

nature DIGEST

日本語編集版

SEPTEMBER 2007

VOL. 04, NO. 9

9

[http:// www.nature.com/naturedigest](http://www.nature.com/naturedigest)

MANY WORLDS



nature asia-pacific

Established 1987 as Nature Japan K.K.



リンネと日本の分類学
- 生誕 300 年を記念して -
天皇陛下ご講演

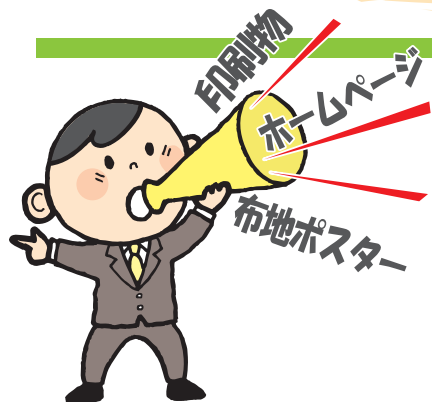
50年目の 多世界解釈

WWW. 研究成果の発信と外注をお考えですか。



広報制作.com

www.lab-adv.com



研究成果発信を第一に考えたサポート

お任せ下さい!

アウトリーチ支援業務

アウトリーチ活動を効果的により美しく、よりわかりやすく、より多くの人に伝えることのできる情報発信ツールの制作をお手伝いします。

WEB 制作・更新

研究機関の ホームページ作成

メンテナンス性、アクセシビリティの向上、SEO対策、ファイルサイズの軽減を重視した、研究情報発信WEB制作を専門に扱っております。



ホームページについて
詳しく知りたい方
www.広報制作.com

DTP デザイン・印刷

研究成果の デザイン・制作

成果発表ツールのポスターやアブストラクト、フライヤーなど研究機関に特化しているからこそ、一味違うデザインを制作いたします。



印刷の種類や
デザイン等
詳しく知りたい方
www.広報制作.com

布地 ポスター

たたんで運べる 布地ポスター

荷物になる紙のポスターはもういない。ポスターがたたんでバックの中に入る。研究発表、学会発表に最適です。



布地ポスターの
特性を
詳しく知りたい方
www.広報制作.com



nature DIGEST

09 volume 4 no.09
September
www.nature.com/naturedigest

© 2007 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

NEWS FEATURE

50年目の多世界解釈

表紙: DAVID PARKINS

HIGHLIGHTS

02 vol. 448 no.7151, 7152, 7153, 7154, 7155

EDITORIAL

05 試された地震国日本の原子力発電所

SPECIAL FEATURE

Lecture by the Emperor of Japan to the Linnean Society

06 リンネと日本の分類学 – 生誕 300 年を記念して –
天皇陛下ご講演

NEWS FEATURE

10 50 歳を迎えた多世界解釈
Mark Buchanan

14 生物系 SF 作家の逆襲
Peter Watts, Joan Slonczewski, Paul McAuley, Ken Macleod

FORUM REPORT

19 アジア・パシフィック地域のネットワーク
科学研究の発展に向けて
Philip Campbell, David Cyranoski

JAPANESE AUTHOR

22 新たな地震「ゆっくり地震」のスケール法則を発見
—— 井出哲
財部恵子

24 なじみ深いメダカの全ゲノムを、日本のチームが独自に解読
—— 武田洋幸
西村尚子

英語で NATURE

26 Crabs use their shells for garbage disposal
カニは殻を利用して廃棄物を処理する

発行人: ディビッド・スウィンバックス
編集: 北原逸美、中野美香
デザイン/制作: 村上武、中村創
広告: 米山ケイト
マーケティング: 吉原聖豪

2007 年 9 月 6 日 毎月第 1 木曜日発行
NPG ネイチャー アジア・パシフィック
〒162-0843
東京都新宿区市谷田町 2-37 千代田ビル
Tel. 03-3267-8751 Fax. 03-3267-8754

アフリカから出た人類**... and humans out of Africa**

ヒトの起源に関する「出アフリカ説」は、長年にわたって古人類学学界を盛り上げてきた。遺伝子解析は、現生人類がアフリカに単一の起源をもつことを支持する傾向にあるが、解剖学的な計測値から得られる結果は一樣ではない。しかし今回、この不一致が解消された。膨大な遺伝子データにより進展可能となった解剖学的新人の古代人口の統計解析を参考にして、頭蓋骨計測値の大規模データベースが新たに分析され、アフリカ単一起源が疑う余地なく裏づけられたのである。

19 July 2007 Vol.448 / Issue 7151

Letter p.346 参照

多能性幹細胞を作り出す**Stem cells with potential**

実質的にどの細胞型にも分化できる能力、すなわち胚性幹細胞が示すような「多能性」を、容易に入手できる細胞に与えるための新たな方法の探求は現在も継続中である。その成功で得られるものは大きい。もしこれがヒトの細胞で安全に実現できれば、細胞移植療法や、個々の患者に合わせた治療に向けて一歩前進することになるからだ。今週号では2つの研究グループが、マウス繊維芽細胞からの多能性幹細胞の作製という、この分野での重要な進歩について報告している。エピジェネティックな再プログラミングには、Oct3/4、Sox2、c-Myc、Klf4という4つの転写因子の発現を必要とする。今回作り出された細胞は、生物学的能力とエピジェネティックな状態の両方について胚性幹細胞に類似している。

19 July 2007 Vol.448 / Issue 7151

Articles pp.313, 318, N&V p.260 参照

ヤモリとイガイ：強力な新規接着剤を生み出した「意外」なコンビ**GECKOS WITH MUSSEL: Combining to produce a powerful new biomimetic adhesive**

表紙は、イガイ（ムール貝）にヤモリがくっついていてところ。この意外なシナリオは、これら2つが共に物にくっつく能力をもつことからきている。ヤモリは、足に生えた細かい毛のおかげで天井にさはりつける。しかし、移動のためにはすばやい着脱が必要なので、その接着は一時的な



ものである。着脱を多数回繰り返しても接着力の落ちない合成品を作るのはむずかしいことがわかっており、さらに別の障害もある。ヤモリの接着力は水中ではぐっと落ちるのだ。「ゲッケル (geckel)」と命名された新しい接着剤は、この水に対する弱さを克服したもので、ヤモリ (gecko) 型のナノ構造と、イガイ (mussel) が水中接着のために使っている化学的手法を合体している。こうしてできたハイブリッド接着剤は、細い柱の配列を、イガイで発見された湿潤接着タンパク質をまねたポリマーで被覆したもので、乾湿両方の条件で1000回以上着脱可能というすばらしい可逆接着性能を示した。今回の開発は、幅広い実用に適した可逆接着剤の実現につながるだろう。

19 July 2007 Vol.448 / Issue 7151

Letter p.338 参照

人がもたらした降水量の変化**The day the rains came**

我々人類は、気候にその痕跡を残してきている。20世紀には、人間活動の結果として、地表面気温、海面気圧、自由大気温度、海洋の温度がいずれも変化した。気候モデルでは、人間活動が全地球規模で降水量も変化させた可能性が示唆されているが、この予測を裏づける証拠はこれまで見つかっていなかった。今回、この証拠が得られた。20世紀の間の陸域降水量観測値の変化と気候シミュレーションとの比較から、降水量の緯度分布に検出可能な影響が及んでいることがわかった。人為起源の因子が、北半球中緯度地帯では湿潤化の一因となり、そのほかの地域、例えば北半球熱帯域では乾燥化に寄与していたのである。

26 July 2007 Vol.448 / Issue 7152

Letter p.461 参照

多発性硬化症の臨界要因？**Pivotal to multiple sclerosis?**

主として眼の水晶体に存在する「α B-クリスタリン」というタンパク質が、多発性硬化症で起こる炎症と損傷の悪循環の重大な「臨界要因」である可能性が出てきた。α B-クリスタリンは、多発性硬化症患者の免疫応答の主要な標的であることが知られている。今回、多発性硬化症のマウスモデルでα B-クリスタリンが保護作用を示すことが明らかになった。このタンパク質をマウスに注射すると、抗炎症因子および神経保護因子として働き、麻痺も回復させる。

26 July 2007 Vol.448 / Issue 7152

Letter p.474, N&V p.421 参照

グラフェンはすぐれた紙になる**Graphene is good on paper**

ペーパー状またはホイル状にした材料は、例えば保護層、ケミカルフィルターや接着材として、多くの技術的用途に使用されている。カーボンナノチューブ系のいわゆる「バッキーペーパー (bucky paper)」はすぐれた機械的・電気的特性をもつため、ハイテク・ペーパーの使用を燃料電池などにも広げる可能性がある。今回、剛性、強度、柔軟性の点ですぐれた性能が期待される新しいペーパー状カーボンナノ材料、すなわち酸化グラフェンペーパーが作製された。この材料は、ナノスケールの酸化グラフェンシートが、ほぼ平行にタイルを貼ったように組み合わせられて作られている。

26 July 2007 Vol.448 / Issue 7152

Letter p.457 参照

DNAと免疫**DNA and immunity**

DNAは免疫応答の強力な活性化因子である。このことは40年以上も前から知られていたが、これにかかわる機構はまだ明らかではない。今回、高岡晃教たちは、自然免疫応答に関与する細胞質内DNAセンサーを同定した。その分子は、インターフェロンによって誘導されるタンパク質DLM-1/ZBP1である。この分子に関してはこれまで生物学的な機能はまったく知られていなかった。改めてDAI (DNA-dependent activator of IFN-regulatory factors (DNA依存性インターフェロン調節因子活性化分子)) という名前が付けられた。DAIが主要なDNAセンサーとして同定されたことは、DNAがかかわる微生物に対する免疫や自己免疫疾患の基盤となるシグナル伝達機構に新たな理解をもたらすかもしれない。

26 July 2007 Vol.448 / Issue 7152

Letter p.501, N&V p.423 参照

多遺伝子性疾患：炎症性腸疾患に関する研究で解きほぐされたその複雑性**MULTIGENE DISEASES: Work on inflammatory bowel disorders unravels complexity**

クローン病や潰瘍性大腸炎を含む大分類群である炎症性腸疾患 (IBD) は多遺伝子性疾患だが、さまざまな環境要素とも関連している。こうした複雑性にもかかわらず、その病因の解明は大きく進展してきた。R XavierとD Podolskyは、この分野における最近の進展について概説している。IBDの遺伝学的研究からは、上皮障壁機能、自

※「今週号」とは当該号を示します。

然免疫および適応免疫がその病因に果たす役割が指摘されている。一方、主要な環境因子には、感受性をもつ宿主に免疫機能の調節異常を引き起こす（ことがある）共生細菌などが含まれる。

IBDの解明の進展から、複合性疾患の病因をどのように細分化して分析できるか明らかになってきた。心臓病、糖尿病などの多遺伝子性疾患でも、これと同じような病因の分離解明が可能かもしれない。表紙はヒトの活性化したマクロファージで、この細胞はIBDの病因に重要ないくつかの細胞集団の1つである。

26 July 2007 Vol.448 / Issue 7152

Review Article p.427 参照

肺がんとALK

Lung cancer link to ALK

肺がんの発生率が高いにもかかわらず、その分子レベルでの発症機序の多くの側面はほとんど明らかになっていない。したがって、かなりの割合の非小細胞肺癌患者で、染色体2pの小さな逆位が今回発見されたことは重要だと考えられる。この逆位によって、EML4というタンパク質の一部と、ALK (anaplastic lymphoma kinase) というキナーゼの一部からなる融合タンパク質が生じる。この融合キナーゼの遺伝子はトランスフォーミングがん遺伝子として働き、診断や治療の標的として有望である。

2 August 2007 Vol.448 / Issue 7153

Article p.561, N&V p.545 参照

最古の硬骨魚類の顎と歯

Jaws... and teeth

有顎脊椎動物の最も初期の進化史を記録する化石は極めて少ない。硬骨魚類のうち現生につながる冠分類群（四肢動物を含む硬骨魚類）は、シルル紀（4億1800万年前）までさかのぼることがわかっているが、それより古い硬骨魚類の歴史をたどることはむずかしい。今回 Botella たちは、硬骨魚類の特徴を示す初めての明白な証拠を、シルル紀後期（4億2300万～4億1600万年前）の魚類であることが知られている2種の魚類で見いだしたことを報告している。これにより、これらの2つの魚類が今まで知られている中で最古の硬骨魚類であるだけでなく、系統発生的に最も原始的な硬骨魚類であることが実証された。

2 August 2007 Vol.448 / Issue 7153

Letter p.583 参照

脳損傷後の刺激で意識回復をねらう

Brain activity revived

現時点では、脳に外傷性の損傷を負った患者の長期にわたる意識喪失を回復させる確実な手段はない。しかし、最小意識状態（意識の兆候が断続的にみられる状態）の患者の一部に、ある程度の大脳活動が残っていることを示す証拠が提出され、この問題への関心が高まっている。Schiff たちは、脳損傷後に最小意識状態にある患者についての研究で、視床に両側性深部脳刺激を行うと、行動的な応答性と機能が増進する可能性があることを報告している。損傷後6年を経た患者でこのような観察がなされたことは、重度の脳損傷を受けた患者への対処法に関する現在の考え方に変更を迫るものだ。

