を選書し、ご提案しています。

身の回りの自然や出来事に「なぜ？」「どうして？」と不思議

に思う気持ちは、科学の心の始まりです。

10月27日～11月9日は読書週間です。お子さんと一緒に、大人の皆さんも「科学道100冊ジュニア」を手にとってみませんか？新しい気付きや好奇心が生まれることと思います。



「なぜ？ どうして？」が科学の始まり 松本 紘 理研 理事長

「みる」という言葉にはいろいろな漢字と意味があります。「見る」は形や色を目で感じる事。「視る」は注意深く見つめること。そして「観る」は見て考えることです。科学の道はまさに、見て、視て、観ること。自然の中で見つけたものをじっと視て、もっと観て「何でだろう？」と考える。その一連のステップが、科学道の始まりです。

見る、聞く、考えるといったいろいろな体験は、その時、その場所、一度限りのもの。これに対して本は、たくさんの物事の共通点を抜き出し、全てに当てはまるように整理して書かれたものです。体験と照らし合わせて読むことで、本の価値は10倍にも100倍にもなります。本を読んで別の疑問が浮かんだら、再び自然を調べてみることもできるでしょう。自然と本の間を行ったり来たりすることが大切です。

「科学道100冊ジュニア」

「科学道100冊ジュニア」でも「科学道100冊」同様に、科学者たちのものの見方や考え方に注目し、その思考プロセスを分かりやすく六つのステップに取り出して100冊の本とともに紹介しています。

STEP6 ひろがる未来

科学の道はどこまでも、果てなく広がる未来に思いをはせる15冊。

STEP5 まほうの発明

想像力が実を結ぶ。科学の魔法と発明の驚きに出会う15冊。

STEP4 ふみだせ冒険

失敗を恐れず、いざ出発！まだ見ぬ世界に踏み出す20冊。

STEP3 世界のヒミツ

集めて見えてくる自然のルール。世界の秘密に出くわす15冊。

STEP2 とことん集める

好奇心は探求のエンジン。「不思議」のその先を追い掛けたくなる20冊。

STEP1 不思議がいっぱい

考えること、想像することがもっと楽しくなる、世界の入り口のための15冊。



「科学道100冊ジュニア」は、11月3日(土・祝)に東京・丸ビルホールで開催する「科学講演会」の会場でも手に取ってご覧いただけます。

※入場には事前登録が必要です。理研ウェブサイトから登録ください。

大阪地区と神戸地区で一般公開を開催

理研大阪地区と神戸地区で一般公開を開催します。一般公開は、誰でも自由にご参加いただける施設公開です。普段はなかなか見たり触れたりできない研究現場をご覧いただき、直接、研究者に質問することもできます。また、最先端科学を紹介す

る講演会や、お子さんも楽しんで参加いただける体験イベントも実施します。理研グッズの販売も行い、盛りだくさんの内容となっております。皆さまのご来場をお待ちしています。

※各地区ともに入場無料、雨天決行。

大阪地区

日時	2018年10月27日(土) 10:00~16:00 (入場は15:30まで)
場所	理研 大阪地区 (大阪府吹田市古江台6-2-3)
アクセス	大阪モノレール・阪急「山田」駅から徒歩10分
詳細	http://www.kobe.riken.jp/osaka-open/18/
問い合わせ	理研 大阪研究支援課 TEL:06-6155-0111



実験室で自分の手で実験器具に触ったり、微生物や動物の細胞を顕微鏡で観察したりできます。



実験動物のイラストに塗り絵をして缶バッジをつくるなど、楽しい工作コーナーもあります。

神戸地区

日時	2018年11月23日(金・祝) 10:00~16:30(入場は16:15まで)
場所	理研 神戸地区の下記3エリアで開催 西エリア：兵庫県神戸市中央区港島南町2-2-3 東エリア：兵庫県神戸市中央区港島南町6-7-3 南エリア：兵庫県神戸市中央区港島南町7-1-26
アクセス	西・東：ポートライナー「医療センター」駅下車徒歩3分 南：ポートライナー「京コンピュータ前」下車徒歩3分
詳細	http://www.kobe.riken.jp/openhouse/18/
問い合わせ	理研 神戸事業所 TEL:078-306-0111



ハ工研究者の一日を体験したり、水性ペンのインクの色を分けたり、放射線クイズに挑戦したり。生命の不思議にふれてみよう!

