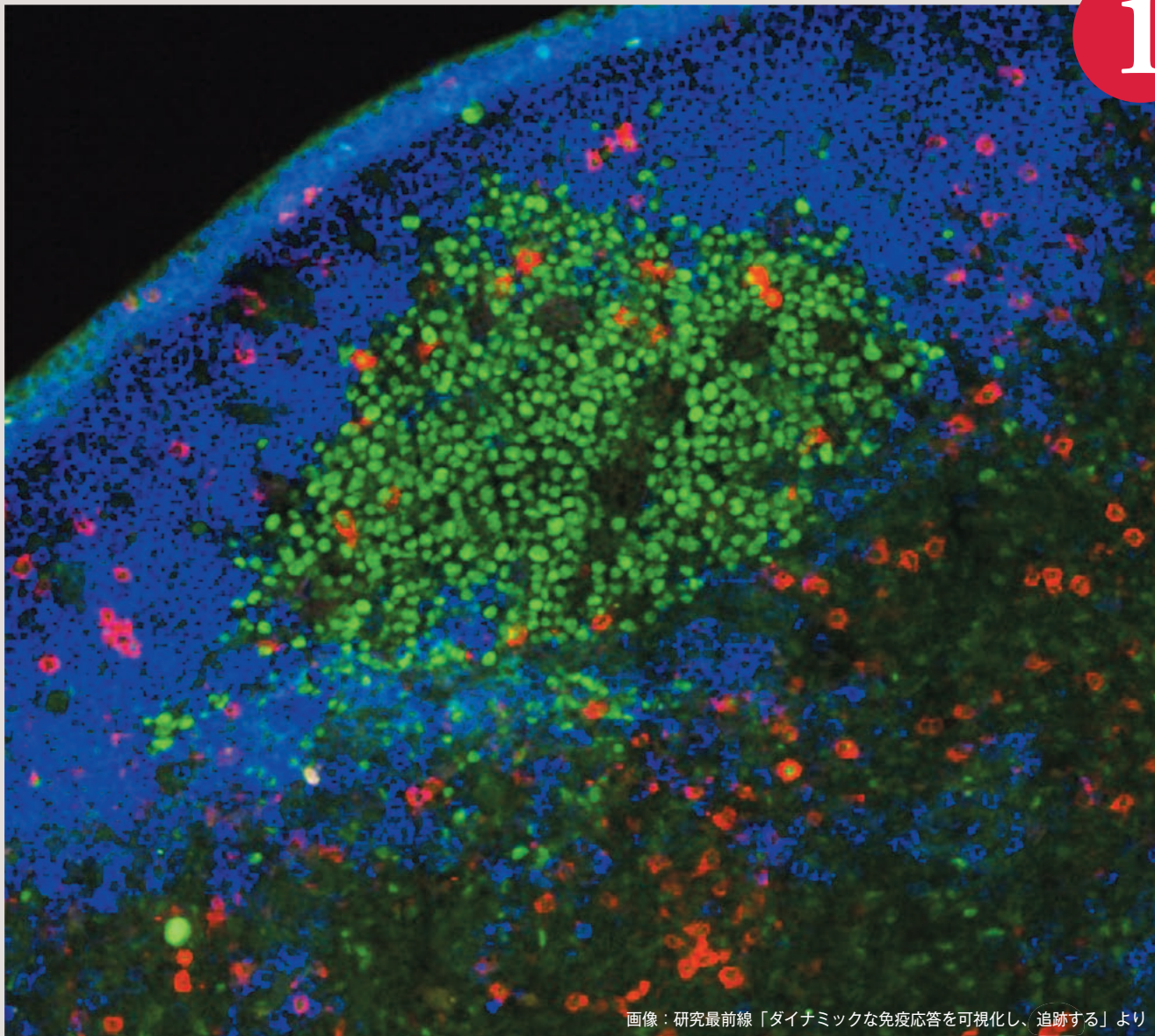


RIKEN

NEWS

No.403 January 2015

1



画像：研究最前線「ダイナミックな免疫応答を可視化し、追跡する」より

研究最前線 ②

細胞1個のすべてのmRNAを解析し、細胞の個性を知る

研究最前線 ⑥

ダイナミックな免疫応答を可視化し、追跡する

新春特別対談 ⑩

産学官連携によるイノベーションで持続可能な社会を築く

桜井正光 株式会社リコー 特別顧問
野依良治 理化学研究所 理事長



TOPICS ⑮

- ・「nano tech 2015 第14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
- ・「理研サイエンスセミナーⅧ・横からみる〇〇、科学をみる角度」開催のお知らせ

原酒 ⑰

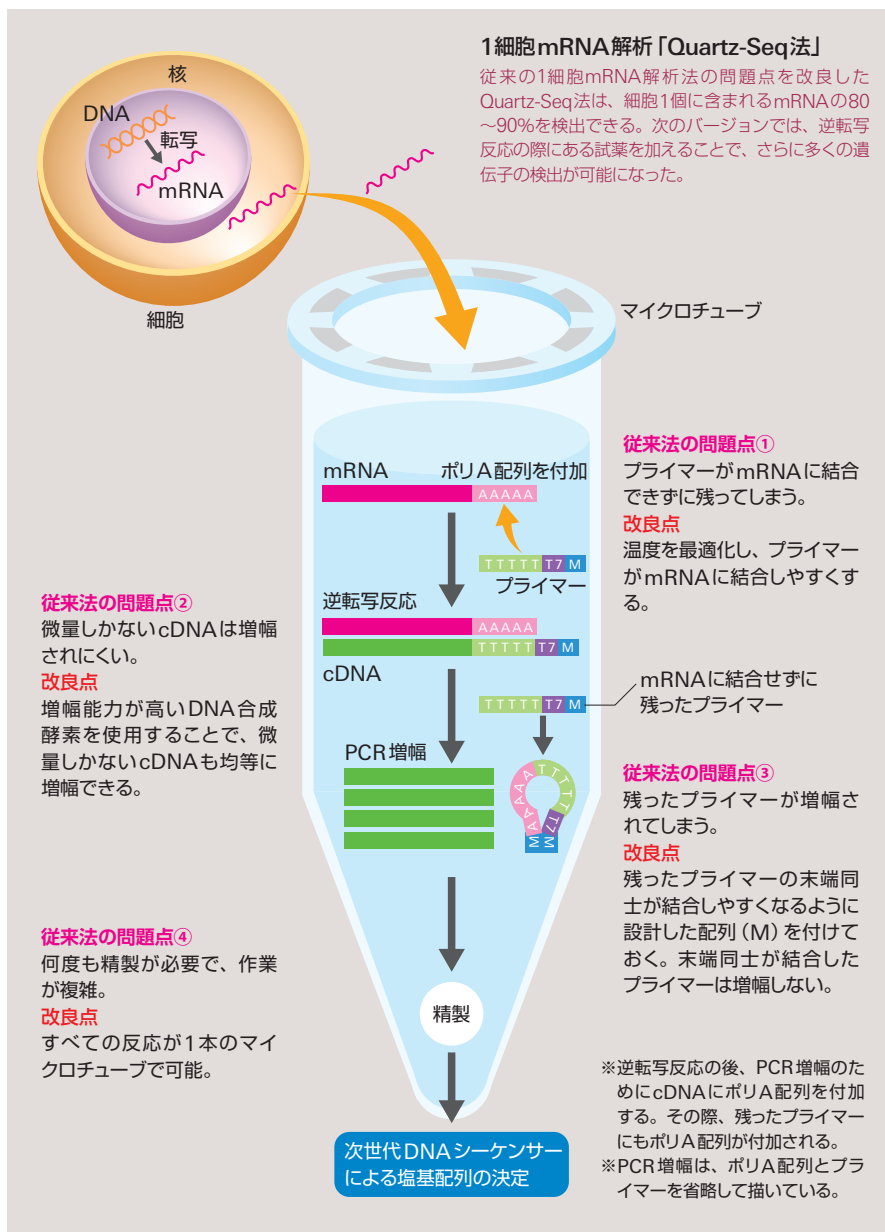
科学するところ
A Scientific Mind

「DNAの塩基配列を高速で大量に読み取る次世代DNAシーケンサーを使って、まだ誰も測ったことがないものを測り、そのデータを読み解き、生命現象を理解したい。そのための実験技術とデータ解析技術の開発に取り組んでいます」

そう語るのは、情報基盤センター バイオインフォマティクス研究開発ユニットの二階堂 愛^{いと}ユニットリーダー (UL) である。二階堂ULらは、1個の細胞に含まれる mRNA^{クオアーツ・シーク}を簡便に高精度で解析できる「Quartz-Seq法」を開発。

Quartz-Seq法を用いて細胞ごとの遺伝子発現パターンの揺らぎを捉えることにも成功した。「インフォマティクスから始まるライフサイエンス」を掲げ、生命科学に革新をもたらす技術開発を目指す、バイオインフォマティクス研究開発ユニットの取り組みを紹介しよう。

細胞1個のすべてのmRNAを解析し、細胞の個性を知る



■ バイオインフォマティクスと実験生物学の研究者が一緒に

バイオインフォマティクスとは、生物に関わる情報をコンピュータで解析する研究分野である。生命科学研究を支える重要な基盤技術として、近年、急速にその需要が高まっている。二階堂ULは、生命科学に革新をもたらすようなバイオインフォマティクス技術を開発し、多くの人に使ってもらうことを目指し、2013年4月、理研の情報基盤センターにバイオインフォマティクス研究開発ユニットを立ち上げた。

