

RIKEN NEWS

No.391 January 2014

1



SCIENCE VIEW ②

「京」で全球の雲や台風を詳細に再現した

新春特別対談 ④

日本人の強みを生かした
グローバル化を進める

橘・フクシマ・咲江 G&S Global Advisors Inc. 代表取締役社長

×

野依良治 理化学研究所 理事長

研究最前線 ⑧

発生を制御して
動物の形づくりの謎を解く

SPOT NEWS ⑫

- ・カルシウム-54の中性子数34は魔法数だった
- ・植物の新たな病害応答メカニズムを発見
- ・電子の動きを見る、アト秒レーザー
卓上サイズで瞬間出力2.6GWを実現

FACE ⑭

体づくりをつかさどるレチノイン酸の
可視化技術を生み出した研究者

TOPICS ⑮

- ・「nano tech 2014
第13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
- ・新研究室主宰者の紹介

原酒 ⑯

国際頭脳循環と留学

「京」で全球の雲や台風を詳細に再現した

2013年9月20日トピックス

2013年、台風26号による大雨が伊豆大島を、台風30号による暴風・高潮がフィリピンを襲い、深刻な被害をもたらした。海面水温が約28℃以上の海域で台風は発生・発達するといわれている。地球温暖化により海面水温が上昇することで、台風が大型化する恐れがある。

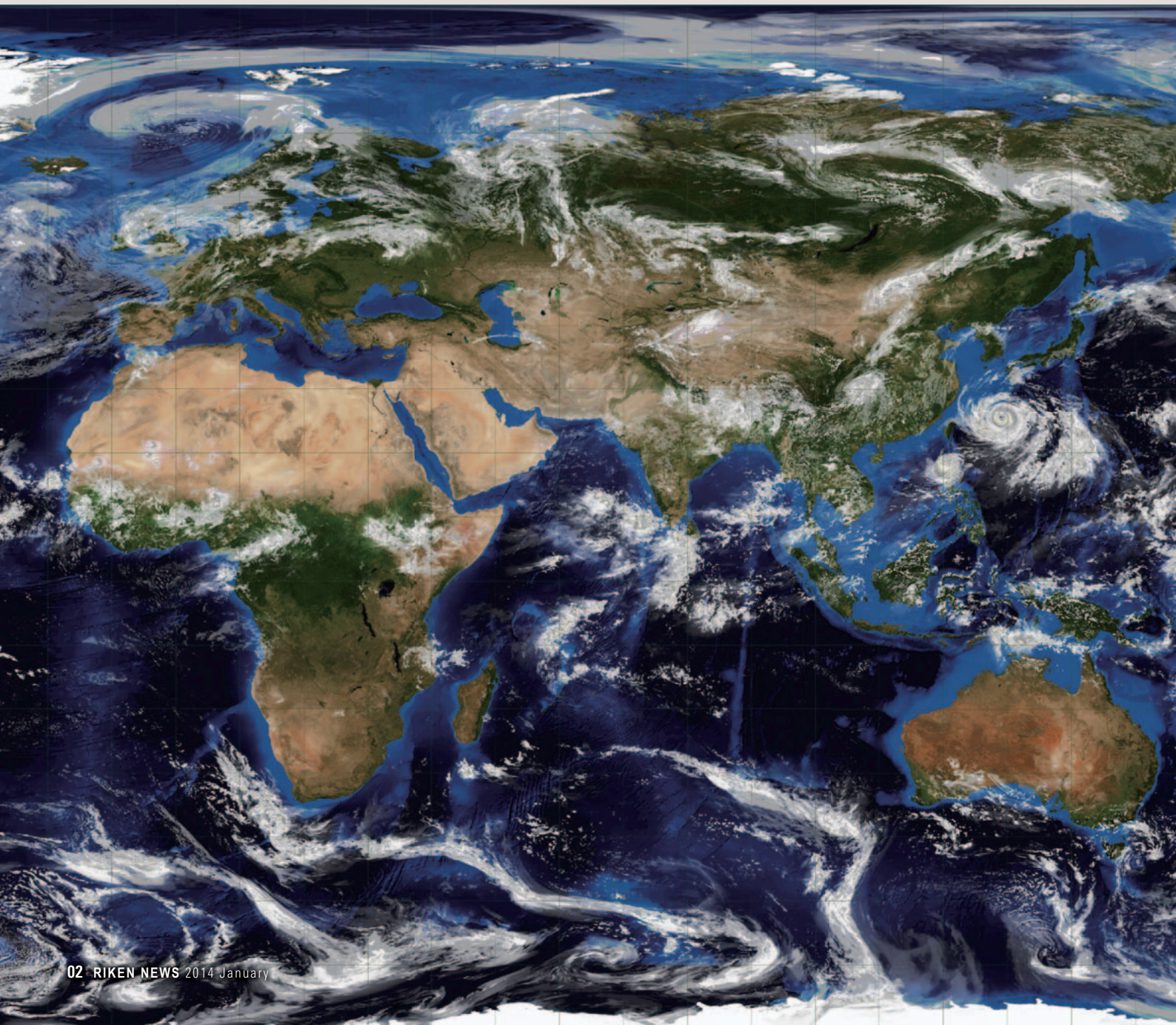
気候研究に欠かせないのがコンピュータ・シミュレーションだ。コンピュータの中に台風を再現するには、大気を格子に区切って計算を行う。かつての気候モデルは水平格子間隔が約100kmと解像度が粗く、台風をうまく再現できなかった。

海洋研究開発機構と東京大学大気海洋研究所は、全球雲解像モデルNICAMを開発。スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」により最高で3.5kmという高解像度のシミュレーションを実現し、その研究成果はIPCC（気候変動に関

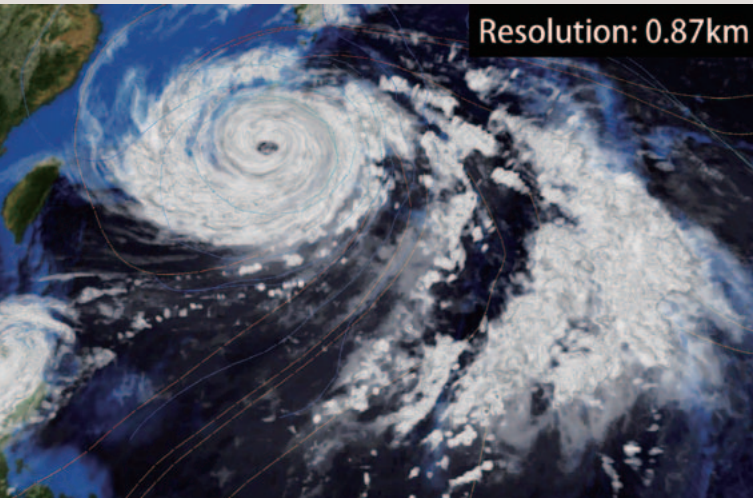
する政府間パネル）による温暖化研究の評価報告書作成にも貢献してきた。

理研計算科学研究機構 複合系気候科学研究チームの富田浩文チームリーダー（TL）たちは、両機関との共同研究によりNICAMをスーパーコンピュータ「京」で実行し、1km未満の解像度で全球大気のシミュレーションを行うことに世界で初めて成功した。「複数の解像度でシミュレーションを行ったところ、解像度が2kmを切ると積乱雲がより現実に近づくことが分かりました。そのような超高解像度シミュレーションにより、積乱雲が集まった台風の発生・発達メカニズムの解明や地球温暖化に伴う気候変動の予測を行い、防災に役立てていきたいと思います」と、富田TLは今後の抱負を語る。

