

RIKEN NEWS

No.344
February
2010

2

独立行政法人
理化学研究所

2 研究最前線

M細胞から腸管免疫のメカニズムを解き明かす

6 研究最前線

命をつなぐ技術を究める

10 FACE

星と星との間に潜む物質
その正体に迫る研究者

12 SPOT NEWS

- 世界最小の極細X線ビームを実現
10ナノメートルの壁を世界で初めて突破
- 葉緑体制御の司令塔遺伝子
「BPG2」を発見

13 TOPICS

- 新監事に魚森昌彦氏
- 新研究室主宰者の紹介
- 「最先端科学を学ぼう！
首都圏中高理系教員研修会 in RIKEN」
開催報告
- 「理研BSIサマープログラム」
若手研究者参加者募集のお知らせ
- 東京藝術大学—理化学研究所 連携協力記念シンポジウム
「未来を拓く～科学と芸術の交差～」開催報告

16 原酒

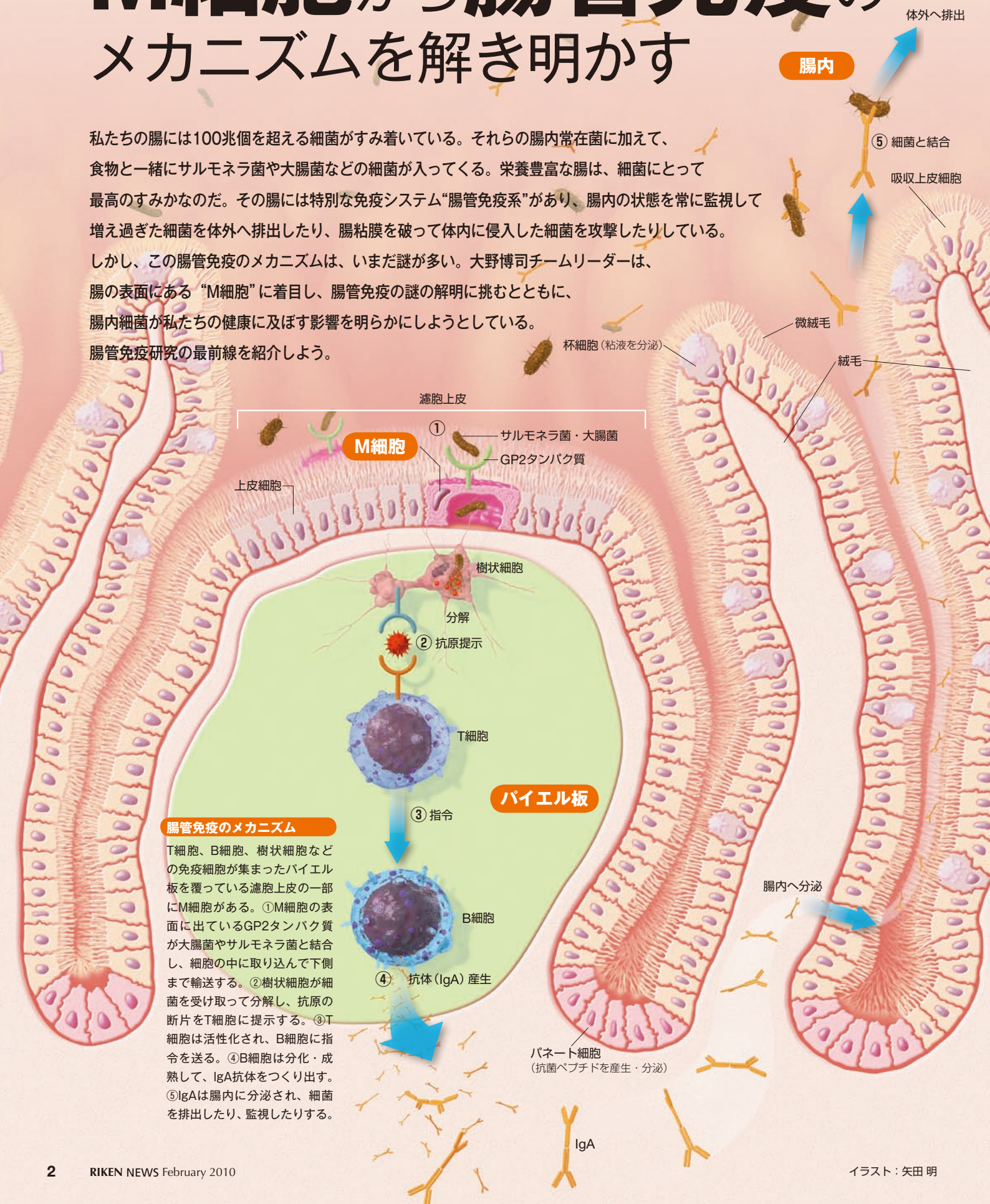
健脚ぞろいの理研仙台支所

RIKEN Mobile



M細胞から腸管免疫のメカニズムを解き明かす

私たちの腸には100兆個を超える細菌がすみ着いている。それらの腸内常在菌に加えて、食物と一緒にサルモネラ菌や大腸菌などの細菌が入ってくる。栄養豊富な腸は、細菌にとって最高のすみかなのだ。その腸には特別な免疫システム“腸管免疫系”があり、腸内の状態を常に監視して増え過ぎた細菌を体外へ排出したり、腸粘膜を破って体内に侵入した細菌を攻撃したりしている。しかし、この腸管免疫のメカニズムは、いまだ謎が多い。大野博司チームリーダーは、腸の表面にある“M細胞”に着目し、腸管免疫の謎の解明に挑むとともに、腸内細菌が私たちの健康に及ぼす影響を明らかにしようとしている。腸管免疫研究の最前線を紹介しよう。



腸管免疫のメカニズム

T細胞、B細胞、樹状細胞などの免疫細胞が集まったパイエル板を覆っている濾胞上皮の一部にM細胞がある。①M細胞の表面に出ているGP2タンパク質が大腸菌やサルモネラ菌と結合し、細胞の中に取り込んで下側まで輸送する。②樹状細胞が細菌を受け取って分解し、抗原の断片をT細胞に提示する。③T細胞は活性化され、B細胞に指令を送る。④B細胞は分化・成熟して、IgA抗体をつくり出す。⑤IgAは腸内に分泌され、細菌を排出したり、監視したりする。

腸管免疫を“M細胞”から解き明かすことで 新しい世界が見えてきます。

大野博司

免疫・アレルギー科学総合研究センター
免疫系構築研究チーム
チームリーダー



おおの・ひろし。1958年、東京都生まれ。医学博士。1983年千葉大学医学部卒業後、同大学麻酔学教室に入局。1987年同大学大学院医学研究科に進学、1991年修了。千葉大学医学部助手、ドイツ・ケルン大学遺伝学研究所、米国国立保険衛生研究所、千葉大学助教授、金沢大学がん研究所教授を経て、2002年2月より現職。

■ 腸管免疫とは

「小腸内の表面を電子顕微鏡で見ると、**絨毛**と呼ばれる突起がたくさんあります（図1左）。この絨毛の表面に並んだ吸収上皮細胞から、食物が消化されてできた栄養素が吸収されます」と大野博司チームリーダー（TL）。吸収上皮細胞の表面には微絨毛があり、この微絨毛によって小腸内の表面積が広がり、栄養素の吸収効率が高くなっている。

絨毛の間に見えるのが**濾胞**上皮で、濾胞上皮を構成する個々の上皮細胞にも微絨毛がある。しかし詳しく観察すると、微絨毛がない上皮細胞が所々にある。「これが、私の研究ターゲット“M細胞（microfold cell）”です（図1右）。M細胞は、腸管免疫において非常に重要な役割を持っています」

まず、免疫について簡単に説明しよう。生物は、体内に侵入してきた細菌などの異物を排除する免疫システムを持っている。この免疫システムを担うT細胞、B細胞、樹状細胞などの“免疫細胞”は、**胸腺**や**骨髄**でつくられる。T細胞とB細胞はリンパ節や**脾臓**へと運ばれて待機し、樹状細胞は全身に散らばってパトロールをする。樹状細胞は異物（抗原）を見つけると、細胞内に取り込んで分解し、その抗原情報をT細胞に提示する。T細胞は、B細胞に抗原情報を伝え、抗体をつくるように指令する。B細胞はIgG（免疫グロブリンG）などの抗体をつくって異物を攻撃する。このように働く免疫システムを“全身免疫系”と呼んでいる。

ところが免疫細胞の60～70%は、全身免疫をつかさどっているリンパ節や脾臓ではなく、腸に存在している。腸には、腸内常在菌がたくさんすみ着いているが、さらに、食物と一緒に外界から細菌などの異物がたくさん入ってくる。それらの細菌から体を守るため、腸には免疫細胞が集まった**パイエル板**に代表される“腸管関連免疫組織”があり、腸管免疫をつかさどっているのだ。

「免疫学は、免疫細胞をつくる胸腺や骨髄、そして全身免疫を中心に進んできました。それらの理解がだいぶ進んだこともあり、10年ほど前から腸管免疫も注目されるようになったのです」。大野TLも、2002年に理研免疫・アレルギー科学総合研究センター（RCAI）に免疫系構築研

究チームを立ち上げ、腸管免疫の研究を本格的にスタートさせた。「私はT細胞を中心に全身免疫を研究した後、上皮細胞がタンパク質を輸送するメカニズムを研究していました。全身免疫と上皮細胞の知識を組み合わせることで、腸管免疫についてユニークな研究ができると考えたのです」

■ 細菌と結合して取り込むM細胞の受容体を発見

M細胞が発見されたのは1974年。M細胞は細菌を取り込み、免疫応答を誘導していると考えられていたが、そのメカニズムは謎のままだった。「M細胞の機能を明らかにするために、まずM細胞で特異的に発現している遺伝子を見つけることにしました」と大野TL。

