

2017 年の科学重大ニュースから見えてくるもの



随 筆

戸 部 義 人*

Impressions from the Most Important Scientific Topics in 2017

Key Words : Scientific Topics in 2017, *Science*, *Nature*, CRISPR-Cas9, Nature Index 2017 Japan, NISTEP

はじめに

この原稿が読者の目に触れるのは4月に発刊される春号であるから、時の流れの速い今日ではすでに色褪せてしまったこともあると思うので、少しだけ時計を過去に戻してお読みいただきたい。

毎年、年末になると新聞やテレビでその年の重大ニュースが報じられ、「そう言えば今年はそんなことがあったなあ」と振り返る方も多いだろう。科学の世界でも、毎年 *Nature* 誌と *Science* 誌がクリスマス前にその年の特筆すべき成果やできごとを選んで特集号を組んでおり、新聞・テレビでもその内容が短く紹介される。原著をお読みになった方やニュースをご覧になった方も多いと思われるが、その内容を紹介し関連する感想を述べようと思う。

Science が選んだ十大ニュース

(Science's 2017 Breakthrough of the Year)

まず、*Science* から紹介しよう¹⁾。

- Cosmic Convergence (宇宙における合体)：重力波観測設備の LIGO と Virgo と連携して宇宙空間や地球上にある 70ヶ所以上の望遠鏡や天文台で、1億3000万光年のかなたで起こった中性子星の衝突により生じたさまざまな波長の電磁波を観測
- A new great ape species (新種の大型類人猿の発見)：インドネシアのスマトラ島で、3種目となる



* Yoshito TOBE

1951年10月生まれ
大阪大学工学部石油化学科卒業 (1974年)
大阪大学大学院工学研究科石油化学専攻
博士後期課程修了 (1979年)
現在、大阪大学名誉教授 大阪大学産業
科学研究所 招へい教授 工学博士
構造有機化学、有機合成化学
E-mail : tobe@chem.es.osaka-u.ac.jp

オランウータンをヒト科の大型類人猿としておよそ90年ぶりに発見

- Life at the atomic level (生体機能の原子レベルでの解明)：2017年のノーベル化学賞の業績でもある cryo-EM (クライオ電子顕微鏡) を用いて、DNA 修復酵素機能をはじめとする多くの重要な生体機能を原子レベルで解明

- Biology preprints take off (生物学分野におけるプレプリント制度開始)：計算機生物学および微生物学、細胞生物学、神経科学の実験科学分野で、ピアレビュー前の論文を公開するシステムが始動

- Pinpoint gene editing (ピンポイント遺伝子編集)：DNA の特定の位置を切断することができる CRISPR-Cas9 とよばれる「分子ハサミ」を改良して、切断するのではなく特定の塩基を入れ替えることに成功

- A cancer drug's broad swipe (がん治療薬の幅広い適用)：アメリカの FDA が、従来メラノーマなどに対して使われていた治療薬を、ミスマッチ修復欠損が関係するがん細胞に対する遺伝子治療に用いることを承認

- Earth's atmosphere 2.7 million years ago (270万年前の地球環境)：従来のものより170万年も古い270万年前の水を南極から採掘

- Deeper roots for *HOMO sapiens* (ホモサピエンスのさらに奥深いルーツ)：モロッコで30万年前のものとは推定されるホモサピエンスの化石を発掘

- Gene therapy triumph (遺伝子治療の勝利)：遺伝子を脳や脊髄にまで届けることができる無毒のウイルス (ベクター) を用いて遺伝子治療を行うことにより、治療しないと2歳までに死亡するであろう遺伝性神経筋疾患の幼児の治療に成功

- A tiny detector for the shiest particles (最もシャイな粒子を捕まえる小さな検出器)：81名の研究者

から成る共同研究組織 COHERENT が、極めて検出しにくい素粒子であるニュートリノをコヒーレント散乱現象で検出する 14.6 kg という超小型の検出器を開発

なお、*Science* は同時に Breakdown of the Year も選んでおり、これには

- Trump and Scientists: an Epic Estrangement
- A Bad Year for Cetaceans
- #MeToo: Sexual Harassment in Science

の3件が挙げられている。二つ目は絶滅が危惧されるイルカやクジラの保護に関するものであるが、それ以外はタイトルだけでお分かりいただけるだろう。

Nature が選んだ十大ニュース (Nature's 10)

Nature は、例年、特定のニュースに係る代表人物を選ぶことで重要な成果を発表している。2017 年は以下の 10 名が選ばれた²⁾。

• David Liu (Broad Institute of Harvard and MIT) — Gene Corrector (遺伝子の校正者) : *Science* でも選ばれた CRISPR を用いた遺伝子のピンポイント編集技術を開発