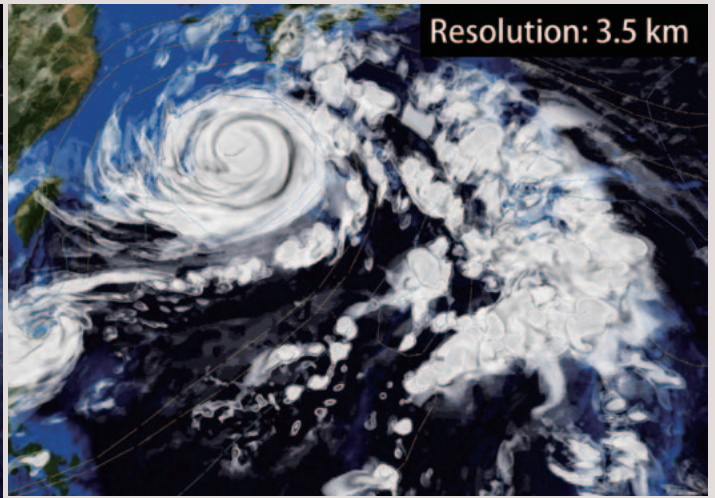
（執筆：立山 晃/フォトンクリエイト）



水平格子間隔0.87kmと3.5kmの解像度で再現した台風
0.87kmの解像度では、台風を構成する一つ一つの積乱雲が詳細に表現されている。

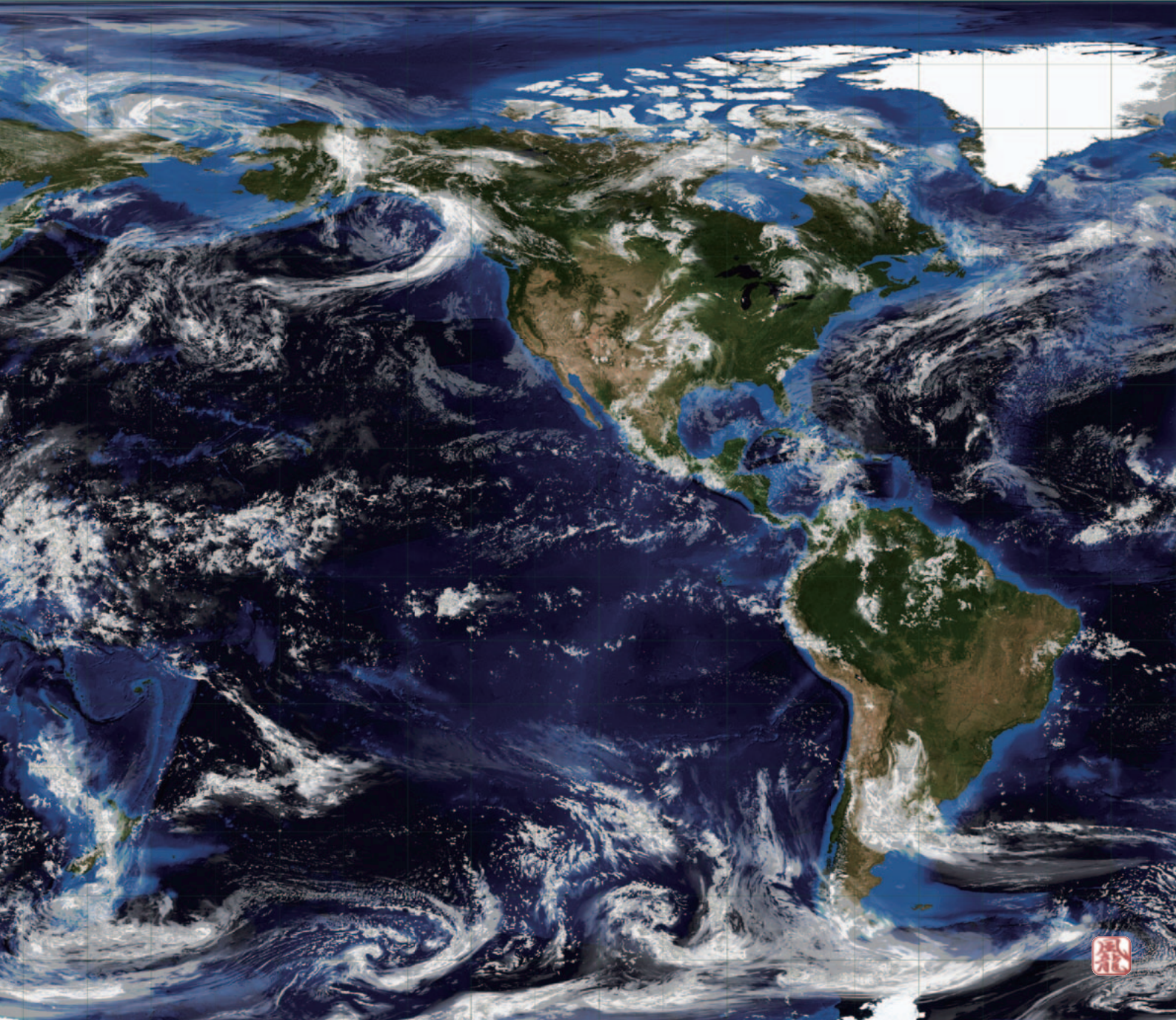


Resolution: 0.87km



Resolution: 3.5 km

2012年8月25日12時（世界標準時）の全球の雲分布（水平格子間隔0.87km） 可視化：吉田龍二（複合系気候科学研究チーム）



橘・フクシマ・咲江 × 野依良治

G&S Global Advisors Inc. 代表取締役社長

理化学研究所 理事長

日本人の強みを生かした グローバル化を進める

■ 国際的な人脈は国家安全保障の要

——**司会**：今日は、経済同友会の人財育成・活用委員会の委員長としてグローバル人財育成やダイバーシティ（多様性＝外国籍・女性・高齢者など多様な人財の活用）促進に向けて尽力されている、G&S Global Advisors Inc.の橘・フクシマ・咲江代表取締役社長をお迎えして、グローバル化やグローバル人財育成について産業界と学术界の両面から、野依良治 理事長と意見を交わしていただきたいと思います。まず、お二人の海外との出会いから、お聞かせください。

フクシマ：1970年、大学3年生のときにスタンフォード大学で開かれた日米学生会議に参加しました。日米の学生が数十人参加して、政治・経済・社会などについて議論し、共同宣言を出す戦前からの会議です。この会議は別名「結婚会議」といわれていて、カップルが数多く誕生しています。ご多分に漏れず私

もそこでグレン・S・フクシマと出会い、1972年に結婚しました。その後、米国のハーバード大学で日本語講師をしていたところ、知人から戦略系経営コンサルティング会社を紹介され、ビジネスの世界に入りました。

野依：私の海外との出会いは、1969年、30歳でハーバード大学のE. J. コーリー教授（1990年ノーベル化学賞受賞）の研究室に博士研究員として赴任したときです。1年数ヶ月の期間でしたが、7～8年分くらいは学んだと思います。学問だけでなく、同世代の同僚から多様な刺激を受け、視野を広げることができました。

コーリー先生は当時40歳の若さでしたが、すでにスーパースターで、世界中から年間100件以上の研究員の応募がありました。それなのに、並み居る優秀な研究者を差し置いて、当時まだ貧しい日本の無名の若者だった私を採用してくれた。米国社会は当時から、すでに多様性の必要性、グローバル化を意識していたのだと思います。そして、母国に戻って将来リーダーとなる若者を教育する、という国全体としての意志があったのではないのでしょうか。

フクシマ：戦前の日本にもそのような国際的な人財戦略があり、アジア諸国から将来リーダーとなる若者を受け入れたようです。国家間で問題が起きたとき、各界のリーダー同士に人間としての付き合いがあれば、紛争を未然に回避することも不可能ではなくなります。

経済同友会では2013年に、経済成長に向けて世界から優秀な人財を魅きつける企業になるための行動宣言*を出しました。それには、産業界だけでなく、官・学と一体となった人財戦略が必要です。

野依：国際的な人脈は、経済活動のためだけでなく、広義の国家安全保障の要だと考えます。政治やビジネスの世界では国家間で利害が対立する場合がありますが、純粋な学術の世界ではそのようなことは起きません。個人あるいは組織として国際



橘・フクシマ・咲江

1949年生まれ。清泉女子大学卒。教育学修士。経営学修士。コーン・フェリー・インターナショナル日本担当代表取締役社長などを経て、2010年より現職。

的に緊密な人脈を築くことが、私たちの重要な責務です。

■ グローバル人財育成に取り組み始めた産業界、 立ち遅れる学術界

——**司会**：日本でもグローバル化、グローバル人財育成の必要性がいわれて久しいですが、現状はどうでしょうか。

フクシマ：私は1991年から、米系の人財コンサルティング会社で、日本でグローバル人財を探す仕事をしてきました。当時、顧客の9割が欧米企業でした。顧客の求めていたのは日本支店で社長を任せた後に、アジア全体を担当させ、いずれ欧米本社でも活躍できる人財でした。日本企業の40歳代の本部長クラスで海外支店長の経験者を中心に探しましたが、日本本社に戻る前提で仕事をされている方々が多く、その組織を離れ海外に出て成功する汎用性の高いスキルを持つグローバル人財は多くなく、適任の人財を探すのに苦労しました。21世紀に入ると、中国や韓国の企業だけでなく、日本企業も顧客になりましたが、求められる人財要件は欧米企業の場合と変わりませんでした。

実は20年前には韓国でも、グローバル人財の不足が深刻で、韓国支社の同僚と慰め合いましたが、その後、韓国は英語教育に力を入れ、若者を積極的に海外留学へ送り出すことで、グローバル人財が育ちつつあるようです。

以前は、さまざまな場で、私がグローバル人財育成の必要性について訴えても手応えがなく、日本だけが取り残されている印象でした。しかし、この3～4年、日本企業も真剣に取り組み始め、採用した若者をすぐに海外へ赴任させるなどグローバル人財育成のプログラムを実施しています。日本企業は横並び意識が強いので、1社が始めると他社も一斉に足並みをそろえますので、意外と早くその効果が表れるのではないかと期待しています。