「実験を行ってデータを出す生物学の研究者と、データを解析するバイオインフォマティクスの研究者が一緒にいるというのが、このユニットの特徴です。実験と解析は別々の研究室が専業で行うことが多く、特に研究室主宰者がバイオインフォマティクス研究者というのは世界的にも珍しい構成です」と二階堂UL。

なぜ、そのような構成にしたのだろうか。「実験装置や技術が進歩し、大量の実験データが得られるようになりました。一方で、解析に時間がかかり過ぎたり、解析結果をどう解釈したらよいか分からない、といった問題が起きています。大量の実験データから意味のある結論を引き出すには、戦略を立てて実験をデザインすることが重要です。それには、

二階堂 愛 (にかいどう・いとし)

情報基盤センター
バイオインフォマティクス研究開発ユニット
ユニットリーダー

1977年生まれ。博士（理学）。横浜市立大学大学院総合理学研究科博士課程修了。埼玉医科大学ゲノム医学研究センター研究員、理研発生・再生科学総合研究センター先端技術支援・開発プログラム機能ゲノミクスユニット研究員を経て、2013年より現職。



「どういうデータが必要でどのような解析をすればよいかを知っているバイオインフォマティクス研究者と、どういう実験を行えばそのデータを得られるかを知っている生物学研究者が、隣にいて常に話し合える環境が不可欠だと考えているからです」。二階堂ULはバイオインフォマティクスが専門だ。実験生物学の中核を担っているのが、笹川洋平 上級センター研究員である。

■ 細胞1個に含まれるmRNAを解析

今、最も力を注いでいるのが、1細胞のmRNA解析の技術開発である。「細胞は1個1個、個性があります。細胞の個性はどのようにして生まれるのか、その仕組みに興味があり、理研 発生・再生科学総合研究センター（CDB：現 多細胞システム形成研究センター）の先端技術支援・開発プログラム機能ゲノミクスユニット（上田泰己UL）の研究員だった2010年ごろから、笹川さんと一緒に取り組んでいます」と二階堂UL。

私たちの体は、約400種類、約37兆個の細胞からできている。それらの細胞はすべて、1個の受精卵から分化、増殖したものである。そのため、それぞれの細胞が持っている遺伝情報、DNAは同じだ。にもかかわらず細胞が種類ごとに異なる機能を発揮するのは、働いている遺伝子が違うからである。DNAはA（アデニン）、T（チミン）、G（グアニン）、C（シトシン）という4種類の塩基で構成されており、その中でタンパク質の設計図となっている領域が遺伝子だ。ヒトには2万3000個ほどの遺伝子がある。

「最近では、同一種の細胞であっても、個々の細胞で働いている遺伝子が少しずつ違っていることが分かってきました。細胞の個性を知るには、集団ではなく、1個ずつ調べる必要があるのです」

細胞で働いている遺伝子を調べる方法で最もよく使われているのが、mRNAシーケンス解析だ。遺伝子が働くときには、遺伝子領域のDNAがmRNAに転写され、mRNAの塩基配列に従ってアミノ酸が連なり、タンパク質が作られる。どのmRNAがどのくらいあるかを調べることで、遺伝子の発現パターンが分かる。しかし、mRNAは不安定で扱いにくい。そこで、mRNAを逆転写して相補的な塩基配列を持つcDNA（相補的DNA）をつくり、次世代DNAシーケンサーで塩基配列を読み取っていく。連続して読み取ることができる塩基は50～300個ほどなので、コンピュータを用いてデータ解析してつなぎ合わせ、データベースと照合してどの遺伝子かを特定する。

「1細胞のmRNA解析には、スウェーデンのカロリンスカ研究所が開発した

スマート・シーク

Smart-Seq法が多く使われています。しかし、Smart-Seq法では細胞に含まれるmRNAの20～30%しか捉えることができません。細胞の個性を知るには不十分です。それならば、高精度の新しい手法を自分たちでつくってしまおうと考えたのです」

■ 高精度で簡便なQuartz-Seq法を開発

「従来の方法ではなぜmRNAの20～30%しか捉えられないのか、その原因を突き止めることから始めました。その結果、cDNAを増やす過程に問題があることが分かりました」と二階堂UL。

DNAシーケンサーは、100ng（n=ナノは10億分の1）以上のDNAがなければ解析できない。しかし、細胞1個に含まれるmRNAはわずか0.1pg（p=ピコは1兆分の1）だ。1細胞のmRNAを解析するには、mRNAから逆転写反応によってつくったcDNAを、PCRという方法で大量に増やす必要がある。一方で、逆転写反応を起こすには、mRNAにプライマーという特定の塩基配列を持った

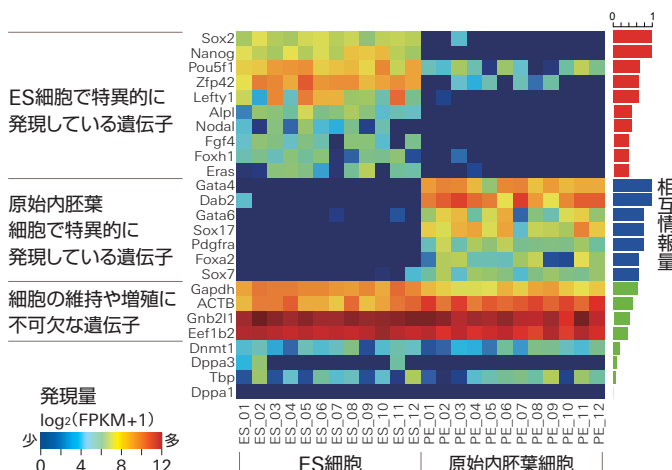


図1 細胞の種類による遺伝子発現の違いの検出

マウスのES細胞12個と、ES細胞から分化した原始内胚葉細胞12個について、Quartz-Seq法で1細胞ずつmRNAを解析した。ES細胞と原始内胚葉細胞でそれぞれ特異的に発現している遺伝子があり、その発現パターンから二つの細胞を区別できる。相互情報量は二つの細胞での遺伝子発現の違いを示し、多いほど、両者の遺伝子発現パターンが違うことを示す。

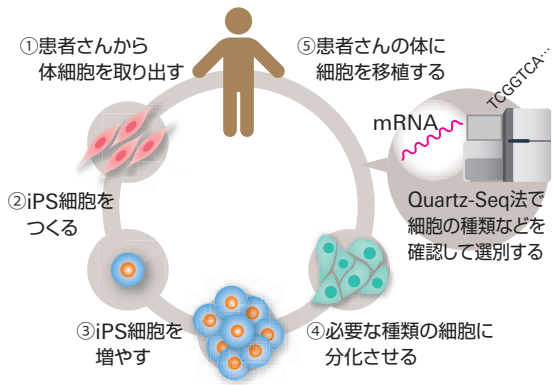


図2 再生医療の流れと1細胞 mRNA解析の貢献

再生医療では、まず患者さんから取り出した体細胞からiPS細胞をつくる。iPS細胞を増やした後、必要な細胞に分化させて患者さんに移植する。Quartz-Seq法を用いて遺伝子の発現パターンを調べることで、必要な種類の細胞だけを、しかも状態の良い細胞を選んで移植できる。

DNA断片を結合させなければならない。少ないmRNAが漏れなく逆転写反応を起こすようにmRNAの数よりはるかに多いプライマーを添加するため、大量のプライマーがmRNAに結合しないで残ってしまう。その結果、増幅時にプライマーばかり増えてしまい、肝心のcDNAが増えないのだ。

不要なプライマーが増幅されるのを防ぐため、まずmRNAとプライマーを結合させる温度を最適化し、結合せずに残ってしまうプライマーを減らした。さらに、プライマーの末端の塩基配列を設計し、残ったプライマーは末端同士が結合して増幅しないようにした。また、微量しか存在しないcDNAも効率よく増幅できるDNA合成酵素を選び出した。「そうした改良の結果、細胞1個に含まれるmRNAの80~90%を捉えることができるようになりました」と二階堂UL。簡便さも重要な課題だった。「従来の方法は何度も精製が必要で、作業が複雑でした。私たちの方法は、逆転写反応から精製まで1本のマイクロチューブで済み、とても簡単です。この手法をQuartz-Seq法と名付けました」(タイトル図)

■ 遺伝子発現パターンの揺らぎを捉えた

二階堂ULらは、マウスのES細胞(胚性幹細胞)とES細胞から分化した原始内胚葉細胞について、Quartz-Seq法を用いて1細胞ずつmRNA解析を行った。すると、ES細胞と原始内胚葉細胞では発現している遺伝子の種類や量が異なることが明らかになった(図1)。

さらに、同じ条件で培養したマウスの

ES細胞を、細胞分裂の細胞周期ごとに分けて解析した。種類が異なる細胞同士の違いより小さいが、遺伝子発現パターンに違いがあることが分かった。Quartz-Seq法は、細胞の種類だけでなく、細胞周期も区別できるのだ。