2 August 2007 Vol.448 / Issue 7153

Letter p.600, N&V p.539 参照

迫り来る暑さ：大気中の褐色の雲は気候温暖化を促進する

THE HEAT IS ON: Atmospheric brown clouds enhance climate warming

INDOEX (Indian Ocean Experiment: 1997-1999) の期間中にアラビア海の上空で初めて発見された褐色の濃いもやもやは南アジアの乾季に持続してみられる特徴であることが、2001年までに明らかになった。2002年の国連環境計画の報告書では、もしもバイオマス火災などのこのもやの原因が制御されないとすると、気候系の大きな破綻が起こることが懸念されていた。それ以後、NASA のTERRA衛星はほか

の地域でも大気中の褐色の雲 (ABC) を検出してきている。ABCが原因で起こる、太陽光による大気加熱と地表面の薄暮化は共に気候変化を押し進め、こうした変化の定量化には、今週号で発表された2つのデータセットのような直接観測データが必要である。1つ目のデータセットは、インド洋上空で自動操縦式の無人航空機3機をそれぞれ違う高度で旋回させて太陽光による加熱を測定したものである。2つ目は、CALIPSO衛星がインド洋からヒマラヤにかけて、3キロメートルの厚さのもやを追跡した観測結果である。これらのデータを用いた気候モデルの作製によって、ABCが引き起こす大気温



暖化は温室効果ガスによる温暖化に似ていることが示唆され、これがヒマラヤの氷河の原因となっている可能性も示された。

2 August 2007 Vol.448 / Issue 7153

Letter p.575, N&V p.541 参照

ジャスモン酸とオール・ザット・JAZ

Jasmonate and all that JAZ

ジャスモン酸は、ジャスミンの香気の主成分としてよく知られている脂質オキシリピンの1つで、そのシグナル伝達の中心となる構成要素が明らかになっていなかった最後の主要な植物ホルモンである。今回2つのグループが、わずかに異なった角度からこの問題に取り組み、謎を解決した。Thines たちと Chini たちはそれぞれ、JAZ (jasmonate ZIM-domain) タンパク質ファミリーに属する分子群が、このジャスモン酸シグナル伝達経路の主要な構成要素であることを報告している。JAZタンパク質は通常ジャスモン酸応答性遺伝子を抑制するが、ジャスモン酸誘導体であるジャスモノイル-イソロイシン (イソロイシン結合型ジャスモン酸) はJAZタンパク質をユビキチンリガーゼ (SCF^{COI1}) に結合させる。その結果、JAZタンパク質の分解が起こって遺伝子発現の抑制が解除され、このシグナル伝達が確保されるのだ。

9 August 2007 Vol.448 / Issue 7154

Articles pp.661, 666, N&V p.659 参照

森は昆虫だらけ

Insects everywhere

昆虫はほとんどの生態系において大きな勢力の1つとなっているが、生物多様性研究では、昆虫は鳥類や哺乳類、植物ほどは注目されていないことが多い。今週号の2つの論文は、こうした不均衡を是正するものだ。Novotny たちは、バブアニューギニアの7万5000平方キロメートルにわたる多雨林で、鱗翅目幼虫、甲虫類、ショウジョウバエ類およそ500種について調査した。この研究により、ほとんどの植食性昆虫種が広範囲に分布していることがわかった。熱帯域について予想されていたとおり、種の豊かさは高かったが、確認される種には数百キロメートルにわたって大きな変化がなかった。一方Dyer たちは、カナダからブラジルに及ぶ範囲のチョウやガの幼虫について、数十万に及ぶ宿主特異的採食記録の研究から、Novotny たちとはまた異なる結論に達している。彼らは、新世界においては、ある昆虫種が採食する樹木の平均種数は、温帯域よりも熱帯域のほうが少ないことを見いだした。この知見は、ダーウィンやウォレ

スの時代から生物学者が盛んに議論してきた、生態的特異化の緯度勾配を確認した例である。しかしこの議論は、今回の2つの研究が一見したところ対立する結果に至ったことから、まだまだ続きそうである。

9 August 2007 Vol.448 / Issue 7154
Letters pp.692, 696, N&V p.657 参照

埃をかぶった技術を引っっぱり出す Dusting off an old technique

Chapmanらは、アイザック・ニュートンが干渉を実証するために行った「埃をかぶった鏡 (dusty mirror)」の実験からヒントを得て、超高速高強度X線パルスを用いて微小粒子を研究する方法を考案した。ニュートンの実験では、裏面が水銀メッキされた鏡の表面上の塵粒子によって、可視光散乱が2度起こり (1度目は鏡へ入る際に、2度目はメッキ面で反射された後に)、その結果円形の干渉パターンが生じる。現代版の実験では、X線ミラーの前に設置されたポリスチレン粒子付き薄膜上に、X線パルスが集光される。パルスはその薄膜サンプルを通過する際に粒子の爆発を引き起こし、さらに、X線ミラーによって反射されてサンプル上に戻ってくる。その結果生じる回折パターンには、破壊された粒子に関する時間分解および空間分解された正確な情報が含まれる。この種のX線「フラッシュ」イメージングは、原子運動の時間スケールで物質の3次元動態を研究するのに使えるそうだ。

9 August 2007 Vol.448 / Issue 7154
Letter p.676, N&V p.651 参照

接近遭遇：ホモ・ハビリスとホモ・エレクトゥスは同時代人？

HEAD TO HEAD: Were *Homo habilis* and *Homo erectus* contemporaries?

ヒト族 (Hominini) の種であるホモ・ハビリスと、それより一般に大型で生息年代の新しいホモ・エレクトゥスは、単一の進化系統上の2つの点に当たったものであって、年代的に離れているだけだと見なされることが多い。こうした見方は、グルジアのドマニシで出土した小さく原始的な頭骨が、両者の形態的な中間体だと解釈されたことで強まった。しかし、新しい化石の発見によって別の筋書きが浮上してきた。特別に小さいホモ・エレクトゥスの部分的頭骨と、ホモ・ハビリスの生息年



代後期のものに当たる顎骨の一部が、ほぼ50万年間にわたってケニアのトゥルカナ湖盆地で両種が共存していたことを示唆するような状況で見つかったのである。ホモ・ハビリスとホモ・エレクトゥスは、年代的に重なっているだけでなく、サイズの面でも重なっていた。その要因の1つは、ホモ・エレクトゥスの著しい性的二形かもしれない。表紙は、ホモ・エレクトゥスの新しい化石でKNM-ER 42700と名づけられた部分的頭骨と、タンザニアで出土した最大のアフリカ産ホモ・エレクトゥス標本、OH 9である。

9 August 2007 Vol.448 / Issue 7154
Letter p.688 参照

ミラのイメージ

A Mira image

恒星ミラは、質量の小さいものから太陽よりもわずかに重いものまでを含む、進化の最終段階にある分類群に属する。これらの星は、自らが放出する恒星風を通じて、ホスト銀河中での星形成や惑星形成に直接的な影響を及ぼしている。Martinたちは、紫外線を放射するポーショック (弧状衝撃波) と、角度2度にわたり空に尾を引く乱流後流を発見したと報告している。これらは、ミラのもつ大きな空間速度や、その恒星風と星間物質の相互作用から生じたものだ。この恒星風の後流から、ミラが過去3万年にわたって質量を失ってきた歴史をたどることができる。

16 August 2007 Vol.448 / Issue 7155
Letter p.780 参照

単成分金属ガラスを調べる

Testing one's metal

ガラスには多くの形態がある。金属ガラスという特定のケースでは、通常の液体冷却時に起こる結晶化を避けるために、多数の成分が必要なが多い。その注目すべき例外が、2成分金属ガラスZr₅₀Cu₅₀である。今回Bhatたちは、ガラス形成を制御する要因に関する最近の理論的考察を用いて、金属液体ゲルマニウムのガラス化に成功する実験条件を決定した。Bhatたちは、初めて単原子金属ガラスを作製したばかりでなく、珍しい液体-液体相転移の証拠もこの系で見いだしている。

16 August 2007 Vol.448 / Issue 7155
Letter p.787, N&V p.758 参照

抗生物質の新しい生産ライン

A new line in antibiotics

アンドリミド (andrimid) は、この20年

ほどの間に数種の異なったタイプの細菌から単離された抗生物質で、非リボソーム性に合成されるペプチド-ポリケチドである。アンドリミドは細菌のアセチルCoAカルボキシラーゼをナノモル濃度で阻害し、この酵素が阻害されると、原核生物の脂肪酸生成の最初のステップが停止する。Fortinたちは、アンドリミドの生合成にかかわる酵素の1つであるAdmFが、天然の合成経路で重要なアミド結合の形成を触媒しているトランスグルタミナーゼ (TGase) 様酵素であることを明らかにした。TGase様酵素がある種の抗生物質の生合成にかかわっていることが報告されたのは、今回が初めてである。今回の結果は、AdmF、あるいはほかの微生物由来の近縁のTGase様酵素が、薬剤耐性病原菌用の新しい「非天然」抗生物質の生産に使える可能性を示している。

16 August 2007 Vol.448 / Issue 7155
Letter p.824, N&V p.755 参照

構造から機能を知る：タンパク質構造から予測された酵素活性

FORM FINDS FUNCTION: Enzyme activity predicted from protein structure

新しく発見されたタンパク質の機能は、アミノ酸配列の既知のタンパク質との比較により、予測できることが多い。しかし、既知のタンパク質とまるで関連のみられない酵素の機能予測は非常にむずかしい。今回J Hermannたちは、計算論的方法を使って、活性未知の酵素の機能が構造から予測可能であることを示している。彼らは、数千種の候補代謝物を高エネルギー中間体の形にして、アミド加水分解酵素スーパーファミリーに属するTm0936という酵素のX線結晶構造と「ドッキング」させた。ドッキング実験から、この酵素は5-メチルチオアデノシンとS-アデノシルホモシステインを脱アミノ化すると予測された。そして、Tm0936に結合した反応生成物の1つのX線結晶構造は、予測された構造と非常によく対応していた。今回の結果は、候補基質の高エネルギー形を使う、構造を基盤とするドッキングが酵素機能のアノテーションに有用となる可能性を示している。

16 August 2007 Vol.448 / Issue 7155
Article p.775, N&V p.762 参照



試された地震国日本の原子力発電所

Nuclear test

Nature Vol.448 (387) / 26 July 2007

論説

原子力発電の将来にとって重大な時期に発生した、柏崎刈羽原発の地震被災。日本の対応は、原子力発電に関する明るい見通しと落とし穴の両方を浮き彫りにした。

7月16日の新潟県中越沖地震は、巨大な原子力発電所から約20キロメートルの地点で発生した。原発の地震被災をめぐる日本政府と東京電力の対応は、表面的にはひとまず適切だったと思われる（*Nature* 2007年7月26日号392ページ参照）。

しかし、新潟県の日本海沿岸部に立地する柏崎刈羽原子力発電所で発生したインシデント（異常な事象）は、深刻な結果をもたらす可能性もあった。単独の原子力発電施設として世界最大規模の同原発内に設置されている7基の原子炉を見舞った今回の地震の大きさはマグニチュード6.8。設計時に想定されたマグニチュード6.5を上回る大きさだった。

これに対する安倍首相の対応はすばやく、東京電力に対してインシデントの全容を発表するよう、直接指示した。その指示に従って東京電力は情報収集を進め、不完全ながらも地震の数時間後には発表にこぎつけた。

幸いなことに、今回のインシデントによる放射性降下物はほとんどなかった。微量の放射性物質を含む水漏れや大気中への放出、また、低レベル放射性廃棄物の入った車輪付き大型容器の一部で転倒があったものの、原子炉と内部の放射性物質は十分に封じ込められ、安心できる状態にあると考えられている。これは大きな工学的成果だといえる。

だが同時に、この原子力発電所はなぜ地震が活発に起こる断層の上に建設されたのか、という疑問も取りざたされている。日本では地震活動の不活発な地域のほうがはるかに少ないという状況のなかで、原子力発電に対する膨大な需要を賄うのに苦心している。とはいえ、過去3年間に国内の原子力発電所が設計震度を超える地震に遭遇したケースは、これで3度目となった。日本の原子力を管轄する原子力安全委員会は、原子力発電所の建設承認過程において地震学者の関与を拡充させ、承認基準を見直して厳格化する必要があるだろう。たとえそうしたとしても、必ずしも原子力発電所の新規建設の妨げにはならないはずだ。日本の原子力発電所は、現実としてはすでに、（承認基準よりも大きい）マグニチュード8の地震に対応できるよう設計・建設されている。

また、地震被災直後の東京電力の対応には若干不安な点があった。例えば、祝日（海の日）に地震が起こったために緊急対応チームの召集がむずかしかったという発言があったが、これでは国民の信頼は得られまい。対して、その後の施設内の状況に関する情報発信は徹底して行われており、これが安心感に

つながっているものと考えられる。地元住民に向けた定期的な情報提供、および今回の地震によって生じた断層の性質に関する包括的なデータ公表がなされたことは、原子力事業者と政府が過去数十年の間に繰り返してきたこの分野での不安定な経験の数々から、情報の透明性を高めることの利点など、多くの教訓を得た結果ともいえる。

しかし、柏崎刈羽原発内の全7基の原子炉は結局、その損害状況が十分に評価されるまで運転を停止すると決定されざるを得なかった。そして、このことによる商業的影響が、さらに暗い影を投げかけている。東京の電力需要の半分に当たる8ギガワット（ギガは 10^9 ）の発電能力が失われたことは、日本国内の発電体制が十分に計画されたものであることを勘案しても、大きな打撃である。事実、夏の電力需要のピークを乗り切るため、大企業各社は念のため、ピーク時の電力使用量の削減を計画するよう要請された。