——**司会**：学術界の状況はいかがでしょう。

野依：日本では研究者や学生の国際交流ばかりが議論されていますが、国際的に人財争奪戦が最も激しいのは、学長や所長といった経営者、指導者層です。例えば、巨額の資金を投じて設立されたアブドラ国王科学技術大学（サウジアラビア）の初代学長は、シンガポール国立大学の学長経験者です。2代目には米国カリフォルニア工科大学の学長を引き抜きました。

ドイツのマックス・プランク協会では、傘下の研究所の所長

の約3割が外国籍です。欧米だけでなくシンガポールや香港など、人財のグローバル化に成功している国は、教育や研究でも大きな成果を挙げています。

一方、日本の大学は、「開国」せず依然として日本人だけで運営しています。外国籍の人をお客さんではなく運命共同体の一員として受け入れ、運営していく必要があります。

フクシマ：米国の大学では理事会が統治し、学長を選ぶ際には、学長候補者を探す専門の人財コンサルタントを雇って世界中から人財を探します。日本の国立大学では教職員が学長を選ぶなど、制度に問題がありますね。

野依：大学や研究機関のトップには、教育や研究とは別の経験、見識が必要です。そのような人財を育成するとともに、運営能力を評価する目利きも不可欠です。

フクシマ：産業界では最近、海外経験を有し、グローバルな視点を持つトップの方々が増え始めました。日本企業の生き残りにも、グローバル・リーダーが不可欠な時代といえます。

野依：国立大学は狭義の国益に向けて国が財政支援をしているので、トップのグローバル化がなかなか進みません。私立の方が柔軟です。

研究者のグローバル化でいえば、一流の研究者にとってライ



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。



ワークを完成できる研究環境が日本にあるかどうかが問題です。日本で研究を続けた外国籍の人がノーベル賞を取ることが当たり前になって初めて、日本は科学技術立国だといえます。

若い研究者にとっては、日本の研究機関での滞在経験が、将来の職を得る上で有利になるかどうか重要です。さらに若い大学院生には、憧れの研究者が日本にいるかどうかが問題でしょう。奨学金を増やしたからといって海外の優秀な若者が来てくれるわけではありません。

日本では、優秀な人財の輸出入に不均衡があると思います。野球やサッカーなどのスポーツ界でも、日本のトップレベルの選手が欧米へ行っていますが、来日する選手は必ずしもその国のトップレベルではありません。そのような不均衡を是正するためにも、まず指導者や経営者のグローバル化が必要でしょう。

■ 内向き志向に変化の兆し

——**司会**：グローバル化の必要性が指摘される一方で、若者が内向き志向だといわれています。

フクシマ：これまで企業がグローバル人財の必要性を明確なメッセージとして社会に発信してこなかったことにも問題があると思います。経済同友会では毎年、各社の新卒採用動向を調査しています。5年ほど前の調査では、7割の企業が「海外経験者を特に優先はしない」と答えていました。若者たちが留学したがるなといわれますが、留学は就職に有利にならない、と親が反対するケースもあったようです。

それが2~3年前の調査から、海外経験者を積極的に採用する、あるいは国内で学ぶ外国籍留学生を優先的に採用すると答える企業が増え、そのような採用方針を公表するようになりました。すると親の留学に対する態度もがらりと変わり、ある調査では6割の親が子どもを留学させたいと答えるようになりました。

野依：1年間に米国で博士号を取得する学生数を見ると、中国人が4,000人、インド人2,000人、韓国人1,000人に対して、日本人は200人ほどです。これは大変憂慮すべき事態です。学位を取得するまでの5~6年間に海外で築く人脈は貴重です。今

や何事も国際協力なしには進展しません。海外に信頼できる友人がいることが、これからのグローバル人財にとって必須条件でしょう。

ちなみにノーベル賞を取った科学者は、受賞した時点で平均4.6ヶ所の研究機関を経験しているそうです。その中には自国内だけでなく外国の研究機関が含まれているケースも多いでしょう。山中伸弥先生も米国の研究所を経験されて、現在の京都大学が5ヶ所目です。

科学や技術の世界では発見や発明が求められます。それには知識だけでなく、実社会でたくましく、しなやかに生きる知恵が必要です。そのためには、若いころに外国人との交流を深め、一緒にご飯を食べたり、自らの想いを語り合ったりすることで信頼関係を築く経験がとても役立ちます。

私がいつも感心するのは、同世代の欧米で研究を続けた人たちが、良い意味での日本人らしさを保っていることです。例えば、彼らはとても正しい日本語を使います。

フクシマ：私は数多くの帰国子女の方々に会う機会がありました。幼少時に日本を離れていても、きれいな日本語を話し、自立した方が多いようです。海外では自分や日本のことを説明するように求められ、自分は誰かを振り返ることが増えます。海外で暮らしているからこそ、意識して日本語教育をしているご家庭も多い。幼いころから海外に連れていくと日本語が話せなくなると心配する人もいますが、家庭でのしつけ次第だと思います。

■ 内なるグローバル化

——**司会**：フクシマ社長は、日本社会のグローバル化を図る「内なるグローバル化」も重要だと指摘されていますね。

フクシマ：幼少のころからさまざまな国の人たちと接する機会を国内でもつくる必要があります。例えば、上海の宋慶齡国際幼稚園では、米国人の先生が園児たちと英語で会話しながら一緒にお菓子づくりなどをします。一番びっくりしたのは、トイレに世界中から集めた20種類の蛇口があることです。世界は多様だ、ということを経験させているのです。

その幼稚園では、月曜日から金曜日まで集団生活をして、土日だけ家に帰ります。3歳の子どもも着替えやシャワーなどを一人で言い、グローバルに活躍するのに不可欠な“二つのジリツ

(自律、自立)”を育成しています。

日本でも、各国から学生と先生を集めた全寮制の高等学校「インターナショナルスクール・オブ・アジア軽井沢」が開校します。小学生向けの取り組みを夏休み期間だけでも、廃校などを利用して日本各地で行えばよいと思います。

野依：世界各国の人たちに触れることで、大人たちも学ぶことが多いですね。

フクシマ：その通りです。グローバル化、ダイバーシティを国内で促進することで、多くの人たちが刺激を受けることができます。

■ 日本人の強みとは何か

——**司会：**日本人らしさを生かしたグローバル人財の要件とは、どのようなものだとお考えですか。

フクシマ：日本企業で働く中国の社員に、日本人の優れている点を訪ねたアンケートによると、「インテグリティ（誠実さ、真面目さ）」という答えが最多でした。そこが日本人の一番の強みです。インテグリティは、グローバル企業の経営者に求められる一番の要件だというアンケート結果もあります。

野依：私は、国際化とグローバル化を分けて考える必要があると思います。国際化とは、自国の特質を堅持した上で、諸外国との「際」を介してさまざまな連携を図ることです。一方で、グローバル化は世界を一体化することです。日本発祥の運動競技でいえば、大相撲は国際化しました。伝統を守りつつ、外国籍の力士が活躍しています。一方、柔道はオリンピック競技となりグローバル化しました。しかし国際柔道連盟に運営を委ねてしまい、講道館精神を世界に主張できていない状況は、とても残念です。

これからは日本人の価値観や精神をしっかりと守り、それを世界に発信しながら、グローバル化を進めていくことが重要です。

フクシマ：私は、グローバル人財には「外柔内剛」が必要だと指摘してきました。「内剛」とは、揺るぎない信念を持つこと、日本人としての強みをしっかりと守ること。そして「外柔」とは、海外においてはその国の価値観に柔軟に、かつ「したたかに」対応することです。企業も同じです。自社の揺るぎないDNA、哲学をしっかりと持ちつつ、海外では現地の状況に合わせて柔



軟に、かつ「したたかに」対応していくことが必要です。

野依：日本人の強みは、虫の目のように細部を見ることに優れているところです。細部を精緻に捉え、匠の技を極めていくことが得意です。一方、鳥の目のように全体を俯瞰的に見ることは不得意だと思います。

フクシマ：日本には外国企業が求める人財が少なかったという話をしましたが、まさにそこです。虫の目のように個々の案件を見て処理する戦術的な能力は高くても、社長の立場になって鳥の目のように全体を見て戦略を立てることのできる人財が限られていました。

一方で虫の目のように見ることに優れているからこそ、時間通りのダイヤで走る電車のシステムなどを築くことができます。きめ細やかな気配り、まさに“おもてなし”の精神が日本人の強みです。私は今、ヤマト運輸の中国進出に注目しています。時間通りに荷物を届け、お辞儀をして手渡すという日本流のおもてなし精神を、中国人の従業員に教えています。そのようなビジネスモデルがどこまで通用するのか楽しみです。

