

画像：研究最前線「光合成の仕組みを分子動力学と量子化学で解き明かす」より

SCIENCE VIEW ——— ⑫

宇宙で進む化学進化の過程を再現する

研究最前線 ——— ④

光合成の仕組みを分子動力学と
量子化学で解き明かす

研究最前線 ——— ⑧

さまざまな細胞を自在に創り出す

SPOT NEWS ——— ⑫

- ・ 食物繊維の多い食事が大腸炎を抑える
腸内細菌がつくる酪酸が制御性T細胞へ分化誘導
- ・ 脳神経細胞の樹状突起
形成メカニズムの一端を発見
- ・ スピン流を検出する酸化物材料

FACE ——— ⑭

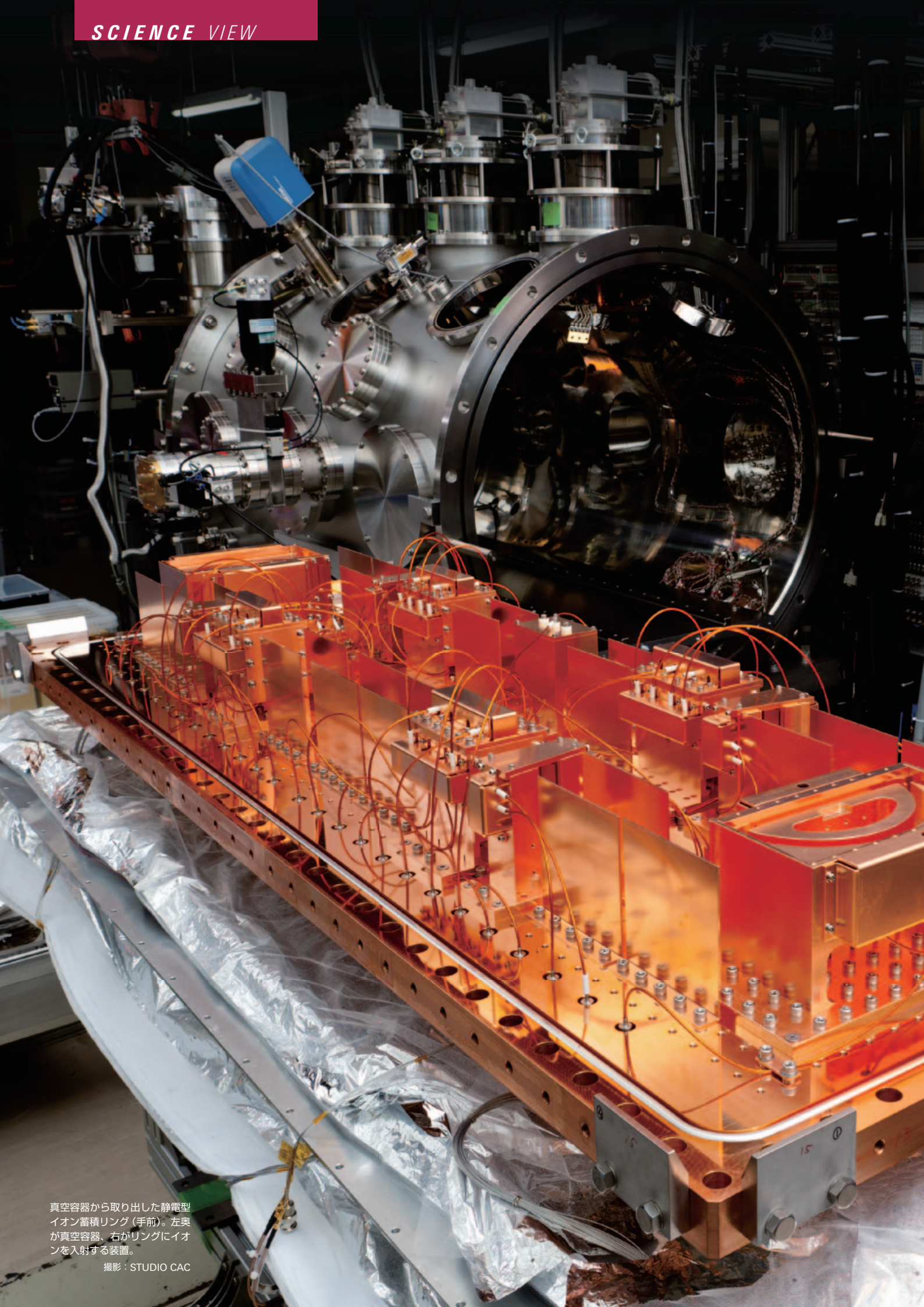
化石研究と発生学を駆使して生物進化を
ひもとく古生物学者

TOPICS ——— ⑮

- ・ 初代バイオリソースセンター長
森脇和郎先生を偲んで
- ・ 光量子工学研究領域
新研究室主宰者の紹介

原酒 ——— ⑯

私のキムチとキムジャン文化



真空容器から取り出した静電型イオン蓄積リング(手前)。左奥が真空容器、右がリングにイオンを入射する装置。

撮影：STUDIO CAC

宇宙で進む化学進化の過程を再現する

理研で宇宙における分子の起源やその進化に迫る実験が始まる。宇宙空間の分子が集まった分子雲にはさまざまな有機分子が存在することが、電波望遠鏡などを使った観測で分かっている。最近では特に、アミノ酸や核酸塩基に関係した分子の観測に期待が寄せられている。一方、それら生命の材料の合成過程を調べるには、10K（約-263℃）程度の極低温の真空中で分子や原子がゆっくり衝突している分子雲の環境を、地上に再現して実験する必要がある。

東 俊行 主任研究員（東原子分子物理研究室）たちは、1周が約3mある静電型イオン蓄積リングを真空容器に入れ、極低温冷凍機で約4Kまで冷やした極高真空を実現する装置を開発して、その実験を実現しようとしている。

「小さな真空容器を極低温に冷やして実験する装置はありました。しかし、1周3mほどあるリングが入る大きな真空容器を10K以下の極低温に冷やしてビーム実験を行う装置はなく、それは低温技術にとっても真空技術にとっても、未知への挑戦でした。極低温でも真空を保つことができる材料を探し出し、さまざまな企業の協力を得てオールジャパンの技術の粋を集めて、2013年に装置を完成させることができました」

装置を組み上げた最初のテスト実験で、目標の性能を上回る低温および真空度を達成することに成功した。ところがイオンビームの周回運転を始めてみると問題が発覚した。「電場でイオンを周回させ、そこに中性の原子や分子を併走させて、ゆっくり衝突させます。イオンを数十分周回させる設計でしたが、実際に運転してみると1ミリ秒以下（数十周）しか周回できませんでした。シミュレーションで検討した結果、ある部品のサイズが設計と0.5mmほどずれていることが分かりました。極低温で材料が縮んでしまうことは最初から考慮に入れていたのですが、異なる物質間の収縮の違いを正確に織り込んでいなかったためにずれが生じたのです。リングを真空容器から取り出し、設計を変更して問題の部品を交換しました。間もなく本格的な実験を始める予定です。まず、炭素や水素から成る小さな有機分子の実験から始めて、いずれアミノ酸などが連なったタンパク質や分子クラスターが関与する反応の観測に挑む計画です」

東主任研究員の本来の関心は、原子や分子の基本的な性質だ。これまでそれらの性質は主に、溶液中や基板上で調べられてきた。「このリングを使えば、溶液や基板の影響を排除して、極低温の真空中で原子や分子の性質を精密に測定することができます」

将来、さらにリングを卓上サイズに小型化したいと展望を語る。「リングをさまざまなユーザーが簡便に使えるようにしたいのです。さらに、国内外にある光源施設や加速器施設に持ち込み、いろいろな化学合成の過程を高い時空間分解能で見て、原子や分子の本質に迫りたいと思います」

（取材・執筆：立山晃／フotonクリエイト）

「光合成なくして、地球上の生物は生きていくことができません」と理研イノベーション推進センターの中村特別研究室を率いる中村振一郎 特別招聘研究員（以下、研究員）は言う。