しかし、それは簡単なことではなかった。「M細胞の数は、小腸の上皮細胞総数の1000万分の1以下しかありません。しかも上皮細胞は培養が難しいため、増やすことができないのです」。大野TLは、M細胞だけを取り出して解

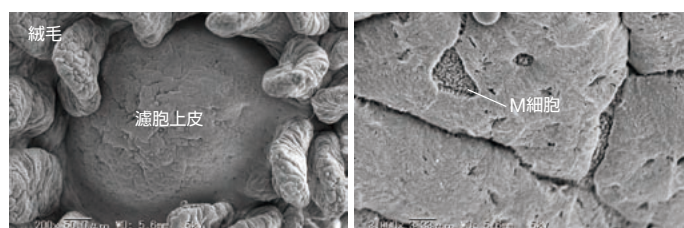


図1 マウスの小腸内表面の電子顕微鏡写真

（左）絨毛に囲まれたドーム状の部分が濾胞上皮。その下には免疫細胞が集まったパイエル板がある。（右）濾胞上皮を細胞が識別できる程度まで拡大。上皮細胞の表面は、長さ0.5mm、直径0.1mmほどの微絨毛で覆われている（この倍率では微絨毛の1本1本までは識別できていない）。M細胞には微絨毛がないため、周囲の細胞よりへこんで見える。

析することをあきらめ、まずM細胞を含む濾胞上皮で発現している遺伝子をRNAマイクロアレイで解析した。そして、M細胞を含まない上皮細胞だけの解析結果と比較することで、M細胞で特異的に発現している遺伝子を突き止めるという方法を取った。RNAマイクロアレイとは、たくさんの種類の遺伝子についてその発現の有無を、ごく微量の試料で一度に調べることができる分析手法だ。

そして大野TLは、GP2という遺伝子がM細胞で特異的に発現していることを明らかにした。「GP2遺伝子からつくられるGP2タンパク質は、M細胞の表面にあります」

GP2は、^{すいぞう}膵臓が分泌する膵液にたくさん含まれていることがすでに知られていたが、その機能は不明であった。M細胞の表面にあるGP2はどのような働きをするのだろうか。「大腸菌やサルモネラ菌と結合する受容体だったので。細菌がGP2と結合すると、M細胞は細菌を包み込んで自身の中に取り込み、下側へ運んでいくことが分かりました」と大野TL (2ページの図)。M細胞の下側は、パイエル板にある樹状細胞と接している。樹状細胞は、M細胞から細菌を受け取り、分解して抗原の断片をT細胞に提示する。するとT細胞が活性化され、B細胞に抗体をつくるように指令を送り、B細胞がIgA(免疫グロブリンA)をつくり始める。

「M細胞はとても面白い形をしています。その下側はポケットのようにえぐれているのです」。そのポケットに樹状細胞が突起を伸ばしている。「M細胞が取り込んだ細菌をできるだけ早く樹状細胞に渡し、免疫応答を速やかに引き起こすためでしょう」

IgAは腸内に分泌され、細菌と結合し、細菌を体外に排

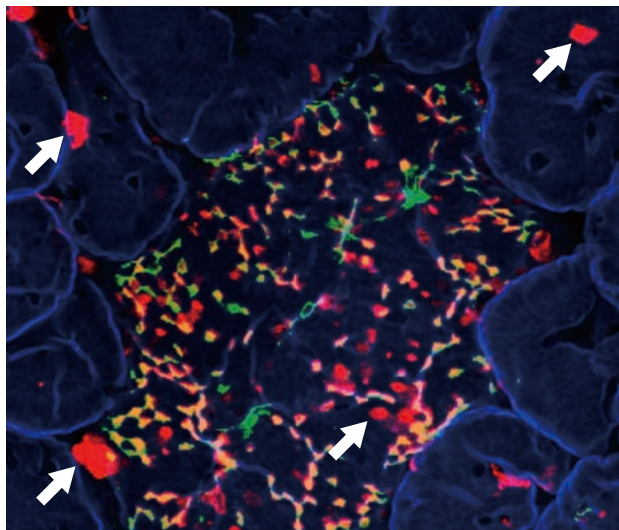


図2 小腸の上皮細胞におけるGP2タンパク質の発現

GP2タンパク質を緑色、UEA-1というタンパク質を赤色で染色した。UEA-1は特定の糖鎖と結合することから、マウスのM細胞を検出できる唯一のマーカースとして使われていた。しかし、M細胞以外も染色してしまう(矢印)。GP2は、M細胞だけに特異的に存在するのでM細胞だけを確実に識別できるマーカースとなる。黄色は、GP2とUEA-1の両方で染色されている細胞。

出する。IgAをつくることができないマウスでは、腸内細菌の数が通常の100倍になるという報告がある。細菌が増えると、腸粘膜を破って体内に侵入して腸炎などを引き起こす危険が増えるだけでなく、大腸がんの原因となる代謝産物がつくられることもある。「M細胞は腸管免疫応答を起こしてIgAをつくることによって、腸内の細菌が増え過ぎないように監視し、体内への侵入を水際で防いでいるのです」

この成果は、英国の科学雑誌『Nature』2009年11月12日号に掲載された。「M細胞が細菌を取り込んで免疫応答を起こすメカニズムが分かったことで、腸管免疫の応答を制御できるかもしれません」。腸管免疫の応答を強めることができると、炎症性腸炎や腸管感染症の予防や治療につながる。また、食物アレルギーは普段は反応しない食物の成分に対する異常な全身免疫応答が原因であるが、腸管免疫応答を調節することでこの異常な全身免疫応答を制御して食物アレルギーを回避できる可能性もある。

また、M細胞だけを確実に識別できるマーカースとしても、GP2タンパク質は有効だ。特定の細胞だけにあり、その細胞の目印となる遺伝子や分子を“マーカース”と呼ぶ。「GP2は、マウスにもヒトにもあります。種を超えて使うことができるM細胞のマーカースが見つかったことで、腸管免疫の研究が大きく進むことでしょう(図2)」。腸管免疫系が、病原性の細菌と病原性のない細菌をどのように見分けているかも、今後明らかにすべき課題である。

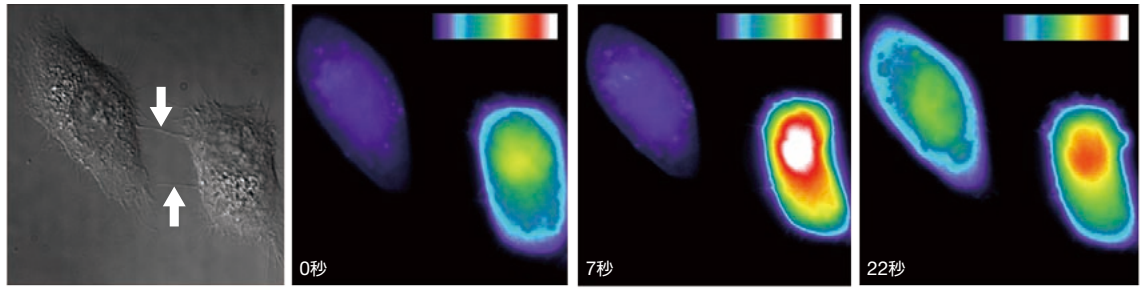
■ 経口ワクチンの開発に期待

今回の成果には、もう一つ大きな意義がある。「口から投与する“経口ワクチン”の開発が期待できます」と大野TL。現在のワクチンの多くは注射によって投与される。その場合、免疫応答によってつくられる抗体はIgGだけだ。IgGは、細菌やウイルスなどの抗原が体内に侵入して初めて攻撃を開始する。一方、M細胞を介して腸管免疫の応答を引き起こせばIgAがつくられるので、抗原が体内に侵入する前に防御することが可能になる。しかも、M細胞を介して抗原を取り込んだ樹状細胞はリンパ節や脾臓にも移動し、そこでT細胞に抗原提示することでIgGもつくられる。「現在、GP2タンパク質に結合する低分子化合物を探しています。ワクチンにその低分子化合物を付ければ、GP2に結合してM細胞に取り込まれ、免疫応答を起こすことができるでしょう」

ただし、経口ワクチンには一つ問題がある。ワクチンが胃で分解されることなく、腸まで届けられるようにするのが難しいのだ。「その問題を解決する糸口があります。口の奥の扁桃にもM細胞があり、その表面にはGP2があるのです。扁桃のM細胞がGP2を介して免疫応答を起こしてIgAをつくることが確認できれば、より簡単で効果の高い

図3 M-Sec遺伝子によるナノチューブの形成と情報伝達

M-Sec遺伝子を導入した二つのHeLa細胞を離して置くと、細胞膜が伸びて、二つの細胞はナノチューブでつながった(左の矢印)。右側の細胞に刺激を与えるとカルシウムシグナルの活性化が見られ、左側の細胞にも情報が伝達された。HeLa細胞は実験に多用されているヒト細胞。



経口ワクチンが実現するでしょう」

■ 細胞と細胞をつないで素早い情報伝達を実現

M細胞に特異的に発現している遺伝子を探している中で、もう一つ大きな発見があった。それはM細胞や樹状細胞で発現しているM-Sec遺伝子に関することだ。

「樹状細胞やマクロファージなどの免疫細胞同士は、細胞膜が伸びてできたナノチューブによってつながり、情報のやりとりを行っていることが知られています。M-Sec遺伝子がつくるタンパク質は、ナノチューブの形成にかかわっていることが分かったのです」

M-Sec遺伝子を発現させた二つの細胞を離して置くと、ナノチューブが形成されてつながる(図3)。一方の細胞に刺激を与えると、もう一方の細胞にも刺激が伝わることも分かった。「情報伝達分子を分泌するより、直接つながっている方が、早く確実に情報を伝達することができます」