次に、同じ条件で培養した同じ細胞周期にあるマウスのES細胞を解析。すると、細胞周期が異なる細胞同士の違いより小さい、わずかな遺伝子発現パターンの違いを検出した。それは、解析の誤差ではないことも確かめられている。「mRNAの20~30%しか捉えることができない従来の方法では、こうした遺伝子発現パターンのわずかな揺らぎを検出することはできません。しかし、単に性能が良いだけでQuartz-Seq法が普及するとは限りません。キット化して使いやすくすることも重要です。1細胞mRNA解析の主流をQuartz-Seq法に変えることを狙っています」

■ 再生医療にも貢献

Quartz-Seq法は、従来の手法よりはるかに高精度で簡便だが、二階堂ULらはまだ満足していない。「やはり100%を目指したいですね。私たちは究極まで性能を突き詰めていくのが好きなんです。さらなる改良に取り組んでいます」

林 哲太郎 センター研究員と笹川 上級センター研究員と共に取り組んでいるのは、新しい逆転写反応の開発である。「1細胞mRNA解析法を開発している人の多くは、増幅の改良に注力しています。しかし、mRNAを取りこぼさなくcDNAにすることができなければ、いく

ら増幅を改良してもmRNAを100%捉えることはできません」と二階堂ULは指摘する。

さまざまな検討を行った結果、ある試薬を加えると、逆転写反応の効率が大幅に向上することが明らかになった。普通は1個のmRNAからcDNAは1個しかできないが、その試薬を加えると10~100個のcDNAができるのだ。「細胞に含まれるmRNAのうち10~20%が捉えられていませんでしたが、それを数%に減らせる見込みが出てきました。逆転写反応の効率向上は、RNAを扱うさまざまな研究にも役立ちます」

検出可能な遺伝子の割合を上げる一方で、解析できる細胞の数を増やすために、ロボットによる自動化にも取り組んでいる。また、現在は1個の細胞を1本のマイクロチューブで反応させているが、逆転写反応の際にDNAに目印を付けることで、それ以降の反応を数百個の細胞をまとめて1本のマイクロチューブで行わせる技術も開発中だ。

「高精度なQuartz-Seq法で、たくさんの細胞を解析できるようになれば、再生医療などにも貢献できます」と二階堂UL。再生医療では、iPS細胞(人工多能性幹細胞)やES細胞から必要な種類の細胞をつくって患者さんに移植することで、病気やけがなどによって失われた機能を回復させる。分化させた細胞の遺伝子発現パターンを調べることで、必要な種類の細胞だけを、しかも状態の良い細胞を選んで移植できる(図2)。また、現在の再生医療では、iPS細胞やES細胞からいかに簡単・確実に必要な種類

関連情報

●2013年7月25日プレスリリース

「細胞1個の遺伝子発現を網羅的に定量化する「Quartz-Seq法」を開発」

の細胞に分化させるかが一つの課題となっている。どの種類の細胞に分化しやすいかは、遺伝子発現パターンの揺らぎと関連しているらしい。その関連が分かれば、細胞の分化誘導法の開発に役立つと期待されている。

「どの遺伝子の発現が細胞の選別や分化誘導の指標になるかを知るには、Quartz-Seq法で得られた大量のデータを解析する必要があります。私たちは、オンライン学習という生物学ではまだ使われていないアルゴリズムを取り入れた大規模データ解析技術を開発しています」。オンライン学習ではデータを少しずつ計算していくので、大型のコンピュータがなくても大量のデータを解析できる。「DNAシーケンサーの進化は速く、コンピュータの進化を待ってられません。データ解析に新しいアルゴリズムや最新の数理学を取り入れることは重要です」

■ クラウドでデータ解析環境とコンピュータを提供

データ解析技術では、ほかにどのような課題があるのだろうか。「大量のデータを取ったものの、解析できずに途方に暮れている実験生物学研究者がたくさんいます。理由を聞くと、大量のデータを解析できるコンピュータがないと言います。また、データ解析では数十のプログラムを組み合わせる必要があるのですが、どう組み合わせたらいいかが分からないという声も多いです。そうした問題を解決すべく、技術開発を進めています」

ポイントは二つだ。一つ目は、クラウドコンピューティング。情報基盤センターにコンピュータを導入し、それをネットワーク経由で利用できるようにする(図3)。二つ目は、BioDevOps。[IT業界では製品の開発環境と運用環境を自動的につくるプログラム技術があり、

開発と運用を意味する Development と Operations を組み合わせて DevOps と呼ばれています。それを生物学に取り入れ、最新のデータ解析環境を構築しています」と二階堂ULは解説する。

「コンピュータを用意して自分でプログラムを組まなくても、ブラウザ上で操作するだけで、ネットワーク経由で情報基盤センターのコンピュータを使って最先端の解析環境でデータ解析ができる。そんな仕組みをつくらうとしています」

■ インフォマティクスから始まるライフサイエンス

ユニットの今後の戦略は? 「バイオインフォマティクスと実験生物学の融合はうまく進んでいます。今後は、ハードウェアの研究者を加えたいですね。実験技術とデータ解析技術に加え、実験装置もセットで提供できれば、多くの人が新しい技術を使いやすくなるでしょう」

二階堂ULは「インフォマティクスから始まるライフサイエンス」を標榜している。「実験生物学研究者から依頼されてデータを解析するのではなく、バイオインフォマティクスの研究者が先導して実験をデザインすることで、生命科学に革新をもたらしたいですね」。温めているアイデアもある。「遺伝子発現のネットワークを一挙にシーケンスする技術を開発中です。高度なデータ解析技術が必要ですが、私が知りたかった細胞の個性がどのように生まれてくるのかも明らかにできると期待しています」

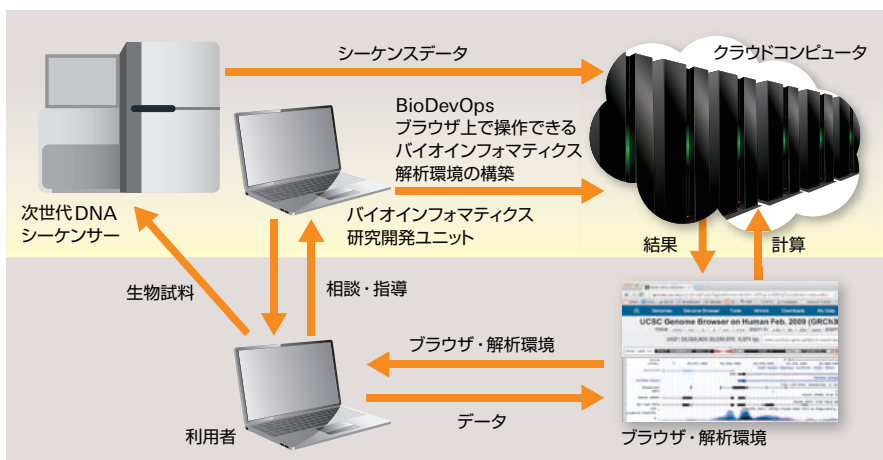


図3 次世代ゲノムシーケンサー解析のためのクラウドコンピュータシステム

バイオインフォマティクス研究開発ユニットでは、BioDevOps技術によってブラウザ上で操作できるバイオインフォマティクス解析環境を構築する。利用者は、ネットワーク経由で情報基盤センターのクラウドコンピュータを使って、最先端の解析環境でデータ解析ができる。

(取材・執筆: 鈴木志乃/フォトンクリエイト)

生物には、外界から侵入してきた病原体や花粉などの異物（抗原）を排除して体を防御するシステムが備わっている。その免疫応答にはたくさんの種類の細胞が関わっており、とても複雑で、とてもダイナミックだ。統合生命医科学研究センター（IMS）組織動態研究チームの岡田峰陽チームリーダー（TL）は、免疫細胞の振る舞いを可視化することによって免疫応答のメカニズムを明らかにしようとしている。抗原の侵入によってB細胞とT細胞が分化し、免疫応答に重要な反応が起きる胚中心という場所へ移動していく様子を捉えることにも成功した。また、胚中心の形成・維持に重要な因子を発見。高性能な抗体の産生を促進させる新しいワクチンの開発につながると期待されている。

ダイナミックな免疫応答を可視化し、追跡する

■ 免疫細胞の振る舞いを見る

「自分の目で見なければ分からないことって、ありますよね」と岡田TLは言う。「私は、どの免疫細胞が、いつ、どこで、何をしているのかを生きた組織で見ることで、免疫応答がどのように制御されて