野依：「科学に国境はない。しかし科学者には祖国がある」というパスツールの言葉を常に心に置いて、私は理研の運営に当たっています。理研にはさまざまな国から若者がやって来ます。それぞれの国の文化を尊重し学ぶと同時に、日本文化を伝えることで、普遍的な理研文化を築いていきたいと思っています。

フクシマ：私は仕事で世界各国の方に出会い、国籍や性別といった「カテゴリー」で人を判断するのはやめよう、と思っています。それらのカテゴリーは、その人の個性の一部にすぎません。国籍や性別にとらわれず、それぞれのポジションに適した人財を選んでいくこと、「適材適所」だけではなく「適所適材」が、これからの日本企業に必要なと思います。

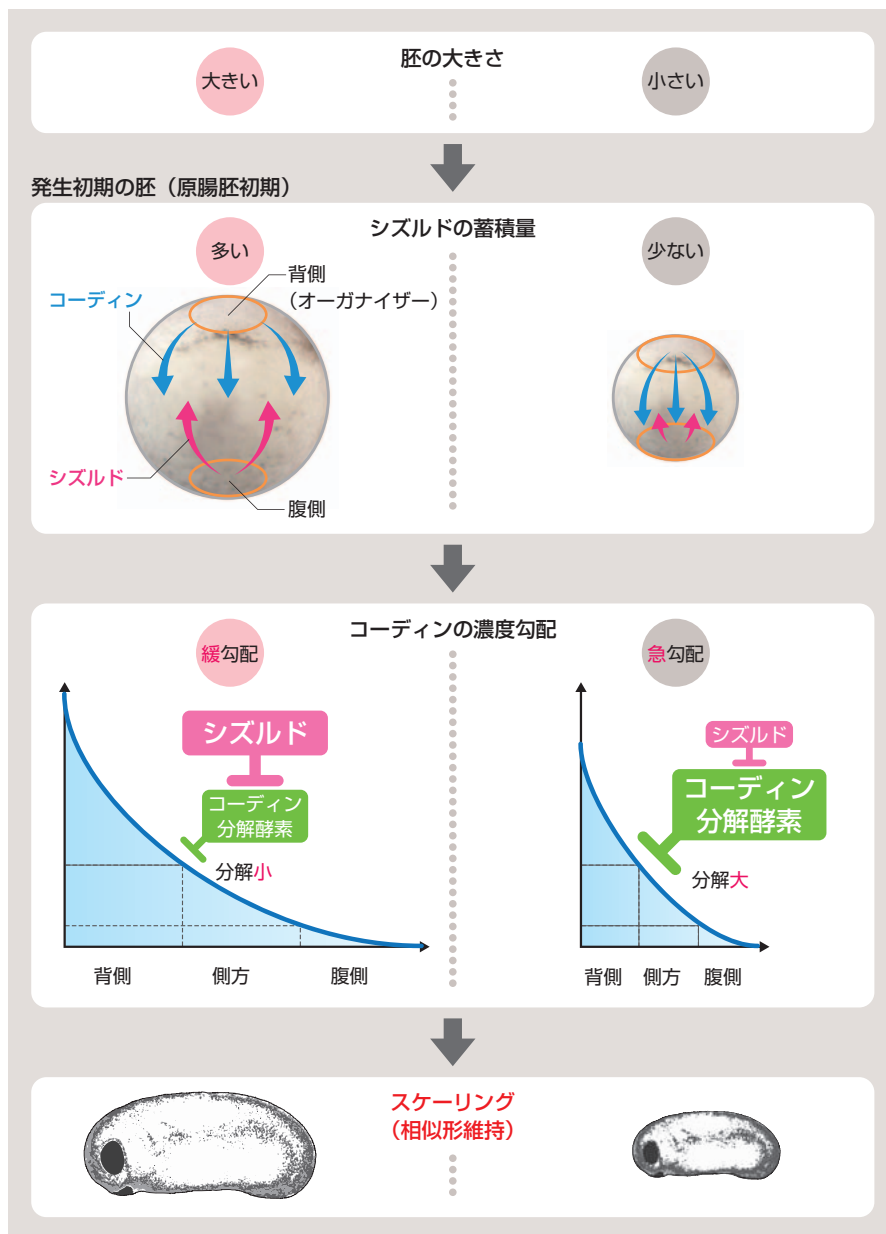
野依：地球には70億以上の人々がいて、それぞれ個性は異なりますが共通する部分も大きいですね。70億の人々が互いに理解し協力し合わなければ、これからの人類社会は成り立ちません。

本日は、ありがとうございました。

(取材・構成：立山 晃/フォトンクリエイト、撮影：STUDIO CAC)

「大きなカエルも小さなカエルも形は同じ。
当たり前だと思うでしょうが、その当たり前がとても不思議です」
そう語る猪股秀彦チームリーダー（TL）は、発生の過程を制御することで動物の体の形づくりというマクロスケールの現象をタンパク質や遺伝子といったミクロスケールから解析している。種によって動物の体の形はさまざまだが、少数の遺伝子の変異するだけでその多様性を実現できる可能性があることが分かってきた。

発生を制御して動物の形づくりの謎を解く



スケーリングが実現する仕組み

■ サイズが違って、なぜ同じ形になるのか

石川県の自然豊かな場所で育った猪股秀彦TL。「小学生のころ、よく昆虫採集をしました。友達一人一人に、クワガタがよく集まる自分だけの秘密の木があり、登下校時に確認していました」

ただし、生物だけに関心があったわけではないと言う。「子どものころから形に興味がありました。昆虫も形が格好いいと思いました。美術にも興味があり、図工が大好きでした」

大学で分子生物学を学んだ猪股TLは、理研発生・再生科学総合研究センター（CDB）の笹井芳樹グループディレクター（GD）の下で、動物の体の形づくりの謎に挑み始めた。「動物の形は多様ですが、胴体に手足と頭が付いているという基本構造は同じです。形の多様性を生み出している大きな要因の一つは、比率です。首が長いとキリンのような形になり、胴体を大きくして手足を短くするとネズミのような形になります。体の大きさは違っても、基本構造の比率が一定ならば、同じ形に見えます」

大きなカエルと小さなカエルのように、体の大きさは違っても基本構造の比率が一定に維持されることを、スケーリング（相似形維持）という。「1個の受精卵から、動物の体が形づくられる発生の過程を考えると、スケーリングがなぜ実現できるのか、とても不思議です」

動物の体の形は、頭尾、左右、背腹という3種類の体軸で記述することができる。1924年、ドイツのハンス・シュペーマンが、イモリの発生初期の胚にできる

猪股秀彦 (いのまた・ひでひこ)

発生・再生科学総合研究センター
体軸動態研究チーム
チームリーダー

1974年、石川県生まれ。博士(理学)。
東京工業大学大学院生命理工学研究科生
体システム専攻博士課程修了。創先端医
療振興財団事業化推進部 研究員を経て、
理研発生・再生科学総合研究センター
研究員。2011年より科学技術振興機構
戦略的創造研究推進事業(さきがけ)「細
胞機能の構成的な理解と制御」研究者。
2014年より現職。



ある部分を、別の胚の将来腹側になる部分に移植すると、背側が二つできることを発見した。「スーパーマンは、その領域をオーガナイザー(形成体)と名付けました。そこから何らかの分子が分泌され、周りの組織を背側になるように誘導すると考えたのです。ただし、その分子の正体が判明したのは、スーパーマンの発見から70年後でした」

1994年、笹井GDたちはカエルを用いて、オーガナイザーから分泌される背側を誘導するタンパク質が「コーディン」であることを突き止めた。腹側ではBMP4というタンパク質が分泌され、腹側になるように誘導する。コーディンはそのBMP4に直接結合して、腹側化を阻害していたのだ(図2)。従って、オーガナイザーがつくられずコーディンが分泌されないと、胚全体が腹側のみの胚になってしまう。

オーガナイザーから分泌されたコーディンは、細胞と細胞の間を通過して腹側へと拡散していき、その濃度は徐々に低くなっていく。つまり濃度勾配ができる。コーディンの濃度がある値以上の領域は背側、ある値以下は腹側となり、その中間は側方となる(タイトル図)。こうして背腹の比率が決まり、背側では頭部や背骨の組織、側方は筋肉組織、腹側では造血組織などが主に形成される。

「カエルの初期胚では、胚の大きさが変化することなく卵のサイズのまま発生が進みます。例えばアフリカツメガエルの卵の直径は約1.0~1.5mmで、個体によってサイズがばらつくことが知られています。ところが、背腹の比率はサイズ