M細胞も、互いにナノチューブでつながっている。ナノチューブを網の目状に張り巡らすことで、細菌をいち早く捕捉することができるのではないかと、大野TLは考えている。

この成果は、英国の科学雑誌『Nature Cell Biology』の2009年11月22日付オンライン版に掲載された。「私たちより少し前に、ある研究グループからマクロファージのナノチューブに関する論文が出ています」。「HIV(ヒト免疫不全ウイルス)に感染したマクロファージがB細胞にナノチューブを伸ばし、NefというHIV由来のタンパク質をB細胞に送り込んでIgGなどの抗体産生機能を阻害している」という内容だ。「私たちは、M-Secタンパク質の働きを阻害すると、細胞はナノチューブを形成できなくなることを確認しています。それによってHIV感染が引き起こす免疫不全を防ぐことができるかもしれません。これまでのエイズ治療薬と異なるメカニズムで働く薬ができると期待して、研究を進めています」

■ 腸内細菌を知り健康に活かす

腸には500種類以上、100兆個を超える細菌がすみ寄っている。「腸内細菌が健康や疾病の予防・発病と深くかかわっていることは確かです」と大野TL。健康増進や疾病

予防に効果があるとされるビフィズス菌や乳酸菌を含む食品の摂取を心掛けている人も多いだろう。しかし、その作用メカニズムは、実はよく分かっていない。「“悪玉菌”“善玉菌”の区別も、試験管内での実験をもとにしている場合がほとんどです。細菌が腸内の環境において、健康にどのような影響を与えているのかをきちんと調べる必要があります」

大野TLは、無菌マウスを用いてビフィズス菌などの生体への影響を調べる実験を行っている。無菌マウスに病原性大腸菌O157を感染させると、O157がつくる毒素によって腸の上皮細胞が死んでしまう。しかし、ビフィズス菌を腸にすまわせておくと上皮細胞が死にくくなるという結果が出ている。ビフィズス菌が出す物質に、上皮細胞を保護する作用があるようだ。「このような実験を重ねることで、腸内細菌が上皮細胞や腸管免疫、さらには健康に与える影響を明らかにしていきたいと思っています」

さらに、東京大学新領域創成科学研究科の服部正平教授らと、腸内細菌をDNA、RNA、代謝産物、細菌個体など、あらゆるレベルで丸ごと解析するプロジェクトが進行中だ。健康な人と病気の人、ビフィズス菌や乳酸菌の摂取前後など、いろいろな状態の腸内細菌について調べていく。「朝トイレで排便すると、自動的に腸内細菌の状態が解析され、理想の状態に戻すためにはどういう食品や薬を摂取すればいいかを科学的根拠に基づいてアドバイスしてくれる——そんな時代が来ると思います」

最後に、M細胞に関する研究の展望を聞いた。「M細胞は、どのように分化してできた細胞なのかもまだ分かっていません。ぜひM細胞の全貌を明らかにしたい」と大野TL。研究チームでは最近、M細胞への分化を誘導する物質を発見している。今後の研究の進展が期待される。「RCAIの免疫系構築研究チームがM細胞研究のメッカだ！」と言われるようになりたいですね

R

(取材・執筆：鈴木志乃／フォトンクリエイト)

関連情報

- 2009年11月23日プレスリリース「細胞間を連結する細胞膜ナノチューブの形成因子「M-Sec」を発見」
- 2009年11月12日プレスリリース「腸管免疫応答に重要な細菌認識受容体を世界に先駆けて発見」
- 特願2006-331950「腸管M細胞マーカーとしてのGP2の使用」

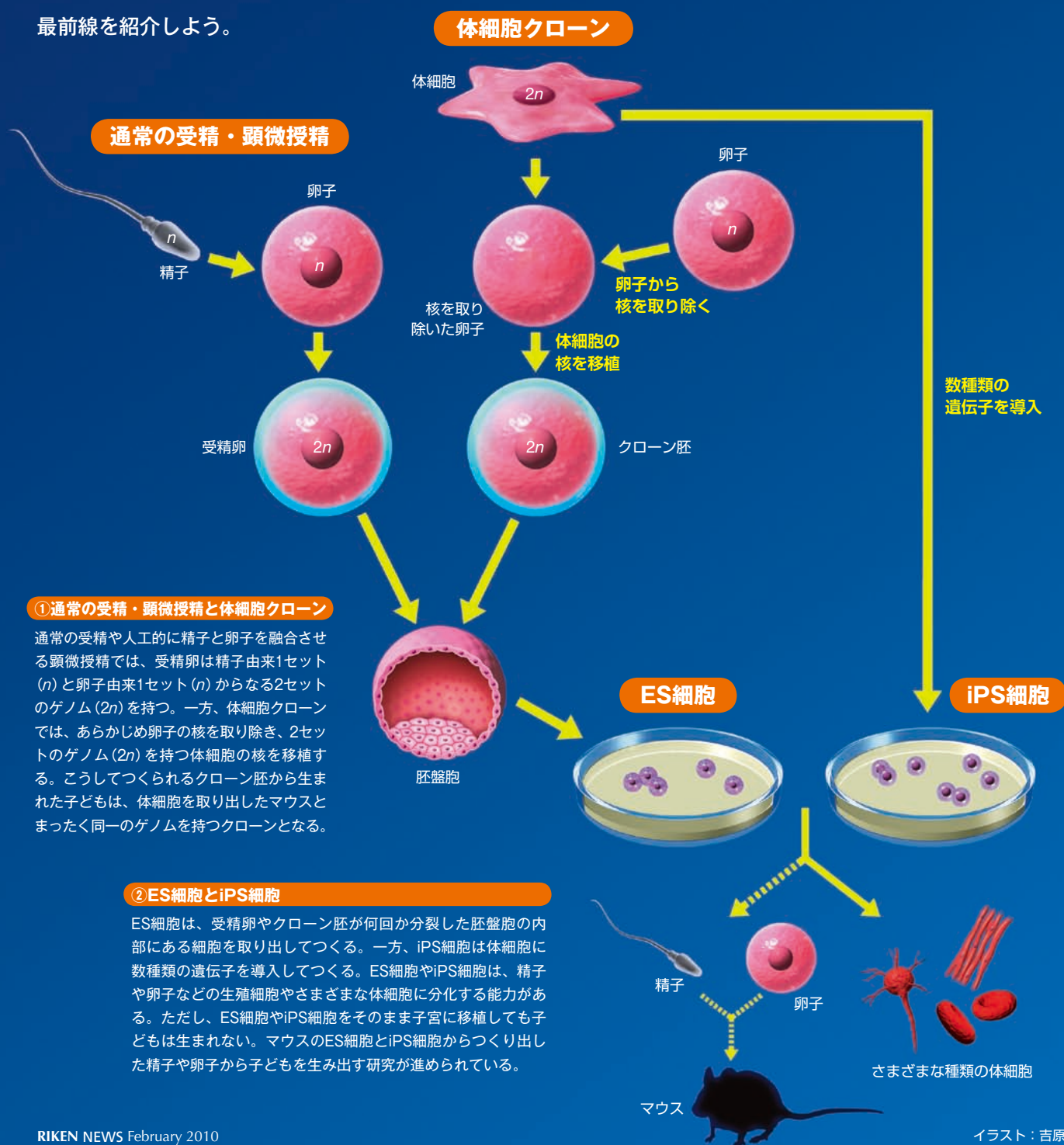
命をつなぐ技術を究める

小倉^{あつお}淳郎室長が率いる遺伝工学基盤技術室は、理研バイオリソースセンター（BRC）が収集した約4000系統のマウスを保存・提供するため、系統を維持する“命をつなぐ技術”を開発している。

2006年、小倉室長たちは -20°C で15年間凍結保存されていたマウスから精子を取り出し、子どもをつくることに成功した。

遺伝工学基盤技術室は、体細胞クローンマウスを確実につくることできる、世界でも数少ない研究室の一つとしても知られている。

急速に進展する命をつなぐ技術の最前線を紹介しよう。



① 通常受精・顕微授精と体細胞クローン

通常受精や人工的に精子と卵子を融合させる顕微授精では、受精卵は精子由来1セット (n) と卵子由来1セット (n) からなる2セットのゲノム ($2n$) を持つ。一方、体細胞クローンでは、あらかじめ卵子の核を取り除き、2セットのゲノム ($2n$) を持つ体細胞の核を移植する。こうしてつくられるクローン胚から生まれた子どもは、体細胞を取り出したマウスとまったく同一のゲノムを持つクローンとなる。

② ES細胞とiPS細胞

ES細胞は、受精卵やクローン胚が何回か分裂した胚盤胞の内部にある細胞を取り出してつくる。一方、iPS細胞は体細胞に数種類の遺伝子を導入してつくる。ES細胞やiPS細胞は、精子や卵子などの生殖細胞やさまざまな体細胞に分化する能力がある。ただし、ES細胞やiPS細胞をそのまま子宮に移植しても子どもは生まれない。マウスのES細胞とiPS細胞から作り出した精子や卵子から子どもを生み出す研究が進められている。

通常の卵子や精子以外のゲノムから
マウスの子どもをつくることに、こだわってきました。
それが、そのゲノムが完全であることの
究極の証明となるからです。

小倉淳郎

バイオリソースセンター
遺伝工学基盤技術室
室長



おぐら・あつお。1960年、東京都生まれ。農学博士。獣医師。東京大学大学院農学系研究科博士課程修了。国立感染症研究所を経て、2002年より現職。専門は顕微操作技術を用いた実験動物の発生工学。

■ 新たな凍結保存技術の開発

遺伝子の99%がヒトと共通しているマウスは、生命科学や医学の研究に不可欠な実験動物だ。「例えば、遺伝子を改変することで、ヒトと同じような病状を示す疾患モデルマウスの系統がつくられ、病気のマカニズムの解明や創薬に貢献しています。私たちの研究室では、日本を中心とした世界中の研究者が開発した疾患モデルマウスなど、約4000に上るマウスの系統を維持するための技術開発を進めています。それらのマウスはBRCから世界中の研究者に提供されています。BRCのマウス保存系統数は、米国のジャクソン研究所に次いで世界第2位で、毎年増え続けています」と小倉淳郎室長。