地球温暖化とエネルギー価格の高騰により、原子力発電は再び、世界各国の電力供給システムにおいて確固たる役割を果たすようになってきている。米英両国では原子力発電所の新規建設計画が進行中であるし、中国とインドでも今後、原子力発電が大規模に推進されていくのは間違いない。

計画中の原子力発電所に投資する企業は、今でも放射性廃棄物の処理問題や事業者としての法的責任について不安を拭いきれず、原子力発電を推進しようとする政府に対して、これらについての保証を求めている。それでもなお、米国ペンシルベニア州スリーマイル島（1979年）やチェルノブイリ（1986年）のような、全世界の産業に大損害を与えた事故の危険が今後もけっして消えるわけではないという思いが、投資企業の脳裏をよぎる。このような事故がいま一度起これば、原子力発電に対する政治的な支持は弱体化し、実際に1メガワット（メガは 10^6 ）さえも発電、販売されないままに、投資計画がすべて崩れ去ってしまう可能性もゼロではないのだ。

柏崎刈羽原発の地震被災をめぐるのは現在のところ、今回は不幸にもインシデントの発生がみられたものの、それらは取り組みしだいでは予防可能なものだったとする産業界の主張をある程度裏づける方向で、話がまとまりつつある。そして、この主張が今後も正しいものであり続けるために必要なもの、それは画期的な次世代技術ではない。入念なエンジニアリング、きめ細かな規制、公的機関の透明性の組み合わせこそが求められるものである。■



Linné and Taxonomy in Japan –On the 300th Anniversary of his Birth–

リンネと日本の分類学 – 生誕 300 年を記念して –

天皇陛下ご講演



Nature 本誌は 2007 年 7 月 12 日号に、カール・フォン・リンネ生誕 300 年の記念行事の一環として 5 月 29 日にロンドン・リンネ協会で行われた天皇陛下のご講演の抜粋を掲載いたしました。このたび宮内庁のご協力を得て、そのご講演全文の邦訳を *Nature Digest* に掲載する運びとなりましたことを誠にうれしく存じます。

ディビッド・スウィンバックス

NPG ネイチャー アジア・パシフィック 代表取締役社長、CEO

リンネ生誕 300 年にあたり、ロンドン・リンネ協会からその祝賀行事にご招待をいただいたことに対し、深く感謝いたします。1980 年ロンドン・リンネ協会の外国会員に選ばれたとき、それは私には過分のことに思われましたが、一方、それは私が公務の間にめって研究を続けていくうえで大きな励みともなりました。

今日はリンネの業績をしのび、リンネの弟子で日本のオランダ商館の医師として 1 年間日本に滞在し、『日本植物誌』を書いたツェンベリーなどにふれつつ、欧州の学問がいに日本で発展してきたかということをお話したいと思います。

1707 年スウェーデンに生まれたカール・フォン・リンネは、1735 年、28 歳のときに『自然の体系』第一版を著し、

新しい分類体系の概要を示しました。それによると、植物界は雄しべの数などによって 24 綱に、動物界は四足動物、鳥類、両生類、魚類、昆虫、蠕虫の 6 綱に、鉱物界は岩石、鉱物、採掘物の 3 綱に分類され、それぞれの綱はいくつかの目に分けられ、さらに目の中にはいくつかの属が例示されています。リンネは、自然が神によって秩序正しく整然と造られていることを確信し、この自然の秩序を見だし、神によって造られたものを分類し、命名し、自然の体系を完成することをめざしていました。しかし、雄しべの数によって植物の綱を分けるというリンネの分類体系では、例えば雄しべの数が違うだけで、ほかの特徴が極めて類似した種の間でも綱を異にすることになり、また、雄しべの数が同じというだけで、ほかの特徴が非常に相違して

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

ロンドン・リンネ協会で講演される天皇陛下。

いる種が同じ綱に含まれることになります。このような観点から、あらゆる特徴を総合的に判断して分類しなければならないという主張が強くなり、リンネの分類体系は系統を重視した分類体系に取って代わられました。

しかし、リンネが創始した二名法の学名は、世界共通の動植物の名称として、今日、学界はもとより多くの人々によって使われています。二名法の学名は、その種が属する属名とその種を指す種小名の結合によって成り立っています。リンネが二名法を創出する以前の学名は、その種が属する属名と、その種を同属内の他種から区別する特徴の記述が結合してできていました。したがって、一属の中の種数が多くなれば、属内の他種と区別をするための記述が詳しくなり、語数が増え、不便なものになりました。リンネはこの不便を解消するために、学名には種の特徴を示す記述を含めず、学名は属名と種小名の結合した名称だけのものとし、種の特徴を示す記載は別項に記すという扱いにこれを変更したのです。なお、国際植物命名規約と国際動物命名規約では、同じ種に複数の学名がつけられている場合、その中で最も古い学名を採用することをそれぞれ規定しています。種子植物とシダ植物では1753年にリンネが著した『植物の種』第一版、動物ではクモのモノグラフとしてクレックの著した『Aranei Svecici』とリンネが著した『自然の体系』第十版の2つを1758年1月1日に出版されたものと見なし、それぞれそこにおさめられた種の学名を最も古い学名として認めることを規定しています。それ以前

に発表された種の名称は、学名としては認められないことになっています。

リンネは、『植物の種』第一版やその後の著作の中で、多くの日本の植物に学名をつけて記載しています。*Camellia japonica* (ヤブツバキ)などは、リンネが『植物の種』第一版の中に記載したもので、今日もこの学名が使われています。これらの植物は、1690年から2年間日本に駐在したオランダ商館のドイツ人医師ケンペルが、1712年にその著『廻国奇観』の中に図示した植物であります。当時、日本は鎖国をしており、日本人の海外渡航は禁止され、外国人の来日も厳しく制限されていました。鎖国はキリスト教の禁止を徹底させるために行われたことから、キリスト教の布教を行わず、通商のみの関係にあったオランダ人の来日は認められていました。しかし、来日したオランダ人は、長崎の海上に築かれ、橋で結ばれた人工の島、出島に隔離され、許可なく出島を出ることはできませんでした。ただ、オランダ商館長は、医師などの随員と共に、1年に1度、江戸、今の東京に将軍を訪問することになっており、ケンペルはこの間2回の江戸往復を、それぞれ80日以上かけて行っています。ケンペルは、日本滞在中植物の写生図を作り、1712年に出版された『廻国奇観』に載せたのでした。ケンペルの写生図256枚は、現在、(英国の)自然史博物館に保存されています。

ケンペルの離日から83年後、1775年にオランダ商館の医師としてスウェーデン人ツェンペリーが赴任してきました。ツェンペリーはリンネの弟子で、後にリンネと同じウプサラ大学の植物学と医学の正教授になった人です。ケンペルもツェンペリーも鎖国下の日本に来たオランダ商館の医師でありましたが、ケンペル来日の時代と異なり、ツェンペリー来日の時代は日本の医師の間で欧州医学に対する認識が深まっているときでありました。このような変化は、将軍徳川吉宗が1720年、かつてキリスト教思想の流入を阻むために設けられた禁書令を緩和し、キリスト教の教義とは無関係な漢籍の西洋科学書の輸入を認めたことから、西洋科学の研究が活発になり、オランダ語の医学書に関心が払われるようになったからです。従来の中国由来の医学を学んできた山脇東洋も、オランダからの輸入医書の図がそれまで学んできたこととあまりに違うことに注目し、真疑を確かめるため、1754年、官許を得て人体解剖を行い、その結果を『臓志』として刊行しました。以後解剖はしばしば行われるようになりました。ツェンペリー来日の前年、1774年には、杉田玄白をはじめとする江戸の医師が集まってオランダ語から訳した『解体新書』が刊行されました。解剖を実見して、オランダ語の解剖書の正確さを確認したことが、この訳を始めるきっかけとなったのです。集った人々の中にはオランダ語のできる人もいまし

だが、訳出作業の中心になった玄白は、それまでアルファベットも習っていませんでした。訳出作業は困難を極めました。玄白の、1日も早く訳書を世に送り出し、医学に貢献したいという熱意により、3年間で『解体新書』は刊行の運びとなりました。

ケンペルの没後出版された『日本誌』には、2度の江戸訪問中1回だけ、1人の医師がケンペルに病気について医学上の見解を聞きにきたことが記されていますが、ツェンペリーの『江戸参府随行記』には、江戸到着後すぐに医師5人と天文学者2人が彼を訪ね、さらに官医桂川甫周とその友人中川淳庵は、毎日のようにツェンペリーを訪ねて、ときには夜遅くまでさまざまな科学について、ツェンペリーから教えを受けたことが記されています。両人は『解体新書』の訳に参加した人で、『解体新書』には、杉田玄白訳、中川淳庵校、桂川甫周閲と名を連ねています。2人とも、特に淳庵は、かなりオランダ語を話し、ツェンペリーは彼らが持ってきた生の植物の和名を聞き、ラテン名とオランダ名を彼らに教えたと書いています。

ツェンペリーと2人の医師との交流はツェンペリーの帰国後も続き、ツェンペリー宛ての日本人2人の医師の書簡は、ウプサラ大学に保管されています。私は皇太子であった1985年、皇太子妃とともにウプサラ大学を訪問し、スウェーデン国王、王妃両陛下とそれらの書簡を見、そのことは私どもの心に深く残るものでした。

リンネが創始した学名がいつ日本人に伝えられたかということはわかりません。先にお話したように、ツェンペリーの『江戸参府随行記』の中には桂川甫周と中川淳庵に植物のラテン名を教えたという記述があります。しかし、この『江戸参府随行記』の記述をもって学名が日本に伝えられたと切り切ることには、やや疑問が残ると私は思っています。

学名が日本で使用されるようになるのは、1823年、オランダ商館にドイツ人医師シーボルトが赴任してから後のこととなります。シーボルトが日本に来たころには、日本人の中にオランダ語を解する人も多くなり、長崎の郊外にシーボルトの塾が作られ、診療も行われていました。また、シーボルトは病人の往診や薬草の採集に出島を出ることができるようになりました。

このような状況下、1829年、日本で初めて学名を用いた本が伊藤圭介により著されました。圭介は、シーボルトが日本にもたらしたツェンペリーの『日本植物誌』の学名をアルファベット順に記し、これに和名を付し、『附録』にはリンネの分類体系を『二十四綱解』として紹介しています。圭介はシーボルトの教えを長崎で半年間受け、出身地の名古屋に戻るときに、ツェンペリーの著書を贈られました。そして『泰西本草名疏』の草稿を長崎に送り、シーボルトの校閲を受けています。

米艦隊の来航により、200年以上続いた鎖国政策に終止符が打たれ、1854年日米和親条約が結ばれました。引き続いて、日本は各国と国交を開くようになりました。1867年、徳川慶喜が将軍職を辞し、明治天皇の下に新しい政府が作られると、政府は留学生を外国に送り、外国人教師を招聘し、人々は欧米の学問を懸命に学びました。このとき、日本に招聘された外国人教師の貢献は誠に大きく、また、留学生もその後の日本の発展にさまざまに寄与しました。

19世紀における日本人の学問上の業績として挙げられるのは、1896年の平瀬作五郎によるイチョウの精子の発見であります。平瀬作五郎は東京大学植物学教室に画工として勤め、後に助手となった人ですが、イチョウの精子が泳ぎ出すことを観察し、論文にして植物学雑誌に発表しました。この1か月後、平瀬作五郎の研究に協力した東京大学農科大学助教授池野成一郎が、ソテツの精子発見を同じく植物学雑誌に報じています。シダ植物に精子があることは知られていましたが、裸子植物に精子があることが見いだされたのは世界で初めてのことです。この発見は当初は信じられず、翌年の1897年アメリカで同じソテツ科のザミアで精子が見いだされてからこの事実が信じられるようになりました。この業績により、2人は1912年、学士院恩賜賞を受けました。イチョウは中生代ジュラ紀に最も栄えましたが、その後中国だけに残った一目一科一属一種の、系統上独特の裸子植物です。古く中国から日本に移され、リンネによってケンペルの図を元に学名がつけられました。平瀬作五郎の研究したイチョウは今も東京大学の小石川植物園にあり、昨年小石川植物園を皇后と訪れ、当時の研究に思いをいたし、そのイチョウを見てきました。

20世紀になると日本の分類学も進み、新種の発表もだんだん行われるようになりました。しかし、それ以前には、日本の動植物は欧州の研究者によって学名を付され、当然のこととしてそれらの命名の際使われた基準標本は欧州の博物館に保管されました。このため、日本の研究者が日本の動植物を新種として記載するにあたり、それら外国に所在する基準標本をひとつひとつ調べねばならず、その苦労はけっして小さいものではありませんでした。多くの人々の努力により、今日、日本産の種子植物、シダ植物、魚類を除く脊椎動物には皆学名がつけられています。しかし、魚類については学名のついていないものがまだまだあります。特にハゼ亜目魚類には、これから学名をつけていかなければならないものが多くあります。私が研究を始めたころ、日本産の魚類を調べるのに常に用いていたのが1955年に出版された松原喜代松博士の『魚類の形態と検索』でありました。日本産の魚類を網羅したもので、検索で調べられるようになっていました。その中には亜種を含め、ハゼ亜目魚類134種類が載せられていました。



リンネの弟子、ツェンペリー。

著作権等の理由により画像を掲載することができません。

リンネはケンペルの写真図(ヤブツバキ)を参照した。

最近 2002 年に出版された『日本産魚類検索』では、亜種を含めハゼ亜目魚類は 412 種類に増加しており、この中、45 種には和名がつけられてはいますが、まだ学名はつけられていません。