太陽の光エネルギーを利用して、水と二酸化炭素から酸素と炭水化物をつくる光合成。小学校の理科でも習う現象であるが、その仕組みはまだ明らかになっていない。

中村研究員は、分子動力学シミュレーションと量子化学を駆使して、光合成の仕組みを解き明かそうとしている。

最終目標は、光合成の機能を実現する半導体デバイスの開発だ。

「社会のためになる基礎研究をやりたい」と語る中村研究員の取り組みを紹介しよう。

光合成の仕組みを分子動力学と量子化学で解き明かす

■ 地球の生命維持装置、光合成

「ハスの葉の上をコロコロと転がる水滴。暗闇を敵に見つからずに飛ぶことが

できるガの真っ黒な目……。自然には面白いことがたくさんあり、その一つ一つに感動があります。科学者としてこの感

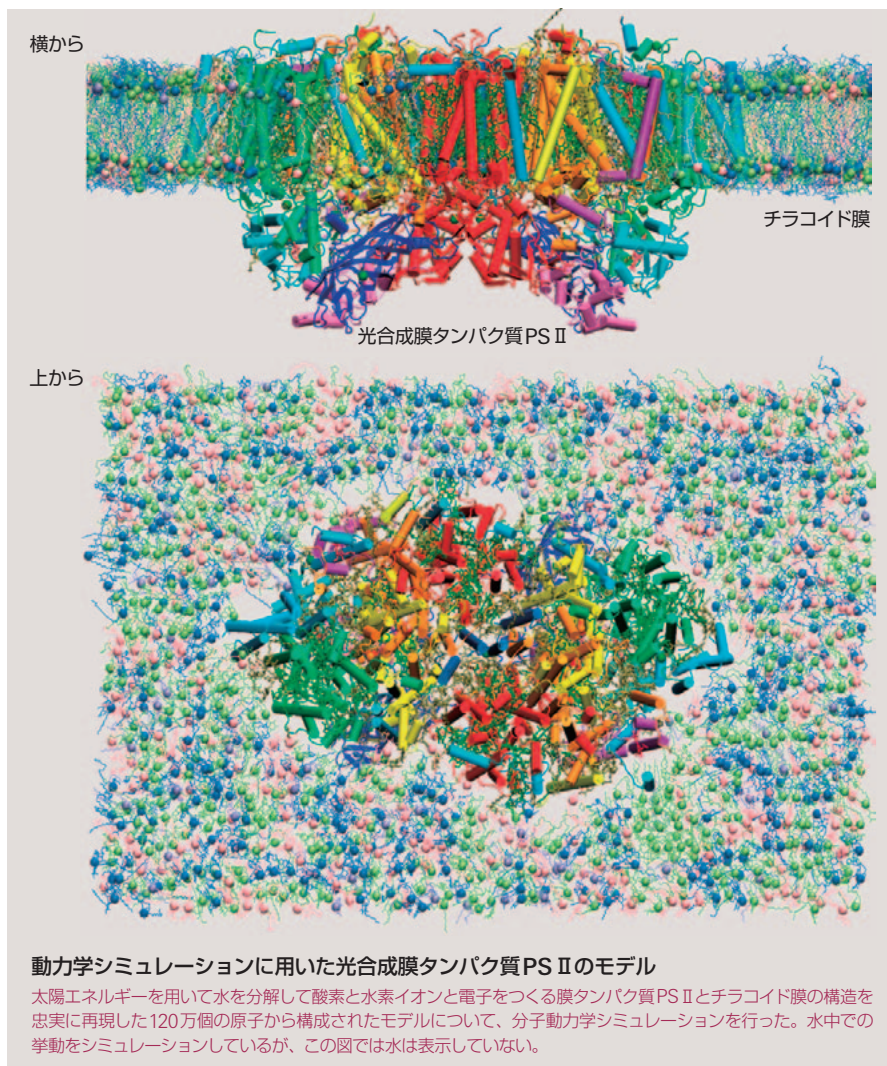
動を逃したくありません」と語る中村研究員が、今最も感動し、研究のテーマとしているのが光合成である。

「光合成は、私たちに三つの贈り物を与えてくれています。一つ目は、爽やかさやリラクゼーション効果。残念ながら、まだ私たちはそれを科学として扱うことができていません。二つ目は炭水化物。生物の食物連鎖の始まりは光合成です。三つ目は酸素。私たちが生きていくために不可欠な食べ物と酸素を、光合成が与えてくれているのです。光合成研究で有名な故 三室 守先生(京都大学教授)は“光合成は地球の生命維持装置である”と言われました。光合成なくして、地球上の生物は生きていくことができません」

光合成とは、植物が太陽の光エネルギーを使って水と二酸化炭素から酸素と炭水化物をつくり出す反応である。小学校の理科でも学習する現象だ。しかし中村研究員は、「実は、私たちはまだ、酸素や炭水化物がどのようにつくられるのか、光合成の仕組みを理解できていません」と指摘する。「私は、光合成の仕組みを理解し、最終的には光合成の機能を実現するナノサイズの人工光合成デバイスをつくりたいのです。そのため、理研に中村特別研究室を開設しました」

■ 理研で、人の役に立つ基礎研究を

理研には、研究の活性化や研究成果の社会への展開などを目的に、傑出した研究者を招聘し、企業などの外部資金で研究を推進する「特別研究室プログラム」という制度がある。中村特別研究室は、そのプログラムを活用したもので、



動力学シミュレーションに用いた光合成膜タンパク質PS IIのモデル

太陽エネルギーを用いて水を分解して酸素と水素イオンと電子をつくる膜タンパク質PS IIとチラコイド膜の構造を忠実に再現した120万個の原子から構成されたモデルについて、分子動力学シミュレーションを行った。水中での挙動をシミュレーションしているが、この図では水は表示していない。

中村振一郎 (なかむら・しんいちろう)
 イノベーション推進センター
 中村特別研究室
 特別招聘研究員

1952年、熊本県生まれ。早稲田大学理工学部を経てフランス・ストラスブール大学理学部修了（フランス国家博士号）。分子科学研究所、三菱化学(株)横浜総合研究所、(株)三菱化学科学技術研究センター計算科学研究所 所長を経て、2007年三菱化学フェロー。2011年より(株)地球快適化インスティテュートから理研に出向、現職。



三菱ケミカルホールディングスグループの(株)地球快適化インスティテュートからの出資により、2011年1月に開設された。

中村研究員の専門は計算科学であり、(株)三菱化学科学技術研究センターの計算科学研究所においてコンピュータシミュレーションを駆使して、新規の触媒開発など化学産業が抱えている問題を解決すべく研究を進めてきた。

なぜ理研に研究室を開設したのだろうか。「私は、学生のころから理研のファンでした。理研では昔から、湯川秀樹先生や朝永振一郎先生のようにノーベル賞を受賞するような研究を行うと同時に、それにも増して産業界が抱えている問題を解決するための研究を企業と一緒に行き、ものづくりもしています。私は目的基礎研究、つまり、すぐに実用化はできないが必ず社会のためになる基礎研究をし、製品までつくり上げたい。それは企業や大学では難しく、理研が最もふさわしい場であると考えたのです」

■ 自然に学べ

中村研究員には、研究に当たっての信念がある。「もっと自然に学ぶべきです。人類が現在までにつくり上げた自然科学は、まだまだ不十分です。もっと謙虚に自然の示唆するところをくみ取りたい。そこに徹して研究しています」

酸素をつくることを考えてみよう。私たちが酸素をつくるには、水に電極を入れて電圧をかけ電気分解を行う。電極にはプラチナを使うことが多い。ほかの金属を使うと酸素が発生して電極が壊れてしまうためだが、プラチナは希少で

高価だ。一方、植物が光合成によって酸素をつくる時には、マンガンというありふれた金属を使っている。しかも、酸素をつくる効率は、植物の光合成の方がはるかに高い。「人工的なデバイスの多くは、水にぬれたり衝撃を与えられて形が変わったりすると、機能しなくなります。一方、葉っぱは、雨にぬれたり風に揺れたりしながら、楽々と高い効率で酸素をつくらせています。この素晴らしさに学ばないではいられません」と中村研究員。「光合成のように酸素や水素、炭水化物を人工的に高効率でやすやすとつくることができれば、究極的にはエネルギー問題も食糧問題も解決できます。それには、自然に学び、光合成の仕組みを理解することが不可欠です」

■ 水や酸素の通り道が明らかに

中村特別研究室では、どのようにして光合成の仕組みを理解し、人工光合成デバイスを実現しようとしているのだろうか。「研究室のキーワードは、計算科学を駆使した可視化と可聴化です」と中村研究員。まず、一つ目のキーワードである可視化について紹介しよう。

光合成の反応は2段階から成る。1段階目では、太陽エネルギーを使って水を分解し、酸素と水素イオンと電子をつくる(図1)。2段階目では、1段階目で作られた電子と水素イオンを使って、二酸化炭素から炭水化物をつくる。中村研究員が注目しているのは、1段階目の反応である。この反応は、葉緑体の中にあるチラコイドという平たい袋状の構造物の膜に埋め込まれている光合成膜タン

パク質Photosystem II (PS II) で起きる。しかし、PS IIでどのように水が分解され、酸素と水素イオンと電子がつくられているのか、その詳細は明らかになっていなかった。「PS IIの立体構造が分かっていたことが、大きな理由です」と中村研究員は指摘する。

その状況が動いたのが、2011年だ。理研で長く研究し、現在は岡山大学に在籍する沈 健仁 教授らが、理研の大型放射光施設SPring-8を用いたX線結晶構造解析によって、PS IIの立体構造を1.9Å (1Åは100億分の1m) という高精度で明らかにすることに成功。この精度ならば、各原子の種類や原子間の距離まで分かる。PS IIの内部には“酸素発生中心”と呼ばれる領域があり、ここで水が分解されて酸素がつくられる。酸素発生中心は、4個のマンガン原子、1個のカルシウム原子、5個の酸素原子、4個

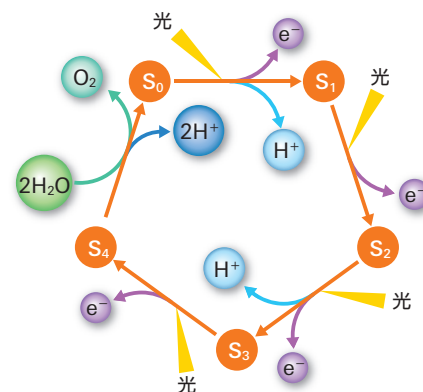


図1 PS IIにおける水分解反応と酸素発生中心の状態変化

外部からPS IIの内部に取り込まれた2個の水分子(H₂O)から、酸素発生中心によって1個の酸素分子(O₂)と水素イオン(H⁺)と電子(e⁻)がつくられる。その反応の間に、酸素発生中心の構造は五つの状態(S₀~S₄)に変化する。電子と水素イオンは、二酸化炭素から炭水化物をつくる材料として利用される。