ありがとう「京」。そして、ようこそポスト「京」! 間もなく役割を終えるスーパーコンピュータ「京」最後の一般公開です。「京」がある計算機室に入って「京」の迫力を間近で体感しましょう! 後継機であるポスト「京」の試作機も展示予定です。



新監事に石井康彦氏

2018年9月1日、石井康彦氏が監事に就任しました。当研究所の発展に尽力された清水至監事は2018年8月31日をもって退任しました。



石井康彦 (いしい・やすひこ)

1987年3月、東京大学工学部卒業、同年4月、科学技術庁採用。原子力安全・保安院核燃料サイクル規制課長、文部科学省研究振興局ライフサイエンス課長、宇宙航空研究開発機構経営企画部次長、原子力規制委員会原子力規制庁安全規制管理官(試験研究炉・再処理・加工・使用担当)、日本学術会議事務局参事官(審議第二担当)などを経て、2017年7月より科学技術振興機構参事役(経営企画担当)。

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



仁科加速器科学研究センター イオン育種研究開発室 植物ゲノム進化研究チーム チームリーダー

風間裕介 かざま・ゆうすけ

①1977年 ②東京都 ③東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程 ④理化学研究所、オックスフォード大学 ⑤重イオンビーム変異体を用いた染色体再編成の研究 ⑥機会を待て。だが決して時を待つな ⑦セミの羽化の観察、クワガタ採集、ものまね

「けいはんな」はこんなところ

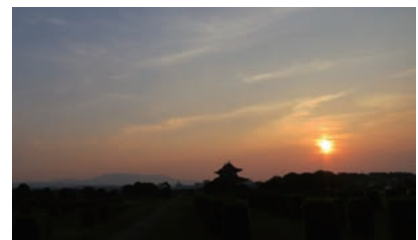
阿部圭一 あべ・けいいち

科技ハブ産連本部 科学技術ハブ推進部

科学技術ハブ推進課 けいはんな研究支援室 室長

関西文化学術研究都市（通称：けいはんな学研都市）は、京都・大阪・奈良の3府県8市町にまたがる自然豊かな丘陵地にあり、1987年に関西文化学術研究都市建設促進法が公布・施行され、本格的に都市建設が始まりました。広さは東京ドーム約712個分、12の地区から成るこの地域は、研究施設と閑静な住宅地が隣接し、2018年3月時点で立地施設数は142を数えます。産学官の協力を基調とし、科学と文化が融合した未来を拓く知の創造都市の実現が図られつつあり、精華・西木津地区では立地施設と就業人口の増加に伴い、輸送能力が従来の1.5倍という珍しい連節バスが導入されました。理研は、多方面からご支援を頂き、2年前より順次、研究機関などと連携した活動を開始しています。

東京からは約3時間、京都市内へは30分、神鹿1,300頭以上が息する奈良公園へは15km。理研バイオリソース研究センター iPS創薬基盤開発チームが入居するけいはんなプラザからは、西に奈良県と大阪府境の生駒山、南東に若草山とその麓に黄金色に輝く鴟尾を冠する東大寺の大仏殿、春日大社の御神山である御蓋山（三笠山）を望めます。広大な空の下、初春には蝦梅、椿、鶯のさえずり、新緑に染まる山々、馬酔木、雪柳、石楠花、藤、菖蒲、綾目、杜若、6月の田植え風景には鶯の姿があり、紫陽花、蓮、秋の始まりを告げる萩、風にそよぐ黄金色の稲穂、秋桜



平城宮跡大極殿と生駒山を西方に望む。

松本理事長（右から5人目）を囲んで勢ぞろいした研究支援の面々。筆者は向かって左端。

など、四季の移り変わりも身近に感じられます。

ここかしこで時節の神事や祭事が執り行われ、相撲に茶道、墨、饅頭、清酒、氷の食文化や国道等々、「日本最古」「〇〇発祥」と伝えられる歴史的な事物には事欠きません。あまたの古刹名刹をはじめ、天香久山、畝傍山、耳成山から成る大和三山に囲まれた藤原京跡、古木の桜が岸辺に連なる佐保川、360度の風景が開ける122haもの国営平城宮跡歴史公園などは何度訪れても飽きることがありません。農産物にも恵まれ地産地消にあずかり、五観の偈や六方礼拝といった作法や考え方がずっと入ってくるのは不思議です。全国有数の数を誇る国宝や2,000年前の史跡を前に、縁起や由緒を学び、時に神主や住職などからご説明を伺うと不易流行を感じ、ここで暮らし、草創の困難に立ち向かい、国家の安寧、無病息災、五穀豊穰を願い、苦しみ悩んでいる人々へ寄り添い慈善活動に尽くした先人たちの姿が目に見えます。天災火や兵火、近年では廃仏毀釈などに遭いながらも有形・無形の文化財を受け継ぎ・保存・復元してきた人々の努力や営みに崇敬の念を抱くとともに、今に感謝し今後の平和と繁栄を願う気持ちになります。

理研は昨年創立百周年を迎え、創立や研究活動に関わってきた先達の志など、組織の原点や歴史を振り返る契機となりました。そして現在、当地で活動を始めた国研としての理研には多くの期待を寄せていただいております。ご支援やご期待に応え、理研で携わる研究者や職員の想いに寄り添いながら、世の中に貢献し後代につながるように、皆さまと一緒に挑戦を続けていきたいと思えます。当地に赴任し1年強の私ですが、無知厚顔を顧みず、本稿で少しでもけいはんなの魅力をお伝えできたなら幸いです。

寄附ご支援のお願い

理研を支える研究者たちへの支援を通じて、日本の自然科学の発展にご参加ください。

問合せ先 ●理研 外部資金室 寄附金担当

Tel : 048-462-4955 Email : kifu-info@riken.jp (一部クレジットカード決済が可能です)