私がハゼ亜目魚類を研究しようとしたとき、私に関心を持った 2 つの文献があります。1 つはゴスライン博士の 1955 年に発表された「The osteology and relationships of certain gobioid fishes, with particular reference to the genera *Kraemeria* and *Microdesmus*」であり、もう 1 つは未公開の高木和徳博士の学位論文である「日本水域におけるハゼ亜目魚類の比較形態、系統、分類、分布および生態に関する研究」です。私はこれらの論文を参考にしつつ、一方で多数のハゼ亜目魚類の種類の骨をアリザリン・レッドで染色して類縁関係を調べ、また他方で頭部感覚管と孔器列の配列によって、種の違いを調べて、分類学的研究を進めました。

振り返ってみますと、1960 年代は日本ではまだ頭部孔器の配列によってハゼ亜目魚類を分類するということは行われていませんでした。したがって、私が 1967 年孔器の配列によって日本産のカワアナゴ属四種の分類を日本魚類学雑誌に発表したときには、その分類にかなり疑問を持った人もいたようです。しかし現在、孔器の配列はハゼ亜目魚類の分類の重要な要素になっており、この分野で何がしかの貢献ができたことをうれしく思います。

リンネが創始した二名法は世界の分類学に普遍的な基準を与え、世界の分類学者が共通の言葉をもって自然界に存在するものを語り合うことができるという、計りしれない恩恵をもたらし、その後の分類学は、この二名法を基盤として今日までその発展を続けてきました。はじめにも述べましたように、その後の分類学の発展の中で、雄しべの数により綱を分けていくという彼の分類法は、雄しべのみでなく、もっと総合的特徴により、これを判断するという説

に取って代わられました。この時代、まだ系統を分類の基盤に置くという発想がなかったことは当然のことで、ここリンネ協会においてダーウィン、ウォーレスの進化論が初めて世に問われ、系統という観念が、新たに学問の世界に取り入れられるようになったのは、リンネから約 100 年の後のことになります。

今日、学問の世界では、進化を基盤とする分子生物学というさらに新しい分野がめざましい発展をみせ、これにより系統を重視し、分類学においてもこれを反映させていく分類学が、より確実なものとして主流を占めてきています。

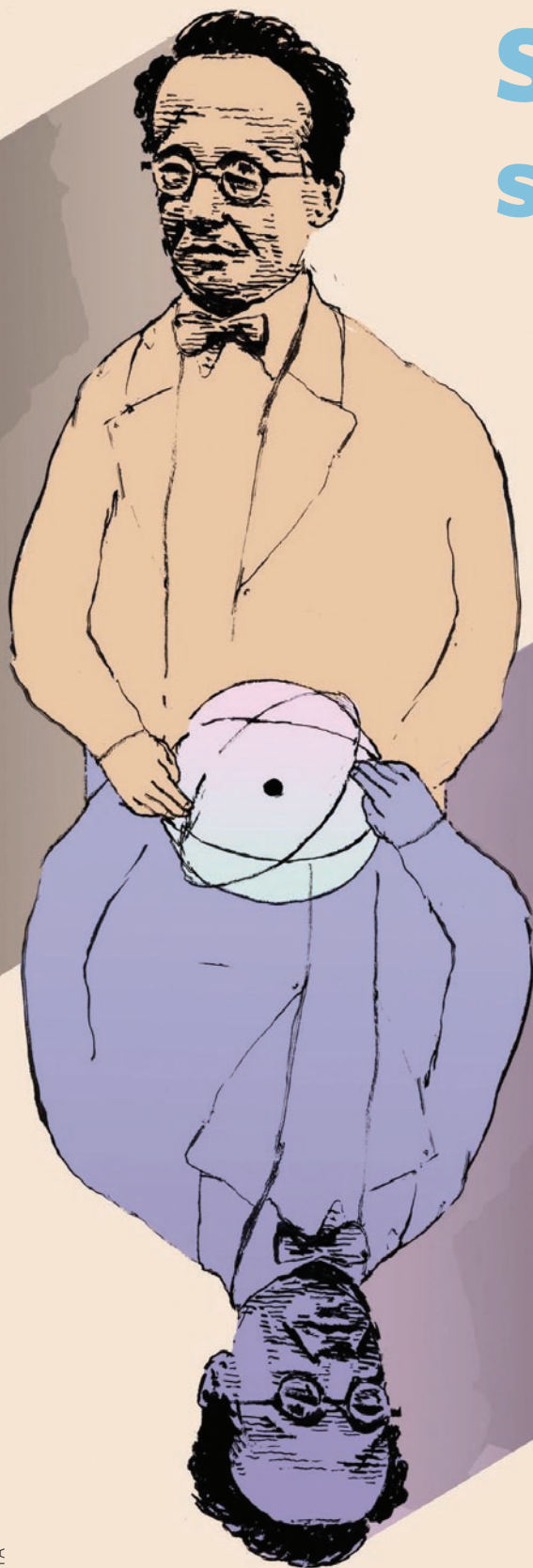
若い日から形態による分類になじみ、小さな形態的特徴にも気づかせてくれる電子顕微鏡の出現を経て、さらなる微小の世界、すなわち DNA 分析による分子レベルで分類を決めていく世界との遭遇は、研究生活のうえでも実に大きな経験でありました。今後ミトコンドリア DNA の分析により、形態的には区別されないが、分子生物学的には的確に区別されうる種類が見いだされる可能性は、非常に大きくなるのではないかと思います。私自身としては、この新しく開かれた分野の理解に努め、これを十分に視野に入れるとともに、リンネの時代から引き継いできた形態への注目と関心からも離れることなく、分類学の分野で形態のもつ重要性は今後どのように位置づけられていくかを考えつつ、研究を続けていきたいと考えています。

リンネ生誕 300 年を迎え、形態上の相違によって分類されてきた分類学は、新たな時期を迎えたことを感じています。

終わりにあたり、リンネ協会のこのたびのご招待に対して改めて感謝の意を表し、リンネ協会の一層の発展をお祈りします。 ■

ご講演全文(仮訳)は、下記の宮内庁ホームページにも掲載されています。
<http://www.kunaicho.go.jp/gaikoku/300linneaus%20.html>
 ご講演の原文はリンネ協会によって、年内に刊行される予定です。

See me here, see me there



J. KAPUSTA

KAPUSTA

50歳を迎えた 多世界解釈

Nature Vol.448 (15-17) / 5 July 2007

50年前、量子力学の標準的な解釈に不満を抱いた1人の物理学専攻の大学院生が、まったく新しい解釈を考え出した。彼の解釈をめぐる起きたその後の論争を Mark Buchanan が報告する。

1957年、プリンストン大学の1人の若き物理学者が自身の最初の論文を発表した。その論文はほとんど注目されず、彼は学界から消えていった。その後、軍需産業界でエンジニアやアナリストとして働いた彼は、1982年に51歳で死去した。彼の名はヒュー・エヴェレット。一部の物理学者たちは、エヴェレットが科学になした不滅の貢献は、その少ない論文数からは考えられないほど大きいと主張する。彼の最初の論文は、量子物理学の難問の1つに新しい理解をもたらしたといわれている。

量子論は多くのめざましい成功を収めてきたが、その論理の一貫性に関しては、物理学者たちは常に落ち着かない気持ちでいた。シュレーディンガーの波動方程式などの形で表される量子論によれば、電子などの量子論的粒子は「重ね合わせ」という奇妙な状態になり、さまざまなあり方（例えば2つの場所に同時にあるなど）をする可能性がある。原子のふるまいはこの方程式で説明することができるが、椅子などの通常の物体も量子論的粒子からできている。それならなぜ、私たちは同時に2つの場所にある椅子を見ることがないのだろうか？

この難問への1つの答えは、ニールス・ボーアとヴェルナー・ハイゼンベルクが1920年代後半に示した有名なコペンハーゲン解釈だ。コペンハーゲン解釈によると、私たちがこうした奇妙な状態を見ることがないのは、重ね合わせの状態を観測しようとした途端にこの状態が収縮してしまう（重ね合わせのない特定の状態へとつぶれてしまう）からであるという。エヴェレットは、これとは大きく異なる大胆な答えを提案した。重ね合わせは私たちの世界に実際に影響を及ぼしているが、私たちはそれに気づかないというのである。彼によると、量子論の数学的表現は、物体がここにある状態とあそこにある状態の重ね合わせに遭遇した私たち自身もその重ね合わせに引き込まれて、物体をここに見る私たちと、あそ

こに見る私たちに分裂することを示唆しているという。後にある物理学者がまとめたように、エヴェレットは、量子物理学は並行して共存する「多数の世界」へと絶え間なく分裂する宇宙を示していると説明したのである。

この考えはあまりに突飛であるとして退けられ、それ以来、多くの代案が提案されてきた。実験で検証することは期待できない。批判的な人々は、実験だけでは多世界解釈と一部の代案を区別することができないという。コロンビア大学（ニューヨーク市）の物理学者で哲学者のDavid Albertは、「量子論の正しさが実験によって証明され続けることになれば、私たちはとてもむずかしい立場に追い込まれるだろう。どの理論を採用するかを、証拠以外のものによって決めなければならなくなるからだ」と話す。しかし、多世界解釈の支持者たちは、実際には実験は多世界解釈を支持しているのだと主張する。コペンハーゲン解釈が必要とする不可解な「収縮」の証拠を、いつまでも見つけられないままなのだから。

今年、カナダと英国で2つの会議が開催されて、数十人の選り抜きの物理学者、哲学者、数学者が、発表から50年を迎えたエヴェレットの解釈の現状を検討することになっている。英国の会議の共同開催者であるオックスフォード大学の科学哲学者Simon Saundersは、「この解釈に対する主要な賛成意見と反対意見を集め、裁定を下すことが会議の目的だ。解釈そのものの是非を判断することができなかったとしても、どのような長所と短所があるのかを詳細に判断することならできるはずだ」と話す。

手に負えないもの

20世紀の初めに量子論が原子物理学や核物理学の説明に不可欠なものになって以来、量子論の解釈（および、私たちはなぜ重ね合わせを経験しないのかという謎）は物理学者たちを悩ませ続けてきた。ボーアや量子論の初期にその解釈を試み

た物理学者たちは、世界を古典的な部分と量子論的な部分に分け、量子論は後者のみに適用されると考えることで、単純にこの難問を回避していた。彼らの考えによると、電子などの量子論的粒子は波動力学に従うが、観測装置などの古典的な物体と相互作用した途端、すべての重ね合わせ状態が収縮し、1つの結果のみが残ることになる。ボーアは、量子論的な相互作用は本質的に制御不可能なものであり、実際の測定結果が予測できないのはそのためであると指摘した。

ハンガリー生まれの数学者ジョン・フォン・ノイマンは1930年代に、こうした考えを「収縮公理」として定式化した。これは後に量子力学の標準的規則の1つになった。この公理を使うと、「測定」が行われたときにさまざまな結果が得られる確率を信じられないほど正確に計算することができる。けれども量子論は、収縮がいつ、なぜ起こるのかをまだ詳細に説明していない。量子論は大きな成功を収めているにもかかわらず、不完全であるように見えた。ロスアラモス国立研究所（米国ニューメキシコ州）の物理学者Wojciech Zurekは、「教科書を見ればわかるように、量子論の公理には一貫性がない」と話す。

分裂した世界に橋をかける

アルバート・アインシュタインら多くの物理学者にとって、古典的世界と量子論的世界を分けるというボーアのやり方は、物理学の世界観に恣意的な分割を導入することにほかならず、とうてい受け入れられるものではなかった。古典的な測定装置も量子論的粒子からできているのだから、量子論は測定装置にも適用できるはずだ。以来、こうした全体性を回復することが量子論の理論研究者の目標となっている。

理論研究者たちは1950年代から首尾一貫した量子論を作ろうと試みてきた。その1人である米国の物理学者ディビッド・ボームは、いわゆる「隠れた変数」

解釈を提案した。この理論では、量子論的粒子は常に固有の位置と速度をもつとされ、収縮を必要としない。しかし、その数学的構造は独特であり、隠れた変数を実験的に測定することも明らかに不可能であるため、これに魅力を感じる物理学者は少なかった。

一方で、この20年間にさまざまな研究者が、事実上ボーアの解釈を支持しつつ、それを特殊にした解釈を提案してきた。こうした理論家たちは、シュレーディンガー方程式を修正して重ね合わせの状態が自然に収縮するようにし、(ここが重要な点なのだが)古典的な物体ではこの収縮が非常に速く起こるようにすることで、古典的な物体の重ね合わせの状態を見ることがない理由をより正確に説明できると主張する。彼らは、数学的に一貫した方法で収縮に対応するものをシュレーディンガー方程式にもち込むことで、収縮公理を不要にする。

エヴェレットの解釈は、これとも違っている。彼は単純に、収縮などというものはなく、宇宙のすべては常にシュレーディンガー方程式の波動力学に従っていると主張した。私たちは収縮のような現象を目にするように思われるかもしれないが、それは私たちも量子世界の一部であって、枝分かれしていく重ね合わせに引き込まれるからにすぎないという。量

子論をあるがままに受け止めよ、そうすれば独自の実在の解釈が与えられる、とエヴェレットは主張した。それが、宇宙が多数の並行世界に分かれていくという彼の解釈なのである。

オックスフォード大学の理論研究者David Deutschは、「この解釈では、私たちの宇宙はより大きな多元的宇宙のちっぽけな一面にすぎないことになる。多元的宇宙自体は高度な構造をもっていて、多数の宇宙を含んでいる。私たちの宇宙に存在するすべてのもの、あなたや私、あらゆる原子、あらゆる銀河に相当するものが、こうしたほかの宇宙にも存在しているのだ」と説明する。