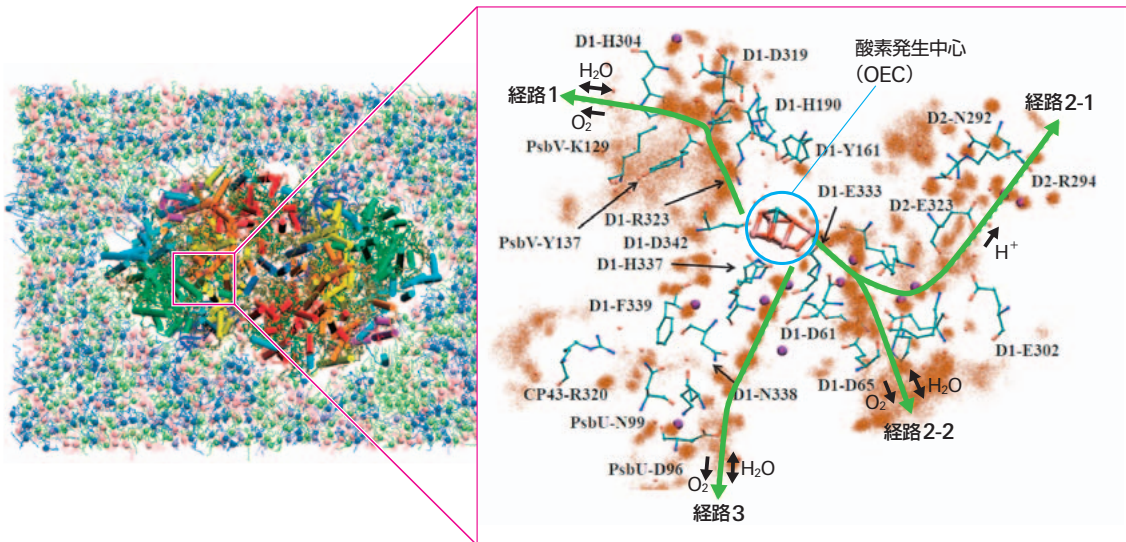


図2 分子動力学シミュレーションによって明らかになった水、酸素、水素イオンの経路
 光合成膜タンパク質PS IIの内部には酸素発生中心がある。紫色の球はあまり動かない水分子を、茶色い部分は動いている水分子を示している。外からPS II内部へ供給される水分子と、PS II内部から外へ排出される水分子の動きが観察された。これらの経路(1、2-2、3)は、水の供給と酸素の排出に使用されていると考えられる。また、あまり動かない水分子が連なっている経路(薄い茶色)があり、この経路は水素イオンの放出に利用されていると考えられている(経路2-1)。

の水分子によって構成されていることも明らかになった。

中村研究員らは、まずコンピュータの中に葉緑体のチラコイド膜を忠実に再現。さらに、X線結晶構造解析によって明らかになったPS IIの構造を再現し、それをチラコイド膜に埋め込んだモデルを作成した。そして、植物の体内を忠実に再現するため、モデルを水で満たした空間に入れ、分子動力学シミュレーションを実行(タイトル図)。具体的には、原子や分子1個1個を扱うニュートン方程式を解くことによって、時間の経過による分子の動きをシミュレーションした。計算を行った原子の数は、水も合わせて120万にもなる。「300K(27℃)、1気圧の条件で、10ナノ秒(1ナノ秒は10億分の1秒)の動力学シミュレーションを行った結果、光合成膜タンパク質PS IIの内部に水が取り込まれる様子と酸素の排出経路が明らかになりました」と中村研究員(図2)。

さらに詳しく解析すると、あまり動かない水分子が連なっている領域があることが分かった。中村研究員らは、この経路を通して水素イオンが放出されているのではないかと考えている(図2)。水素イオンが、連なっている水分子の上を跳ねながら移動していくという。

PS IIを丸ごと計算し、水や酸素、水素イオンの通り道が分子動力学で詳細に明らかになったのは、初めてだ。この成果は、2013年、米国の科学雑誌

『Journal of the American Chemical Society』に発表された。光合成による水分解反応のメカニズム解明に向けた大きな前進である。

■ 量子化学と古典力学を組み合わせる

しかし中村研究員は、「光合成の理解には、まだ程遠い」と言う。「水や酸素、水素イオンの動きは見えましたが、“古典”分子動力学シミュレーションでは化学反応の現場、電子の状態までは見えません。そこで、私たちは量子化学を取り入れた分子動力学シミュレーションにも取り組んでいます」

従来の分子動力学シミュレーションで用いているニュートン方程式は、マクロな世界で起きる現象を扱う古典力学である。一方、量子化学は、ミクロな世界で起きる現象を扱う量子力学の原理を化学に適用したものだ。原子、分子、タンパク質などがどのくらい相互作用するかを量子力学のシュレーディンガー方程式に基づいて計算し、それぞれの動きをシミュレーションする。しかし、「量子化学を取り入れたシミュレーションを行うには大きな問題があります」と中村研究員。「チラコイド膜に埋め込んだPS II全体について量子化学を取り入れてシミュレーションしようとする、計算量が膨大になってしまい、スーパーコンピュータ『京』でさえ対応できません。『京』の100倍の計算速度のスーパーコンピュータが5台は必要です」

では、どうすればよいのか。一部分だけを切り出してシミュレーションすることも一つの戦略である。しかし、中村研究員は「光合成の仕組みを本当に理解するためには、全体を見るのが不可欠」と言う。「チラコイド膜やPS IIの外側は古典力学で、光合成の化学反応において重要な酸素発生中心は量子化学で計算することにしました」。古典力学と量子化学を組み合わせたシミュレーション。その手法を開発した米国ハーバード大学のマーティン・カープラス博士は、2013年のノーベル化学賞を受賞している。ちなみに、中村研究員が博士研究員時代に学んだ諸熊奎治博士(京都大学福井謙一記念研究センター シニアリサーチフェロー)は、現在カープラス博士の研究を超えつつある。

「古典力学と量子化学を組み合わせたシミュレーションの結果、電子のスピン不思議な挙動など、いくつか面白いことが出てきました。詳しく研究を進めているところですよ」。電子のスピンとは、地球の自転にも例えられるものだが、古典力学では対応するものがない。量子化学を取り入れたシミュレーションによって初めて定量的に扱えるものである。

■ 自然は揺らぎを利用している

「やはり重要なのは揺らぎだ」。X線結晶構造解析によって明らかになったPS IIの酸素発生中心の構造を見たとき、中村研究員はそう確信した。酸素発生中

心は、とても不安定な構造をしていたのだ(図2)。「その形から“壊れた椅子”とも呼ばれています。私は工業触媒の設計に長年携わってきましたが、不安定な構造の触媒は効率が悪いというのが常識です。光合成には、不安定な構造のあいまいさや揺らぎを積極的に利用してこそ高い効率で酸素ができるという、未踏のメカニズムがあることを示唆しています」

太陽の光エネルギーを使って水から酸素と水素イオンと電子がつくられるとき、酸素発生中心は周期的な五つの状態に変化する(図1)。酸素発生中心の五つの状態変化を1サイクルにわたって、古典力学と量子化学を組み合わせた分子動力学シミュレーションで再現することが不可欠である。「1サイクルのうち半分くらいを攻略しつつあるところです。しかし、シミュレーションだけでは不十分で、実験による検証も欠かせません」。詳細な立体構造が明らかになっているのは S_1 という状態であり、ほかの状態の立体構造の解析も待たれる。

実験は真実である。しかし、一断面でしかない。一方、計算科学で行うシミュレーションは計算値であり、時として本物より本物らしいことさえあるが、真実ではない。「計算科学で実験の代わりをすることはできません。計算科学と実験科学は相補的なものであり、私たちが自然を理解するには、両方が共に発展することが必要なのです」

■ 光合成で酸素がつけられる音

「可視化は確かに分かりやすいのです

が、私たちは視覚に頼り過ぎています」と中村研究員。そこで、研究室の二つ目のキーワード、可聴化の登場だ。可聴化とは、情報を一定の規則に基づいて音に変換することをいう。

中村研究員は、アミノ酸や糖などについて分子動力学シミュレーションを行い、分子の動きを音に変換してみた。「音楽のような美しい音になりました。しかも、それぞれに個性がある。それらの音は、イオン結合や共有結合など分子間に働く強い相互作用だけでなく、水素結合などの弱い相互作用の効果も垣間見せてくれるかもしれないと考えています。揺らぎを考えると弱い相互作用は重要です。可聴化という新しいアプローチを加えることで、見掛けに惑わされることなく、光合成の仕組みを理解する糸口をつかめるかもしれません」

最近、先ほど紹介したPS IIの分子動力学シミュレーションの結果を音に変換した。「まだ皆さんにお聴かせできないのが残念ですが、とても美しい音が生まれました。光合成の仕組みを音から探ろうとしているのは、世界中で私たちだけ。解析結果を楽しみにしててください」