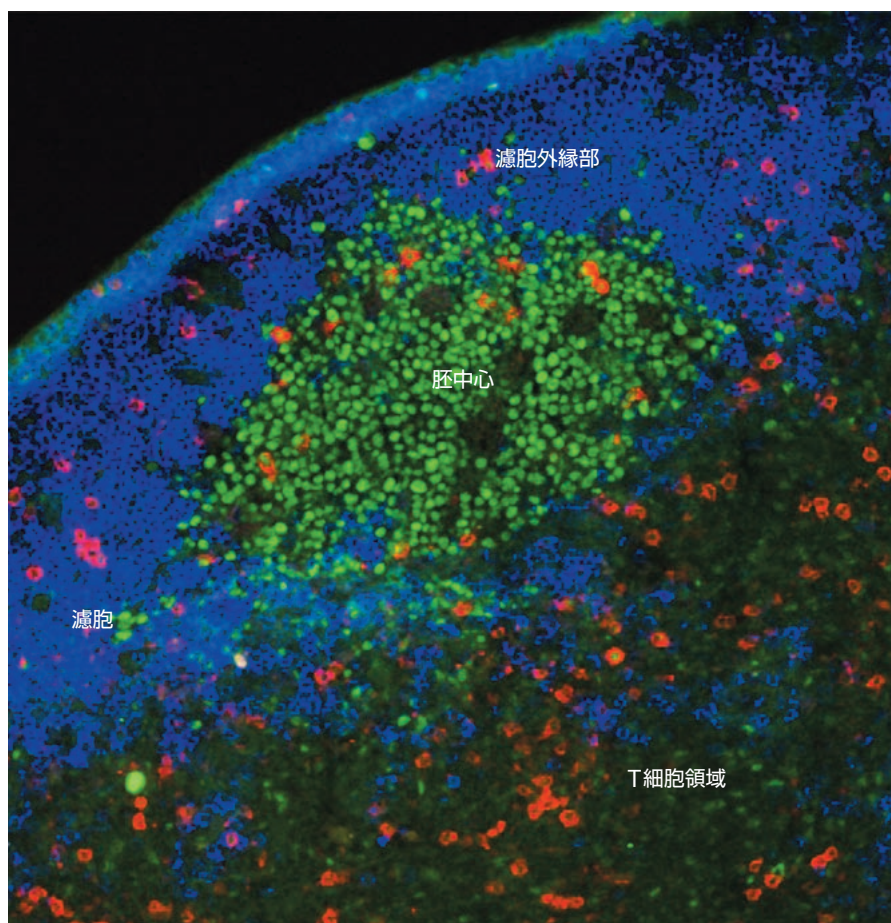
いるのかを解き明かそうとしています」免疫とは、外界から生体内に侵入してきた細菌やウイルスなどの病原体、花粉などの異物（抗原）を排除して生体を防御するシステムである。「免疫応答には、たくさんの種類の細胞が関わって

います。しかも体内を動き回り、細胞間でコミュニケーションしながら働いています。免疫応答は複雑でダイナミックな現象だからこそ、可視化によって初めて分かることがたくさんあるのです」

■ 胚中心は抗体の機能を高める場

免疫細胞の中で岡田TLがまず注目したのは、B細胞である。B細胞は、体内に侵入した抗原だけに結合する抗体をつくって分泌する。抗体が結合した抗原は、免疫細胞のマクロファージなどによって分解される。

B細胞が抗体をつくるまでの流れを、簡単に説明しよう。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。リンパ節では濾胞と呼ばれる領域に集まっている（タイトル図）。抗原がリンパ管を介してリンパ節に運ばれ、B細胞の表面にある抗原受容体に結合すると免疫応答がスタートし、B細胞は活性化する。いくつかの過程を経て分化したB細胞はやがて濾胞の中央へ移動していき、胚中心と呼ばれる構造ができる。胚中心では、抗体の遺伝子に変異が起り、さまざまな抗体を持つB細胞がつくられる。その中から抗原に結合する能力の高い抗体を持つB細胞が選別され、抗体を大量につくる細胞（抗体産生細胞）へと分化する。また、胚中心のB細胞の一部はメモリーB細胞となっ

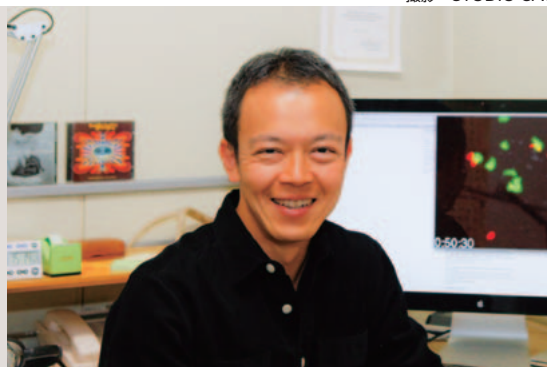


リンパ節における免疫細胞の分布と胚中心

青色は、免疫応答をしていないB細胞（ナイーブB細胞）で、それらが集まっている領域を濾胞と呼ぶ。緑色は、転写因子のBcl6を発現したB細胞と濾胞性ヘルパーT細胞で、濾胞の中央に集まって胚中心を形成している。赤色は、免疫応答中のT細胞である。

岡田峰陽 (おかだ・たかはる)
 統合生命科学研究センター
 統合計測・モデリング研究部門
 組織動態研究チーム
 チームリーダー

1971年、大阪府生まれ。博士(学術)。京都大学工学部高分子化学科卒業。同大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻修士課程修了。総合研究大学院大学生命科学研究科博士後期課程修了。米国カリフォルニア大学サンフランシスコ校博士研究員などを経て、2008年より理研免疫・アレルギー科学総合研究センターユニットリーダー。2013年より現職。



て骨髄に移動し、長期間生存する。同じ抗原が再侵入したときは前回より速やかに免疫応答が起きることが知られている。この免疫記憶を担っている細胞の一つが、メモリーB細胞である。

「胚中心は、高性能な抗体の産生や免疫記憶の形成など重要な反応が起きる場所です。しかし、胚中心がどのようにつくられ、B細胞がどのように胚中心に移動してくるのかは、よく分かっていませんでした。私は、イメージングによってB細胞の分化や動きを追うことで、それを明らかにしようと考えました」

■ B細胞の胚中心への移動を可視化

岡田TLはBcl6という転写因子に注目した。胚中心にあるB細胞は必ずBcl6を発現していることから、胚中心への移動に重要だと考えたのだ。Bcl6を発現している細胞が蛍光を発するようにした遺伝子改変マウスを作製し、B細胞におけるBcl6の発現と細胞移動を詳細に調べた。

まず、フローサイトメトリーを使った解析を実施。これは、組織から取り出した細胞を1列に並ぶように高速に流しながら、細胞1個1個の状態を解析する方法である。蛍光の有無から細胞がBcl6を発現しているかどうか分かる。これによってB細胞がBcl6を発現し始めるタイミングを特定し、そのタイミングに焦点を絞って組織切片の観察を行った。その結果、抗原が侵入するとB細胞は濾胞外縁部でBcl6の発現を開始することが明らかになった(図1)。

次に、2光子励起レーザー蛍光顕微鏡

を用いて、生きた組織でB細胞の動きを観察した。この特殊な顕微鏡は、蛍光分子が2個の光子を同時に吸収して励起状態になって発する蛍光を捉える。励起光の波長は1光子励起の約2倍長いので散乱が少なく、励起光が深部まで届く。また2光子励起は、レーザーの通り道すべてではなく、組織中の狙った焦点のみで起こる。こうした特性によって高解像度の3次元画像を得ることができる。

「免疫応答が始まると、B細胞が濾胞外縁部から胚中心へと移動していく様子を捉えることができました(図2)。一方、Bcl6の機能が欠損しているマウスの組織を観察したところ、B細胞は胚中心へ移動しませんでした。これらの結果から、B細胞が胚中心へ移動するための分化は濾胞外縁部で始まること、B細胞が胚中心に移動するにはBcl6の発現が必

須であることが明らかになりました」

■ T細胞の振る舞いも可視化

岡田TLはさらに、T細胞についてBcl6の発現と細胞移動を同様の方法で調べた。なぜT細胞も調べる必要があるのだろうか。「B細胞の免疫応答には、T細胞の助けが不可欠だからです」と岡田TL。T細胞の中でもヘルパーT細胞は、ほかの免疫細胞と接触してシグナルを送ったり、サイトカインという物質を分泌したりして、その免疫細胞の分化や機能を調整する。

リンパ節でT細胞は、濾胞とは別の領域に集まっている。抗原が侵入するとT細胞は増殖する。一部はBcl6を発現して濾胞性ヘルパーT(TFH)細胞に分化し、濾胞に移動することが分かった(図1)。そしてBcl6の発現量がさらに増えた

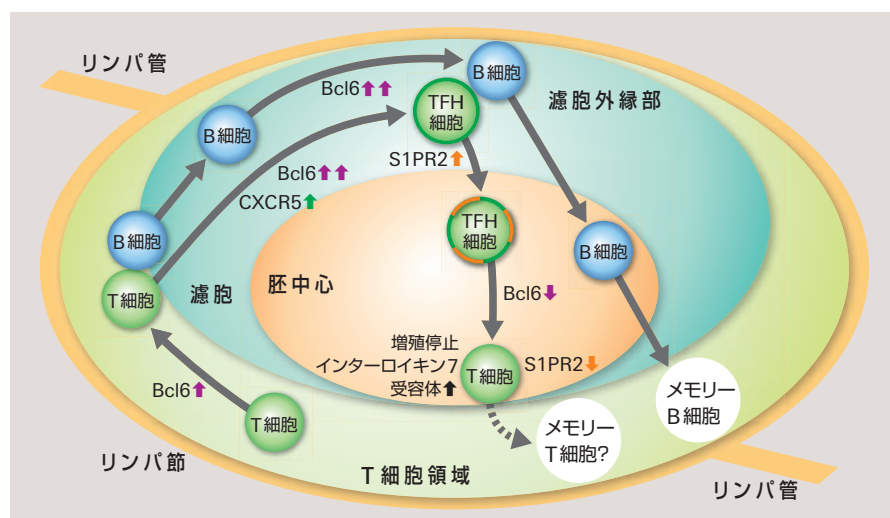


図1 リンパ節内におけるBcl6・S1PR2の発現とB細胞・T細胞の動き

抗原が侵入すると、B細胞はT細胞領域の境界付近でT細胞と相互作用した後、濾胞外縁部に移動し、転写因子Bcl6を発現する。Bcl6を発現したB細胞は、胚中心に移動する。一方、T細胞の一部はBcl6を発現し、濾胞に移動して濾胞性ヘルパーT(TFH)細胞になる。このときの移動には、受容体CXCR5の発現が必須である。TFH細胞の一部は胚中心へ移動する。TFH細胞が胚中心に移動して、そこにとどまるためには、受容体S1PR2の発現が必須である。