に影響されることなく一定に保たれます。インクを紙に垂らして広がる濃淡のような単純な仕組みで、どのようにしてスケーリングが実現できるのか、とても不思議なのです」

実験的に胚を半分に分けると、オーガナイザーを含む領域からは、相似形が維持された半分のサイズの正常なおたまジャクシが生まれることが知られている(図1)。「背腹の比率を一定にするには、大きな胚ではコーディンの濃度勾配を緩やかに、小さな胚では急勾配にする必要があります(タイトル図)。どのような仕組みでそれが実現できるのか、長い間謎でした。私はその謎に挑むことにしました」

■ スケーリングを実現する仕組み

コーディンのような特定領域の細胞から分泌されるタンパク質の濃度勾配は、三つの要素で決まる。産生、拡散、分解だ。

産生量によって濃度勾配のスタートの高さが決まる。

拡散速度が速ければ、遠くまで広がり緩やかな濃度勾配に、遅ければ、あまり広がらずに急な濃度勾配になる。

そして、濃度勾配をつくるタンパク質が分解されにくければ、遠くまで広がり緩やかな濃度勾配に、分解されやすければ、あまり広がらずに急な濃度勾配になる。

「コーディンの分解速度を調べてみると、胚の中で30分以内に半数が分解されることが分かりました。胚全体にコーディンを分解する酵素が分布しており、それによってすぐに分解されてしまうのです。ところが、胚の中にシズルドというタンパク質がたくさんあると、6時間たってもコーディンは分解されないことが分かりました」

シズルドはコーディン分解酵素に直接結合してその働きを阻害するため、シズルドの量が多いとコーディンは分解されにくくなる。そのシズルドは、腹側を誘導するBMP4によってつくられる(図2)。

「実験により、シズルドの拡散速度は

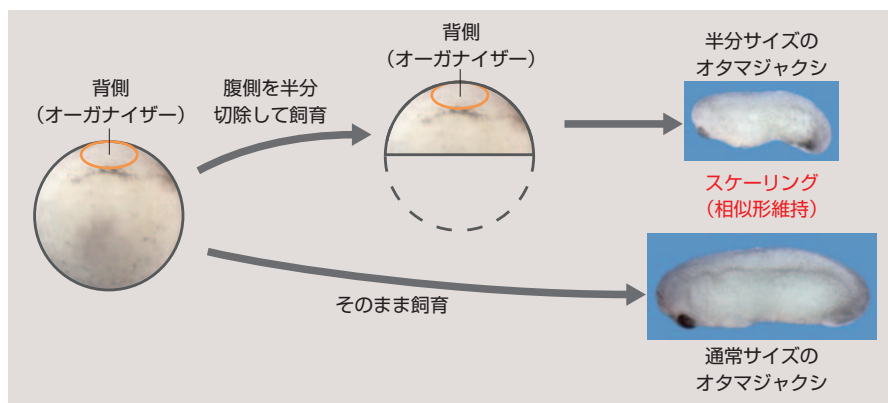


図1 胚を半分に分ける実験

腹側を半分切除し、オーガナイザーを含む胚を飼育すると、相似形が維持された半分のサイズの正常なおたまジャクシが生まれる。

速く、分解されにくいことを確かめました。そこで、シズルドの蓄積量が胚のサイズに応じて変化することでコーディンの濃度勾配を適切に調節する、という仮説を立てました」(タイトル図)

胚が小さい場合、背側と腹側の距離は短い。背側のオーガナイザーから分泌されたコーディンはすぐに腹側に到達してBMP4の働きを抑える。すると腹側から分泌されるシズルドの量が減って蓄積量は少なくなる。その結果、コーディン分解酵素の働きはあまり阻害されないの、コーディンはどんどん分解されて広がらず、急な濃度勾配を形成する。

一方、胚が大きい場合、背側と腹側の距離は長いので、コーディンが腹側のBMP4を抑制するのに時間がかかる。その結果、腹側からシズルドがたくさん分泌されて蓄積量は多くなる。するとコーディン分解酵素の働きは抑えられ、コーディンは分解されないまま遠くまで広が

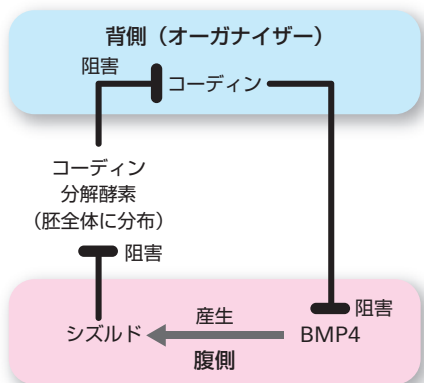


図2 スケーリングを実現するタンパク質の相互作用
背側のオーガナイザーの細胞から分泌されるコーディンは、腹側化を誘導するBMP4を阻害する。BMP4によってつくられるシズルドは、コーディン分解酵素を阻害する。

り、緩やかな濃度勾配を形成する。——それが、猪股TLの仮説だ。

■ 発生を制御して実証する

猪股TLは仮説を実験で検証することにした。「発生を制御して動物の体の形づくりを探る。それが私の研究方針です。発生過程において、コーディンの産生量は増減します。コーディンの量が増加したとしても、それが“産生量の増加”によるものか“分解の低下”によるものか、区別することができません。濃度勾配と分解の関係を調べるには、コーディンの産生量を一定にして実験する必要があります」

猪股TLは、オーガナイザーをつくる遺伝子の働きを抑えることで、胚全体を腹側だけの状態にした。その胚の一部に外部からコーディンをつくる遺伝情報(mRNA)を一定量だけ注入し、胚の中に人工的に濃度勾配を形成させた。すると、正常な胚と同様に背腹軸が再構成された。「こうしてコーディンの産生量を一定にし、発生システムを単純化した胚を用いて、“コーディンの分解”と“胚サイズ”の関係を研究しました。単純化した胚を用いてシズルドの蓄積量を多くすると、コーディンは分解されずに遠くまで広がり、緩やかな濃度勾配を形成しました。実際、シズルドの量が過剰な状態では腹側がつくられず、背側が拡大した頭部が大きなオタマジャクシになりました(図3A)。逆にシズルドがつくられないように操作すると、コーディンはすぐに分解されて広がらず、濃度勾配が急になりました。そのような胚は腹側が拡

大し、背側は縮小して頭部が小さなオタマジャクシになりました(図3C)」

こうして、シズルドの蓄積量を介したコーディンの分解のされやすさによって、濃度勾配は変化することが確かめられた。

では、胚のサイズに応じてコーディンの分解は本当に変化するのだろうか。「コーディンの産生量を一定にした胚を半分に切り、コーディン産生細胞を含む領域を調べると、コーディンの量が減っていました。仮説通り胚サイズの縮小に伴って分解されやすくなっていたのです」

さらに猪股TLは、CDBフィジカルバイオロジー研究ユニットの柴田達夫 研究ユニットリーダーと共同で、実験結果に基づく数理モデルをつくり分析した。「その数理モデルでも、胚サイズに応じてシズルドの蓄積量が変化することでスケーリングが再現できることを確かめました」

■ キリンの首を

長くするのも簡単だった？

今回、明らかになったスケーリングの仕組みは、生物の本質を示している、と猪股TLは指摘する。「スケーリングが保証されているので、アフリカツメガエルの卵サイズがばらついても、発生を正常に進めることができます。生物のつくり出すものは一定ではなく、ばらつきがあり、揺らいでいます。生物はそのようなばらつきに対して、しなやかに対応する仕組みを備えているのです」

環境に適応して多様に進化することも、生物の大きな特徴だ。前述のように、

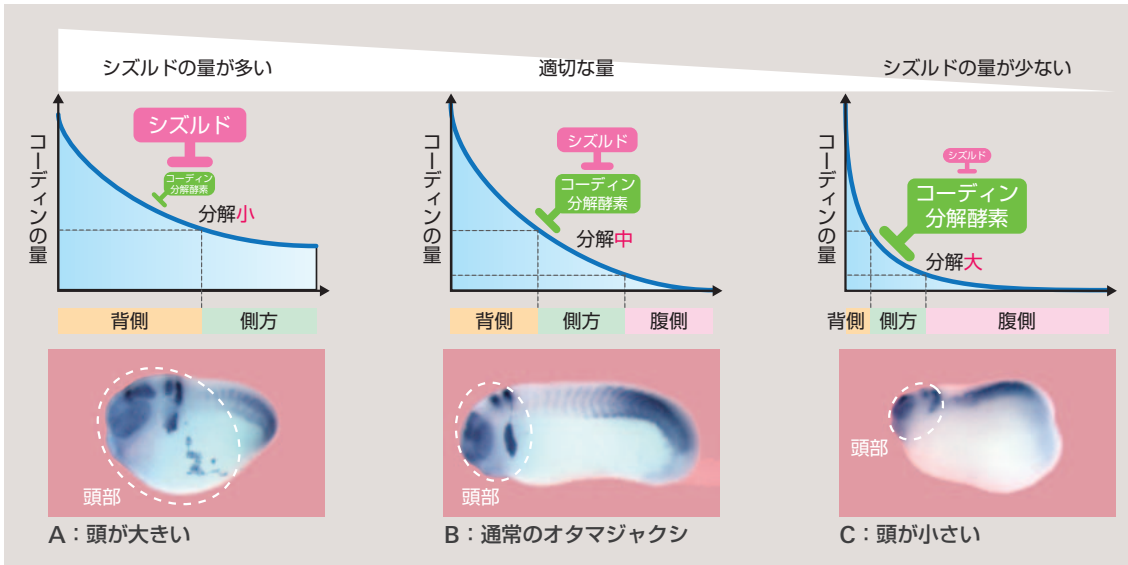


図3 シズルドの蓄積量を人為的に変化させた実験

シズルドがつくられる量を実験的に変化させると、スケーリングは崩壊し、背腹比の異常な胚が発生する(A・C)。

シズルドがたくさんつくられるように操作すると、背側の比率が増えて頭部の大きなオタマジャクシになる。「シズルド」というたった1種類のタンパク質が、背側・腹側の比率を調節していることは驚きです。例えば首の長いキリンのような形も、首の比率を調節しているタンパク質の量が増減して、比率が変化した可能性があります。生物の多様な形状は、比率を制御するタンパク質を変化させることによって、意外と簡単に作り出せるのかもしれませんが」