■ 人工光合成デバイスの実現へ向けて

光合成の仕組みを探る一方で、人工光合成デバイスの開発も並行して進めている。「多重量子井戸という特殊な構造を持つ半導体のトンネル効果を使うことで人工光合成を実現できるのではないかと考えています」と中村研究員。「人類は鳥に憧れて飛行機をつくり空を飛び、魚に憧れて潜水船をつくり海に潜り

ましたが、鳥や魚の実際の動きと大きな隔りがあります。同じように、人工光合成デバイスの実現は簡単ではありませんが、私たちは挑戦し続けます」

最近、根粒菌の研究も始めた。根粒菌とはマメ科の植物の根に寄生する細菌で、大気中の窒素をアンモニアに変換して植物に供給する働きをしている。根粒菌が共生しているかどうかで光合成の効率も変わることから、光合成の仕組みを理解するには根粒菌の研究も不可欠だと考えたのだ。「一部分だけを見ても物事を理解することはできない。全体を見るべきである。それが、私の研究すべてに共通するこだわりです」

中村研究員は、理研でやりたいことが二つあるという。一つは、理研内部で研究者の交流を活発にすること。「理研は組織が大きく、知らない人が多過ぎます。研究者の交流が活発になれば、1+1が単に2ではなく3にも4にもなるはずです」

二つ目は? 「化学と音を結び付けた学会を立ち上げたいのです。化学者や物理学者、生物学者、数学者、芸術家、エンジニアなど、多様な人が集まることで、予想もしないことが生まれるのではないのでしょうか。分子の音を聴くことで治療効果が上がったり、分子の音に感化されて新しい音楽が生まれたり、そんなことも期待できるでしょう。関連する分野が多岐にわたるので、それをまとめることができるのは、理研だけです。面白いと思いませんか」と中村研究員。「面白い。それが私の研究の原点です」

(取材・執筆:鈴木志乃/フォトンクリエイト)

神経や筋肉、皮膚など、
 ヒトの体は約400種類の細胞からできている。
 それらの細胞は、それぞれ形や機能は異なるが、同一の遺伝情報を持っている。
 種類ごとに、異なる遺伝子群がDNAからRNAへ転写されて
 タンパク質がつけられ、独自の機能を発揮しているのだ（図1）。
 鈴木治和グループディレクターたちは、特定の遺伝子群を発現させて、
 分化を終えた細胞を別の種類の細胞に
 直接変換する汎用的な技術の開発を目指している。

さまざまな細胞を 自在に創り出す

RNAの解析により 生命科学の常識を覆した

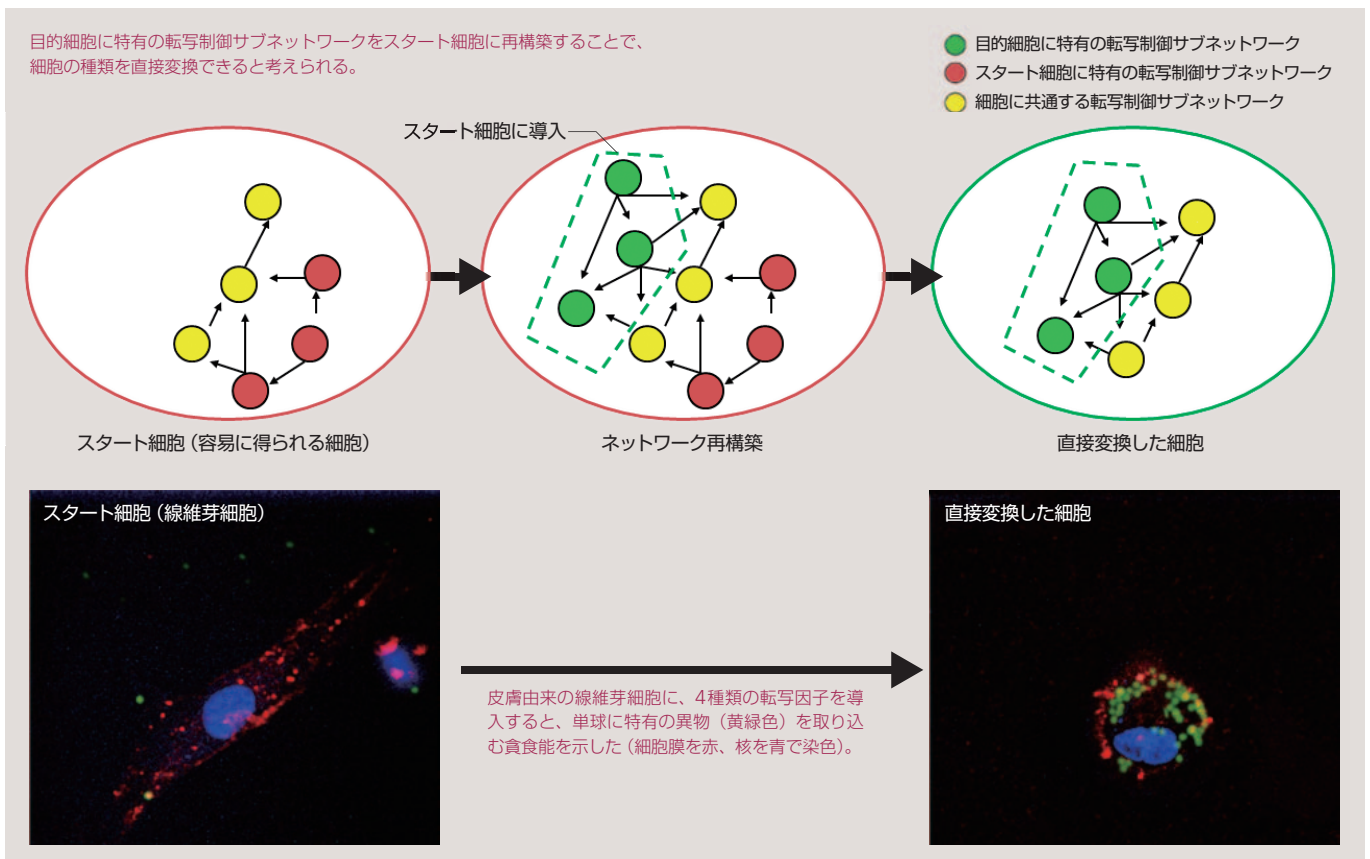
1990年代半ば、理研の林崎良英 主任
 研究員（現 予防医療・診断技術開発プ
 ログラム プログラムディレクター）は、
 さまざまな種類の細胞で働くRNAを解
 析して遺伝子の発現を調べる研究を始
 めた。そして2000年からFANTOM

という国際科学組織を主宰し、世界
 15ヶ国の研究機関と共同研究を進め
 た。鈴木治和グループディレクター
 (GD) はその研究において中心的な役
 割を果たしてきた。「私たちはまず、
 さまざまな種類の細胞でどのような
 RNAが働いているのか調べました。
 すると、驚くべきことが分かってきま

した」

従来、RNAに読み取られるDNAの
 領域は全体の数%であり、RNAは
 DNAとタンパク質を結ぶ情報伝達役
 にすぎないと考えられてきた。「ところ
 がDNAの大半の領域がRNAに読み取
 られていること、RNAの半数以上がタ
 ンパク質をつくる情報を持たないノン
 コーディングRNA (ncRNA) であるこ
 とが分かったのです」

それは、生命科学の常識を覆す大発
 見だった。ncRNAは遺伝子の発現を
 調節して、さまざまな生命機能に関
 わっているらしい。「現在、世界中で



細胞の種類を直接変換する手法

鈴木治和 (すずき・はるかす)
 ライフサイエンス技術基盤研究センター
 機能性ゲノム解析部門
 オミックス応用技術研究グループ
 グループディレクター

1960年、福井県生まれ。薬学博士。京都大学大学院薬学研究科博士課程修了。シオノギ医学研究所 研究員を経て、1998年、理研ゲノム科学総合研究センター チームリーダー。理研オミックス基盤研究領域プロジェクトディレクターを経て、2013年より現職。



ncRNAの研究が行われていますが、その機能の全容はまだ分かっていません。私たちもncRNAの解析を続けています」

その後、鈴木GDたちは、RNA発現を制御する転写因子を解析する研究に力を注いできた。転写因子とは、遺伝子発現のスイッチ（プロモーター）を押すタンパク質だ。DNA上のプロモーターに転写因子が結合すると、すぐ下流の遺伝子がRNAに転写されてタンパク質がつくられる（図1）。「そのタンパク質の中には、転写因子として働くものもあります。ある転写因子が別の転写因子の発現を制御する転写制御ネットワークをつくり、遺伝子の発現をコントロールしているのです」

■ **転写因子を導入して
細胞の種類を直接変換する**

2013年4月、ライフサイエンス技術基盤研究センターが設立された。鈴木GDたちは、オミックス応用技術研究グループとして新たなスタートを切った。「これまでに開発したRNAの解析技術や転写制御ネットワークの研究を発展させて、創薬や医療に役立つ基盤技術を開発することを目指しています。その一つが、分化を終えた細胞を別の細胞に直接変換する技術です」