野生型 Bcl6欠損型

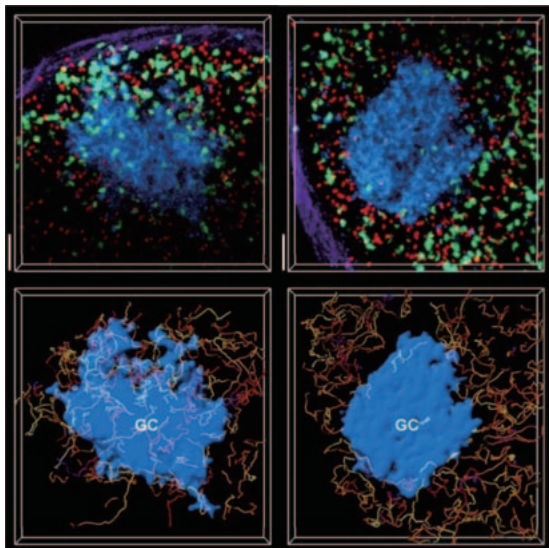


図2 B細胞のBcl6発現と濾胞外縁部から胚中心への移動

上は、2光子励起レーザー蛍光顕微鏡によるイメージング像で、青が胚中心、緑が免疫応答中のB細胞、赤が応答していないB細胞を表す。下は、免疫応答中のB細胞の移動の軌跡（オレンジ色の線）で、青い部分が胚中心を示す（GC）。Bcl6が発現しているB細胞は、胚中心に移動していく。Bcl6の機能が欠損している遺伝子変異マウスの場合、B細胞は胚中心に入っていくことができない。

ものは胚中心へ移動する。「TFH細胞が胚中心に移動するのもBcl6の発現が必須であることが確かめられました。しかし意外なことに、胚中心に移動したTFH細胞の多くは、やがてBcl6の発現を低下させていくのです」

胚中心にあるB細胞はずっとBcl6を発現している。B細胞は、胚中心で抗体を改良し、選別を受け、抗体産生細胞へ分化しなければならない。そのためにはBcl6を発現し続ける必要があるのだ。

では、TFH細胞でBcl6の発現が低下するのはなぜか。岡田TLの考えはこうだ。「胚中心の反応が進むにつれて、抗原に結合する能力の高い抗体を持つB細胞だけが残ります。それでもさらに抗原への結合能力を高めるために、遺伝子変異と選別は続きます。選ばれた者同士のさらに熾烈な競争です。このとき、B細胞を助けるTFH細胞の数が多過ぎると選別が甘くなります。そうならないために、必要数以上のTFH細胞はBcl6の発現を低下させて、胚中心から出ていくのではないのでしょうか」

Bcl6の発現を低下させたTFH細胞では、インターロイキン7というサイトカインに対する受容体が発現する。それは、免疫記憶を担うメモリーT細胞の特徴の一つだ。「胚中心で選別者としての役割を終えたT細胞は、メモリーT細胞となって血液中などで抗原の再侵入に備えるのでしょう」

■ T細胞の胚中心への局在を制御

「Bcl6の発現を調べることで、B細胞とT細胞が分化する場所、そして胚中心への移動経路が明らかになりました。しかし、Bcl6は遺伝子の発現を調節する転写因子であり、細胞の分化や移動を直接制御しているわけではありません。その機構を明らかにするには分化や移動に直接関わっている因子を突き止める必要があります」と岡田TLは指摘する。

細胞移動に直接関わっているのは普通、細胞の表面にある受容体である。T細胞が濾胞に移動する際、ケモカインというタンパク質の受容体CXCR5が重要であることが知られていた（図1）。しかし、CXCR5を欠損させてもTFH細胞は胚中心に移動する。

「TFH細胞が胚中心に移動するには、CXCR5のほかにも重要な受容体があるはずだと考えました。胚中心のTFH細胞に多く発現している受容体を探すと、脂質の一種であるスフィンゴシン-1-リン酸の受容体S1PR2が見つかりました。そこで、S1PR2を発現した細胞が蛍光を発する遺伝子改変マウスを作製し、T細胞でのS1PR2の発現や移動を調べました」。その結果、TFH細胞が胚中心に移動し、そこにとどまるには、S1PR2の発現が重要であることが分かった（図1）。S1PR2が発現しているTFH細胞は胚中心にとどまろうとするが、S1PR2が欠損しているTFH細胞は

胚中心から出ていってしまう（図3）。

■ 新しいワクチン開発へ期待

「TFH細胞が胚中心にとどまるのに重要な因子の発見は、高性能な抗体の産生を促すという新しいワクチンの開発につながる可能性があります」と岡田TL。

抗体は多様で、侵入してくるあらゆる抗原に対応できるようになっている。しかし、ヒト免疫不全ウイルス（HIV）やインフルエンザウイルスは頻繁に大きな変異を起こすため、抗体が対応できない場合があり、予防や治療上の問題になっている。一方で最近、変異したウイルスにも対応できる高性能な抗体、広域中和抗体を産生している人が、ごくわずかだがいることが分かってきた。「広域中和抗体は、従来の抗体では考えられないほど遺伝子に変異が起きています。胚中心でB細胞の抗体の遺伝子に変異が起これば改良されていくので、胚中心に長くいれば、変異が蓄積し、広域中和抗体ができる可能性があります」

B細胞の抗体の遺伝子に変異が起きたり、抗体の型によって選別を受けたりするには、TFH細胞の助けが必要だ。また、TFH細胞がなくなると、胚中心が消失してしまうことが知られている。「TFH細胞のS1PR2の発現を制御できれば、TFH細胞を胚中心にとどめておくことで胚中心を長く維持し、反応を継続させることができます。先ほど、抗原により強く結合するB細胞を厳しく選別するためにTFH細胞は徐々に胚中心から出ていくのではないかと、言いました。しかし広域中和抗体は、必ずしもほかの

関連情報

- 2014年6月9日プレスリリース
「抗体を産生する免疫応答に重要なT細胞の動きを制御する仕組みを解明」
- 2011年6月3日プレスリリース
「Bリンパ球の免疫応答の様子をリアルタイムで可視化」

抗体に比べてウイルス抗原により強く結合するものではありません。ウイルス抗原の変異できない部分、変異してしまうとウイルスの機能が損なわれる部分に結合するらしいのです。そのような抗体を持つB細胞が生き残るには、通常の厳しい競争ではなく、抗体の多様性を許容するようなより緩やかな選別がよいのかかもしれません。S1PR2の発現制御によって胚中心のTFH細胞の数を操ることができれば、そのような緩やかな選別が可能になるかもしれません」

■ 長期的な運命追跡の実現

組織動態研究チームでは今後、どのように研究を進めていこうとしているのだろうか。「長期的な運命追跡を実現したい」と岡田TL。「免疫細胞は動き回り、短時間でダイナミックに変化します。それが免疫細胞のイメージングの面白さですが、同時に弱点でもあります」

例えば神経細胞はほとんど動かない

ので、同じ細胞を1日1回、1ヶ月間イメージングして変化を追うこともできる。しかし、免疫細胞は組織内だけでなく、体中を移動する。そのような細胞を長期間追跡できるイメージング技術はない。

現在は、特定の遺伝子が発現している細胞が蛍光を発するようにして、それを追跡している。しかし、その遺伝子の発現がなくなれば蛍光も消えるため、追跡できなくなってしまう。そこで岡田TLは、光に反応するタンパク質を利用することを検討している。まず、光反応性タンパク質の遺伝子に蛍光タンパク質の遺伝子をつなぎ、それを導入した遺伝子改変動物を作製する。顕微鏡で観察しながら追跡したい細胞を決め、光反応性タンパク質が反応する特定の波長の光を照射する。すると、光を照射した細胞はずっと蛍光を発するので、長期にわたって追跡することが可能になる。

「メモリーT細胞やメモリーB細胞が免疫記憶を担っているといわれますが、そ

の仕組みはよく分かっていません。胚中心から追跡できれば、どういう細胞がメモリー細胞となり、どこで何をしているのかが明らかになると期待しています」

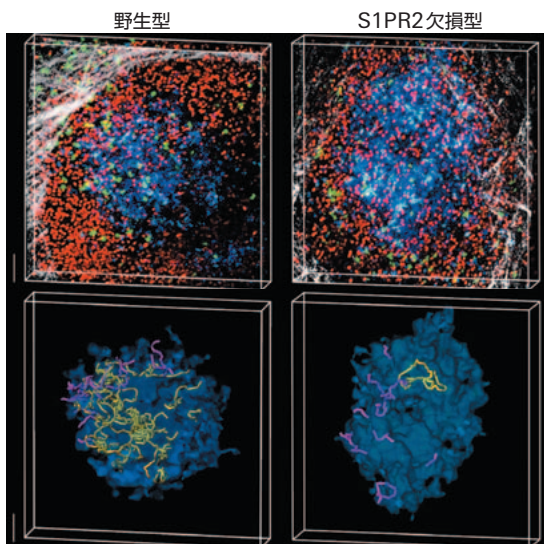
■ 疾患を理解し、治療へつなげる

組織動態研究チームが属しているIMSは、科学分野の枠を超えて革新的な医療をつくり出すことを目指している。「免疫疾患の研究にイメージングを取り入れることで、疾患を理解し治療法の開発につなげていきたいと考え、アトピー性皮膚炎や自己免疫疾患の研究をIMS内の共同研究として始めています」