大半の系統は、精子や卵子などの生殖細胞や受精卵を液体窒素により-196℃で凍結保存しているが、それができない系統がある。凍結する際の細胞へのダメージやそれを防ぐ薬品の毒性により、解凍後に発生が止まってしまうのだ。小倉室長たちは2000年、従来使用していた薬品の代わりにエチレングリコール液を用いることで、多くの系統を凍結保存することに成功した。「ただし現在でも、BRCで保存している系統のうち2割は凍結保存ができません。凍結保存ができなければ、マウスを飼いつけて子どもをつくり、系統が途絶えないように維持していかなければなりません。それには大きなコストがかかります。私たちは凍結保存の技術をさらに発展させる研究を進めています」

■ マウスの世代交代を半分の日数で実現

小倉室長たちは、通常受精によらずに子どもをつくる技術の開発にも取り組んでいる。通常受精では、精子が泳いで自らの力で卵子へ入り込む。しかし、凍結保存した精子が解凍後に泳ぐ能力を失ってしまっている場合には、顕微鏡下で人工的に精子を卵子に注入する。これを“顕微授精”という。

ヒトの顕微授精の技術が確立されたのは1992年。しかし、マウスの顕微授精は、ヒトに比べて卵子が壊れやすい

ため長らく成功しなかった。1991年、小倉室長は^{ほじゅう}哺乳類の生殖に関する世界的権威であるハワイ大学の^{やまざきりゅうぞう}柳町隆造博士の研究室に留学し、マウスの顕微授精の技術開発に取り組んだ。そして帰国後の1994年、顕微授精でマウスの子どもをつくることに世界で初めて成功した。「その実験では、泳ぐ能力がまだない円形精子細胞を用いました(図1)。この細胞は精子に分化する前の未熟な生殖細胞です。マイクロマニピュレーターという装置で円形精子細胞を卵子の近くに置き、電気刺激を与えて融合させることで顕微授精に成功しました」

その後、ハワイ大学の柳町研究室では、マイクロマニピュレーターに新たにピエゾ素子(圧電素子)を組み込むことでピペットを高速で動くようにし、卵子に小さな穴を素早く開けて精子を注入する顕微授精の技術を確立した。その操作には熟練を要するが、遺伝工学基盤技術室には、顕微授精のスペシャリストが小倉室長を含めて3人在籍している。

2009年、小倉室長たちは顕微授精の技術を駆使して、通常の日数の半分でマウスの世代交代を実現した。マウスのオスが成熟した精子をつくり、交配ができるようになるのは生後2~3ヶ月以降だ。マウスの妊娠期間は20日間なので、マウスの世代交代は最短でも、60日(2ヶ月)+20日=80日間かかる。小倉室長たちは、生後22日目のオスから採取した円形精子細胞を用いて顕微授精を行い、子どもを誕生させた。22日+20日=42日間という日数は、哺乳類の世代交代の最短記録だ。

世代交代の倍速化の技術は、マウスを用いた研究のスピードアップに大きく貢献する。「例えば、遺伝子を改変して何らかの病気になった疾患モデルマウスをつくり出した場合、そのマウスと健康な標準マウスをさまざまな実験

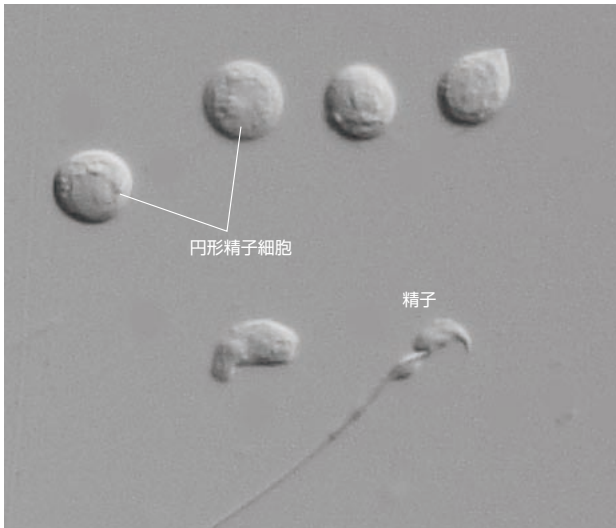


図1 円形精子細胞と精子

円形精子細胞は自ら受精する能力はないが、精子と同様に1セットのゲノムを持つ未熟な生殖細胞である。

により比較することで、改変した遺伝子と病気との関係を探ります。ただしその際、改変した遺伝子以外の遺伝情報が標準マウスの遺伝情報と同一でなければ、改変した遺伝子と病気との関係を解明することは困難です。そのため、改変した遺伝子以外の遺伝情報を、標準マウスの遺伝情報へ“均一化”する必要があります。この均一化には、標準マウスと遺伝子改変マウスを交配させる世代交代を、数回から10回以上繰り返す必要があり、通常1~3年かかります」

小倉室長たちは世代交代を倍速化することで、均一化を3ヶ月~半年で実現した。世代交代の倍速化技術は、家畜の品種改良などへの応用も期待されている。

■ 体細胞クローンの成功の鍵を握るX染色体

2006年、小倉室長たちは-20℃で15年もの間、凍結保存していたマウスから取り出した精子を顕微授精させ、子どもをつくることにも成功している(図2)。「生物や個々の細胞が生きていることと、ゲノム(全遺伝情報)が生き



図2 死後15年間凍結保存されたマウスの精子から生まれたマウス
この実験により、マウス個体や精巣を-20℃程度で凍結するという精子の新しい保存法を開発できる可能性が示された。

ていることは別なのです」

この研究にはさらなる展開があった。「翌年、若山チームリーダー(TL)が“凍結したマウスの体細胞からもクローンをつくることができそうです”と、こっそり教えてくれました。そこで、凍結16年目のマウスを送りました」。若山TLとは、1998年にハワイ大学の柳町研究室で世界初の体細胞クローンマウスを誕生させ、現在、理研発生・再生科学総合研究センター ゲノム・リプログラミング研究チームを率いている若山照彦TLのことだ。若山TLたちは2008年、16年間凍結保存されていたマウスの体細胞から、クローンマウスをつくることに成功している。

ここで、体細胞クローンについて簡単に紹介しよう(6ページの図①)。多細胞生物の細胞は、精子や卵子などの“生殖細胞”と、それ以外の体をつくる“体細胞”の2種類に分けられる。私たちの体細胞の核には父方と母方から受け継いだゲノムが2セット収められている。一方、減数分裂によってつくられる生殖細胞の精子と卵子の核のゲノムは1セットだ。通常の受精では、精子由来の1セット+卵子由来の1セット=2セットのゲノムを持つ受精卵ができ、それが分裂を繰り返して子どもが生まれる。これは人工的に精子を卵子に注入する顕微授精でも同じだ。

体細胞クローンでは、まず卵子の核を取り除き、2セットのゲノムを持つ体細胞の核を卵子に移植してクローン胚をつくる。そのクローン胚から誕生した子どもは、体細胞を取り出したマウスとまったく同一のゲノムを持つクローンとなる。

「一個体中の体細胞の数は生殖細胞に比べて格段に多く、体外で培養して増やすことも可能です。体細胞から子どもをつくることができれば、マウス系統の維持に大きなメリットとなります」。遺伝工学基盤技術室は、体細胞クローンマウスを確実につくることのできる、世界でも数少ない研究室の一つでもある。ただし、世界のどの研究室でも、体細胞クローンの成功率は低い。「世界初の体細胞クローンマウスが誕生してから10年以上がたちましたが、成功率はいまだに1~2%程度です」

体細胞クローンの成功率が低い原因の一つは、ゲノムの状態にあると考えられている。受精卵のゲノム上にあるあらゆる遺伝子は、いつでも発現できる状態になっている。そして発生が始まると必要な遺伝子が次々と発現しながら増殖と分裂を繰り返し、皮膚や神経など特定の種類の体細胞に分化していく。その分化の過程で、それぞれの細胞では必要な遺伝子だけが発現し、それ以外の遺伝子は発現しないように抑え込まれる。つまり、必要のない遺伝子は発現しないように“封印”されていく。

体細胞クローンが成功するには、卵子に注入された体細胞のゲノムの“封印”が解かれ、受精卵のゲノムと同じように、あらゆる遺伝子がいつでも発現できる状態に“初期

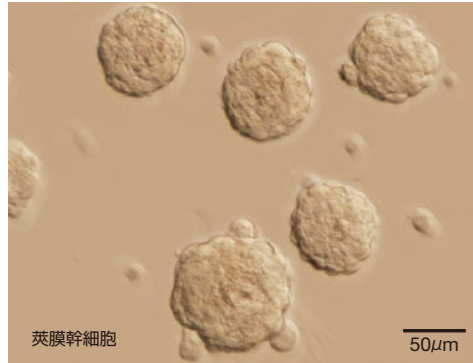
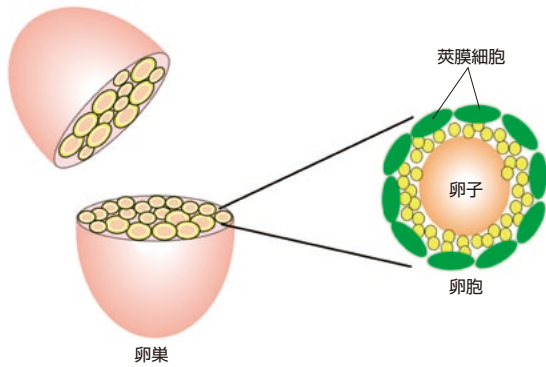