あらゆる種類の細胞に分化する能力を持つiPS細胞（人工多能性幹細胞）を創薬や医療に役立つ研究が進められている。ただし現段階では、iPS細胞の作製効率は低く、1ヶ月ほどの作製期間が必要だ。その品質を検査した後、

iPS細胞から目的細胞をつくるには、さらに約1ヶ月かかる。また、iPS細胞から約400種類すべての細胞に分化させる技術が確立されているわけではない。

「目的細胞をつくるには、主に二つの手法があります。一つは、未分化な細胞がさまざまな細胞へ分化していく発生の過程をたどるようにして、iPS細胞などを目的細胞に変換させる手法です。ただしそれにはいくつものステップが必要なため時間がかかり、しかもステップごとに目的以外の細胞がたくさんできてしまいます。iPS細胞が100個あっても、目的細胞は数個しか得られないこともあります。もう一つは、分化を終えた細胞を、iPS細胞を経由せずに、目的細胞にワンステップで直接変換する手法です。直接変換なら、スタート細胞を、短期間ですべて目的細胞に変換できる可能性があります。私たちはその技術の確立を目指しています」

どうすれば、細胞の種類を変えることができるのか。「スタート細胞と目的細胞では、発現している遺伝子群が異

なります。その違いを生み出しているのは、転写制御ネットワークです」

スタート細胞と目的細胞を比較すると、両者に共通する転写制御サブネットワークと、それぞれの種類に特有の転写制御サブネットワークがあると考えられる（タイトル図上）。「私たちは、目的細胞に特有の転写制御サブネットワークをスタート細胞で再構築すれば、細胞の種類を直接変換できる、という仮説を立てました」

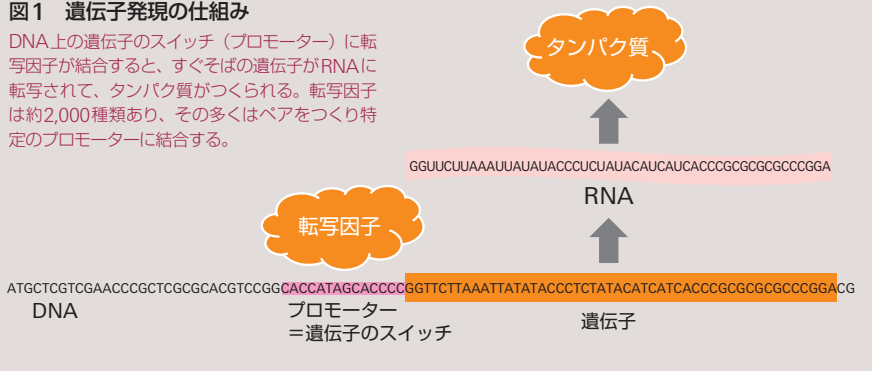
鈴木GDたちは、その仮説を検証する実験を行った。「スタート細胞として、入手しやすい皮膚由来のヒト線維芽細胞を用いました。それを、まったく機能の異なる免疫細胞の一種である単球に直接変換することにしました」

鈴木GDたちはまず、単球でたくさん発現し、線維芽細胞ではほとんど発現していない数十種類の転写因子を選び出した。さらに、科学論文のデータベースをもとに、重要な役割をする約20種類の転写因子に絞り込んだ。

次に、その約20種類の中でどれが最も重要な転写因子なのかを調べた。

図1 遺伝子発現の仕組み

DNA上の遺伝子のスイッチ（プロモーター）に転写因子が結合すると、すぐそばの遺伝子がRNAに転写されて、タンパク質がつくられる。転写因子は約2,000種類あり、その多くはペアをつくり特定のプロモーターに結合する。



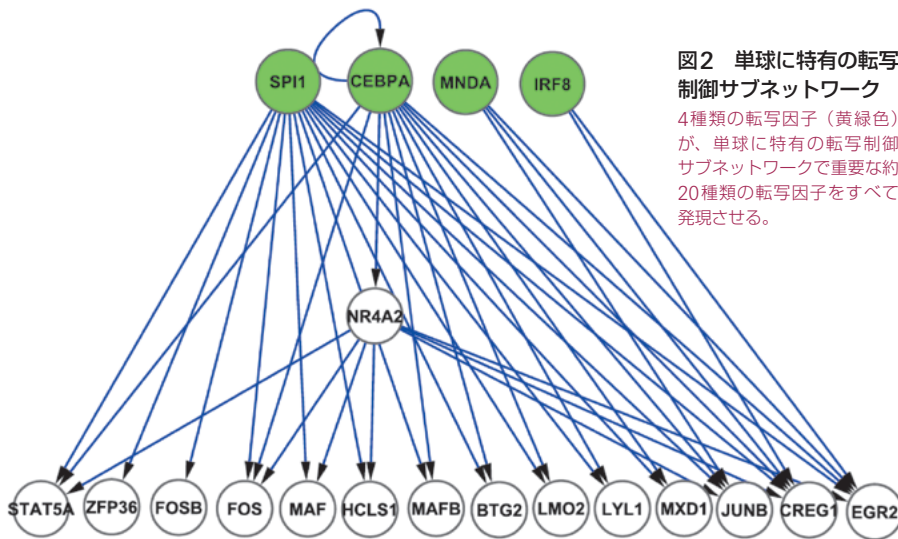


図2 単球に特有の転写制御サブネットワーク

4種類の転写因子（黄緑色）が、単球に特有の転写制御サブネットワークで重要な約20種類の転写因子をすべて発現させる。

「親玉」となるいくつかの転写因子が働けば、それ以外の転写因子もすべて発現して単球特有の転写制御サブネットワークが働きだすはず。そこで、20種類ほどの転写因子を1個ずつ線維芽細胞で発現させて、ほかの転写因子が発現するかどうか調べました。その結果、4種類の転写因子が働けば、約20種類の転写因子がすべて発現することが分かりました（図2）

最後に、その4種類の転写因子を同時に線維芽細胞に導入して、細胞の機能が変化するかどうかを調べた。単球には、異物を取り込んで処理する貪食能どんじよくがある。それは、単球と、単球から分化するマクロファージだけが持つ機能だ。「4種類の転写因子を線維芽細胞に導入して2週間～1ヶ月間培養すると、細胞の形が変化して貪食能を示すようになりました（タイトル図下）。さらに、その細胞に刺激を与えるとサイトカインという免疫系の情報伝達物質を分泌するなど、単球特有の機能を示しました」

■ 完全な変換を目指す

鈴木GDたちが直接変換した細胞は、完全な単球ではなく“単球もどき”

だった。「線維芽細胞だけで発現する遺伝子のうち6割は消えましたが、4割は発現したままだったのです」

なぜ、4割の発現は消えないのか。「その謎を解明する実験を進めたところ、そこにはエピジェネティクスが関わっていることが分かってきました」

エピジェネティクスとは、細胞の種類ごとに特有の遺伝子発現パターンを決めている仕組みのことだ。DNA自体やDNAが巻き付くヒストンというタンパク質には、“この遺伝子を読め”“この遺伝子は読むな”という化学物質による印が付いている。例えば、DNAがメチル化していると、“この遺伝子は読むな”という封印となる。

「親玉の転写因子のうちの一つであるSPI1遺伝子のプロモーターを調べたところ、DNAがメチル化で封印されたままでした。私たちは親玉の遺伝子を外部から導入して発現させましたが、細胞が本来持つ親玉の遺伝子は発現していなかったのです」

エピジェネティクスの印となる化学物質を付けたり外したりしているのも、タンパク質だ。「実験を進めるうちに、転写因子はエピジェネティクスもコントロールしていることが分かっ

てきました。細胞の種類ごとに特有のエピジェネティクスをつくり出す特定の転写因子があると考えられます。私たちは、単球のエピジェネティクスをつくり出す転写因子を突き止めつつあります。4種類の親玉とともにその転写因子を線維芽細胞に導入することで、4割の遺伝子発現が消えて完全な単球に変換できるかどうか、実験を始めているところです」

分化を終えた細胞から目的細胞に直接変換する研究を行っているのは、鈴木GDたちだけではない。ただし、ほかの研究グループの多くは、重要だと思われるさまざまな遺伝子を導入する実験などを試行錯誤で行い、目的細胞をつくらうとしている。「私たちは、この手順を踏めば、400種類すべての細胞を確実に作り出せるという汎用性を持つ手法の確立を目指しています。そのために、同じ手順で、単球以外の種類に直接変換する実験も進めています」

分化を終えた入手しやすい細胞から、あらゆる細胞に直接変換できるようになれば、iPS細胞は必要なくなるのか。「そんなことはありません。iPS細胞は無限に増殖させることができ、長期保存も可能という大きな利点があります。一方、分化を終えた細胞の増殖能力は限られ、1～2ヶ月ほどしか保存できません」

がん細胞も無限に増殖する。iPS細胞は、がん細胞に似た特徴を持つのだ。そのため、iPS細胞から分化させた細胞の一部が、がん化してしまう危険性が

関連情報

- 2013年10月3日プレスリリース
「薬の効果がもたらす遺伝子発現の変化を網羅的・定量的に捉える」
- 2012年3月14日プレスリリース
「iPS細胞を経由せずに特定の機能を持つ細胞作製に成功」

指摘されている。「分化を終えた細胞は増殖能力が限られるので、それから直接変換した細胞ががん化する危険性は少ないでしょう。iPS細胞を用いる手法と、分化を終えた細胞を用いる手法には、一長一短があるのです。私たちは、iPS細胞を目的細胞に安全かつ完全に分化させる研究も進めています」