• Marica Branchesi (Virgo のメンバー) — Merger Maker (連携仲介者) : 重力波の観測に関して LIGO と Virgo の連携を実現するとともに、中性子星の衝突合体による電磁波観測を世界中の多くの天文学者に呼びかけ LIGO および Virgo との連携を実現

• Emily Whitehead (白血病の少女) — Living Testimonial (生き証人) : がん細胞の攻撃を認識できるように患者の免疫細胞を遺伝子的に再編成する CAR-T 療法とよばれる治療を受けることを (父親でもある) 医師に申告

• Scott Pruitt (US Environmental Protection Agency (EPA) 長官) — Agency Dismantler (破壊省長官) : 気候変動に対する懐疑主義者で、排出規制などの環境保護規則を緩和

• Pan Jianwei (University of Science and Technology, Hefei) — Father of Quantum (量子の父) : 地上から 1400 km 離れた衛星との間で量子テレポーテーションを行い、さらにその衛星を介して北京とウィーンの間で量子暗号化されたビデオチャットを実行

• Jennifer Byrne (Children's Hospital at Westmead, Sydney) — Error Sleuth (間違い探しの探偵) : こ

れまでに 9 件の遺伝学研究論文における DNA シーケンスの誤りを見つけ出すとともに自動的に誤りを検出するプログラムを共同開発

• Lassina Zerbo (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) 長官) — Test-Ban Tracker (核実験禁止協定の追跡者) : 北朝鮮とアメリカの緊張が高まる中で核の非拡散に尽力

• Víctor Cruz-Arienza (National Autonomous University of Mexico) — Quake Chaser (地震の追跡者) : 9 月 19 日に発生したメキシコシティから 120 km の地点を震源とするマグニチュード 7.1 の地震を予測

• Ann Olivarius (McAllister Olivarius (職業上の差別問題を扱う国際法律事務所)) — Legal Champion (法の擁護者) : 長年にわたり教育や職業における女性差別問題と戦い続けてきたが、急増したアカデミアにおけるハラスメントを担当

• Khaled Toukan (Synchrotron-light for Experimental Science and Application in the Middle East (SESAME) 設立の指導者) — Opening SESAME (SESAME の始動) : イスラエル、パレスチナ自治政府を含む中東 8 か国の連携によりアンマン郊外にシンクロtron設備を設立

Nature はこれらの十大ニュースのほか全体をまとめたレビューも載せており、その項目は When Stars Collide (中性子星の衝突合体と重力波観測、量子テレコミュニケーション、SESAME)、Political Shockwave (トランプ政権の反科学的政策)、Separation Anxiety (Brexit に関わる諸問題ならびに各国の科学技術政策)、Out to Sea (南極における巨大な氷山の崩壊やトランプ大統領のパリ協定離脱声明をはじめとする環境問題)、Genetics Bonanza (遺伝子編集を含む先端のがん治療法 CAR-T 細胞療法の認可、CRISPR-Cas9 を用いたヒト胚の遺伝子編集、CRISPR-Cas9 の知財争い)、An Interstellar Year (宇宙船 Cassini の消滅、太陽系の外から飛来した小惑星 Oumuamua など)、Coming to Light (アカデミアにおけるセクハラ問題)、Teach Thyself (試行錯誤を繰り返して自習する AlphaGo Zero の開発、IBM の量子コンピュータサービス開始) となっている。

科学重大ニュースから見えてくるもの

両誌が取り上げた重大ニュースは多くの内容で一

致しており、ともに大きく分けて二つに分類される。一つは「人類の知のための科学」に属するものである。2017年は物理学、宇宙・天文学、地球環境、考古学、生物学における成果が挙げられており、門外漢であっても興味をそそられ心躍る成果だ。もう一つは、「科学と社会の関係」に属するもので、人類社会が抱える諸問題と科学技術との関係がますます重要になっていることを反映している。とくに2017年には、トランプ大統領の政策や欧米各地で明るみに出たセクハラ（#MeToo）問題という余計な話題があったのは残念なことだ。

CRISPR-Cas9

このどちらの 카테고리にも属すると思われるのが、両誌とも取り上げている遺伝子治療の拡大とCRISPR-Cas9を用いた遺伝子編集技術である。とくに後者は科学的成果とその社会的影響という点で象徴的な研究である。このCRISPR-Cas9を用いた遺伝子編集技術はUC BerkeleyのJenifer A. Doudna教授とスウェーデンのUmeå大学（当時）のEmmanuelle Charpentier教授によって2012年に報告された³⁾。この技術は、従来の遺伝子編集技術に比べて格段に容易であるため、瞬く間に分子生物学や生命科学分野に広がり、Doudna教授はノーベル賞の最有力候補と言われている。2012年には134件であったCRISPRに関する論文は2017年には3035件とうなぎ上りに増えている（Web of Science）。Doudna教授らのレビュー⁴⁾、最近出版された著書の日本語版⁵⁾もあるので詳しくはそちらをお読みいただくか、手軽にはYouTubeでNHK教育テレビのScience Zeroの番組をご覧いただきたい⁶⁾。