この3つの解釈はそれぞれ支持者をもっているが、エヴェレットの解釈を支持する物理学者が増えているようである。特に、量子情報と宇宙論を専門とする物理学者に支持者が多い。「こうした研究分野では、量子論を論理的限界まで適用していくことは理にかなっているという考え方が支配的だ。そうしてもよいということを教えてくれたのがエヴェレットなのだ」とZurekは話す。

神出鬼没の粒子

エヴェレットの解釈は人気を獲得しつつある。これには、量子論の理論研究者たちが初期の問題（これらはつい最近まで

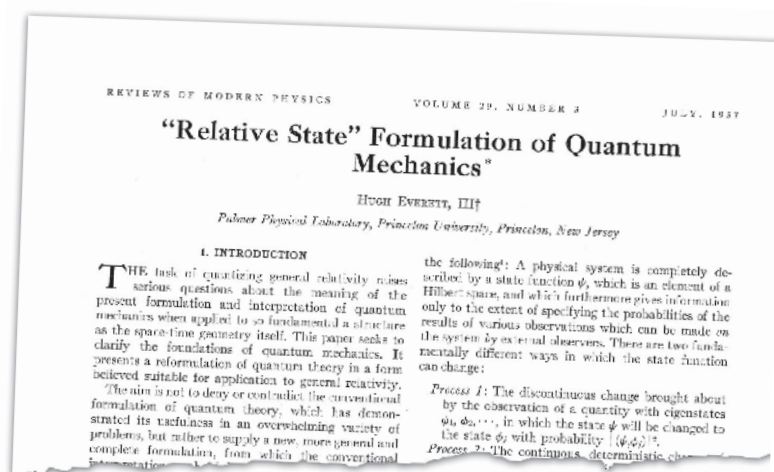
致命的な問題と考えられていた）をいくらか解決できたことも関係しているはずである。1つの問題は、エヴェレットの解釈では世界が多数の枝に分かれるとされているが、理論からは、この分岐の仕方が明確には与えられないことである。例えば、標準的な量子論では、曖昧な状態にある電子は、明確な位置をもつ多数の状態の重ね合わせと見ることもできるし、位置はいまいだが明確な速度を持つ状態の重ね合わせと見ることもできる。どちらの描像がより正確ということはない。同様に、エヴェレットの理論も、共存して重ね合わせを構成している枝を明確に特定する方法を与えるものではないのである。

本当は何が起きているのか？

デコヒーレンス理論という考え方は、1970年代にドイツのハイデルベルク大学の物理学者Dieter Zehによって提唱され、その後、Zurekによって発展させられたものである。この理論によると、量子系は環境と相互作用するため、長時間にわたり重ね合わせの状態にとどまることはなく、「干渉性を消失」(デコヒーレンス)する傾向にあるという。つまり、量子系は環境との相互作用により重ね合わせの状態が収縮するように見えるが、これは、量子系が周囲の環境と「もつれ



ヒュー・エヴェレット (右) は1957年の論文でニールス・ボーア (左) の量子物理学の解釈に異を唱えた。



て」しまって、実験で重ね合わせの状態を検出することが事実上不可能になっているにすぎないというのである。これは特に多数の粒子を含む系で顕著である。

多くの物理学者たちが、多世界解釈とデコヒーレンスを組み合わせると魅力的な理論になると提案している。これは、デコヒーレンスが古典的物体のごく普通の状態を、より強固な（したがって、観測可能な）ものとして選び出すからである。この考え方を支持する実験結果も得られており、多世界解釈の曖昧さを大幅に取り除くように見える。

エヴェレットの解釈は、量子物理学の基盤の1つである確率をめぐる問題も抱えている。収縮公理を使えば、波動関数の絶対値から電子の位置や速度の確率を計算することができる。しかし、量子系は収縮することなく発展すると主張する多世界解釈は、確率については何もいわない。カナダのウェスタンオンタリオ大学の物理哲学者Wayne Myrvoldは、「エヴェレットの解釈では、確率をもち込む余地がないように見える」という。

しかし、Deutschとオックスフォード大学の物理哲学者David Wallaceによる最近の研究は、ヒトやその他の生物の脳が環境の変化を記録する仕組みを考慮することで、多世界解釈に確率をもち込むことができるとしている。

DeutschとWallaceは、枝分かれする多世界宇宙に住む人が現実世界で起こることをできるだけ正確に予測しようとしたらどのようにふるまうかを、意思決定理論（最適な意思決定に関する科学）を使って調べた。その結果、彼らが新しい枝に入って新しい出来事に直面したときには、その枝に確率を割り当てざるを得なくなり、その確率は収縮公理で用いられるのとまったく同じものになるだろうという結論に達した。

この結論にだれもが納得しているわけではないが、DeutschとWallaceはエヴェレットの理論から自然に量子論の確率が現れてくることを示してみせた、と評価

する物理学者もいる。Myrvoldも、「私はそれが理にかなっていると確信しているわけではないが、大きな進歩があったと思う。この理論は、私が以前思っていたほど怪しいものではない」と話す。

実験によりわかること

エヴェレットの支持者たちは、ますます高度になっている現代の実験が、例外なく量子論の予言の正しさを証明し続けていることも引き合いに出す。たしかに、原子トラッピングや量子光学の技術を使うことで、より多くの粒子を含む系での量子的な重ね合わせが観測できるようになっており、これはエヴェレットの理論が予測しているとおりである。英国のヨーク大学の数学者Tony Sudberyは、「多世界解釈は徐々に、物理学者の多数が好む解釈になろうとしている。ますます大きな系につき、収縮のきざしなしに量子論がうまくいっていることが確認されていることも、その一因になっている」と話す。

けれどもAlbertは、こうした実験結果が多世界解釈を裏づけていると考えるのは、願望に目がくらんでいと指摘する。なぜなら、量子力学の正しさを証明するすべての実験は、多世界解釈だけでなく、ボームの隠れた変数の理論などとも矛盾しないからである。実験で波動関数の収縮が観測されればエヴェレットの解釈を否定することになるだろうが、収縮を観測できなかった場合は、重ね合わせを制御して実験を行うことのむずかしさを反映しているだけの可能性がある。

物理学者たちは、将来はシュレーディンガー方程式を修正した理論の一部を実験的に検証できるようになり、波動関数の収縮という概念の是非をより直接的に確認できるようになるだろうと考えている。「残念ながら、現時点の実験は、これにはほど遠いレベルにあります」とAlbertはいう。現時点で重ね合わせ実験に成功している系は、約1000個の粒子を含むものが最大である。けれども一部の研究者は、巨視的な系（ 10^6 個の粒子

を含むウイルスなど）で重ね合わせの収縮を確認する大胆な実験を計画している。

量子論と向かい合うために

今年の2つの会議ではこうした状況をふまえて、「多世界解釈を証明するにはどのような実験を行えばよいか?」、「理論家は、ほんとうに多世界解釈のすべての穴を埋められたのか?」などの議論が行われることになる。いずれの会議もエヴェレットの支持者たちが計画したもののだが、多くの研究者はまだその概念に大きな疑問を持っているので、一方的な会議にはならないだろう。オックスフォード大学の物理学者Roger Penroseは、「多世界解釈を受け入れるにしても、私たちがこの世界で起きていると知覚する物理過程について説明するためには、意識の理論が必要だ」と主張する。それがない多世界解釈は本末転倒であると彼はいう。

多世界解釈についてはあまり乗り気でないものの、最近の理論研究の進展を評価しているAlbertも、「私自身は、最終的には多世界解釈はうまくいかないだろうとみている。しかし、理論のどこが引っかかり、どこが問題なのかがはっきりと理解されるようにはなっている」という。

エヴェレットを支持するSaundersらは、多世界解釈への反対は、口に出さず出さないかはさておき、その直観に反する結果への本能的な嫌悪に根ざしていることが多いという。「エヴェレットの解釈に基づく量子論は奇想天外すぎて、大多数の物理学者は真剣に受け止めることができないのだ」とSaundersは話す。しかし、多世界解釈に取り組むにしても、ほかの解釈に取り組むにしても、彼らがエヴェレットの学位論文の「量子論をあるがままに真剣に受け止めよ」という核心部分に敬意を払っていることはたしかである。

Mark Buchanan はヨーロッパのサイエンスライター。彼の最新の著書は『ザ・ソーシャル・アトム（社会の原子）』。



The biologists strike back

生物系SF作家の逆襲

Nature Vol.448(18-21)/5 July 2007

サイエンスフィクション (SF) でおなじみのタイムマシン、宇宙船、アトミックプラスターといった装置の数々は、物理系の題材である。けれどもSFには生物系の題材もあり、エイリアンの進化から意識のパラドックスに至るあらゆる話題にドラマとペーソスを見いだせる。生物学に造詣の深い4人のSF作家に、生物系SFについて語り合ってもらった。

Q: 自然界には生物学者にとって数多くの風変わりな研究対象が存在していますが、それをしのぐほど異様なエイリアンを生み出すことはたやすいものなのでしょうか？

Peter Watts: それをときどきやってみようとはしているけれど、うまくいった試しはないですね。最近私が上梓した『Blindsight (盲視、2006年刊)』では、ついに究極のエイリアンを考えついたと思いました。遺伝子をもたず、代謝過程の大半に体外の磁場が影響するようなエイリアンです。このとき、自分はまさに未踏の地に足を踏み入れたと思いました。けれども結局のところ自分が描き出したのは、少なくとも形態全般についていえばクモヒトデでした。体の表面全体に、あたかも大型の望遠鏡がいくつも並ぶようにピンホールカメラが並んでいる生き物です。

Joan Slonczewski: 私が微生物学の道に進もうと思った理由は、微生物が最高に奇想天外で面白い生き物であり、地球上に生息するほかのどの生物よりも多様性に満ちているからです。実際のところ、自分の仕事を思い返してみると、研究対象にしている生物と、SF小説で書こうとしている生物のどちらが奇抜で異様かなんてとてもいい切れません。現在執筆中の教科書では、地下2キロメートルの金鉱内に生息し、ウラン崩壊で生成する水素原子を「食べて」生きる生物について書いています。SFに登場するような、原子力をエネルギー源とする生物には、さすがにまだ遭遇したことはないですけど。

Q: SFは、科学の重要な概念を伝える媒体となりうるのでしょうか？

Joan: なると思います。私は、科学を苦手とする学生を対象に、生物学とSFに関する講義を受けもっています。SF作品の中には、科学を教えるうえで格好の

教材になるものはいくつかあり、カート・ヴォネガットの『ガラパゴスの箱舟 (1988年刊)』はその好例ですね。

Peter: まったく同感です。『ガラパゴスの箱舟』はヴォネガットの傑作ですね。進化という概念の核心についています。100万年後にアザラシのような身体に進化した人類の子孫たちが我々から受け継いだ文明は、砂浜に寝そべっているときに誰かがおならをすると、ほかのみんなが笑いに笑うということだけだったとするくだりは、人類の行く末を皮肉たっぷりに描き出しています。

Paul McAuley: 進化は、H・G・ウェルズのSF作品の多くで貫かれている基本テーマでもあります。人類は、『タイムマシン (1896年刊)』に描かれたような知能の衰えた新人類であるモーロックやエロイへと転落しつつあるか、それとも繁栄を続け、SFで紋切り型に描かれる未来人のように頭が大きく手足の短い生き物に進化する可能性があるというものです。ウェルズはハクスリーの教えを受けており、動物学の学位をもっていたので学問の基礎がしっかりしていました。しかしウェルズの時代 (19世紀末～20世紀前半) には、進化は人知の及ばぬ力であると考えられていました。今日では、人類は自らの手で進化の方向を変えることができるのです。

Joan: 我々は、文化的な見地から、自らの遺伝子を自分たちの考える「優良」遺伝子に改変することができます。これはまさに、オクタビア・バトラーの小説に登場するエイリアンが人類と交雑して行おうとしていることです。けれども、環境が変わって改変遺伝子が最良の遺伝子でなくなった場合や、判断が誤っていた場合には、何が起るのでしょうか。外部環境の中で生きていくのに必要とされる多様性が失われてしまったら、どうなってしまうでしょう。

Q: それらは大きな問題ですが、その解答を得るのにSFは役立つのでしょうか？例えばクローン技術の場合、これを取り上げた過去の数多くのSFは、クローンヒツジ・ドリーの誕生をめぐる議論に何か役立ったのでしょうか？

Joan: 個人的な印象では、学生たちにとっては何もないよりはましであるといえます。ドリーの誕生時に予備知識がまったくなかったとすれば、現実起こったことに対する議論をどこから始めればよいでしょうか。また、SFの世界には、クローン技術の倫理的問題や、人体のスペア部品調達用にクローン人間を作製することの倫理的問題を投げかける伝統的な流れがあるので、少なくとも議論の出発点にはなりますね。

Ken Macleod: 私は、過去のSF作品は、ドリーやクローン技術を考えるうえではまったく役に立たなかったと思います。魂のないロボットからなるクローン軍や、『ブラジルから来た少年 (1976年刊)』に登場するヒトラーのクローン作製、フランケンシュタインをめぐる話などは馬鹿げています。そして、クローン作製で生じる現実の倫理的問題は、上記のどの例にもあてはまりません。