■ RNAを解析して

薬効メカニズムを突き止める

創薬では、たくさんの化合物を細胞に作用させて、薬として効果のあるものを選び出すスクリーニングが行われる。「現在はまだ、すべての種類のヒト細胞をスクリーニングに利用できる

わけではありません。細胞の種類を変換する技術であらゆる種類のヒト細胞をつくり出すことができれば、創薬に大いに役立ちます」

薬が細胞に作用して、遺伝子発現が変化することで薬効が現れる。しかし従来の解析技術では、薬が作用する前後の遺伝子発現のわずかな違いを捉えることが難しく、薬効メカニズムが十分に解明されていない。

鈴木GDたちは2013年、RNAを解析する理研独自の「CAGE法」を進展させ、さらにRNAの情報（塩基配列）を高速に読み取る次世代シーケンサーを利用することで、薬を作用させた前後の遺伝子発現（RNAの種類と量）を

網羅的に捉える実験に成功した。

実験に用いたのは、乳がん細胞由来の細胞だ。EGFというタンパク質を、細胞表面の受容体が受け取ると、その情報が二つの経路で伝わり、がん増殖に必要な遺伝子発現を制御する。その情報伝達経路の異なる場所に作用する3種類の抗がん剤が開発されている（図3）。

鈴木GDたちは、U0126で一方の経路を阻害したときと、ワルトマニンで他方の経路を阻害したときで、遺伝子発現の変化の仕方を詳細に捉えることに成功した。

もう一つの薬のゲフィチニブ（商品名：イレッサ）は経路の分岐点に働き、二つの経路を同時に阻害する。ゲフィチニブによる遺伝子発現の変化を調べたところ、それぞれの経路を阻害するU0126とワルトマニンによる遺伝子発現の変化を足し合わせたもので説明できることが分かった。

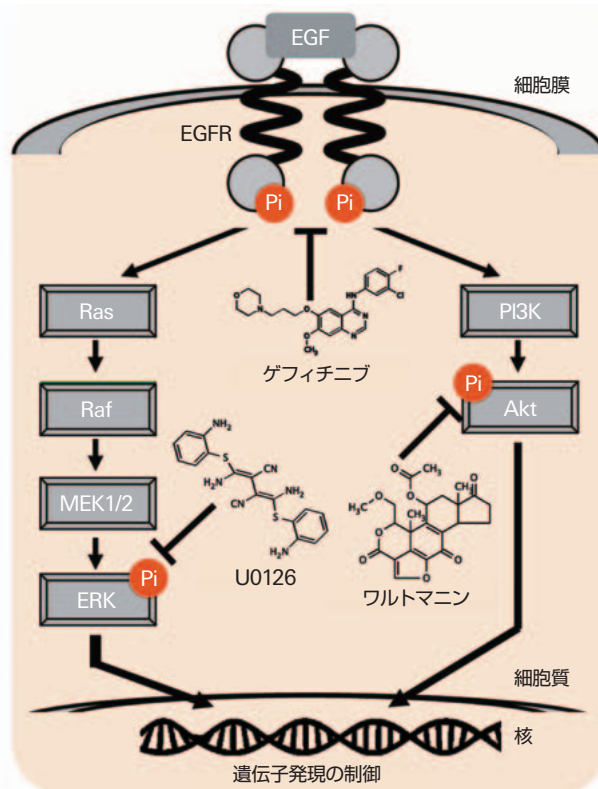
「もし、ゲフィチニブがどこに作用するか分かっていなくても、U0126とワルトマニンについて調べておけば、ゲフィチニブの薬効メカニズムを推定することができます。このような解析技術で薬効メカニズムの理解が進めば、薬効が高く副作用の少ない薬の開発や、臨床現場における投薬の重要な指針が得られます」

1990年代に理研で始まったRNAを解析する研究から、創薬や医療を支える基盤技術が次々と生み出されようとしている。

（取材・執筆：立山 晃／フotonクリエイト）

図3 抗がん剤が作用する情報伝達経路

EGFという物質を受容体（EGFR）が受け取ると、その情報は二つの経路を通り、がん増殖に必要な遺伝子発現を制御する。U0126とワルトマニンは、それぞれ一つの経路を阻害する。ゲフィチニブは経路の分岐点に働き、二つの経路を同時に阻害する。



食物繊維の多い食事が 大腸炎を抑える

腸内細菌がつくる酪酸が制御性T細胞へ分化誘導

2013年11月14日プレスリリース

小腸から大腸、肛門に至る長さ7~9mほどの腸管には、500種以上、100兆個を超える細菌（腸内細菌）がすみ着いている。その中にはビフィズス菌や乳酸菌などいわゆる善玉菌もいるが、大腸菌などのいわゆる悪玉菌もいて、ときに感染症の原因菌となることがある。腸管にはパイエル板に代表される腸に特有のリンパ組織が存在し、体内の免疫細胞の60~70%が集まり独自の免疫システム「腸管免疫系」を形成している。腸内細菌や食物など無害な異物は攻撃しないが、病原体など有害な異物は攻撃する。このような腸管免疫の働きに、実は腸内細菌が深く関わっている。

例えば、腸管免疫の働きが強過ぎて消化管に炎症を引き起こす炎症性腸疾患（潰瘍性大腸炎やクローン病）は、その働きを抑制する制御性T細胞の数が少ないことが一因とされているが、最近の研究でクロストリジウム目の腸内細菌が制御性T細胞を増やすことが分かってきた。また、炎症性腸疾患の患者では、酪酸をつくる腸内細菌の割合が著しく低下することも分かっている。理研統合生命医科学研究センター 粘膜システム研究グループの大野博司 グループディレクター、東京大学の長谷耕二 特任教授、慶應義塾大学の福田真嗣 特任准教授を中心とする共同研究グループ^{*}は、炎症性腸疾患において腸内細菌が腸管免疫をどのように調節しているのか、その分子メカニズムの解明に取り組んだ。

まず、クロストリジウム目の細菌群だけを腸に持つマウスを作製し、食物繊維を多く含む食事を与えた場合と、ほとんど含まない食事を与えた場合を比較すると、前者で制御性T細胞が大きく増加した。次に、腸内細菌が食物繊維を分解してつくるさまざまな代謝産物を未成熟なT細胞の培養液に入れ、どれが制御性T細胞への分化を誘導するかを調べ、酪酸であることを発見。酪酸濃度を高める酪酸化でんぷんを、離乳したばかりのマウスに食べさせたところ、食べていないマウスに比べ大腸の制御性T細胞の割合が約2倍に増加。また、大腸炎を起こしたマウスに酪酸化でんぷんを与えたところ、与えていないマウスに比べ制御性T細胞の数が1.5~2倍に増加し、大腸炎の症状が抑制された（図1）。最後に、酪酸を未成熟なT細胞の培養液に入れると、制御性T細胞への分化誘導に重要な *Foxp3* 遺伝子領域のヒストンのアセチル化が促進され、遺伝

酪酸化でんぷんを与えていないマウス 酪酸化でんぷんを与えたマウス

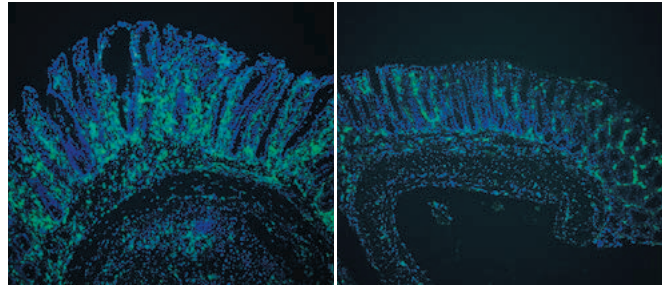


図1 酪酸化でんぷん摂取による大腸炎の抑制

大腸炎を起こしたマウスに酪酸化でんぷんを与えると、大腸粘膜の炎症性細胞（緑色）が抑制された。

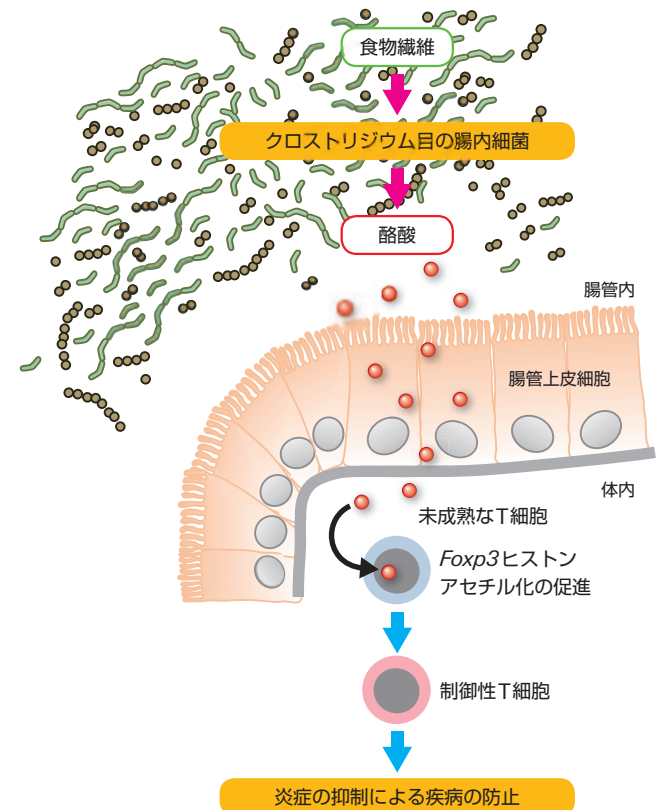


図2 腸内細菌がつくる酪酸と制御性T細胞への分化誘導

子の発現がオンに切り替わることを発見した。

以上の結果から、食物繊維の多い食事を取ると、腸内細菌の活動が高まり、その代謝産物である酪酸が増加する。それにより過剰な免疫応答を鎮める制御性T細胞の分化が誘導され、大腸炎が治まることが明らかとなった（図2）。炎症性腸疾患の発症メカニズムの解明に寄与するとともに、腸内細菌に着目した新たな治療法の開発に役立つ成果である。