図3 莢膜細胞と莢膜幹細胞
 莢膜細胞は性ホルモンを放出して卵子の発育を助ける。小倉室長たちは、マウスの卵巣の中で、莢膜細胞をつくる莢膜幹細胞を発見した。

化”される必要があるのだ。「卵子の中にある何らかのタンパク質が、注入した体細胞の核に作用して初期化が行われると考えられます。しかしその仕組みは、まったく分かっていません」

不思議なことに、“封印”が多いと考えられる分化し終わった細胞よりも、複数の種類の細胞へ分化する能力を残した幹細胞を用いた方が、クローンの成功率が低いケースがある。「私たちは、血球系細胞のもととなる造血幹細胞よりも、そこから分化したNKTリンパ球（白血球の一種）の方が、クローンに成功しやすいことを確認しました」

体細胞クローンの成功率が低いことは、通常の受精卵のゲノムとクローン胚のゲノムの状態に、何らかの違いがあることを示している。「私たちは受精卵とクローン胚の遺伝子の発現の状態を比較してみました。すると、クローン胚ではX染色体上で特定の遺伝子だけが強く発現していて、ほかの遺伝子の発現が抑えられていることが分かりました。それによりクローン胚の発生が妨げられるのかもしれませんが」。小倉室長たちは、体細胞の核を注入する前に、X染色体上で強く発現している特定の遺伝子の発現を抑えてクローンをつくる実験を始めている。「この方法でクローンの成功率を数倍から10倍程度向上できる可能性があります」

ただし、クローン技術には限界があるだろう、と小倉室長は指摘する。「成功率の上限は20%程度だという感触を持っています。核を体外に取り出すことによる卵子のダメージなど、クローンの成否にはゲノムの初期化以外の要因も大きく働いていると考えられるからです」

■ 10年後には、マウスのiPS細胞から生殖細胞をつくり、子どもを誕生させる

顕微授精でも体細胞クローンでも、子どもをつくり出すには卵子が欠かせない。“卵子は発生のときにすべてつられ、メスの持つ卵子の数は出生時に決まっている。出生後の卵巣には卵子をつくり出す幹細胞は存在しない”——それが従来の定説だった。

ところが2004年、米国の研究者が、マウスの卵巣で卵子の幹細胞を発見したと英国の科学雑誌『Nature』に発

表した。卵子の幹細胞を分離・培養できれば、体外で卵子をたくさんつくり出すことが可能になる。「この発表は学会に大論争を巻き起こしました。私たちはその発見を確かめるためにマウスの卵巣を詳しく調べました。しかし卵子の幹細胞は見つかりませんでした。現在、多くの研究者はその存在に懐疑的です。そして、卵子の幹細胞を探す過程で、私たちは卵巣で別の幹細胞を発見しました」

小倉室長たちが発見したのは、“莢膜細胞”の幹細胞（莢膜幹細胞）だった。莢膜細胞は、卵胞を包み込み卵子の発育に必要な性ホルモンを放出する体細胞である（図3）。「私たちは、莢膜幹細胞を分離・培養することに成功しました。これにより卵子が発育・成熟する過程を体外で再現して、そのメカニズムの解明につなげたいと思います。また、体外に取り出した卵子を良い状態に保つことも可能になるでしょう」

さらに、分離・培養された莢膜幹細胞は、体外で卵子をつくり出す研究にも大きく貢献する。小倉室長たちは、マウスのES細胞（胚性幹細胞）から卵子をつくる研究を開始した（6ページの図②）。ES細胞は、さまざまな細胞に分化できる能力を持つ。体細胞に数種類の遺伝子を導入してつくられるiPS細胞（人工多能性幹細胞）も、ES細胞と同様の能力を持つ。現在、マウスのES細胞やiPS細胞から精子や卵子をつくる研究が世界中で行われている。「この分野の競争はとても激しいので、10年後には、マウスの体細胞由来のiPS細胞から体外で生殖細胞がつくり出され、それらから子どもが誕生しているかもしれません」

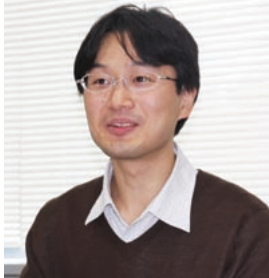
命をつなぐ技術の最前線は、体細胞と生殖細胞の境界を飛び越えようとしている。

（取材・執筆：立山 晃／フォトンクリエイト）

関連情報

- 2009年3月31日プレスリリース「未熟な生殖細胞を駆使し、マウス育種の倍速化に成功」
- 2007年7月17日プレスリリース「世界で初めて卵巣由来の幹細胞分離に成功」
- 2006年8月15日プレスリリース「15年冷凍保存マウスから子供を作出」
- 特願2009-187493「生物材料用ガラス化液、ガラス化キット、及びその利用」

星と星との間に潜む物質 その正体に迫る研究者



三澤 透 (みさわ・とおる)

1974年、長野県生まれ。理学博士。長野県立長野高校卒業。1998年、東北大学理学部宇宙地球物理学科卒業。2003年、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程修了。国立天文台、ペンシルベニア州立大学を経て、2008年、理化学研究所入所。専門はキューサー吸収線。



飛田 聡 (ひだ・あきら)

1975年、佐賀県生まれ。工学博士。1994年、久留米大学附設高等学校卒業。1998年、東京大学工学部物理工学科卒業。2003年、東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。東京工業大学助手を経て、2007年、理化学研究所入所。専門は顕微鏡法およびナノサイエンス。

興味を持ったもの——星と色

——どういう子どもでしたか。

三澤：信州で満天の星を見て育ったためか、星に興味がありました。小学6年生のときにハレー彗星の大接近があり、双眼鏡で観察しました。ぼやっとしか見えなかったのですが、神秘的な体験でしたね。

飛田：私は福岡県大牟田市、炭鉱の町で育ちました。捨て石を積んだ“ぼた山”に登ったり、こっそりトロッコに乗ったり、有明海で潟スキーをしたり、まさに自然児でした。

——研究者になろうと思ったきっかけは。

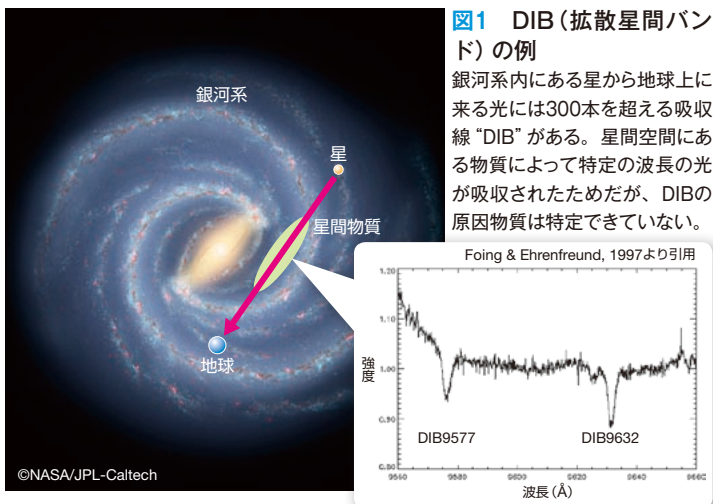
誰もが興味を抱く“生命の起源”の問題について、一つの示唆を与える結果が天文学の分野から提案されている。地球上の生物の体を構成する物質が、星と星の間に広がる“星間空間”と呼ばれる領域に存在するかもしれないのだ。星間空間に存在する物質の正体を探るため、理研基幹研究所の二人の若手研究者が手を組んだ。キューサー吸収線の観測・研究を専門とする三澤透 基礎科学特別研究員(牧島宇宙放射線研究室)と、分光装置の開発・ナノ物質の物性計測を専門とする飛田聡 基礎科学特別研究員(石橋極微デバイス工学研究室)だ。二人は2009年8月、天体観測と実験室での計測から、炭素原子60個で構成されるサッカーボール形の“フラーレン”(C₆₀)が星間空間に存在することを明らかにした。異分野の連携により短期間で大きな成果を挙げた、二人の素顔に迫る。

三澤：英語で主語と述語の順序が入れ替わった文学的な表現があると、違和感があって許せないと思うくらい、物事を突き詰める性格でした。間違いなく理系向き。物理、地学、生物、化学、全部に興味があり、どれにしようかずいぶん悩みました。高校2年生のとき、生物を本格的に学ぼうと決めていたのですが、NHKで放映された『アインシュタインロマン』を見て天文学者を目指すことにしました。

飛田：母の実家が佐賀県にあったので、有田焼の産地によく行きました。有田焼は白磁に描かれる鮮やかな色の絵が特徴ですが、窯に入れる前の色はまったく違います。その色が、なぜあのきれいな色になるのか不思議でした。色への興味が、今の仕事“分光”につながっていると思います。太陽の光をプリズムに通すと7色に分かれます。光を色、つまり波長ごとに分けて測定することを分光といいます。実は昔から陶芸自体にも興味があり、時には七輪を使って焼いたりもしています。自作のぐい飲みで飲むお酒は格別です。——どのような研究をされているのですか。

三澤：天文という銀河や星雲のきれいな写真を思い浮かべるかもしれませんが、私は直接目には見えないものを研究しています。銀河と銀河、星と星の間はガスで満たされていますが、そのガスは見ることはできません。天体から出た光はガスを通して地球に届きます。その光を分光し、横軸に波長、縦軸に強度を取ったグラフをつくると、谷のような部分が現れます。この谷はガス中の物質によって吸収された光で、“吸収線”と呼ばれます。吸収線の波長や強さを調べると、ガス中の物質を特定できるのです。大学院のときから、宇宙の果てにあるキューサーという天体から来る光の吸収線を観測して、銀河と銀河の間にある物質の研究をしてきました。

飛田：大学院では走査型プローブ顕微鏡と分光法を融合した装置を開発していたのですが、うまくいかず、試行錯誤の日々が2年間も続きました。そんなとき、原子で“IBM”と書いたことで有名なドン・アイグラー博士にお会いし、「自分も装置の開発には何年も苦労した。君も頑張りなさい」と言われ、勇気が出ました。その後、初めて出席した国際会議が、開発に成功した装置で出した研究成果での招待講