アトピー性皮膚炎は、本来は無害な物質に対して過剰に反応してしまうアレルギー疾患である。「アトピー性皮膚炎の最大の特徴は、かゆみです。かいてしまうと傷ができて炎症が悪化し、かゆみがさらにひどくなってしまいます。炎症によって神経が変化するといわれていますが、それが一体どういう変化なのか、まだまだ明らかになっていません。それを3次元、4次元イメージングによって明らかにすべきだと考えています」

イメージングの魅力は？「細胞の形が美しかったり、ほかの細胞とくっついたり離れたたりダイナミックに動く姿を見ると、ワクワクします。それが自分が世界で初めて見るものだったら、さらに興奮し研究のモチベーションも上がります。これからも、研究を共にさせていただいている方々と、まだ誰も見ていない生命現象を4次元で見たい。生命の理解にはそれが不可欠だと思っています」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトクリエイト)



緑：T細胞
青：胚中心B細胞
赤：胚中心以外のB細胞
白：リンパ節被膜

図3 濾胞性ヘルパーT細胞のS1PR2発現と胚中心からの移動

上は、2光子励起レーザー蛍光顕微鏡を用いた胚中心とその周辺のイメージング像。下は、胚中心にある濾胞性ヘルパーT (TFH) 細胞の軌跡。S1PR2を発現しているTFH細胞は、その多くが胚中心にとどまろうとする(黄色)。S1PR2を欠損しているTFH細胞は、胚中心にとどまろうという挙動が見られず、その多くが胚中心から出ていく(ピンク)。

青：胚中心
黄：胚中心に戻るTFH細胞の軌跡
ピンク：胚中心から出ていくTFH細胞の軌跡

桜井正光 × 野依良治

株式会社リコー 特別顧問

理化学研究所 理事長

産学官連携によるイノベーションで 持続可能な社会を築く

■なぜ日本では科学技術イノベーションが生まれにくいのか

——**司会**：今日は、理研と深いつながりがある株式会社リコーの桜井正光 特別顧問をお迎えしております。今日は野依理事長が掲げる「世の中の役に立つ理研」を推進するために、理研と産業界がどのように連携すべきかについて意見を交わしていただきたいと思います。

野依：まず、日本の科学技術イノベーションの現状について、私の危機感を述べさせていただきます。わが国では基礎科学の成果が多く出ていますが、それが世の中の役に立つ形にうまくつながっていません。何かが欠けていると思います。

欧米では、「役に立たない」といわれる基礎科学が大きなイノベーションをもたらしています。例えば、2013年のノーベル物理学賞はヒッグス粒子の研究に贈られましたが、その発見をもたらしたヨーロッパ原子核研究機構（CERN）の活動から、インターネットのワールド・ワイド・ウェブ（WWW）、タッチス

クリーン、がん検診などに使われるPET（陽電子放出断層画像法）が生まれました。

一方、日本では、昨年7月に発明協会が「戦後日本のイノベーション100選」の第1回分として38のイノベーションを選び、発表しましたが、そのほとんどが産業界から生まれたものです。発光ダイオード（LED）がベスト10に入ったものの、アカデミア（学术界）発のイノベーションはとても少ない。国家戦略の欠如を感じます。今こそ、ベンチャー企業の父である大河内正敏先生（財団法人理化学研究所 第三代所長）の理研精神を学び直すべきだと考えております。

桜井：リコーは、理研の会社です。大河内先生の時代に理化学興業（株）が生まれ、理研の桜井季雄博士が発明した紫紺色の陽画感光紙を発売しました。その感光紙部門の部長として活躍した市村 清が、1936年に感光紙事業を独立させて、理研感光紙（株）を設立しました（図1）。それがリコーの誕生です。

——**司会**：理研は財団法人時代（1917～48年）に数多くのベンチャー企業を生み出し、リコーをはじめ現在も大いに活躍されている企業がたくさんあります。それら理研とゆかりのある企業を含む100社余りとの交流の場として「理化学研究所と親しむ会（以下、親しむ会）」があり、現在、桜井 特別顧問に会長をお願いしております。

桜井：「親しむ会」という名前がね……（笑）。交流は大事ですが、この会の目的は、「世の中の役に立つ理研」を推進すること、私たち企業人の言葉で言えば基礎科学の成果を事業化することです。「親しむ会」は、今後もさらなる努力を重ねてまいりたいと思います。それにはまず、理研にどんな宝があるのか、企業側が事業化できそうな理研の研究成果を積極的に探す必要があります。そして、事業化に何が不足しているのかをつかみ出し、理研と企業が協力して事業化を進める。さらに、その中から出てきた成功事例を互いに学び合うことが大事です。



桜井正光

1942年生まれ。早稲田大学卒。RICOH EUROPE B.V.社長などを経て、1996年、株式会社リコー代表取締役社長。2007年4月、会長。同年、経済同友会代表幹事。2013年4月より現職。

図1 リコー創業当時の塗布機と広告



野依：本質を捉えた基礎科学の成果の中に、10年後、20年後の社会に大きな変革をもたらすイノベーションの種が絶対にあるはず。その種を企業家の慧眼をもってぜひ拾い上げていただきたいと思います。

■ 複数の企業が参加する

「リサーチ・コミュニティ」の必要性

——**司会：**産業界との連携に関する理研の取り組みについて、理事長からご紹介いただけますでしょうか(図2)。

野依：キーワードは「バトンゾーン」です。陸上競技のリレーに例え、理研が持つバトンを次の走者である産業界に併走しながら受け渡していきます。

そのために、「産業界との融合的連携研究制度」を2004年に開始しました。これは企業側から市場ニーズに基づく研究課題とチームリーダーを受け入れ、理研の研究者が副チームリーダーとなって融合的な連携研究を行う制度です。研究予算は双方で負担し、理研の研究設備を活用して研究を進めます。企業の人がチームリーダーになることで研究のスピードが格段に加速します。これまでに図形処理の簡易化ソフトの商品化などの成功例が出ています。

2007年には、企業名をセンター名に入れた「産業界との連携センター制度」を立ち上げました。これはやや大型で、中・長期の連携を特徴とする制度です。

そして2010年に社会知創成事業を設立しました。創業・医療技術基盤プログラムや予防医療・診断技術開発プログラムなど組織横断型の研究体制で、理研の成果を社会に還元する取り組みを進めています。

桜井：バトンゾーンには大いに期待しています。技術移転という言葉は良くないですね。移転するのではなく、研究者と企業が一緒になって事業化を進めることが重要です。

私は経済同友会の代表幹事を務めていた2008年に、「世界から信頼されるものづくりを目指して」という提言書をまとめました。そこで、欧米の事例を調べて「リサーチ・コミュニティ」というイノベーションの方法を紹介しました。基礎科学の成果をどのような形で応用するのかという応用研究の段階で、複数の企業が参加したリサーチ・コミュニティをつくり、

非独占的に共同研究を行う方法です。そこで応用の形が具体的に見えてきた後は、それぞれの企業が独占的に商品開発を進めます。

リサーチ・コミュニティをつくることで、一つの基礎科学の成果に対し、応用の可能性を複数の企業が検討して、幅広く社会に活用することができます。ところが日本企業は応用研究の段階から1社独占で進めたいというところが多いですね。

野依：1社で囲い込むと安心してしまい、覚悟して進めなくなりますね。複数の企業が集まると競争意識が働きます。

桜井：本当にそうです。理研にも、もっと多くの企業が応用研究に参加してオープンに進める制度があつていいと思います。

野依：理研には、複数の企業から資金を受け入れて運営する「特別研究室制度」があります。例えば、腸内細菌の研究を行っている辨野特別研究室には、多くの企業から人が集まっています。また、創発物性科学研究センターでも、さまざまな企業から人を積極的に受け入れようとしています。

桜井：理研の連携制度をもっと宣伝して、数多くの企業が参加するようにしていく必要がありますね。企業に比べて、理研には最新の装置がそろっています。事業化を行うには、人材確保や装置などの設備投資に相当なコストが掛かります。理研の研究者と共に最新の装置を活用し事業化に向けた研究が行えるこ



野依良治

1938年生まれ。京都大学卒。工学博士。ハーバード大学博士研究員、名古屋大学教授を経て、2003年より現職。2001年ノーベル化学賞受賞。



とは、企業にとって人材面・資金面で大きなメリットになります。

一方、理研側から見ても、企業と一緒に研究することで、事業化には何が必要かの理解が進み、研究者育成の面でも相当な効果があると思います。

研究開発の大本である基礎科学を出発点として、イノベーションの芽を見だし事業化を進めなければ、国際競争力を保つことができない時代です。理研と産業界の連携制度は、重要な役割を担っていると思います。