一応、CRISPR-Cas9の概略を簡単に説明しておく。CRISPR（クリスパー）はClustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats（クラスター化され、規則的に間隔があいた短い回文構造の繰り返し）の略で、もともとは1987年に九州大学の石野良純教授らにより大腸菌のDNAにおいて初めて発見された特徴的な部分構造である。その後、複数の研究者により、多くの細菌がウイルス感染に対する防御機構としてDNA中にCRISPR構造を備えていることが見出された。DNAにおける回文構造とは、たとえば、TCCCGC……GCGGGA（A: アデニン、G: グアニン、C: シトシン、T: チミン、……は

他の核酸塩基配列）のような構造を意味する。AとT、CとGは相補的に結合するのでこの1本鎖が存在すると……部分を挟んでU字型に折れ曲がった構造ができる。この回文構造をスパーサーとしていくつかのDNA断片が連続して並んだ構造がCRISPRである。細菌はウイルスの再攻撃を受けると、スパーサー部位とそれに隣接して備えていたウイルスのDNA認識構造を鋳型にしたRNA（crRNAという）を作り出し、スパーサーの折れ曲がり構造を認識して結合するDNA分解酵素であるCas（CRISPR associatedの意味）酵素がウイルスのDNAの特定の位置を切断してウイルスをやっつける。いわば、CRISPRがピンセットとしてDNAの特定の位置を固定して、CRISPRと共同して働くCas9酵素がハサミのようにDNAを切断する。これが、細菌のもつウイルスに対する実に巧妙な免疫機構である。

ここまでは「へえー、すごいなあ」と感心する基礎科学の成果である。しかし、Doudna教授らが特定の機能発現に関わるDNAを認識できるようにした人工のガイドRNAとCas酵素を用いることにより、DNAの特定の位置を切断し別のDNA断片で置き換えるDNA編集技術を開発したところから、この科学技術のもつ意味が一変した。遺伝子編集技術には実用化されているものがいくつもあるが、この方法の画期的なところはDNA中の特定の位置を正確に編集することができるだけでなく、「高校生が数日でできる」⁵⁾とさえ言われるほど操作が簡単なことである。そのため、遺伝子治療をはじめとする医療への応用が期待されており、アメリカでは今年中に行われる見込みである⁷⁾。また、さまざまな実験用のモデル動物がすでにCRISPRを用いて作られている。そのほか、動植物の品種改良による農業、畜産、漁業、エネルギーなど、多くの産業や人類社会のあらゆる側面に多大の影響を及ぼす可能性がある。アジアゾウの遺伝子をマンモスの遺伝子に変えて、さながら映画のジュラシックパークのようにマンモスを再生する計画もあるらしい⁵⁾。しかし、CRISPRを用いる遺伝子工学の影響はポジティブなものだけではない。実際に中国の研究者がフライングを犯したように⁸⁾、科学的興味からヒトの胚を対象にした実験を行う可能性があるだけでなく、悪意をもって人間の遺伝子を改変することにより大量破壊兵器になる可能性もある。これらのネガティブな側面に対

する懸念から、Doudna教授らは研究者だけでなく一般市民を交えた議論の必要性を訴えている^{5, 9)}。YouTubeでは、同教授へのインタビューを収録したNHKのニュースを見ることができる¹⁰⁾。大阪大学に医学系研究科附属共同研ゲノム編集センターが2016年12月に設立されたのも、CRISPR技術の医療分野における急速な広がりを受けてのものと思われるが、生命科学だけでなくより広い分野の研究者と社会全体がCRISPRに注目、注視していかなければならないだろう。

Nature Index 2017 Japan

もう一つ気になったのは、*Nature*のSeparation Anxietyの項目に書かれていたScientists in Japan worried that stagnant research funding could undermine the future of the country's research, despite the government's continued push for innovation. という一文である。世界各国の科学財政状況のなかで、トランプ政権という特殊事情のあるアメリカを除いて、景気の悪いのは日本だけのようなのである。