一方、あえてスケーリングを崩壊させて、同一種内で多様性を作り出している可能性もある。「ある種類のアリでは、幼虫時に与えられる餌の量に差があり、大きささまざまな幼虫が生じます。すると、大きな幼虫からは胴体に比べて頭部の比率が大きなアリが誕生し、立派な顎を持った兵隊アリになります。一方、小さな幼虫は頭部の比率も小さくなり、働き

アリになります」

動物の形づくりにおいて、ここで紹介した発生過程だけでなく、成長過程のスケーリングも重要だ、と猪股TL。「片方のはさみが異常に大きいシオマネキというカニの雄は、生まれたときのはさみの大きさは同じです。しかし、成長過程で左右のはさみの成長速度に差が生じ、片方が大きくなるのです。このようなケースは、成長過程で左右のスケーリングが崩壊して、同一個体内で形状の多様性が生じた、と捉えることができるかもしれません」

濃度勾配を制御して動物の形づくりを探る

濃度勾配のスケーリングに関しては、まだやるべきことがある。「胚を半分に分けてサイズを小さくすると、コーディンが分解されやすくなることを確かめました。逆に胚を大きくした場合にも、私

たちの仮説が成立することを確かめる必要があります。また、カエル以外の多くの動物では胚が大きくなりながら発生が進みます。そのように濃度勾配をつくる環境自体が変化する胚では、どのようにしてスケーリングを実現しているのか調べる必要があります」

さらに、猪股TLは濃度勾配を自在に制御して発生過程を探る予定だ。「濃度勾配は、発生過程における動物の形づくりの基本です。濃度勾配を自由に制御できるようになると、ペンで絵を描くように好きな形状の動物を作り出すことができるかもしれません」

2014年1月、猪股TLは体軸動態研究チームを立ち上げた。「研究室を主宰するのは初めての経験ですが、自分が本当に面白いと思うこと、誰もやっていない研究を、これからも進めていきたいと思っています」

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)

カルシウム-54の中性子数34は魔法数だった

2013年10月10日プレスリリース

原子核と共に原子を構成する電子は、量子力学に従ってとびとびのエネルギーを持つ軌道に入る。各軌道に入れる電子数には上限があり、エネルギーの低い内側の軌道から順に詰まっていく。一番外側の軌道がいっぱいになる電子数（2、10、18など）を「魔法数」と呼ぶ。希ガスと呼ばれるHe、Ne、Arなどは電子の数がちょうど魔法数になっており、化学的に安定である。原子の性質は魔法数を持つ希ガスを境に周期的に変わる。元素周期表では、希ガスは右端の縦の列に位置している。

魔法数は原子核にもある。原子核は陽子と中性子から構成され、やはり、とびとびの軌道のエネルギーの低い方から詰まっている。地球上に天然に存在する安定な原子核は、陽子と中性子がほぼ同数でバランスがよく取れている（安定核）。しかしそのバランスが崩れると不安定になり、天然には存在しない原子核（不安定核）となる。一方、陽子数と中性子数のどちらかが2、8、20、28、50、82、126に一致すると、原子核は特に安定となる。これが「原子核の魔法数」である（図1）。1949年、MayerとJensenは「殻構造」モデルを提唱し、魔法数の説明に成功、1963年にノーベル物理学賞を受賞している。以来、魔法数は安定核だけでなく不安定核でも不変の定数と考えられてきた。

ところが2000年、理研の研究グループが、中性子数が多い不安定核領域で新たに16が魔法数になることを発見し、定説を覆した（図2）。続いて2001年、東京大学の研究グループは、陽子数が魔法数20となるカルシウム同位体では、中性子数34が新たな魔法数になり、カルシウム-54（⁵⁴Ca）の安定性が高まると理論的に予測した。世界中の研究機関がこれを実証しようとしたが、十分な量の⁵⁴Caが得られないなど実験が難しく、証拠が得られなかった。また、予測自体が間違っているのではないかとの指摘も出ていた。

理研仁科加速器研究センター 櫻井RI物理研究室（櫻井博儀 主任研究員）のDavid Steppenbeck元国際特別研究員（現東京大学）と武内 聡 協力研究員を中心とする国際共同研究グループ^{*}は、この問題に決着をつけるため、重イオン加速器施設「RIBF」で実験を行った。大強度1次ビームを供給する加速器と2次ビーム生成・粒子識別を行うBigRIPS/ZeroDegree Spectrometerを使い、不安定核である⁵⁴Caの励起状態を陽子ノックアウト反応によって生成した。魔法数を持つ原子核は

図1 核図表と魔法数

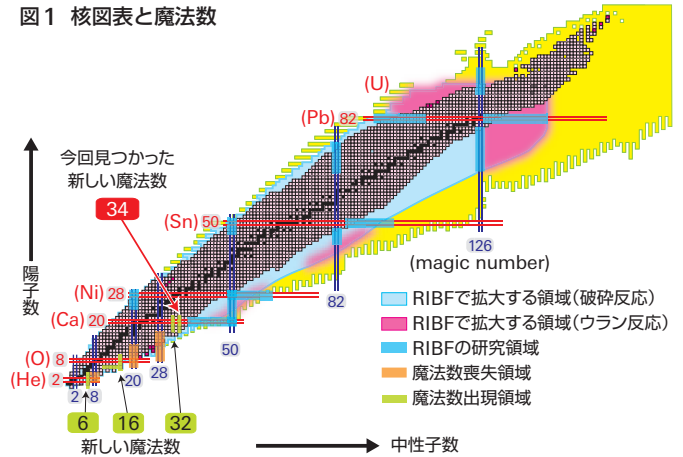
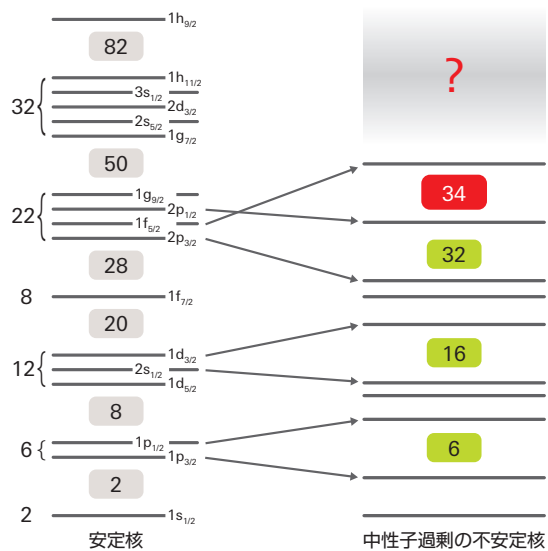


図2 殻構造モデルにおけるエネルギー準位と魔法数



安定になるだけでなく、その励起エネルギーが周辺の原子核より高くなる。⁵⁴Caの励起エネルギーは、励起状態から放出するガンマ線を高感度ガンマ線検出装置DALI2で測定し、2,043keVであると確定した。周辺の原子核に比べてこの値はかなり大きく、⁵⁴Caが陽子だけでなく中性子も魔法数を持つことを示している。実際に中性子数34が魔法数となる理論モデルによって実験結果をよく説明することができた。

この研究によって⁵⁴Caの中性子数34が魔法数であることが実験的に証明され、長年未解決であった問題に決着をつけることとなった。中性子数が過剰な不安定核領域に魔法数が現れる法則性、さらに原子核の成り立ちの理解に、大きく貢献するものと考えられる。

●『Nature』（10月10日号）掲載

※国際共同研究グループ：理研、東京大学、大阪大学・核物理研究センター、東北大学、東京理科大学、立教大学、会津大学、日本原子力研究開発機構、イタリア・レニウアーロ研究所