野依：わが国も、産学官の交流のパイプをもっと太くして、人材や資金、情報が混じり合わなければ、イノベーションを生み出すことはできませんね。

図2 理研と産業界との連携制度

「産業界との連携センター制度」

理研 BSI- オリンパス連携センター

理研 BSI- トヨタ連携センター

理研 BSI- タケダ連携センター

理研-住友理工人間共存ロボット連携センター

理研 RSC- リガク連携センター

理研 CLST- JEOL 連携センター

「産業界との融合的連携研究制度」

遺伝子検査システム研究チーム (パナソニックヘルスケア(株)、(株)ダナフォーム)

動物細胞培養装置研究チーム (佐竹化学機械工業(株))

計測情報処理研究チーム (日本ユニシス・エクセルリユーションズ(株))

無細胞技術応用研究チーム (太陽日酸(株))

光熱エネルギー電力化研究チーム (株)ダ・ピンチ

新規PET診断薬研究チーム (長瀬産業(株))

高効率紫外線LED研究チーム (パナソニック(株) エコソリューションズ社)

超高感度生体分子検出技術研究チーム (オリンパス(株))

光電子デバイス工学研究チーム (新世代塗布型電子デバイス技術研究組合)

レーザー多元機能開発チーム (株)メガオプト

眼疾患クラウド診断融合連携研究チーム (株)トブコン

「特別研究室制度」

辨野特別研究室 (大腸を中心とした生理・代謝機能の計測・解析)

有本特別研究室 (消費者・環境に優しい農業の開発)

中村特別研究室 (分子科学計算を用いたシミュレーションソフトの開発)

杉山特別研究室 (薬物動態・薬効・毒性の予測に基づく統合的創薬支援システムの確立)

■ ビジョンを明確に描けば、「死の谷」には遭遇しない

野依：現在、米国が世界を主導していますが、その米国の工学アカデミーでさえ、政府に産業政策の転換を訴えています。国際競争で主導権を握るために最も重要なことは、天然資源でも先端技術でもない。できるだけ多くの人に優れた教育を受けさせ、最も創造的な人々に自由を与え、創造力を発揮させるための資本を提供することだ、と主張しています。なぜ、わが国はこのような危機感が足りないのでしょうか。

20世紀までは、欧米の価値観や枠組みに従ってものづくりをしていればよかったです。しかし21世紀には、未来社会が何を求めているのか主体的に考え、日本自らの価値観で社会の変革をリードしていく必要があります。与えられた課題を受け身で解くのではなく、自ら課題を設定して解いていく。米国のアップルやグーグルは、そのようにしてイノベーションを実現したわけですね。

桜井：グーグルやアップルは、長期ビジョンに基づき社会の変革を目指し、事業開発を展開しています。例えば、日本企業は携帯音楽端末の音質などハードの機能向上にこだわりますが、アップルにとって端末は社会変革を実現する道具の一つにすぎません。これから、人々はどのように音楽を楽しむのかという情景(シーン)を想定し、楽曲の選択や収集、編集そして端末へのダウンロード、また自宅のオーディオシステムや車載ステレオ活用などなど、トータルシステムを開発していったわけです。

私は、日本人のシステム構築力が弱いとは、決して思いません。例えば新幹線。あれは列車というハードだけでなく、運行管理を含めた大きなシステムですね。日本人もシステムを築くことには強い。ただし、その強さを引き出すためには、ビジョンを描けるリーダーがいなければ駄目です。そのような人材が国内に不足しているのなら、世界からリーダーを呼び寄せることも必要です。

野依：日本でも、志の高い若きリーダーたちに、もっとチャレンジさせる必要がありますね。

桜井：その通りです。最近、日本でも、一度起業に失敗しても再び資金が集まり、何回でもチャレンジができるようになってきました。

事業化の過程で障壁となる「死の谷」についてですが、私も



企業経営者として、「死の谷」を経験しました。しかし、「死の谷」との遭遇は事業化への準備不足に原因があると思っています。応用技術の開発段階から事業構想を描き出し、商品開発段階では新しい事業モデルを明確にしていくなど、事業化に必要な重点事項を定めておくことが、「死の谷」との遭遇を防ぎ、脱却の可能性を増やすことにつながると信じています。

■ 地球環境問題とイノベーション

——**司会**：未来社会のニーズやビジョンを描くことに深く関連しますが、桜井 特別顧問はリコーの社長に就任されたときから、積極的に環境問題に取り組まれました。

桜井：1996年に社長になる前、8年間ほど英国やオランダに赴任していました。そこで、地球環境問題に対する欧州と日本の“感度”の違いを実感しました。例えばドイツでは、オゾン層を破壊しない代替フロンを使った自動車をベンツがつくると、価格が十数万円高くても、みんながこぞって買います。ドイツ人はものを大切に作る習慣もさることながら、日本人以上に地球環境保全に対する意識が身に付いていると感じました。

野依：“合理的もったいない精神”ですね。

桜井：そうです。ところが日本に帰ってくると、地球環境問題への対策を行うと競争力を失う、経済成長にマイナスだなどという考え方がとても強く、どの企業も積極的に取り組んでいませんでした。それはリコーも同じでした。

私は管理工学の出身で、リコーに入社してすぐに工場の生産性向上に取り組みました。そこで、部品点数や材料が少ない商品を生産ラインを短くし、製造にかかるエネルギーを減らすといった活動に長年従事しておりました。実はそれは、省資源・省エネルギーという地球環境保全に必要な活動とまったく同じ活動なのです。生産性を向上させて利益を上げることが、地球環境の保全につながるのです。私は、社長に就任して2年後の1998年に、それを「環境経営」と呼び、当社の経営方針の一つに組み込みました。環境対策は経済成長にマイナスだと、たじろぐ必要はないのです。

野依：日本を代表する企業が、人類社会が直面する課題に率先して取り組まれたことに敬意を表します。環境経営が産業界全体で実践されることを願っています。

桜井：国連のIPCC（気候変動に関する政府間パネル）は第5次評価報告書で重要な指摘をしています。地球温暖化による被害の深刻化を防ぐため、国際社会は世界平均気温の上昇を産業革命前と比べて2℃未満にすることを目指しています。それには2100年までの二酸化炭素（CO₂）の累積排出量を約7900億トン（炭素換算）に抑える必要があると予測し、すでにその3分の2が排出されていること、このままのペースでは今後30年弱で上限に達してしまうことを、IPCCは報告しているのです。温暖化防止活動は喫緊の課題だということです。

私は2014年9月にニューヨークで開かれた国連の気候サミットに招待され世界各国の人たちと意見交換をしましたが、欧米諸国のグローバル企業の経営者たちは、温暖化防止は今後の国際社会の明確なニーズになるとの認識のもとに、これをビジネスチャンスとして生かそうと、新たな積極的活動に入ったとの印象を持ちました。

技術革新で後手に回ると大変なことになります。温暖化防止に焦点を合わせた技術革新を進めなければ、日本の成長はあり得ません。理研と産業界との連携も、省資源や省エネルギー、再生可能エネルギーの開発など、温暖化対策に関する研究テーマに力を入れていくことが重要だと思います。

野依：全面的に賛成です。地球温暖化や気候変動は、文明の持続可能性の問題に直結します。それらの問題解決を目指す上で科学技術に対する期待は大きく、理研のような公的研究機関や大学はそのための取り組みを積極的に推進しなければなりません。

持続可能な社会を築くことは、後継世代に対するわれわれ世代の避けられない責任だと私は考えています。ただし、それは一個人や一企業、一国家の力だけで実現できるものではありません。単なる経済成長のためではなく、本来、そのような人類共通の課題を解決するためにこそ、国際協力や産学官の連携を進めるべきです。

桜井：持続可能な社会を実現するには、自分たちの世代の生活のために資源を使い尽くすのではなく、孫やひ孫の世代のための資源を残しておく必要があります。

野依：世界の70億の人々が米国人と同じ様式の生活をするには地球が5個、日本人の水準なら3個必要だといわれます。明



らかに持続不可能です。そうした現状をしっかりと認識する必要があります。やはり教育が重要です。CO₂排出を抑制することは、新しい時代の道徳だといえます。さらに税制も変えていく必要がありますね。

桜井：炭素税やCO₂の排出権取引などは新しい時代の経済システムとして受け入れなければいけません。今までの経済は、エネルギーを買うときにはコストが掛かりますが、消費してCO₂が発生するときにはコストが掛かりません。新しい時代の経済では、CO₂の発生時にも排出権取引や税などの形でコストが掛かる仕組みに変えていく必要があります。

私たちの事業でいえば、お客さまがコピー機やプリンターを使用するときに、電力消費に伴いCO₂が発生します。そこでコストが掛かるようになると、できるだけ消費電力の少ない商品をお客さまは選ぶようになります。技術革新などによって排出量の削減に努力した企業は、売り上げの増大につながり努力が報われることとなります。お客さまも、さらに排出コストの安い商品を選択できる、という経済システムに変えていくべきです。

野依：理研では、特長である総合力を生かしてグリーン・イノベーションに貢献しようとしています。植物科学、ケミカルバイオロジー、触媒化学などを融合した環境資源科学研究センターを2013年に設立しました。そこでは、光合成を利用してラン藻に水素を高効率で発生させてエネルギーとして利用する研究などを進めています。また2010年4月に、社会知創成事業として、企業や大学などと連携した課題解決型の横断プログラムであるバイオマス工学研究プログラムを立ち上げ、バイオプラスチックの研究などを進めています。このほか、有機半導体を使った塗布型の太陽電池や省エネルギー関連技術の研究を創発物性科学研究センターで進めています。