●『Nature』オンライン版（11月13日）掲載

※共同研究グループ：理研統合生命医科学研究センター、東京大学医科学研究センター、慶應義塾大学先端生命科学研究所、理研環境資源科学センター、オーストラリアCSIRO Food and Nutritional Sciences、静岡大学農学部

脳神経細胞の樹状突起 形成メカニズムの一端を発見

2013年11月1日プレスリリース

脳は、数百億個以上の神経細胞から成る。それぞれの神経細胞には、情報の送り手である1本の突起（軸索）と受け手である複数の突起（樹状突起）があり、ある神経細胞から伸びた軸索は、特定の神経細胞の樹状突起につながり情報がやりとりされている。生後間もない時期、樹状突起はさまざまな方向に伸びているが、学習して情報が入力されるに従い不要な樹状突起は除去され、特定の方向に伸びるようになる。この樹状突起の除去が正しく行われないと神経回路は混線し、さまざまな精神疾患を引き起こすとされているが、そのメカニズムは明らかでない。

マウスの大脳皮質には、ヒゲから入力される感覚情報を処理するバレル皮質という領域がある。理研脳科学総合研究センター 視床発生研究チーム（しもとあけ）の下郡智美チームリーダー、松居亜寿香 研究員らは、同領域だけで発現する *Btbd3* 遺伝子に着目。通常マウスでは、神経細胞は感覚情報の入力が多い方向にのみ

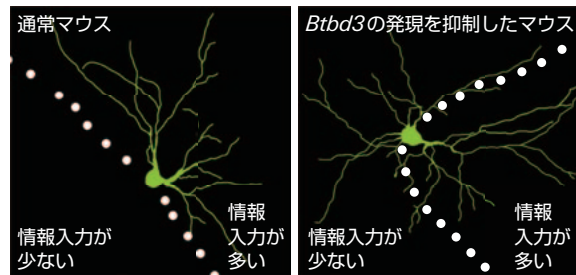


図 バレル皮質における神経細胞の樹状突起

その樹状突起を維持するが（図左）、*Btbd3*の発現を抑制すると、入力が少ない方向の樹状突起が除去されないことを発見した（図右）。また、視覚野で *Btbd3* を強制的に発現させると、樹状突起は視覚情報が多く入力する領域に優位に維持された。

さらに同様の仕組みがイタチ科のフェレットにも存在することを確認し、樹状突起の形成メカニズムに *Btbd3* が種を超えて重要な役割を果たしていることが分かった。進化的に保存される神経回路メカニズムを明らかにした本成果は、神経回路の混線などにより生じる精神疾患の解明につながると期待される。

● 『Science』 オンライン版（10月31日）掲載

スピン流を検出する酸化物材料

2013年12月11日プレスリリース

電気抵抗による発熱が起らない磁気の流れ、スピン流が注目されている。これを省電力デバイスに応用するためには、スピン流を効率よく検出する必要がある。電子のスピンと電子の軌道運動との間には磁気的な相互作用（スピン軌道相互作用）があり、これが強く働く重金属ではスピン流が電流に変換される現象「逆スピンホール効果」が生じる。その電流を電圧として測定できれば、スピン流の検出が可能となる。ところが、重金属は電気抵抗が小さいため、生じた弱い電流を電圧として取り出すには限界がある。

理研 高木磁性研究室の藤原宏平 基礎科学特別研究員（現・大阪大学助教）、高木英典 主任研究員（あ）らは、スピン軌道相互作用が強く電気抵抗も高い、元素周期表の第6周期に属する遷移元素の酸化物に着目。その一つである二酸化イリジウム IrO_2 の細線を、強磁性体の NiFe と非磁性体の Ag から成る積層構造の素子に組み込み、スピン流を IrO_2 に注入したときの電圧を測定した（図）。その結果、室温で逆スピンホール効果が起きていることを確認、スピン流から電圧への変換

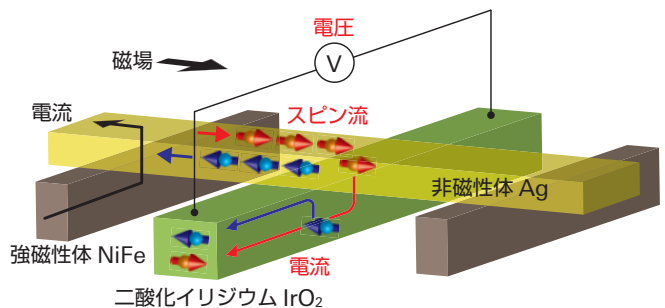


図 逆スピンホール効果を測定した素子（模式図）

左側の強磁性体 NiFe （茶）から非磁性体 Ag （黄）に電流を流すと、強磁性体と非磁性体の接合面付近にスピン（赤：強磁性体中の多数スピン）が蓄積し、右側に拡散していく。同時に逆向きスピン（青）が左側に拡散することで、電流を伴わないスピン流が得られる。そのスピン流が非磁性体から二酸化イリジウム IrO_2 （緑）に入ると、逆スピンホール効果によってスピン流が電流に変換され、図手前側に電子が蓄積する。

効率が金属の数十倍に達することが分かった。

IrO_2 がスピン流を高感度に検出できる材料であることを実証した本成果は、省電力スピントロニクスデバイスの開発に貢献すると考えられる。

● 『Nature Communications』 オンライン版（12月11日）掲載

※ 研究グループのほかのメンバー：同研究室の松野丈夫 専任研究員（現・石橋極微デバイス工学研究室）、創発物性科学研究センター 量子ナノ磁性研究チームの大谷義近チームリーダー、福岡康裕 副チームリーダー（現・九州工業大学准教授）など

化石研究と発生学を駆使して 生物進化をひもとく古生物学者

理研発生・再生科学総合研究センター (CDB) に、化石の研究と発生学の実験を駆使して生物進化の謎を解き明かそうとしている研究者がいる。形態進化研究グループの平沢達矢 研究員だ。2013年には、横隔膜が、これまで提唱されていた舌や体壁の筋肉ではなく、肩の筋肉から進化したという新しいシナリオを発表 (図)。化石種も含めた動物の骨格や神経に関する比較解剖学と、胚発生における細胞の移動に関する研究によって得られた成果だ。もともとの専門は古脊椎動物学。発生学の実験手法は2010年にCDBに来てから学んだ。「理研で化石の研究をしているのは、私だけではないでしょうか」と笑う。休日は街に出て服を見て回る。「古着が好き。化石好きの延長かな。古着は、ボタンやジッパーで年代を同定できるんですよ」。そんな平沢研究員の素顔に迫る。



平沢達矢

発生・再生科学総合研究センター
形態進化研究グループ 研究員

ひらさわ・たつや

1981年、東京都生まれ。博士 (理学)。江戸川学園取手高等学校卒業。東京大学理学部地学科卒業。同大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了。理研発生・再生科学総合研究センター基礎科学特別研究員を経て、2013年より現職。

「私の原点はこれです」と言って平沢研究員は1冊の本を取り出した。「1985年、4歳のときに国立科学博物館で開催された『特別展 イグアノドン』で買ってもらった図録です。動物や植物、昆虫の図鑑も好きでしたが、この本が一番好き。大昔にこんな変な形の生物がいたのかとワクワクしながら、繰り返し見ていました」。もう一つ「古生物学研究所」と書かれた札を取り出した。「小学6年生のときに勉強机に貼っていたものです。そのときにはもう、古生物学者になると決めていました」

東京大学に進学。3年で学科を選択するとき、古生物学者になるにはどの学科にしたらよいか悩んだ。「現役の古生物学者に相談したら地学を学んだ方がいいと言われ、地学科に決めました。正しい決断だったと思います」。大学院では、呼吸機能の進化について地球環境変動との関連に注目して研究した。「世界各地の博物館を訪れ、化石標本を調べて回りました。それは今でも変わらない私の研究スタイルです」

平沢研究員は2010年にCDB形態進化研究グループへ。「培ってきた化石の知識に発生学的なアプローチを加えたら、生物の進化を研究する上で大きな強みになると考えました。横隔膜進化の新シナリオを提唱できたのも、化石と発生学を結び付けた独創的な視点が勝因です」。現在は、そのシナリ

基盤的単弓類 (頸椎数5)



哺乳類 (頸椎数7)