演でした。新しいことをやれば一気に最前線に行けることを知りました。一度それを味わうと、また新しいことをやりたくなる。理研でも、装置開発の仕事が続いています。

フラレンが二人をつないだ

——共同研究を始めたきっかけは。

三澤：銀河系内にある星から地球上に来る光には300本を超える吸収線が見つかっており、“DIB (Diffuse Inter-stellar Band: 拡散星間バンド)”と呼ばれています(図1)。しかし、DIBの原因物質は特定できていません。私は銀河と銀河の間にある物質を調べていましたが、“足元”の星間空間の物質すら分かっていないことを知り衝撃を受けました。2本のDIBだけは炭素原子60個で構成されるサッカーボール形の“フラレン”(C₆₀)ではないかといわれていたため、それが本当かどうか調べようと思ったのです。しかし、私にはフラレンの知識がない。研究室の上司に相談すると、理研に炭素物質の分光測定をしている研究者がいると教えてくれました。それが、飛田さんでした。

飛田：フラレンは星間物質の研究をきっかけに発見されたものですし、私も流星群を見に車で遠くまで出掛けたこともあります。三澤さんの話には、とても興味を引かれました。

三澤：さっそく「研究奨励ファンド^{*}」に応募しました。無事採択され、共同研究できることになったのです。

——どのような成果が出ているのですか。

飛田：実験室では、天文観測のデータと直接比較できるように、星間空間に近い環境をつくり出して光吸収を測定しなければなりません。星間空間には大気はなく、また星間物質は星からの強い紫外光などの影響を受けてイオン化していると考えられています。実験室でも、真空にした装置の中でフラレンをイオン化させて測定を行いました(図2)。難しかったのは、光吸収を測定している間、イオン化したフラレンを低い濃度で均一に保っておくこと。そこで大学時代からの装置づくりの経験が活かしました。C₆₀だけでなくC₇₀の光吸収の測定にも成功しています。研究奨励ファンドに採択されなかったら、この装置はつくれませんでしたね。

三澤：私は「すばる」望遠鏡を使ってオリオン星雲にある三つの星を観測しました。その結果、これまでの2本に加えて新たに3本の吸収線が、実験室で測定したC₆₀による吸収線と同一であることを明らかにしました(図3)。

研究奨励ファンドの成果報告会では、高い評価をいただきました。互いの存在がいい意味でのプレッシャーになり、良い結果につながったのだと思います。

フラレンからアミノ酸、生命の起源へ

——お互いの印象は。

三澤：飛田さんは堅実家。天文学者は“^{けた}桁の研究”といわれ、細かい数字を議論することはありません。飛田さんは細か

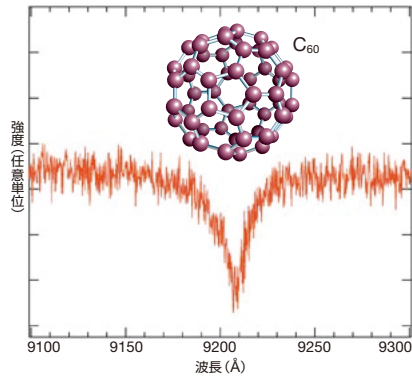


図2 実験室で測定したイオン化したC₆₀による吸収線の一つ。真空状態にした装置の中でC₆₀をイオン化し、外部から光を照射して波長ごとの透過率を調べることで、吸収線を検出することができる。C₆₀と同様のやり方で、ほかの試料の測定も可能。

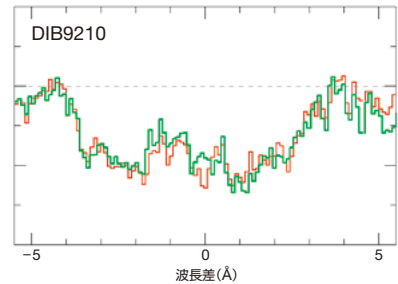


図3 C₆₀が原因と考えられる吸収線の一つ。オリオン星雲にある三つの星を観測し、そのうち二つの星で見つかった吸収線。実験室で測定したイオン化したC₆₀による吸収線と同じ波長であることが明らかになった。

い視点からの質問をしてきて、どんどん定量的な議論に発展していきます。とても勉強になります。

飛田：三澤さんはドリーマー。私もそうありたいと思っています。

——今後はどのように研究を進めていく計画ですか。

三澤：研究奨励ファンドは1年間で終了しましたが、共同研究は続けることができます。「すばる」望遠鏡を使って、ほかの星の吸収線を調べたり、100億光年も遠方の宇宙を観測して宇宙の歴史の中でいつフラレンがつけられたかを明らかにしたいと思っています。大気の影響を受けないハッブル宇宙望遠鏡を使った観測もしたいですね。

飛田：「すばる」の分光器は4mもあると聞いて驚きました。ぜひ見に行きたい。私たちの研究室の分光器は1m。観測データと細部まで比較できるように、さらに分解能を上げる努力をする必要があります。

——吸収線の研究は、どのような発展が期待できますか。

三澤：吸収線からアミノ酸を検出することもできます。私たちの体はアミノ酸が連なったタンパク質で構成されています。つまり、生命の起源へ迫ることができるのです。

飛田：今回製作した装置は、フラレン以外の物質も測定可能です。私はコラーゲンなど生体材料も扱っているので、任せてください。

三澤：飛田さんが生体材料を扱っているとは知りませんでした。ぜひ、アミノ酸をターゲットにした研究も進めましょう。R

(取材・構成：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

^{*}研究奨励ファンド：若手の意欲的な研究を奨励することを目的とし、理研基幹研究所・理研仁科加速器研究センター・理研放射光科学総合研究センターを中心に横断的に実施している。

世界最小の極細X線ビームを実現

10ナノメートルの壁を世界で初めて突破

2009年11月23日プレスリリース

理研放射光科学総合研究センター 石川哲也センター長、大阪大学 山内和人教授・三村秀和助教、および(財)高輝度光科学研究センターは共同で、大型放射光施設SPring-8を使って、直径7ナノメートル(ナノは10億分の1)のX線ビーム形成に成功し、X線ビームの直径10ナノメートルの壁を世界で初めて突破した。

X線顕微鏡は、物質に対する透過能力が高く、真空環境が要らないなどの特徴がある。直径数ナノメートルのX線ビームが実現すると、先端材料の3次元構造、元素、化学結合状態の同時観察、タンパク質の立体構造の観察などが可能となる。しかし、従来のX線集光システムの限界は数十ナノメートル程度で、電子顕微鏡の分解能に及ばなかった。

研究グループは、X線をミラー(集光ミラー)で反射させ一点に集めることでビームの微小化に取り組んできたが、ミラーの形状誤差や多層膜に起因する波面誤差の改善が課題だった。今回、集光ミラーの前段に、形状を0.1ナノメートル単位で制御できるミラー(形状可変ミラー)を設置。集光ミ

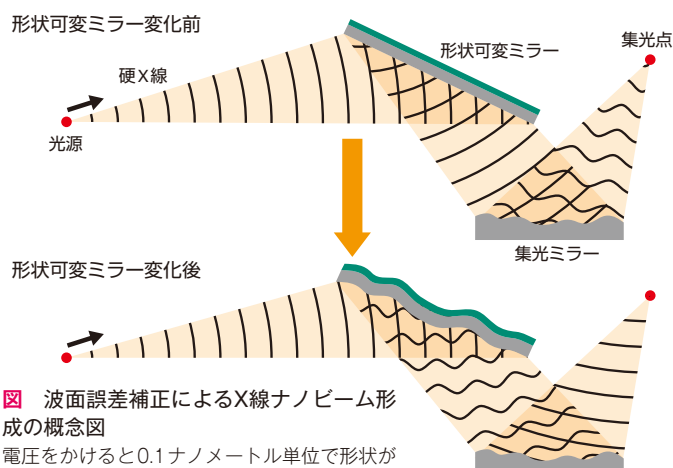


図 波面誤差補正によるX線ナノビーム形成の概念図

電圧をかけると0.1ナノメートル単位で形状が変化する形状可変ミラーを用いて、集光ミラーで発生する波面誤差を補正する。

ラーで生じる波面誤差を計算し、その誤差を補正するように形状可変ミラーの形状を変化させ、7ナノメートルのX線ビームを実現した(図)。

この成果は今後、ナノメートルの分解能を持つX線顕微鏡の開発につながるとともに、生命科学の進展や新材料開発に大きく貢献すると期待される。

●「Nature Physics」オンライン版(2009年11月22日)掲載

葉緑体制御の司令塔遺伝子「BPG2」を発見

2009年12月14日プレスリリース

理研基幹研究所 中野植物化学生物学研究ユニット 中野雄司 研究ユニットリーダー、小松知之ジュニアリサーチアシエント、および(独)科学技術振興機構(JST)は、植物が持つステロイドホルモンの一種「ブラシノステロイド」が葉緑体の活性化を調節する際に、「BPG2」遺伝子が司令塔役としてかかわっていることを発見した。理研植物科学研究センター、東京大学、東京農工大学との共同研究の成果。

植物体内でブラシノステロイドが増加すると茎や葉が生長し、減少すると光合成を行う葉緑体が活性化する。2002年、理研の研究グループがブラシノステロイドの生合成を弱める阻害剤「Brz(ブラシナゾール)」を開発し、植物体の大きさの制御や、暗いところでも葉緑体を発達させることに成功している。