Joan: 質の低いSFが科学の正しい知識を得る際の妨げになるというご指摘の点については、以前は私も同じ意見でした。けれども生物学の教授になって、「悪い」SFでも場合によってはまったく何もないよりはましだと思うようになりましたね。例えば、マイケル・クライトンの恐竜クローン作製法の描き方は、穴だらけだと突っ込むこともできるけれど、彼の一連の小説は、ある年代層の分子生物学専攻の学生たちを刺激したことも事実です。そのおかげで、私の勤めるケンヨン・カレッジ (オハイオ州) に分子生物学のプログラムが設けられたほどです。

Q: それは『ジュラシック・パーク (1990 年刊)』の影響ですね？

Joan: そうです。いわゆるジュラシック・パーク世代です。

Paul: マイケル・クライトンについて私が由々しき問題と考えるのは、氏が基本的に反科学の立場を取っていることです。クライトンの著作の多くには、「人が本来知る運命になかったもの」という使い古されたテーマが流れています。科学とは常に人の制御を外れて暴走するものであり、その後始末に人々が奔走するわけです。Joan のいう学生たちへの影響は、小説よりも、スクリーンに恐竜の姿が見事に映し出された映画のせいだろうと思いますね。小説の中でヒーローとして描かれていたのが弁護士であったことから、科学にどれほど批判的な小説かがわかんと思います。

私の小説はたまにクライトンの小説と比較されますが、私自身の口ではっきり「違う」とっておきます。私は科学が好きですし、そのため科学者にも好意をもっています。科学が行っていることも好きですし、それが全体としてよいことだと思っています。私が思うに、クライトンはこれとほとんど反対の考えをもっ

ているようです。ただしクライトンの作品のよいところは、科学が倫理的に無価値ではないことを示している点で、そこは有用だと思います。研究者の中には、知識とはそれを得ること自体が目的なのであり、人は自らが何をできるかを見いだせばよいのであって、その結果を気にすることはないと考える人たちもいます。クライトンは、科学が見いだしたものを現実の社会に置いて、その論理をとことんまで推し進めていった場合に、どのような事態を招くかを描き出しています。

Peter: 私は小説を書き始めるとき、一種の思考実験のつもりで取り組むのが好きです。あくまでデータに従って話を進めるのであって、この世界が最悪の状態になりつつあるという教訓めいた物語をめざして書き始めるわけではありません。私の書いた話が最終的にはそういう結末に至ったようにみえることが実際あっても、それは、あくまで私がデータに従って書いているからであり、また、大きなシステムに向かう何らかの慣性というものも存在するからです。そして、20 年前に問題の解決に真剣に取り組んでいたならともかく、そうでないかぎり、物ごとが 2050 年までに好転するという状況を具体的に想像することはできないからです。

Ken: SF とテクノスリラー（科学技術を題材にしたミステリーやサスペンス）には明確な違いがあると思います。クライトンが書く作品は Paul McAuley が書くものとは違います。たとえば McAuley が書く話がテクノスリラーのようにみえても、それはそう見せかけているのであって、実際には SF を書いているのです。私もときどき、それと同じことを試みています。SF とテクノスリラーの差がどこにあるかといえば、テクノスリラーでは最後に実験施設が焼け落ち、魔物は元の瓶の中に戻され、邪悪な科学者は倒されます。このような展開は SF の精神とまったく相いれないものです。

Paul: Ken の話は、まさにその通りです。SF では、変化はよいことであり、なおかつ必然的に起こるものだと仮定しており、変化がどの方向に転がるかを必

ずしも述べることはありません。SF の偉大さは、第一に、作中の世界に変化を起こせる点にあり、第二に、現実の世界で騒動を起さずにすむ点にあります。我々は、だれにも警戒されることなく荒唐無稽なアイデアをもてあそび、人間の本性を操り、それについて思いをめぐらせることができるのです。

Peter: ではここで、あえて異を唱えてみますね。もしそれで騒ぎを起こさずにすむなら、SF 作家はたいして仕事をしていないことになる、という意見に皆さんはどう答えますか。本当に行動を引き出そうとしたとき、皆さんのしていることに誰も腹を立てないのであれば、それは敗北を認めることにほかなりませんよね。

Ken: SF 作家が変化の仲介者であるとは思いません。我々は変化を引き起こす存在ではなく、むしろ、変化を詳しく調べ、想像する存在だと思います。結果として何が生じるかは、書き手ではなく読み手に委ねられているのです。

Joan: 変化を想い描くことを最も優先すべきだと思います。それをしないなら SF 作家とはいえません。ただし、スキャンダラスであることをねらう SF 作家も一部にはいると思います。ロバート・ハインラインの『異星の客 (1961 年刊)』は、出版時に非常にスキャンダラスな小説だと受け止められたと思います。この作品中には、カニバリズムが重要な意味をもつ宗教が登場しますが、これはキリスト教の正餐を模倣しようとしたもので、当時スキャンダラスだと考えられていたすべてのものが盛り込まれていました。

Ken: 確かにそうですが、『異星の客』を読んで心から憤慨した人に実際に会ったことはあるでしょうか。というのは、最初に読んだとき、私はキリスト教原理主義者のはしくれであったのですが、憤慨した覚えはないのです。どちらかといえば、そそられたというか…。

Joan: 私が住んでいるオハイオ州では、スキャンダルになるかもしれませんよ。

訳注：オハイオ州はキリスト教をかたく信じている人が多く、保守的な考え方で有名な州である。例えば、インテリジェント・デザイン（人類は何らかの知的存在によって創造されたとする説）をめぐる論争が活発な地域の 1 つである。



Joan Slonczewski

ジョーン・スロンチェフスキは微生物学者であり、ケンヨン・カレッジ（オハイオ州ガンビア）の教授。彼女はこれまでに 6 作品の SF 小説を発表しており、最新作は『Brain Plague (2001 年刊)』。

Q: SFは常に、「他者」に関心を寄せてきました。最近の「他者」は8本脚のエイリアンばかりでなくコンピュータプログラムという姿でも登場します。生物学と技術と人工知能の相互関係は、皆さんの作品の中でどのように扱われていますか？

Joan: 私が今興味をかき立てられていることの1つは、読者がエイリアンや人工知能という着想にどのように反応するかという点です。SF作家による人工知能の扱いは、移民労働者や下層階級の人々や奴隷を見る視線と共通するところが多くあるように思われます。我々は人工知能を、自分たちの労働を肩代わりしてくれる奴隷のように考えますが、人間に似てくれば似てくるほど人工知能装置は有能な召使いになります。これは、我々があまり考えたくない類いの「力学」ですが、それは移民労働や奴隷の扱い方として歴史的に続いてきたものです。コンピューターに詳しい人々でも、自分のパソコンをあたかももう1人の人間であるかのように扱う傾向がある、という研究報告もあります。仮にコンピューターが、実際に意志をもって人権を要求するほど高性能になったらどうなるのでしょうか。

私の近著の『Brain Plague (脳の疫病、2001年刊)』では、複数個体のロボットか、あるいは1つのまとまった輸送システムになるような、知覚能をもつ存在を登場させました。これらは、ロボットであるけれども、同時に別の民族集団でもあるといえます。分子生物学者としての私の観点からすれば、人間の体は分子で構成された機械であり、デスク上のパソコンも分子からなる機械であって、唯一の違いは人間に意識があるということです。

Ken: 私が最初の小説『Star Fraction (星のかけら、1995年刊)』を書いたとき、リチャード・ドーキンスや彼の打ちだした利己的遺伝子やミームの伝播がまだ十分知られていないという思いも動機の一部としてありました。こうした新しくて刺激的な概念を世の中に広めねばと思ったのです。また、電子装置の中で進むダーウィン進化のあらゆる出来事は、非常に刺激的で実りある作品につながりそうに

思えました。今ではトーク番組でも広く取り上げられていますね。今思うと、この作品を執筆していたときの自分は時代の流れからかなり遅れていたのですが、当時はそういうふうには思っていなかったのです。

Peter: 私は『Rifters』三部作で「Maelstrom (2001年刊)」というものを描きました。これは、遠い未来にものすごい進化をとげたインターネットの子孫です。私はダーウィン進化の原理を応用しただけで、話としては、コンピューターウイルスが野放しにされて自然界(インターネット)で増殖してしまい、その結果生まれた電子的な生態系は1秒間に200倍という増殖速度で膨れ上がるという設定です。特に革新的な発想ではないと思いましたが、これを革新的だと思ふ生物学者もいないと思います。

でも人工知能にかかわっていた人たちは、これを極めて革新的な発想であると捉えたようです。ローレンスリバモア研究所で働く男性から手紙をもらいましたが、私の書いたデジタル生態系から自身の研究に対するインスピレーションを得たということでした。ただし、彼自身の研究内容について詳しく語ることはできないということだったので、少々気味が悪かったですね。

私自身は海洋生物学に関する発想が挫折する一方で、人工知能に関する発想は受け入れられたため、SF作家の想像力というものは自分の専門分野では発揮されないのではないかと考えるようになりました。なぜうまく発揮されないのか、その理由はいくつも考えられます。おそらく我々は、同僚たちに肩越しに覗き込まれて、SF小説を書いているという理由で自分が児童ポルノ製作者より少しましだとランク付けされていることを、ちょっと気にしすぎてしまうのでしょうか。論理性にも作品の及ぼす影響にも十分に配慮しつつ、自分が学位を得る際に頭に染みつけた事実やドグマを捨て去って初めて、革新的なストーリーが浮かぶのではないのでしょうか。

Paul: 私が科学の世界を離れた理由はまさにそれですね。自己検閲的な思考



から離れたかったのです。まあ半分は冗談ですが、あくまで半分です。SFの長所の1つは、科学者として日々の研究で使わねばならない自己チェック回路から抜け出して、想像力を解き放てることです。科学研究をすることは、ぬかるみを苦勞して進むようなものです。SFを書くことは、ぬかるみ用の靴を履いて泥の表面を水平線に向かって踊り、気が触れたように体を動かして、あらゆる種類のばかげたステップを踏むようなものですが、ときには役立つこともあります。

Joan: 私は、科学はSFにインスピレーションを与えてくれると思います。ある大学院生が試験管中に単離した光色素を見せてくれたときのことは忘れられません。彼が試験管に光を当てたところ、紫色だったのが、色が抜けて白くなったのです。この鮮やかな色の変化を見て、こう想像しました。「もし人間が、環境の変化に応じてスイッチを切り替えるような共生細菌を体内に飼っていたらどうだろう」。その後、見たのと同じ色素が、生化学の原理を応用したコンピューターを作製するための分子スイッチ装置に使用されました。ですから、もしSFを書く場合には、科学が創作意欲をかきたててくれると思いますよ。一歩足を踏み出すことに抑制をかけてしまわないよう心がけるべきです。

Ken: 現在書いている小説では、一部の人工知能が自己意識をもつようになる設定にしました。戦闘用ロボットとして、

攻撃対象になる敵兵の思考を先回りして読むために、非常に高度な心の理論を内蔵させる必要があったからです。しかし残りの人工知能は、私の小説によく登場する警察国家の人工知能と同様に、人間に代わって汚れた仕事をするために必ずしも自己認識をもたないという設定にしました。

Peter : 自己認識に関して不気味なところは、「他者」が実際には初めからずっと我々の内部に存在していて、我々を支配しているのかもしれないということです。自分の腕を動かそうという決定が意識の上で生じる0.5秒前には、運動神経が発火を開始しており、意識されたのは事後に受け取った要旨ということになります。どうやら、この自己認識という脳内のホムンクルス（小人）は、それ自身のなせる業だといわれている多くの活動には関与していないようです。腕を動かすという力仕事は、奥深いところにある、我々が意識上で知ることのできない何かによって行われているとみられます。私はこうしたアイデアを『Blindsight』に盛り込みました。作中にエイリアンは登場しますが「他者」は登場しません。主人公が対峙するのは、知能は極めて高いものの知覚能力をまったくもたない「もの」です。そしてたぶん、我々の中にあって我々には感じるることのできないものも、現実の判断を下しており、我々はそれに支配されていると

感じさせられています。きっと両者は同じやり方をとっているのでしょう。

Q : では最後に、お気に入りの生物系SFを紹介していただきましょう。

Paul : グレグ・ベアの『ブラッド・ミュージック（1985年刊）』では、主人公が顕微鏡を覗き込むと、細菌があたかも都市のように見える微細な回路を作っているところを発見します。我々は誰もがワクワクとする大きな驚きを欲しがっていますが、そうした「あっ」と驚く瞬間はSFではまれです。この小説では冒頭にその瞬間が訪れ、おまけに、その後さらに奇妙な展開になっていきます。思った通り、楽しく読むことができました。

Peter : 私のお気に入りには、アリス・シェルドン（別名 ジェイムズ・ティプトリー・ジュニア）の『ラセンウジバエ解決法（1977年刊）』です。アイデアは過激で、「女性殺し」が疫病のように広がっていく話です。世間はこれを集団ヒステリー状態として治療しようとするのですが、実際には、放射性装置を使用せずに「不動産」を掃除したいエイリアンがホルモンを使って引き起こした現象です。ですからこれは、生物学を利用した一種の害虫駆除というわけです。

Joan : 私の場合、これだという作品を挙げるとすれば、ヴォネガットの『ガ

ラパゴスの箱舟』でしょうか。この小説の語り手は、次の100万年の進化を眺めるか、それとも天国へ旅立つかを定める機会を得ます。そして彼は、たとえ何が起こり、それがどんなに嫌なことだろうと、次の100万年を見届けようと決心するのです。100万年間の人類の進化を観察することは、彼にとっては天国へ行くよりも魅力的なことなのです。このくだりには感激しました。