植物の新たな 病害応答メカニズムを発見

2013年10月9日プレスリリース

植物は、動物のようにリンパ球など特別な免疫細胞を持たない代わりに、個々の細胞が病原体を認識し防御反応を行う独自の自然免疫系を発達させ、感染から身を守っている。植物の細胞表面には病原体の分子パターンを検出する受容体があり、感染を察知するとその情報が細胞内部に伝わり、数千もの病害応答遺伝子が発現するのだ。最近、mRNAに結合するタンパク質が病害応答遺伝子の発現に関わっているという報告があるが、その詳細なメカニズムは明らかでなかった。

理研環境資源科学センター 植物免疫研究グループの白須賢グループディレクター、Rebecca Lyons^{レベッカ・ライオンズ}国際特別研究員(当時)、岩瀬 哲 研究員(当時、現・細胞機能研究チーム)らの研究グループ^{*}は、病害応答遺伝子の一つ *ERF4* 遺伝子と、そのmRNAに結合するFPAタンパク質に着目。植物細胞が病原体

に感染すると、*ERF4* 遺伝子のmRNAでポリアデニル化の位置が後方にずれることを発見した。ポリアデニル化とは、mRNAの特定位置から末端が切り離され、そこにアデニンの反復配列が結合するというもの。ポリアデニル化の位置がずれると、mRNAの不要な部分を切り取るスプライシングの位置も変わる。その結果、EARモチーフというERF4タンパク質の転写抑制領域が失われ、病害応答遺伝子群が発現することが明らかとなった。また、ポリアデニル化がFPAタンパク質によって制御されていることも分かった。

植物が病原体に感染すると開花時期が早まることがある。FPAタンパク質はこの開花期の調節にも関わっている。FPA遺伝子を改変することで、病害応答の強化や感染時の開花時期の制御などが可能になると期待される。

● 『Scientific Reports』オンライン版(10月9日号)掲載

※ 研究グループのほかのメンバー：細胞機能研究チームの杉本慶子チームリーダー、バイオマス工学連携部門の松井 南 副部門長、英国ダンディー大学のGordon G. Simpson^{ゴードン・シンプソン}博士、オーストラリアCSIRO研究所のKemal Kazan^{ケマル・カザン}博士など。

電子の動きを見る、 アト秒レーザー

卓上サイズで瞬間出力2.6GWを実現

2013年10月25日プレスリリース

一瞬だけ光るパルスレーザーを、カメラのストロボのように使えば、高速で動くものをパラパラ漫画のように観察することができる。これまでにパルス幅がフェムト秒 (10^{-15} 秒) レベルのレーザーは実用化されており、分子振動の動きが見えるようになった。アト秒 (10^{-18} 秒) パルスなら、原子内の電子の動きや、化学反応のときの電子の動きを捉えられることから、2000年以降、その開発にしのぎが削られている。強い可視レーザー光を希ガスに当てると、元の波長の数分の1から数十分の1の波長の短い電磁波(高次高調波)が発生する。通常、その高次高調波発生を用いてアト秒パルスをつくり出すが、強度が弱く実用的でなかった。

理研光量子工学研究領域 アト秒科学研究チームの高橋栄治専任研究員、緑川克美チームリーダーらは、2010年、波長の異なる二つのレーザーを時空間で重ね合わせて高次高調波発生を行う方法を開発。今回、この2波長合成レーザーを励起光として用い、それをキセノンガスに緩やかに集光させる

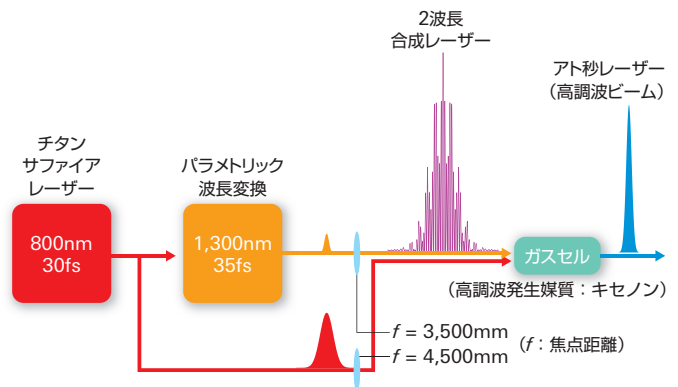


図 高強度アト秒レーザー発生装置

ことによって、高次高調波の品質を損なうことなく高出力化できるビームラインを開発した(図)。その結果、波長40nm(ナノメートル、 $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)において、パルス幅500アト秒、瞬間出力が世界最高の2.6GW(ギガワット)という非常に強いアト秒レーザーの発生に成功した。

2.6GWという出力は、従来型光源の100倍以上、EUV-FEL光源の10倍以上である。また、アト秒レーザー発生装置の大きさは卓上サイズと非常にコンパクトでもある。高出力のアト秒レーザー発生に革新をもたらす成果。

● 『Nature Communications』オンライン版(10月25日号)掲載

体づくりをつかさどるレチノイン酸の可視化技術を生み出した研究者

理研脳科学総合研究センター（BSI）に、見えないものを見るための技術開発に取り組んでいる研究者がいる。細胞機能探索技術開発チームのしもその・さとし 研究者だ。2013年には、レチノイン酸の可視化に世界で初めて成功した。レチノイン酸は、脊椎動物の発生過程で、その濃度分布によって細胞に位置情報を与え、どの細胞へ分化するのかを決定する重要な物質である。しかし、レチノイン酸を可視化する方法がなく、胚の中でどのような濃度分布をしているのか分かっていなかった。タンパク質であればその遺伝子に蛍光タンパク質の遺伝子を組み込むことで可視化できるが、レチノイン酸はタンパク質ではない。下菌研究員は、レチノイン酸が結合する受容体タンパク質に着目。受容体のうちレチノイン酸が結合する領域だけを取り出し、そこに2種類の蛍光タンパク質を結合させ、レチノイン酸の濃度によって色が変化する「GEPR」を開発した（図）。現在は、GEPRをマウスに応用すべく、研究を進めている。「ほかの人がつくった技術を使うことを潔しとしません。自分で技術を開発して新しいものを見たいのです」と語る下菌研究員の素顔に迫る。



下菌 哲

脳科学総合研究センター
細胞機能探索技術開発チーム
研究員

しもその・さとし

1975年、鹿児島県生まれ。博士（薬学）。れいめい高校卒業。東京大学薬学部卒業。同大学大学院薬学系研究科博士課程修了。2003年、理研脳科学総合研究センター博士研究員。基礎科学特別研究員を経て、2007年より現職。

「5歳くらいのとき『ぼくは天才だ!』と言っていたそうです」と下菌研究員は苦笑い。「母にいさめられ、それ以来、少しひねくれた性格になりました」。将来の夢はプロ野球選手。「生まれ育った鹿児島県阿久根市には野球のグローブ工場があり、そこで働いていた伯母にグローブをプレゼントしてもらい、その気になりました。でも、小学校でソフトボールのチームに入ってすぐ、才能がないことに気がきました」

友達が中学を受験するというので、下菌研究員も軽い気持ちで受験。隣町にある私立の中高一貫校へ進んだ。「大学受験が近づいても、理系志望というだけで“これをやりたい”というものがありませんでした。手に職を付けられるだろうというだけの理由で、進路調査書には薬学部と書いていました」

そして、薬学部がある東京大学理科Ⅱ類に進学。「大学に入ってすぐのころ、夏目漱石の『三四郎』を読みました。熊本から上京してきて都会の人との付き合いに戸惑い、女性と話しても褒められているのかバカにされているのか分からず悩む、そんな主人公に自分を重ね合わせていました」

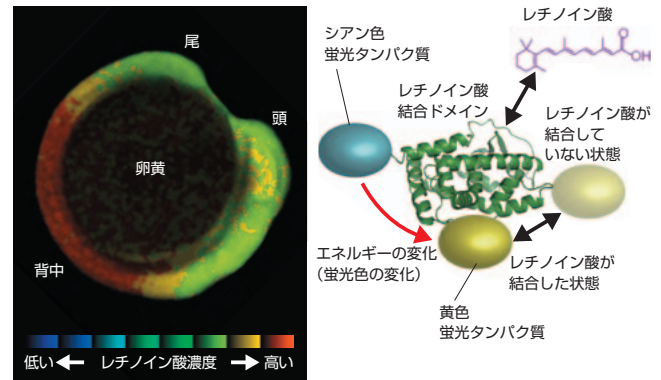


図 GEPRで可視化したゼブラフィッシュの胚のレチノイン酸濃度
レチノイン酸が結合すると二つの蛍光タンパク質の距離・角度が変わり、蛍光色が変わる（右）。背中でレチノイン酸濃度が高く、頭と尾に向かって低くなっている（左）。