今回、研究グループはBrzを用いてシロイヌナズナの葉緑体を過剰に発達させたところ、光合成においてCO₂を吸収・

固定する反応を担うタンパク質の量を、通常の150%に増加させることに成功した。

また、化学物質の力を用いて生命の仕組みを明らかにする「ケミカルバイオロジー」という手法を駆使し、シロイヌナズナの変異体の種子8000種の中から、Brz存在下でも双葉の緑色が薄い変異体**bpg2**を選抜。その結果、ブラシノステロイドの刺激に応答し葉緑体の活性化を制御する遺伝子**BPG2**を発見した。実際に**BPG2**を壊したところ、葉緑体中のリボゾームRNAに異常が生じ、その結果、多種類のタンパク質合成量が激減し、葉緑体の内部構造の異常や双葉の緑色が薄くなる異常が起きた。

今後、この成果を活用して葉緑体の機能を増強させることで、低炭素社会実現への貢献が期待される。

※この研究は、JST戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ)の研究領域「代謝と機能制御」における研究課題「ブラシノステロイド情報伝達による発生と自然免疫制御の分子機構」、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術センター「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」における研究課題「有用物質・遺伝子・形質の探索と応用を目指した植物ケミカルバイオロジー研究」の一環として行われた。

●「The Plant Journal」オンライン版(2009年12月)掲載

新監事に魚森昌彦氏

1月1日、魚森昌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榎田 太郎氏は12月31日をもって退任しました。



魚森昌彦 (うおもり まさひこ)

1948年2月1日、大阪府生まれ。1974年3月、早稲田大学理工学研究科応用化学専攻修了。工学博士。同年4月、東レ株式会社入社。同年7月より東レ・ダウコーニング株式会社 応用研究所、営業本部、インダストリー一部。2000年より同社インダストリー部長、理事、執行役員、監査役などを歴任。2009年4月より芝浦工業大学大学院 工学マネジメント研究科 教授。

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。

基幹研究所

Kim表面界面科学研究室
准主任研究員

金有洙 (キム ユウス)

①出生地 韓国・ソウル ②最終学歴 東京大学大学院工学系研究科博士課程 ③主な職歴 理化学研究所 ④研究テーマ エネルギー移動・変換の分子・原子レベル研究

⑤信条 人生はベクトル。速度より方向。 ⑥趣味 料理(食べる、つくる、つくってもらう)



「最先端科学を学ぼう！ 首都圏中高理系教員研修会 in RIKEN」開催報告

1月6日(水)、埼玉県立総合教育センター主催の「最先端科学を学ぼう！ 首都圏中高理系教員研修会 in RIKEN」が理研和光研究所で開催されました。この研修会は、理研で行われている最先端の研究に直接触れることで、参加教員個人の資質の向上を図るとともに、その経験を今後の理数教育に生かすことを目的としています。当日は首都圏(1都6県)から中学校・高校の理数系教員約90名が参加しました。

最初に行われた全体会では、埼玉県立総合教育センターの内田徹所長のあいさつに続き、野依良治理事長が体験学習の重要性について触れ、「生徒自らが、なぜ? という疑問や好奇心を持ち、物事を深く考える機会を増やしてほしい」と先生方へ熱いメッセージを送りました。その後行われた講演会では、理研脳科学総合研究センターの入来篤史チームリーダー(象徴概念発達研究チーム)が「人間知性の進化の神経生物学」をテーマに講演しました。小学生のとき、実験のレポートを書くことが科学に興味を持つきっかけになったなどの経験を交え、研究内容を紹介。参加者は、入来チームリーダーの視点や発想の斬新さに感心した様子でした。そして、最後に7グループに分かれての研究室見学会を

開催し、研究者の生の声を聞いてもらいました。

全体を通してのアンケートでは、参加者から“最先端の科学を身近に感じることができて刺激的だった”“説明が分かりやすく生徒にも聞かせてあげたい”“自らの教育活動にさらなる工夫を見いだす動機付けとなった”などの感想が寄せられました。



全体会の様子

「理研BSIサマープログラム」若手研究者参加者募集のお知らせ

理研脳科学総合研究センター(BSI)では毎年、「理研BSIサマープログラム」を開催しています。現在、2010年7月1日～8月26日にかけて受け入れるインターンシップ・レクチャーコースおよび2010年7月20日～7月30日にかけて行われるレクチャーコースに大学院生、ポスドクを募集しています。

インターンシップコースでは、ご希望の研究室での実験を行っていただきます。レクチャーコースでは、“Network Interactions”というテーマのもと、海外および国内から13名の講師を招き、講

義を行います。講義、質疑などはすべて英語で行われます。

プログラム期間中はBSIのラボ訪問ができるほか、研究交流のため参加者によるポスター発表、BSI主催のレセプションなども開催します。また、講師は講義の日に限らず理研BSIに滞在し、参加者と一緒にほかの講師の講義を受けたり、積極的に質問を受けたりします。ご応募お待ちしております(締め切り:2月28日)。

詳細: <http://www.brain.riken.jp/jp/summer/>

「未来を拓く～科学と芸術の交差～」開催報告

わが国の芸術教育研究の中核である東京藝術大学(以下、藝大)と、わが国唯一の自然科学の総合研究所である理化学研究所(以下、理研)は、2009年3月24日、連携・協力の推進に関する基本協定を締結した。科学と芸術という異なる分野がお互いを知ること、こころや意識を含む森羅万象にこれまでにない見方で迫り、それぞれの表現を深めることを目的として、研究・人材育成に取

り組んでいる。

協定締結を記念して11月15日に、シンポジウム「未来を拓く～科学と芸術の交差～」を、東京・上野にある藝大奏楽堂で開催。700名を超える方に来場いただき、3組の芸術家と科学者による対談、そして宮田亮平 藝大学長、野依良治 理研理事長、利根川進 理研脳科学総合研究センター長による鼎談が行われた。

ファンファーレそして銅鑼の音

秋晴れの藝大奏楽堂に、「ラ・ペリのファンファーレ」が高らかに鳴り響いた。舞台上には宮田亮平 藝大学長、小俣英彦助教らの作品が飾られている。そして、渡邊健二 藝大副学長と大熊健司 理研理事長が登場、これまでの連携の経緯を紹介した。大熊理事長は「対談は、きっと面白い話を聞くことができるでしょう、そういう人たちを選びました。そして、鼎談は本邦初演の豪華キャスト」と紹介。来場者の期待が高まる中、渡邊副学長が宮田学長作の銅鑼を鳴らし、開会を宣言した。



藝大学生によるファンファーレ



渡邊健二 副学長(左)と大熊健司 理事

音について

古川 聖 藝大 先端芸術表現科 准教授

岡ノ谷一夫 理研脳科学総合研究センター 生物言語研究チーム チームリーダー

言語の起源を探っている岡ノ谷チームリーダー(TL)と、多様化する現代音楽界においてメディア・技法の最先端を追求し続けている古川准教授。二人は現在、共同研究をしている。言語に文や節、単語など、まとまりの単位があるように、音楽にも終止形、休符、モチーフなど、まとまりの単位がある。岡ノ谷TLは「音楽と言語を比べることで、脳がまとまりを認知する共通の仕組みを理解できる」、古川准教授は「音楽のまとまりの起源を知り、音楽に対する理解を深めたい」と考えている。共同研究で、人にいろいろな和音を聞かせて脳波を計測した結果、終止形を聞いたときに特別な脳波が出ることが分かった。今後

は、終止形を認知するとき、脳のどの部分がどのように活動するのかを調べていく計画だ。

「芸術家と科学者は分かり合えるか」と岡ノ谷TLが問い掛けた。古川准教授の答えは「分かり合えなくてもいい」。そして「科学者が一心不乱に研究をしている姿は、作品をつくっている芸術家と変わらない。でも科学者が最終的に何をしたいのかが分からない」という言葉に、会場がざわめく。作品をつくり、それを見聞きした人が何か深いものを得る、そこまで含めて芸術家は満足を感じるのだという。「科学者は自分だけが真実を知れば満足なのか」と古川准教授。「今、世界で自分だけがこの真実を知っている」という喜びもある。しかし科学者も伝える努力をしているし、分かってもらえたときはうれしい」と岡ノ谷TL。

芸術家と科学者の共通点については「斬新で普遍的なものへのあこがれ」で互いに納得。会場からは今後の共同研究の進展に期待を込め、拍手がわいた。



古川聖 准教授



岡ノ谷一夫 チームリーダー

文化財について

宮廻 正明 藝大 美術研究科 教授

杉山 淳司 京都大学 生存圏研究所 教授 / 理研放射光科学総合研究センター 基盤研究部 客員研究員

杉山教授が生命の設計図“DNA”の図をスクリーンに映し出した。DNAの構造のような3次元曲線は“Zらせん”と呼ばれ、日本画家である宮廻教授の作品にはZらせんを描いたものが多いと指摘。宮廻教授は「らせんが大好きで、らせんこそすべて」と笑う。尾形光琳の『風神雷神図』や『燕子花図』にも、らせんが取り入れられているという。木材構造学が専門の杉山教授は、「植物の細胞壁の繊維はらせん状になっていて、それが木材の強さの理由。らせんとは、少ない材料で構造を最も安定させることができる形」と解説した。

宮廻教授いわく「大切なのは極めないこと。日本の文化は極めない文化。直線で上っていけば頂上に早く着くが、極めたら後は下るだけ。らせんなら、少しずつ上に向かっていくことができる」。そういう意味で「人生もらせんがいい」と言う。

杉山教授は、仏像から経年劣化などにより落ちた1mmにも満たない木片を、理研播磨研究所にある大型放射光施設SPring-8で解析し、樹木の種類を特定する研究をしている。「この研究で科学が歴史に一石を投じることができる」と杉山教授。宮廻教授も「これまでの文化財の保存修復技術は、勘に頼る“見立て”が中心だった。見立ての伝統を縦糸にして、横糸に科学を織り込むことで、文化財の保存修復技術は飛躍的に進歩する」と言う。「ぜひ、理研と藝大が共同して文化財の保存や修復をやりましょう」。二人の思いが重なった。



宮廻正明 教授



杉山淳司 教授(理研客員研究員)