Ken : 私のお気に入りの生物系SFは、ジェイムズ・プリッシュの『表面張力（1952年刊）』です。遠い未来のこと、遺伝子操作を受けて原生動物ほどの大きさになった人類が別の惑星で暮らしているという、突拍子もない筋書きです。水たまりに住んでいる彼らは「宇宙船」を建造します。このちっぽけな乗り物は葉や枝などの断片から作られており、ソウリムシを動力源とする車輪がついています。彼らはその「宇宙船」を苦勞して動かし、乾燥した土地を越えて別の水たまりをめざします。その旅の果てに彼らは、自分たちは本当に祖先と同じような宇宙船を建造して宇宙空間を旅することができたのだろうか疑問に思うのです。我々がどこにいて何ができるかを描き出した作品として、とても気に入っています。 ■

この対談の拡大版は <http://tinyurl.com/224s24> で読むことができます。



Ken Macleod
ケン・マクロードは生体力学の修士号をもち、コンピュータプログラマーを経て、エディンバラに拠点を置く専業作家となる。代表作に、『Engines of Light』シリーズ（2000～2002年刊）、『Fall Revolution』シリーズ（1995～1999年刊）などがある。最新作は『The Execution Channel（2007年刊）』。



Paul McAuley
ポール・マコーレイは、SFを主な分野とする専業作家。セントアンドリュース大学（スコットランド）で植物学を教えたが、1980年代の後半に作家活動に入る。最新作は『Players（2007年刊）』。

Asia-Pacific Networks Promoting Excellence in Research

アジア・パシフィック地域のネットワーク 科学研究の発展に向けて

Philip Campbell *Nature* 編集長
David Cyranoski *Nature* アジア・パシフィック地域特派員

フォーラムでの基調講演のようす。写真左は Philip Campbell *Nature* 編集長

先日、ネイチャー・パブリッシング・グループ（NPG）のアジア・パシフィック部門設立20周年を記念するフォーラムが開催された。フォーラムには今日の科学研究をリードする著名人が参加して、ネットワークの整備によりアジア・パシフィック地域の科学の可能性を押し広げていく方法について話し合った。このような機会はめったにない。

アジア・パシフィック地域の科学者どうしの協力が必要なのはなぜだろう？ 協力は、どのような形で進めるべきなのだろうか？ 2007年6月6日のNPGネイチャー アジア・パシフィック フォーラムの全体会議と基調講演ではこの問題が取り上げられた。講演者たちは2つの点を明確にした。まずは、集団遺伝学やリウマチ学、化学、環境科学などの分野では、すでに肯定的な答えが出ていることである。そして、アジア・パシフィック地域の協力により、これよりはるかに多くの成果が期待できることだ。

ノーベル化学賞受賞者である野依良治は、「アジア人は、3人の役者が必要であることを認識すべきだ。それは、アメリカ、ヨーロッパ、アジアである」と指摘した。彼は、アジア地域に重要な研究者が数人いて、それぞれが孤軍奮闘しているという状況は、アジアのためにならないと考えている。

フォーラムには、アジア・パシフィック地域およびその他の国々からさまざまな分野の科学者が参加して、アジア・パシ

フィック地域の協力を阻んでいる事情について話し合った。

アジアの科学が急速に力をつけてきていることは、データにはっきり表れている。NPGネイチャー アジア・パシフィックの代表取締役社長、CEOであるDavid Swinbanksは、冒頭のあいさつの中で、Institute for Scientific Informationが統計をとっている世界の科学雑誌の全論文に対してアジア・パシフィック地域からの論文が占める割合は1990年には15%にすぎなかったが、中国からの論文が飛躍的に増加したことで、2006年には25%まで増加したと指摘した。物理学の論文数は米国に並び、ヨーロッパにもあと少しというところまで迫っている。化学は先頭に立とうとしているし、ナノテクノロジーではすでに優位に立っている。

これだけの成果を上げるほど研究資金が増え、インフラが整備され、才能ある研究者が育ってきているのに、アジア・パシフィック地域の協力が活発にならないのはなぜなのだろう？

主な理由は、科学者の目が欧米に注がれがちであることだとシンガポールゲノム研究所のEdison Liuは指摘した。彼は、アジア人研究者の多くが学んだ土地への愛着、米国国立衛生研究所、パスツール研究所、ウェルカムトラストなどの組織が誇る資金力とインフラ、欧米の有名な研究所との協力関係を高く評価する内部事情の影響について説明した。「ボストンとの共同研究のほうが、お偉方の目にとまりやすい」とLiuはいう。アジア諸国の間には微妙な政治問題もあり、科学者はそれほど気にしていなくても、政府が協力を躊躇してしまうという事情もある。

それでも良好な協力関係が生まれてきていることは、フォーラムに参加した複数の講演者の話からも明らかだった。汎アジア塩基多型（SNP）イニシアチブの主要メンバーであるLiuは、10か国の協力の下、DNAの微妙な差異からアジアの民族移動の歴史を明らかにしようとしている。野依は、日本最大の研究所である理化学研究所の理事長として、アジアに拠点を置く国際化学誌の立ち上げ

を刺激した経緯について語った。東京大学の総長である小宮山宏が機構長を務めるサステナビリティ学連携研究機構は、日本の10の大学のネットワークとして始まったが、すぐに中国やインドなどのアジア諸国とも連携するようになった。香港大学のリウマチ学の専門家であるChak-Sing Lauは、アジアの研究者がリウマチ疾患全般への関心を共有していたことが1963年のネットワーク作りのきっかけになったと語った。このネットワークはアジア・パシフィック・リウマチ学会議 (APLAR) と名を変えて、アジアで最も歴史ある研究ネットワークの1つとして今日に至っている。

このようなネットワークはおそらく数も重要度も増してくるだろう。米国アルゴンヌ国立研究所の計算研究所の所長であるIan Fosterは、コンピューター・ネットワークに計算能力を分散させる「グリッドコンピューティング」が、いかにしてこうした努力に形を与えていくかを説明した。グリッドコンピューティングは、大規模データベースだけでなく、データの取得、高度な可視化、画像化、計算のためのツールまで共有する「eサイエンス」を可能にする。「科学は変わりつつあります」と彼は語った。「我々は、自分が持っている以上のデータやツールを使う必要があるのです」。Fosterは、「力づくでは

どうにもならなくなったところで」、eサイエンスが役に立つと指摘した。彼は新たに、自然災害の分析、持続可能なエネルギー、疾患、気候変動など、データだけでなく分析様式も共有する必要がある分野でグリッドコンピューティングを利用することを考えている。

Fosterが指摘したように、Pacific Rim Applications and Grid Middleware Assembly (PRAGMA) はグリッド技術に基づくアジアの協力関係の興味深い一例である。2002年に設立されたPRAGMAは、29の研究所からなる草の根ネットワークであり、ローカルな計算および科学のノウハウを集めて国際協力に役立てようとするものである。PRAGMAネットワークはすでに、生物テロに使われる可能性のある鼻疽菌 *Burkholderia mallei* のゲノムを分析している。また、台湾がSARSの蔓延を食い止めるのにも役に立った。

こうしたネットワークの拡張は、リウマチ性関節炎などの疾患の研究と治療に大きな恩恵をもたらすだろう。APLARの理事長であるLauは、自分たちの組織は医学的基盤が不十分な国々に自覚と理解をもたらしていると指摘した。けれども、研究にはもっと多くの可能性がある。「臨床試験だけでなく、病因や疫学の研究にとっても格好の機会になる」と

Lauは話す。全身性エリテマトーデスなどのリウマチ疾患はアジア人に多いことがわかっていたが、研究ネットワークは、こうした疾患の遺伝要因と環境要因を別々に研究する方法に光を当てた。ハワイに住むフィリピン人や中国人での有病率は、祖国に住む人々の3分の1にすぎなかったのである。

汎アジア型塩基多型イニシアチブは遺伝的変異をマッピングしようとする同種の試みの模範となる。Liuは、参加国は科学的基盤においても知識においても大きな差があり、プロジェクトに提供できる資金もさまざまであるという。彼らはまた、「DNAサンプルが悪用されたらどうなるのか？」という多くの国々の不安にも対応しなければならなかった。そこで彼らが見いだしたのが、全ホスト国がゲスト国の研究者を招待するという「ゲストとホスト」の仕組みだった。ゲスト国はそこで実践的な訓練を受け、いつでもサンプルを利用することができる。

最近創刊された *Chemistry: An Asian Journal* 誌は、こうしたネットワークがいかにすみやかに実を結ぶかをよく示していると野依はいう。日本、インド、中国、韓国の化学会が編集会を作ったのは2005年8月のことだったが、同年の12月には原稿の受け付けを始め、2006年7月には創刊号を出版した。同年10月に

NPG Nature Asia-Pacific forum

Asia-Pacific Networks: Promoting excellence in research



は、これらの記事は国際的な文献に引用され、PubMedにも載っていたのである。

大域的なサステナビリティ学は、多様な地理的資源と学際的な知識を必要とするため、ネットワークの力にますます依存するようになるだろう。「20世紀は分析の時代だった。21世紀は統合の時代になるだろう」と小宮山は述べた。彼は、世界のさまざまな分野の研究者に向けて、データや研究手法を持ち寄るようによびかけた。小宮山のリーダーシップの下、東京大学はさまざまな分野で次々と協力関係を結んでいる。「東京大学のグローバル化は、私の最優先課題の1つだ」と彼は語った。

ここで小宮山は、多くのネットワークが期待されるほどには機能していないと釘を刺した。彼は、ネットワークを立ち上げる際の基本的な心得として2つの点を挙げている。1つは、ネットワークの成功のために献身的に活動するコアグループを作ることであり、もう1つは、ネットワークによるアプローチを必要とするような研究計画を立てることである。

理研の野依も協力関係の構築に努力している。彼が特に力を入れているのは、インド、中国、シンガポール、韓国との協力関係である。実際、国際化に向けた日本の試みは、アジアの香りがするものになりそうだ。理研は日本で最も国際化

が進んだ研究所であるが、それでも外国人研究者は10パーセントあまりしかない。その半数がアジアから来ているのだ。

アジア・パシフィック諸国の絆を強化する理由は多く、その機会も多い。野依が指摘したように、アジア・パシフィック諸国は、環境問題やエネルギー問題、自然災害、新興感染症や再興感染症など、多くの問題を共有している。けれどもまた、Edison Liuが強調したように、自国の競争力と生き残りを最優先する政府や資金配分機関には逆らえないという現実もある。アジア大西洋地域の協力を強化することが国益につながることを彼らに認識させて、この問題を乗り越えていかなければならないのだ。



個別セッション

その後のセッションは、幹細胞、分子生物学およびバイオテクノロジー、ナノテクノロジー、ウェブテクノロジー および

ネットワーク基盤の4つに分かれて、並行して進められた。それぞれのセッションでは各分野の専門家がパネリストや代表者として、新旧のネットワーク・イニシアチブがいかんしてアジア・パシフィック地域の研究者のニーズに応えていくべきかを話し合った。

全体会議、基調講演、個別セッションを振り返ったSwinbanksは、「今回のフォーラムにより、アジア・パシフィック地域におけるネットワークづくりの現状を明らかにし、こうした努力を強化し、まとめ上げる道を指し示すことができた」とコメントした。20年にわたりNPGネイチャー アジア・パシフィックを率いてきたSwinbanksは、アジア・パシフィック地域の科学者がNatureに論文を発表し、地域内および地域外の国々との交流を深めるように促してきた。「我々は、アジア・パシフィック地域の科学・医学・技術コミュニティとの仕事を続け、彼らの科学が世界レベルで正当な評価を受けられるように後押しをしていきたいと願っている」と語った。

個別セッションの詳細い内容については、下記URLでご覧になれます。

http://www.natureasia.com/japan/conferences/networking_jp/



Ian Foster
アルゴンヌ国立研究所
計算研究所 所長



Edison Liu
シンガポールゲノム研究所 所長



小野元之
日本学術振興会理事長



野依良治
理化学研究所 理事長

a nature conference

新たな地震「ゆっくり地震」のスケール法則を発見

井出哲

近年、「ゆっくり地震」とよばれる奇妙な現象が相次いで発見されている。東京大学大学院理学系研究科の井出哲講師らとスタンフォード大学の合同研究チームは、主に四国西部のデータを解析し、これらの現象が1つの単純な法則に従うことを突き止め、*Nature* 5月3日号¹に発表した。ゆっくり地震とはどんな地震なのか、井出講師に話を聞いた。

通常の地震とは異なる「ゆっくり地震」のスケール法則

Nature Digest — ゆっくり地震とはどういう現象ですか？

井出 — 四国西部は、フィリピン海プレートが南から日本列島の下に沈み込むプレート境界にあたり、過去にマグニチュード (M) 8クラスの南海地震が繰り返し起きている地域です。その震源域の深部で、2000年ごろから普通の地震ではないおかしな地震がたびたび観測されてきました。体に感じない小さな振動が比較的長い時間続く現象で、M1程度で継続時間が1秒以下の「深部低周波地震^{*1}」、微弱な振動が数十秒～数日間続く「深部低周波微動^{*2}」、M3程度で数十秒続く「超低周波地震^{*3}」、M6～7程度で数日から1年以上続く「スロースリップ^{*4}」などがあります (図1)。これらの現象を総称して「ゆっくり地震」とよんでいます。