学部を卒業したら製薬会社に就職しようと考えていた。しかし、東大の薬学部では、ほぼ全員が大学院に進む。「じゃあ私も……と大学院に進みました」と下菌研究員。「ナメクジがにおいを認識し、記憶学習するメカニズムを研究していました」。研究の面白さに目覚め、博士課程に進学。しかし、下菌研究員は悩み始めていた。「このままいくと、私はナメクジ博士になってしまう……」と。そこで、BSIに研究の場を移した。BSIでの最初の研究は、線虫の咽頭筋という、餌を食べるときに働く筋肉のカルシウムイメージングだ。「ナメクジの研究でも色素を用いたイメージングをやっていました。ナメクジが線虫に、脳が筋肉に変わっただけで、スムーズに移行できました。それ以来、対象とする物質や生物にはこだわらず、可視化技術の開発に取り組んでいます」

そして、2013年にレチノイン酸の可視化に世界で初めて成功。なぜレチノイン酸だったのか。「行き当たりばったりです」と笑う。「核の中にある受容体を標識する技術を開発しようとしていたのです。その受容体の一つが、たまたまレチノイン酸の受容体でした。レチノイン酸について調べると、体づくりに重要な物質で、しかも可視化する方法がないという。誰も見たことがないと言われると、見たくありませんよね」

「私は、周りに流されてきた結果、今ここにいます。大きな目標を持っていないことがコンプレックスでした。でも、そういう生き方も悪くないかもしれないと、最近思うのです」

一方で、自分の性格を「頑固」と分析。「ほかの人がつくった技術を使うことは潔しとしません。GEPRは、FRETという既存の原理を応用したものです。次は新しい原理に基づいた方法を開発して、今まで誰も見るができなかったものを可視化し、生物学的な大発見につなげたいですね」。曲がったことが嫌いで、粘り強さが強みという下菌研究員。次に何を見せてくれるのか、楽しみだ。

（取材・執筆：鈴木志乃／フォトクリエイト）

「nano tech 2014 第13回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ

理研は、「nano tech 2014 第13回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」に出展します。理研のライセンス・共同研究可能な技術を、発明者自らがパネル展示とショートプレゼンでご紹介します。また、発表後にご希望に応じて個別相談をお受けします。多数の企業の方のご来場をお待ちしています！



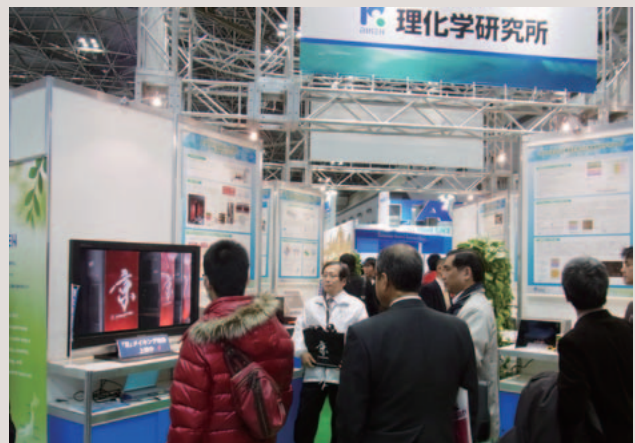
International Nanotechnology
Exhibition & Conference

nano tech 2014
第13回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

出展テーマ一覧

1	Graphitic Carbon Nitride (g-C₃N₄) 薄膜化技術 —高機能メタルフリー光触媒の開発— 創発物性科学研究センター 創発ソフトマター機能研究グループ 特別研究員 宮島大吾
2	光配向ホログラムの高速書き込みと保持を両立する単分散ナノ粒子 創発物性科学研究センター 量子効果デバイス研究チーム 専任研究員 佐々高史
3	非線形光学顕微鏡の深部超解像化 光量子工学研究領域 アト秒科学研究チーム 研究員 磯部圭佑
4	白色光照明下でラマン計測が可能な内視鏡システム ライフサイエンス技術基盤研究センター レーザー融合研究特別ユニット 特別研究員 小町祐一
5	界面張力を活用したシンプルな並列化デバイス 生命システム研究センター 集積バイオデバイス研究ユニット 研究員 森口裕之
6	光合成と分子の音 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 中村振一郎
7	有機半導体コロイドインクの静電スプレー成膜 —有機太陽電池と有機ELへの応用— イノベーション推進センター 有機光電子工学研究チーム チームリーダー 田島右副

日時	2014年1月29日(水)～31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」徒歩約3分 りんかい線「国際展示場駅」徒歩約7分
主催	nano tech実行委員会
後援	内閣府、総務省、文部科学省、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 (ただし、下記URLより事前登録された方は入場無料) http://www.nanotechexpo.jp/main/index.html
問合せ	理化学研究所 社会知創成事業 技術移転企画課 TEL：048-462-5475 FAX：048-462-4718



「nano tech 2013」の様子

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

統合生命医科学研究センター



メタボローム研究チーム
チームリーダー

有田 誠 ありた・まこと

①1970年 ②大阪府 ③東京大学大学院薬学系研究科博士課程 ④東京大学、ハーバード大学(米国)
⑤炎症を制御する脂質マシナリーの研究 ⑥科学する心 ⑦旅行、スポーツ

発生・再生科学総合研究センター



体軸動態研究チーム
チームリーダー

猪股秀彦 いのまた・ひでひこ

①1974年 ②石川県 ③東京工業大学大学院生命理工学研究科博士課程 ④理研 発生・再生科学総合研究センター ⑤発生システムの頑強性 ⑥情熱に勝るものはなし ⑦スキー、アート

国際頭脳循環と留学

坪井 裕 つばい・ひろし

理化学研究所 理事

理研第4代所長でもあり、日本の原子物理学の父ともいわれる仁科芳雄博士ご生誕の地、岡山県里庄町には、仁科博士を顕彰し、次代を担う青少年に科学する心を育み、健全な青少年の育成をはかる事業の拠点として、科学振興仁科財団・仁科会館が設置されています。そこでは毎年、理研の研究者の講演を主体とした里庄セミナーが開催されており、昨年8月17日に私も初めて参加しました。その場には、仁科財団主催の里庄中学校国内・海外派遣研修に参加した中学3年生（男子3名、女子6名）もいました。仁科博士が理研研究生として7年間の欧州留学の際に足跡を残されたコペンハーゲン大学やケンブリッジ大学を訪問し、あらためて、地元の偉大な先輩に思いをはせたようで、代表の女子中学生の方から元気な報告がありました（写真1）。

さて、留学という言葉の始まりについて。遣隋使、遣唐使と共に学生、僧が日本から派遣されましたが、奈良時代のころに、「留学生」という言葉が生まれたようです。それ以降は、その時々中国に仏教を学びに行くことが留学とされたようですが、江戸時代末期、いわゆる幕末の時代に大きな変革が訪れ、江戸幕府や諸藩が単独で欧米諸国に留学生を派遣するようになりました。さらに、明治政府では欧米留学が重要な国策の一つとなり、積極的に留学生派遣を進めました。仁科博士の留学もその延長上にあるといえます。

ところで、日本への留学はいつから行われたのか。少なくとも明治以降では、明治14（1881）年に、朝鮮政府から視察目的で派遣されて来日していた者のうち2名を慶応義塾（福沢諭吉）が、1名を同人社（中村正直）が受け入れたのが最初の留学生のようです。一方、日本政府の施策としては、明治34（1901）年に文部省直轄学校外国人特別入学規程が制定され、この規程に基づき清国39名、インド15名、アメリカ3名、フィリピン1名の計58名が東京帝国大学、東京高等商業学校、東京美術学校、



写真1・里庄セミナーで国内・海外派遣研修に参加した中学生から報告を受ける筆者



写真2・留学生受入れ制度100年記念式典が開催されたプラザ平成（2001年）
写真提供：文部科学省

東京音楽学校などに入学したようです。この規程制定から100年に当たる平成13（2001）年に、天皇皇后両陛下のご臨席の下、留学生受入れ制度100年記念式典が、国際研究交流大学村 東京国際交流館 プラザ平成で開催されました（写真2）。そのときに、私は文部科学省の担当課長として司会を務める機会をいただきました。

さて、この1月に、理研の経営方針を全所的に議論する研究政策リトリート2014が、このプラザ平成で開催されることになりました。同じ敷地内には約800戸の留学生宿舎もあります。留学生交流は理研が標榜する国際頭脳循環にも大いに関連するものですし、実は先ほどの式典のほかにも、このプラザ平成の最初のイベントであった国際研究交流大学村開村式典や、ここで開催されたさまざまな留学生交流関係会議などにも出席したことがありましたので、少なからぬ縁を感じた次第です。

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)

理研 寄附金
Support RIKEN

<http://www.riken.jp/>