日本の科学研究力の低下はさまざまなデータから明らかになっており、たとえばNature Index 2017 Japan¹¹⁾では、Nature Indexに収録されている質の高い科学論文に占める日本からの論文の割合が、2012年から2016年にかけて6%下落しただけでなく、論文の絶対数も減少しているとしている。また、他のデータベースの分析からも、過去10年間で日本の論文数の占めるシェアが減少していると指摘されている。Nature Indexに指摘されるまでもなく、文部科学省の科学技術・学術政策研究所(NISTEP)では、被引用数の多い(Top10%)論文のシェアが2003-2005年の3年間と2013-2015の3年間では5位から10位に順位を落としていると分析している¹²⁾。経済的発展に支えられた中国の急速な上昇は仕方ないとして、かつては同じようなレベルにあったドイツやフランスに大きく引き離されてしまったのは深刻な問題である。

この問題は筆者が所属する日本化学会においても大きく取り上げられているので¹³⁾、おそらくどの分野でも同様に議論されているだろう。最近ではマスコミでも取り上げられるようになり、テレビでは筆者が散見しただけでもNHKのゴールデンタイムのニュースやBS日テレ「深層NEWS」の特集があり、

新聞では日本経済新聞の2017年9月30日版に大隅良典教授(2016年のノーベル生理学・医学賞)の意見とともに関連記事が報じられ、同紙の12月4日版では日本総合研究所調査部上席主任研究員の河村小百合氏の「国立大学の研究力低下」と題する分析と組織改革の必要を訴える意見が掲載されている。また、東海道新幹線のグリーン車を利用された方はお読みになったと思うが、Wedgeの昨年12月号は「国立大学の成れの果て ノーベル賞がとれなくなる」という商業誌らしいセンセーショナルなタイトルが表紙を飾り、現状分析と梶田隆章教授(2015年のノーベル物理学賞)をはじめさまざまな方の意見が掲載されている¹⁴⁾。

いずれの分析や意見でも運営費交付金の削減が大きな影響を及ぼしていると指摘されているが、膨大な借金を抱えしかも超高齢化社会を迎える国の財政を考えると、交付金増の実現可能性は高くないだろう。筆者が定年退職後もゆっくりと研究を続けてつくづく感じることは、自分を含めてほとんどの大学教員が教育と研究以外の管理運営(いわゆる雑用)に多くの時間を割かれ多忙極まる日々を送っていたことである。国立大学法人化後に大学が行う管理業務は著しく増えたが、これは事務職員とともに教員の肩にもおおいに降りかかってきた。それらから解放された現在は、研究と趣味に時間を割くことができるだけでなく、さまざまな見聞を広めることもできるようになった。退職してようやく海外の大学の友人と同レベルのQOLに達した感じがする。このように教育と研究に余裕をもって専念できる環境を作り出すことが自由で新しい発想を生み、それが優れた研究成果に結びつくのではないだろうか。したがって、大学教員がその本分を果たすには、欧米のように教育、研究、管理業務を分業することでそれぞれに余裕を生み出すことが、限られた資源のなかでできる最善策だと筆者は思う。そのためには、ある程度の犠牲を払う必要があることは言うまでもないが。

さらに今年からいわゆる「2018年問題」に突入した。これは、受験年齢である18歳人口が本格的に減少し始め、たとえば2017年には120万人だったのが2031年には約20万人少ない99万人になると推定されていることを指している。これらの事情を鑑みるに、日本の大学が直面している難局を克服

し、科学技術レベルの地盤沈下をくい止め将来を担う人材を育成するためには、もはや小手先の改革ではなく大学が自らしかも早急に待ったなしの「超変革」に取り組むべきではないだろうか。

参考文献・資料

- 1) *Science*, **358**, 1520 (2017).
- 2) *Nature*, **552**, 304 (2017).
- 3) M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara, M. Hauer, J. A. Doudna, E. Charpentier, *Science*, **337**, 816 (2012).
- 4) J. A. Doudna, E. Charpentier, *Science*, **346**, 1077 (2014).
- 5) クリッパー CRISPR 究極の遺伝子編集技術の発見, ジェニファー・ダウドナ, サミュエル・スタンバーグ著, 櫻井裕子訳, 文藝春秋, 2017.
- 6) NHK Eテレ Science Zero:
<https://www.youtube.com/watch?v=wKijBLBsxpQ>
- 7) *Chemical and Engineering News*, 18, Jan. 18, The American Chemical Society (2018)
- 8) P. Liang et al., *Protein and Cell*, **6**, 363 (2015).
- 9) D. Baltimore et al., *Science*, **348**, 36 (2015).
- 10) NHK おは Biz:
<https://www.youtube.com/watch?v=bUDVoAPp1u0>
- 11) <http://www.nature.com/nature/supplements/nature-index-2017-japan/index.html#editorial>
- 12) 「科学研究のベンチマーキング 2017 —論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—」,
<http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-RM262-FullJ.pdf>
- 13) たとえば、「日本の科学技術力の再生はあるか」,
野依良治, 化学と工業, **70**, 323 (2017).
- 14) Wedge ウェッジ, 2017, 12月号, pp 12-25.