桜井：ぜひ、頑張ってくださいですね。バイオマスや再生可能エネルギーの研究は、世界各国の研究機関も積極的に取り組んでいますね。それら各国の研究機関が連携してイノベーションを進めている例はあるのですか。

野依：国際連携によるイノベーションも積極的に進めていかなければいけません。各国とも国の研究機関は仕事の範囲が定められており、自由な連携がしにくい面があります。より自由度の高いシステムに変えていく必要があります。

■ 理研百周年に向けて

——**司会：**さて、2017年は理研創立百周年に当たり、「親しむ会」結成30周年という節目を迎えます。また、リコーは、2016年に創立80周年を迎えられますね。

桜井：私が社長を務めていた70周年のときに、やりたくてもできなかったのが、リコーの商品の歴史を集めた博物館をつくることです。

野依：大事なことですね。ヨーロッパなどの博物館で科学技術史に関する歴史的な展示物を見ると、先人の努力のおかげで今日の私たちの社会があるという認識が深まります。

桜井：そうですね。歴代の商品とともに、私は創業者である市村 清の資料も集めたいと思っています。市村は、「人を愛し、国を愛し、勤めを愛す」という三愛精神を唱えました。私も若いころにはその意味がよく分かりませんでした。会社を経営する身になって初めて理解できました。難しい経営判断を下すとき、創業者の市村だったらどうするだろう、と考えました。「人を愛し」「国を愛し」「勤めを愛す」とは「他人（ひと）のために」「社会のために」「仕事をもって…」、ということです。意思決定で迷ったときは、創業の精神に立ち返り判断を行いました。

野依：私たちが大河内先生の理研精神を常に心に留め、運営を行ってきましたが、伝統と革新の両方が大事です。これから百年をどう進むべきか、理研百周年を自らの使命を設定し直す機会にしたいと思います。

持続可能な社会を実現するための課題は多岐にわたります。社会的なものに限れば、わが国では少子高齢化への対応、世界に目を向ければ、貧困からの脱却が最重要課題だと思います。広く言えば、国の内外を問わず基本的人権を保全することです。研究者個人も理研も国も、その力は限定的ですが、諦めてはいけません。人類が生き抜いていくために、科学者社会だけではなく、一般社会、あるいは世界との絆をこれまで以上に強め、新しい時代の世界標準モデルの研究体制を築き、理研の使命を全うしていきたいと思っています。

桜井：これからもリーダーシップを発揮され、「世の中の役に立つ理研」を推進してください。応援します。

野依：本日はありがとうございました。

(取材・構成：立山 晃／フォトクリエイティブ、撮影：STUDIO CAC)

「nano tech 2015 第14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

2015年1月28日(水)～30日(金)に開催される「nano tech 2015 第14回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」に出展します。ポスター発表のほか、理研ブース内で研究者自ら最先端技術を紹介するプレゼンテーションも予定しております。皆さまのご来場をお待ちしています！



International Nanotechnology
Exhibition & Conference

nano tech 2015
第14回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

日時	2015年1月28日(水)～30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」
主催	nano tech実行委員会
後援	内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、 独立行政法人理化学研究所、ほか
入場料	3,000円(WEBにて事前登録された方は入場無料)
詳細	http://www.nanotechexpo.jp/main/index.html
問い合わせ	理研社会知創成事業 技術移転企画課 TEL: 048-462-5475 E-mail: cs-office@riken.jp

「nano tech 2014」
の様子



出展テーマ一覧

次世代光電子デバイスに向けた
有機半導体ナノ粒子インクと3D成膜技術の開発
イノベーション推進センター 光電子デバイス工学研究チーム
田島右副

膜タンパク質結晶 - 脂質メソフェーズ法(LCP法)に最適な実験装置の開発-
ライフサイエンス技術基盤研究センター タンパク質機能・構造研究チーム
羽藤正勝

超高速・高集積不揮発性スキルミオンメモリの提案
創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループ
金子良夫

文科省STARTプロジェクト
生きた細胞内の分子の動きを見る
高速超解像ライブイメージング顕微鏡SCLIM
光量子工学研究領域 ライブセル分子イメージング研究チーム
中野明彦

高空間分解能X線イメージング検出器
放射光科学総合研究センター データ処理系開発チーム
亀島 敬

「理研サイエンスセミナーⅧ・横からみる〇〇、科学をみる角度」開催のお知らせ

私たちの身の回りにも、身体の中にもいろいろな科学が潜んでいます。それに気付いて、私たちにを見せてくれる人、それが科学者です。

「理研サイエンスセミナー」では、そんな科学者と、科学に興味津々なモデルのはなさんが対談します。今回は、細胞活動をコンピュータ内で再現しようとしている研究者が登場、どんな話が飛び出するのか、聴きにいらっやしませんか。

テーマ	いのちと細胞、どこまで計算できるの？
日時	2015年2月19日(木) 18:30～20:00 (18:00開場)
登壇者	大浪修一 チームリーダー (生命システム研究センター 発生動態研究チーム)
場所	グランフロント大阪北館タワーB 10階 ナレッジキャピタルカンファレンスルームB01+02 大阪府大阪市北区大深町3-1 (JR大阪駅中央北口アトリウム広場より直結)
参加費	無料
申し込み	要事前申し込み (先着150名) 受付期間: 2014年12月10日(水)～2015年2月16日(月) 詳細は下記URLをご参照ください。 http://www.riken.jp/pr/events/events/20150219/
問い合わせ	理化学研究所 広報室 TEL: 048-467-9954 FAX: 048-462-4715 E-mail: riken-science-seminar@riken.jp



科学するところ

A Scientific Mind

延與秀人 えんよ・ひでと

仁科加速器研究センター センター長

かつて小学校2年生の息子に聞かれました。

息子：「人間は何で自分を持ち上げられないの？」

父：「体にひもを付けて、上にある梁に引っ掛けて引っ張れば持ち上がるよ」

息子（お風呂から出たばかりなので、素っ裸、ちんちん丸出しです。腰に手を当てて、爪先立ちになり）：「こうやって持ち上げられないのはなぜ？」

父（息子の質問の真髄を理解）：「……お母さんに聞いてみなさい」（母は京都大学の原子核理論の教員です）

息子は、ちんちん丸出しのままお母さんのところへ。

息子：「聞いてもらえなかった」

娘（小学校5年生）：「ひもで引っ張るとひもが重くなるの。体に手を当てると重くなるものがないの」

息子・父：「……」

娘（内緒話で父に）：「分かんないけど、適当に答えた」

この後、会話は別の方向へ。父はいまだに2年生への説明ができなくて困っています。娘の発言は、ある意味、作用・反作用の法則を体現しているのですが、息子は納得しなかったみたいです。皆さんならどう説明しますか？

もう一つ子どもネタ。テレビで「Music Station」（人気の歌番組です）を見ていました。

息子：「あの動き回る光はなに？」

父：「レーザーだよ。お父さんやお母さんがお話をするとき使うやつと一緒に」

息子：「普通の光と何が違うの？」

父：「……」（ようやく答え方にたどり着き）「砂を握って投げると飛び散るでしょ。あれが普通の光。お団子にして投げると真っすぐ飛ぶでしょ。あれがレーザー」

息子：「お団子は真っすぐに飛ばないよ」

父：「それは重力があるからで、重力がないと、真っすぐに飛ぶよ」

息子：「どうやって光をお団子にするの？」

父：「……」



写真・

結婚20周年記念に夫婦でカメラを始めましたが、センスがないのでまったく上達しません。京都は神護寺から清滝へ抜ける山道にて（嫁の撮影）。

その後、寝てしまいました。次の日に説明を試みましたが、失敗しました。お団子まではナイスだったのですけれど。

子どもと対峙していると、不思議なことに「なぜだろう」という興味は、すべての人間が等しく持っているもののような気がしてきます。その興味的大小で研究者になったりするのだと思います。三つ子の魂百まで、ということではないでしょうか。ところが、残念なことに、科学はちょっと進み過ぎたようです。タダみたいなお金で、ラジコンヘリコプターすら買えます。「これが無線で動くのは不思議だねー」と言うと、子どもは「携帯電話と同じでしょ」と答えます。ピアノを習いだした息子には「先生のピアノは何で電気コードが付いてないのに鳴るの？」と聞かれる始末です。生活の中で、子どもが素直な疑問を持ち、それを「あー、そうなのか」と理解する喜び、それを拒絶するような「不思議な製品」で世の中が満ちあふれています。

私の子どものころは、「鉄人28号」の放送に間に合うよう電気屋さんがやって来て、テレビを開け、真空管を取り換え、目の前で直してくれました。今や買い替えるしかありません。間に合わなかったら、携帯のワンセグで見ればよいのです。この事態が「理科離れ」の根本にあることは明らかだと思います。でも、私はあまり心配していません。この時代に合った「あー、そうなのか」という理解する喜びに達する子どもたちが必ず残り、その子たちが先の世代の研究をつないでいってくれるのだと信じています。科学する心はどこにでもあります。

『バリエティ』2011年2月号p.57より、丸善出版の許諾を得て一部転載。

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）



http://www.riken.jp/