美について

布施英利 藝大 美術学部 准教授

倉谷 滋 理研発生・再生科学総合研究センター 形態進化研究グループ
グループディレクター

比較発生学・形態学が専門の倉谷グループディレクター（GD）は、カメの甲羅を手に登場。布施准教授は、美術解剖学の授業で使っている全身骨格模型を連れてきた。

倉谷GDは、レオナルド・ダ・ヴィンチの『受胎告知』に描かれた天使について、「腕を残したまま背中に追加した翼は、脊椎動物の形づくりのルールから外れている」とバツを付けた。カメは、ほかの脊椎動物と異なり、肩甲骨が肋骨の内側にあり、骨の位置が一見逆転している。しかし、骨と筋のつながり方をよく見ると、ほかの脊椎動物と同じ。違うのは、発生中に肩甲骨を含めた体壁が折れ曲がる方向。「進化はむやみに多

様な形をつくり出すわけではなく、ルールに従い、許された範囲で変形することしかできない」と倉谷GD。

布施准教授は、ダ・ヴィンチの『モナリザ』の秘密を紹介。モナリザの顔の各パーツは無表情であり、異なる角度から見たもので構成されている。しかし全体として見ると微笑んでいる。「顔が微笑んでいるのではなく、絵画が微笑んでいる」と布施准教授。

天使の翼は肩甲骨には付かないという倉谷GDの主張に、布施准教授は「ダ・ヴィンチの絵にバツが付いて、闘争心に火がついた。腕が肩より高く上がるのは肩甲骨が動くからで、肩甲骨も腕の一部。翼を肩甲骨に付けるのは解剖学的に正しい」と全身骨格模型を使って主張。倉谷GDも「肩甲骨が腕の一部というのは発生的に半分正しい」と応じた。肩甲骨の細胞は、半分は腕、半分は肋骨や背骨と同じ細胞に由来するという。天使の翼をめぐる議論は、残念ながら時間切れとなった。布施准教授が最後に一言。「天使の絵や彫刻を見たら、今日の議論を思い出してください」



布施英利 准教授



倉谷 滋 グループディレクター

鼎談

宮田亮平 藝大 学長

野依良治 理研 理事長

利根川進 理研脳科学総合研究センター センター長

藝大学生の演奏によるモーツァルト「ディヴェルティメント二長調」の余韻の中、鼎談が始まった。「バイオリンの音は美しい。しかし、それはピオラやチェロとのコントラストがあるから。連携によってときめきを感じ、新しいものが生まれる。私たちも、科学と芸術の連携によって新しい時代を築きたい」と宮田学長。

野依理事長は、「理研の理事長に着任して、“文化に貢献する理研”を目標の一つとして掲げた。人類存続の危機を回避するのは、経済でも医療でもなく、文化の力である。文化の中心に位置する芸術と科学が、対話を通じて新しい普遍的な価値をつくっていかなければならない」と語った。

利根川センター長は、芸術と科学の相違点を挙げた。「芸術は主観的な活動であり、独自性が重要。科学は客観的な事実を見つける活動であり、再現性が重要」。しかし、「一見非常に違う二つの活動は、やがて統合していく。科学と芸術は違わない。その証拠に、

素晴らしい発見に対して科学者は“it's beautiful!”と言う。それが最高の褒め言葉。科学と芸術は、どちらも美しい」

鼎談の後半は、理研の若手研究者と藝大の学生からの質問に答えた。まず「科学と芸術が交差すると何が生み出されるのか?」「科学と芸術は交差ではなく、1本の線になり得る。束ねて持ち上げ、昇華することが大切」と宮田学長。

「音楽を聴いたときに生じる感動を科学することは可能か?」。利根川センター長は「可能。悲しい、うれしいといった感情を含めた人のすべて活動が、脳のどういう活動に対応するかを解明することが、脳科学の究極の目的」と答えた。「100年、いやもっとかかるかもしれないが、いずれできる」

「研究の中で芸術から何かを得た経験は?」という質問に、野依理事長は「大いにあります」と即答した。野依理事長は、自らの感性を信じ、6年の歳月をかけて化合物をつくり分ける触媒を開発。「西洋人は堅固な構造や面対称を好む。私が成功したのは、柔らかい構造や回転対称を美しいと感じる日本人だったから」

時間は足りない。宮田学長は、「理研と藝大、科学と芸術との間には、万有引力のような大きな力が働いているように感じる。今日、ここから新しい時代が始まった」と語り、次の出会いを期待しつつ、この言葉で締めくくった。「今日の出会いは“it's beautiful!”」



宮田亮平 学長



野依良治 理事長



利根川進 センター長

シンポジウムに参加して

半世紀近く前の学生時代、湯川秀樹先生と思想家の小林秀雄さんが「科学も芸術も究極において人間の感性に依拠する」と話されていたことが、記憶の底にあった。門外漢の私には難しい命題であったが、今回のシンポジウムに強い興味を覚え、家内ともども敬聴させていただいた。高名な三先生の鼎談はもとより、三部構成の対談も、幅広い科学と芸術のかかわりを文化的、構造的、さらには医学的、心理的に

解さほぐしてくださるものであった。心の安らぎと音律、物性とZらせん、絵画における時間的超越や、モナリザの微笑みと隠された角度接合などなど、科学と芸術の交差が見事に紹介された。人間社会と心の豊かさを希求する形で両者が融合するという、極めて上質な芸術と科学の昇華論に感銘を受けた素晴らしい時空でした。今後さらに研究、論議が重ねられていくことを心より祈念致します。



としなが
小泉年永
理化学研究所と親しむ会 副会長
株式会社リケン 取締役会長

健脚ぞろいの理研仙台支所

浅川茂樹 ASAKAWA Shigeki
 仙台研究推進室 室長

JR仙台駅から8kmほど西にある青葉山の中に理研仙台支所がある。標高はおおよそ200m。気温は東京や埼玉に比べると、緯度と標高の違いから5~7℃ほど低いのではないだろうか。東京に比べて、夏は涼しくてよいのだが、冬は寒い。木枯らしの中、仕事を終え、帰宅途中の停留所でバスを待つ間の寒さはなんと耐え難い。おまけに単身赴任を始めた最初の冬、自宅の暖房費を極端に抑えた結果、つま先が数十年ぶりに霜焼けになってしまった。

仙台支所では、テラヘルツ光の研究を進めている。テラヘルツ光やその研究内容については、テラヘルツ光源研究チームの南出泰亜副チームリーダーが『理研ニュース』2009年8月号の「研究最前線」に掲載されているので、そちらをご覧ください。

私が初めて仙台を訪れたのは約20年前。ちょうどそのころ、仙台支所が発足している。浅からぬ縁を感じる。そのころ私はまだ学生で、自転車競技に夢中だったが、それに飽き足らず自転車で旅をしていた。その途中で仙台に立ち寄った。だから、自ら身体を動かすスポーツを楽しむ心を持っているつもりである。しかしながら足で走るとは好きではなかった。その理由は持久走に対して抱く私のイメージが、ただただ苦しくてつらいだけだったからであろう。だからジョギングをすることも避けていた。

私が赴任して半年後、事務職員や研究者に誘われたことをきっかけに、昼休みのランニングに加えてもらうようになった。コースの両脇には松や杉などが間隔をあけて並び、こずえは空まで伸びている。私の頭上はるか高い位置で枝と枝が交差し、そのすき間から青空が見える。木漏れ日が地面の草花やアスファルトを明るく照らし、それらの草花や土の香りは四季折々で違った様相を見せてくれる。こういった環境の中を皆で話をしながら走っていると、あたかも学生だったころの部活動の合宿のようで、リフレッシュすることができる。

ジョギングが習慣化してから、すでに1年半が経過した。足で走ることを避けていた私が、こともあろうにジョ



理研仙台支所



昨年10月、東北大学工学部・電気通信研究所駅伝にテラヘルツ光源研究チームのメンバーとともに「Team TONO」として参加したときの写真。筆者は前列向かって右側。

ギングを続けていると誰が想像できただろうか。仙台支所のランナーたちと青葉山の環境が私を変えたのであろう。私自身もこのことに驚いているが、一番驚いているのは実は私の妻かもしれない（妻は私が長距離走を嫌っていたことをとてもよく知っている）。仙台支所の研究はエネルギーに満ちているが、以上のように“健脚”な研究者自身も同様にエネルギーに満ちあふれている。ローマ時代のある詩人は「健全な精神は健全な肉体に宿る」とうたった。これこそ仙台支所のランナーのための一節であるに違いない。転じて「テラヘルツ光領域は健脚によって踏破される」といったところか。

さて、仙台支所が設立されてもうじき20年たつ。仙台支所は、実用化に近い研究例が多い。今後の仙台支所の展開を考えるに当たり、単に研究への取り組みやそれら成果がもたらす実用化の可能性などを紹介するだけでなく、研究者を理解してもらうキーワードの一つとして“健脚”を示して、至る所で盛り上げてみたい。枝葉的でささいなことではあっても、一つひとつを積み重ねて、仙台支所の研究者が本懐を遂げることに寄与したい。

『理研ニュース』2010年2月号（平成22年2月5日発行）

編集発行 独立行政法人 理化学研究所 広報室
 〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号
 phone: 048-467-4094 [ダイヤルイン]
 fax: 048-462-4715

制作協力 有限会社フォトンクリエイト
 デザイン 株式会社デザインコンピビア/飛鳥井羊右
 再生紙を使用しています。

『理研ニュース』メルマガ会員募集中！

下記URLからご登録いただけます。
<http://www.riken.jp/mailmag.html>
 携帯電話からも登録できます。



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。
 問い合わせ先：理知的財産戦略センター 寄附金担当
 TEL：048-467-9439 E-mail：kifu-info@riken.jp
 URL：http://www.riken.jp/

独立行政法人
 理化学研究所 寄附金