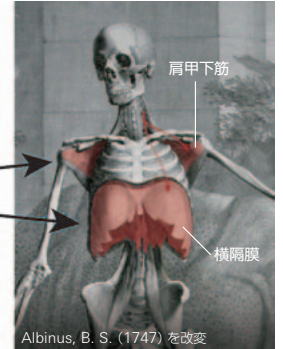


図 横隔膜進化の新シナリオ

哺乳類の祖先を含む基盤的単弓類 (左、ディメトロドン) では、肩は哺乳類と比べて頭側に位置していた。このような動物の進化において、肩甲骨の内側にある肩甲下筋は内側に張り出し、原始横隔膜として内臓の保持機能を獲得した。哺乳類 (右、ヒト) に至る進化の中で頸が長くなり、横隔膜と肩甲下筋は2つに分かれた。横隔膜は頸部体節由来の細胞から発生してくる。それは、祖先動物での肩甲下筋の名残だと推定される。

オを確実なものにするために、肩の筋肉と横隔膜で共通して発現している遺伝子を探索するなど、証拠集めを進めている。

博物館で1日の研究を終え、人けのなくなった展示室でふと骨格標本を見上げたとき、「なんて美しいんだ」と思うことがあるという。「死骸がばらばらにならずに地中に埋まって化石となり、何千万年という歳月を経て地殻変動で地表に現れ、発掘される。とても確率の低いことです。化石を目の前になると、生きていたときの姿や、そこに秘められた進化の謎を解き明かしてあげたいと思うのです」

平沢研究員には、いつも持ち歩いているノートがある。「研究のアイデアや論文で気になったことをメモしています」。大学時代からの習慣だが、研究で訪れていたスペインで盗難に遭い大切なノートをなくしたことがある。「バックアップの大切さを痛感し、今はメモ用と清書用のノートをつくっています。でも実は見直すことは少なく、学生時代のテスト勉強のように、書くことで頭にインプットしているのかもしれませんが」

今どんな研究アイデアが詰まっているのだろうか。「呼吸機能だけでなくいろいろな側面から生物進化と地球環境変動の関連を探っていきたいですね。最も興味を持っているのは、頸です。頸は今生きている爬虫類や鳥類、哺乳類にはありますが、祖先動物の化石は頸が短く、頭と肩は隣り合っています。いつ、どのように空間ができたのかを明らかにしたいのです。もう一つはクビナガリュウ。カメの甲羅は肋骨が変形して進化したものであることを明らかにして2013年に発表しましたが、クビナガリュウの肋骨でもカメの甲羅と同様の変化が起きているかもしれないのです。また博物館巡りをしないとイケないですね。満面の笑みをたたえる平沢研究員。イグアノドンの骨格標本を前に、はしゃぐ4歳の男子の子の笑顔が重なって見えた気がする。(取材・執筆: 鈴木志乃/フォトクリエイト)

初代バイオリソースセンター長 森脇和郎先生を偲んで

バイオリソースセンター長
小幡 裕一

理研が実験用マウスの基盤整備を開始するために1999年10月に設立したバイオリソースセンター準備委員会は、その後に実験植物、また1987年から理研が実施していたジーンバンク事業（細胞バンク、DNAバンク）も含む大構想へと発展しまし



森脇和郎ホールにてご講演（2012年11月2日）



『理研ニュース』2009年11月号「原酒」より

た。理研はこの委員会の委員長代理であった森脇和郎先生に、初代のセンター長として、この大構想の具現化をお願いしました。こうして2001年1月、バイオリソースセンターは発足しましたが、その立ち上げは決して順風満帆ではありませんでした。基盤整備と称して研究を行うのではないかという疑念の払拭と、バイオリソースセンターで働く研究者と技師の覚悟の確認が必要でした。しかし、森脇先生の強い信念とリーダーシップの下、船出することができ、今日に至っています。

森脇先生は国立遺伝学研究所で、欧米に負けないわが国独自の研究分野を創り出そうと、アジア産野生マウスを収集し研究成果を挙げた、哺乳類遺伝学の世界的権威でした。森脇先生はこれらのマウスを、ご自身の研究にとどまらず研究者へ広く供与し、わが国の生命科学の底上げに計り知れない貢献をされました。この実績と経験が、理研が森脇先生にバイオリソースセンターの立ち上げと運営をお願いした理由であると、容易に推察できます。

森脇先生の御尊父は森脇大五郎 元理研理事（1975～79年）です。大五郎先生はライフサイエンスの研究基盤の重要性を説かれました。「親の因果が……」と笑っておられましたが、森脇家は親子2代にわたって理研の研究基盤を構築したことになります。

森脇先生の楽しみは、研究者と話し合うことでした。それに少しのお酒が入ればなお良しということで、バイオリソースセンターでは、忘年会、暑気払いと機会あるごとに、森脇先生を囲んで深夜まで語らいが続くのが恒例でした。

秋から春は中折れ帽、夏はサファリ帽をかぶられた森脇先生が、毎朝9時半から10時の間に私の部屋の入り口に半分体をのぞかせ、「おはよう、今来ましたよ」「おはようございます」とあいさつを交わすのが10年来の日課でした。それも2013年11月23日をもってかなわなくなりました。今朝もドアの所に立っておられるような気がします。先生が人生最後の仕事として当センターに懸けられた思いを、今後も引き継ぐことが、後続の者の責務と思います。

光量子工学研究領域 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



理研-SIOM連携研究ユニット
ユニットリーダー

杉岡幸次 すぎおか・こうじ

- ①1961年
②広島県
③早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程
④理研 緑川レーザー物理工学研究室
⑤レーザー加工技術の開発とバイオチップなど機能マイクロデバイス作製への応用
⑥すぐできることは、すぐにやる
⑦食べ歩き、飲み歩き、ジョギング

私のキムチとキムジャン文化

板倉智敏 いたくら・ちとし

脳科学総合研究センター 研究基盤センター長

■キムチへのノスタルジア■

私は父の仕事の関係で北朝鮮で生まれ、11歳まで過ごした。日本人小学校に通ったが、朝鮮語を流暢にしゃべり、キムチの味も覚えたようである。特に、キムチのハクサイの葉1枚1枚の間に、ダイコンの千切りなどの豊富な具が多量に入っていたことを覚えている。これは北朝鮮と韓国のキムチの違いとも聞く。

理研へ来る前の北海道大学教授時代には、幼少時世話になった韓国(朝鮮)への恩返しとも思って、韓国からの留学生を積極的に受け入れた。彼らは帰国して大学の教授になり、学会活動も活発である。留学生には既婚者もいて、彼らの奥さん方が年申欠かさないようにキムチを漬けて提供してくれた。韓国の女性はキムチが漬けられないとお嫁に行けないといわれ、皆さん母親譲りでうまい。また韓国には、秋に家族、親戚、近所で一緒にキムチを漬け、分かち合う「キムジャン」文化がある。

北大を終えて理研に移り、自宅も構えて週末菜園を楽しむ、キムチ用の野菜を多くつくるようになった。家の近くの韓国人が営む韓国食料品店の奥さんにいろいろと教わったりしてキムチの自作を始めて10余年になる。

■好評に踊らされて腕を磨く■

韓国からの理研見学者に試食願ったところ、「韓国でもトップクラスの味」と好評を博し、自信を深めた？ソウル大学の学部生を東京大学大学院に世話し、彼女へもよくお裾分けした。彼女は日本酒が大好きになり、「先生のキムチと愛飲酒での一献は最高」とベタ褒め。母国のお母さんにそのキムチを味わわせたいと持参しようとしたが、成田空港の手荷物検査所で持ち込み不可となり、その場でパクリとすべて食べたとの言には感激。理研スタッフの既婚者に差し上げたら、それぞれのお連れの方がファンになり、リクエストもあってご夫妻での食卓のお花添えに。

キムチの悩みはにおいでである。ある方に差し上げたらお嬢さんに嫌われ、置き場がなく、泣く泣く物干ぎおにるされたとか。キムチ持参時の電車では、周囲に気付



写真1・栽培したハクサイを収穫する筆者

私流のキムチの漬け方

- ハクサイは4つ切り、大きいと6つ切りにして、それぞれ1枚1枚の葉の間に「漬け塩」を振って1夜寝かせる。翌日このハクサイを水洗いし、水を切る。
- 具をつくる。ダイコンをスライサーを使って千切りにし、手でしっかり絞って水分を抜く。これにニラ、セリ、ネギを加え、さらに小さく刻んだニンニク、ショウガを入れた後、アミ(塩漬け小エビ)を主に、塩、コショウ、しょうゆ、韓国原産のハソソジョン(イワシエキス)、トウガラシ、化学調味料などを使って味付けする。
- aのハクサイの葉1枚1枚の間にbの具を適量入れ、おけの中に重ねる。
- 涼しい所に4~5日置き、その後は冷蔵庫に保存する。漬けて2週間後から食べごろになる。

味へのこだわりとして：ハクサイ、ダイコンは霜が降りて気温が下がる12月中・下旬のものが実が締まり、甘みも増しておいしい。アミならびにトウガラシは韓国産を使う。特に、トウガラシは2種(辛みの強いものと甘みのあるもの)を使う。



写真2・出来上がりのキムチ。ハクサイの葉1枚1枚の間に具が豊富なのが特徴。

かれないか緊張の連続。しかし、差し上げる人「おいしい」と言わしめるために耐えている。まさしくキムジャン文化である。キムチは味を占めると病みつきになる。最近店頭で「においのないキムチ」を見掛け、研究してトライしなくては、と思いつつ。

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/