ND — いろいろなレベルのゆっくり地震があるのですね。

井出 — はい。これまでの研究で、深部低周波地震と深部低周

波微動は、どちらも同じプレート境界のすべり運動であることがわかっています^{2,3}。深部低周波地震が群発したものが深部低周波微動であることもわかりました⁴。さらに、超低周波地震やスロースリップの分析結果と比較してみると、すべてが同じ時期に同じ場所で起きた同じ方向へのすべり運動であると解釈できます。そこで、それぞれの規模と継続時間を比較してみたところ、ある法則性が見つかったのです。

ND — どんな法則ですか？

井出 — 地震の規模を表す地震モーメント^{*5}と継続時間が、極めてシンプルに比例するのです。マグニチュードが1大きくなると、継続時間は30倍長くなるという関係です。普通の地震はマグニチュードが1大きくなると継続時間は3倍長くなりますから、明らかに違います。また、四国西部と似た現象は世界各地で見つっていますが、それらもこのシンプルなルールで説明できるだろうと考えています (図2)。

ND — 4種類のゆっくり地震は、結局は同じ現象だということですか？

井出 — 要は継続時間の長さの違いで、基本的には同じ現象だと考えられます。1秒以下なら深部低周波地震。1秒以上続くと深部低周波微動として認識され、微動がある程度集中して起こると超低周波地震として認識される。さらに何日も続くと、その変動は地殻変動観測によってスロースリップとして観察される。つまり、これまで別の現象だと思われていたものは、実は同じ現象を異なる時間スケールで見ていたものだったといえるでしょう。

プレート境界で起こる巨大地震とゆっくり地震

ND — 南海地震の震源域のすぐ近くで起きています。ゆっくり地震と巨大地震との関連性はあるですか？

井出 — この地域はプレート境界そのものです。浅いところでは巨大地震が繰り返し起き、それより深いところではゆっくり地震が起きている。その関連性はまだはっきりわかりませんが、地震はたまっただけを解放するプロセスですから、すべり運動が起こればその近くになんらかのひずみがたまり、地震の発生を促進するのは自明のことです。四国西部とよく似た現象が観測されている北米大陸西岸沖のカスケード沈み込み帯では、ゆっくり地震が起きたあとで地震活動が高まるといわれています。今後は、ひずみの量の推定やひずみと地震活動との関係など、観測とからめて定量的に検討する必要があると思います。

ND — ゆっくり地震は普通の地震と何が違うのでしょうか？

井出 — それこそが、これから解明していきたいことです。なぜゆっくりになるのか？ 何が違うのか？ まだわかっていな

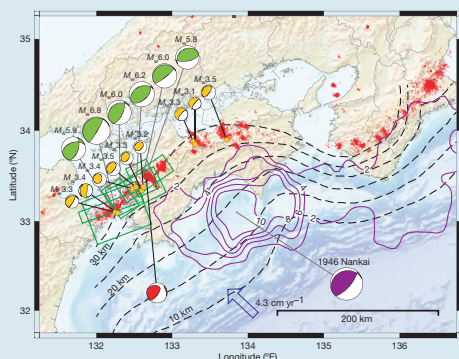


図1 四国西部のゆっくり地震の分布。赤は深部低周波地震、黄は超低周波地震、緑はスロースリップを示す。紫色の範囲は1946年の南海地震の震源領域を、点線は沈み込むフィリピン海プレートの上面の深さを表している。ゆっくり地震は、沈み込むフィリピン海プレートが深さ30～35kmに達したあたりで起きている。

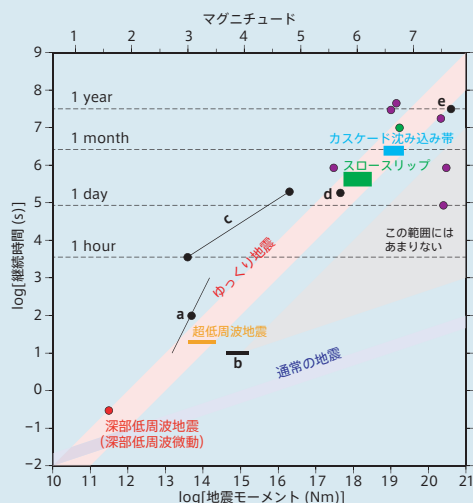
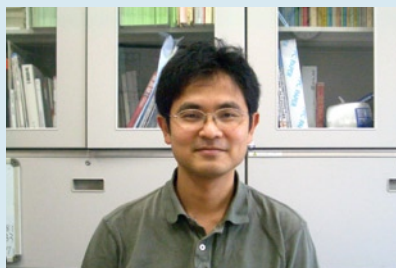


図2 ゆっくり地震と通常の地震のスケール法則の違い。普通の地震は断層が高速ですべる現象で、マグニチュード7の巨大地震であっても20秒程度しか続かないが、マグニチュード7のゆっくり地震は1年近く継続する。a～eは世界各地の類似の現象 (a: イタリア、b: 南海、c: カリフォルニアのサンアンドレアス断層、d: ハワイ、e: 三陸、紫のドット: 南海とカスケード沈み込み帯以外のスロースリップ)。これらがすべて同じ物理現象であるかどうかはわからない。



井出哲（いで・さとし）／東京大学大学院理学系研究科講師。理学博士。1969年、東京都生まれ。1992年、東京大学理学部地球物理学科卒業。1997年、同大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻博士課程修了。1997年に東京大学地震研究所助手、2001年にスタンフォード大学在外研究員を経て、2002年より現職。

兵庫南部地震などの大地震をテーマに研究をスタート。主に地震データの解析から、地震とはどういう現象なのかという一般性を探ってきた。1997年

から5年間は、東京大学地震研究所で地震観測業務のかたわら研究を行う。大地震から微小地震までのさまざまな地震の起こり方を解明するとともに、地震時の断層摩擦法則の推定を行う。平成16年度日本地震学会若手学術奨励賞、平成18年度文部省若手科学者賞受賞。2000～2001年にはスタンフォード大学に在外研究員として滞在し、G・C・ペローザ教授とともに地震のエネルギー収支やスケール法則の研究に取り組んだ。2005年ごろから、ペローザ教授、D・R・シェリー博士らとともに、一連のゆっくり地震の研究を行っている。

いのです。これまでプレートのすべり運動は、浅い場所では不安定すべりを、深い場所では安定すべりを起こすと考えられてきました。ブロックをバネで引っ張る場面を想像してください。2つのモデルが考えられます。1つはずるずるとついてくる。もう1つはしばらく動かず、突然じょんと動く。前者が安定すべり、後者が不安定すべりに相当します。つまり、地震が発生する浅い領域ではプレートは固着して今は動かない。一方、深い領域では常にずるずるすべっているため、固着した領域にはしだいにひずみがたまっていく。ひずみが限界に達すると固着がはがれて、巨大地震が発生するというわけです。

ND — 深さですべり方が違うために地震が起こるのですね。

井出 — 深さで違うということは、温度で違うということです。プレートが沈み込むにつれて、地下の温度は上昇しますから、岩石の性質も岩石と岩石の間の摩擦の性質もかわってきます。ただ、これまでの考え方の中に、ゆっくり地震は含まれていませんでした。最近では、固着している領域と安定している領域の間に中途半端な領域があって、そこで間欠的にすべり運動が起きるのではないかと考えられています。この深さでは岩から搾り出された水の存在が、プレート間のすべり運動を促進する効果をもつと推定されます。だからといって、なぜゆっくりになるのかは、まだ説明がつきません。ゆっくり地震についてのさらなる理解が、プレート沈み込みのプロセスや巨大地震発生のメカニズムの解明につながると思います。

ND — 今回の発見の意義はどんなところにありますか？

井出 — サイエнтиフィックな意義としては、私たちは非常にベーシックな法則を見つけたのではないかと思います。これまでよくわからなかった地下のすべり運動を、統一的に理解するための1つの突破口が得られたのではないかと思います。また、東海地方から四国地方は巨大地震発生のリスクが日本でいちばん高い地域です。ゆっくり地震はそのリスクを高める要素になります。同時に、プレートのすべり運動は常に起きているのではなく、ときどき活動として起きることがわかったわけです。そうすると、地震発生のリスクは均一に上昇するのではなく、急激に上がったたり下がったり不均一になると考えられます。巨大地震発生のリスク評価に、こうした新たな要素を付け加えることができるという社会的な意義もあると思います。

地震の総合的な解釈をめざして

ND — 地震の研究を始めたきっかけはなんでしょう？

井出 — 自問自答するところですね（笑）。もともと物理学に興

味がありましたが、最先端の極限の世界にはあまり魅力を感じなくて、自然の現象について研究したいと漠然と思っていました。あとは、実験より観察や観測のほうが好きでしたね。そんなところから、地球を相手にオブザベーションすることに魅力を感じたのは事実です。実際、地震研究所に在籍していたころは、観測をメインの仕事にしていました。地球科学の基本は、やはり観測からくるデータだと思っています。

ND — 今後はどんなことをめざしていますか？

井出 — 今回の発見で、急に視野が開けた感じがしています。地球全体の変形を考えたときに、何がわからないのかがわかってきたという感じですね。これからしなければならぬことがたくさんあると思っています。私はもともと、地震とはどういう現象なのか、地震の大小で性質はどちらがうのかということの研究してきました。だいぶわかってきたなと思っていたら、今度はゆっくり地震のような別のものがでてきた……。今まで私たちが地震として見てきたものは、実は総合的な地震のプロセスのごく一部であって、地震という現象を本当に知るにはまだまだ先があるなと感じています。これからの研究の中で、ゆっくり地震と普通の地震を合わせた新しい考え方を見だし、正しく理解したいと思っています。

ND — ありがとうございます。

聞き手は財部恵子（サイエンスエディター）。

* 1 深部低周波地震

深さ約30 kmで発生する微弱な地震で、低周波振動が卓越するもの。規模はM1程度、継続時間は1秒以下。南海トラフ沿いや内陸の地震活動領域の深部にも見られる。四国西部においては、震源位置がプレート境界に沿って分布しており、プレートのすべり運動であることが明らかになっている。

* 2 深部低周波微動

微弱な振動が数十秒～数日間続く現象。2000年ごろに、西日本の南海トラフ沿いで発見された。成因にはさまざまな説があったが、深部低周波地震が群発的に起こっているものであることがわかった。

* 3 超低周波地震

深部低周波地震とスロースリップの中間的な現象で、微弱な振動が数十秒続く。規模はM3～4。2006年に深部低周波微動の発生領域付近で発見された。プレートのすべり運動によるものと判明。

* 4 スロースリップ

地震波をほとんど放出しないゆっくりとしたすべり運動。地震波ではなく、地殻変動の観測によって、1990年ごろから世界各地で観測されている。継続時間は数日程度のもから1年以上続くものもある。M6～7程度。

* 5 地震モーメント

地震の規模を表す量の1つ。地震は断層運動によって生じるため、その規模は断層の大きさ（面積）と断層面上のすべり量の積で表すことができる。さらに断層の岩盤の性質を表す定数をかけたものを地震モーメント（Nm）とよぶ。

1. Ide, S. et al. *Nature* **447**, 76-79(2007)

2. Shelly, D. R. et al. *Nature* **442**, 188-191(2006)

3. Ide, S. et al. *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2006GL028890(2007)

4. Shelly, D. R. et al. *Nature* **446**, 305-307(2007)

なじみ深いメダカの全ゲノムを、日本のチームが独自に解読

武田 洋幸

日本でなじみのメダカのゲノム解読に、東京大学と国立遺伝学研究所のチームが成功した（論文は *Nature* 6月7日号掲載）。脊椎動物では、これまでにヒト、チンパンジー、イヌ、ミドリフグなどのゲノムが解読されているが、日本産のモデル生物を対象に、日本独自で全ゲノムが解読されたのは初めて。生物進化の道筋やヒトと共通する病気の解明などが進むものと期待されている。解読プロジェクトに携わった東京大学の武田洋幸教授に話を聞いた。

全ゲノムショットガン法で精度 99.96%の解読

Nature Digest — 今回、なぜメダカのゲノムを読まれたのでしょうか？

武田 — メダカはアジアに広く生息している魚ですが、日本でも田や小川を行き来する小魚としてなじみのものです。日本では、遺伝学や発生学の実験材料としても、古くからメダカが使われてきました。体が透明に近いために発生や分化のようすが観察しやすく、飼育や繁殖が容易で世代交代のサイクルが短かったからです。研究に使われ始めた当初は、ゲノム全体を解読することなどまったく考えられていなかったのですが、さまざまな生物種のゲノム解読が比較的容易にできるようになってきた2002年に、国立遺伝学研究所の小原雄治先生（配列解読担当）と東大理学部私の研究室（メダカゲノム生物学担当）、東大新領域の森下真一先生の研究室（コンピュータ解析担当）とが共同で解読することになりました。

ND — どのようにして解読されたのでしょうか？

武田 — 私たちが研究に使うメダカは *Oryzias* 属のもので野生では15種ほどが知られていますが、研究室では産地別によりかなり厳密に系統化されています。今回は、そのうちの南日本由来の Hd-rR という系統（近郊系）を詳しく解読し、これと比較するために北日本のある系統のメダカのゲノムをおおざっぱに読みました。配列を読む方法には、大きく分けて、階層的ショット

ガン法と全ゲノムショットガン法^{*1}がありますが、今回は、難易度は高いのですが、予算と時間が少なく済む全ゲノムショットガン法に挑戦しました。というのは、同じように実験によく使われるゼブラフィッシュという小型魚類があり、アメリカやイギリスがすでにゲノムの解読を始めていたので、早く追いつき、追いつきたいと考えたからです。

ND — 見事に、その挑戦が成功したんですね。

武田 — そうです。全ゲノムショットガン法によって、ゲノムサイズの小さい細菌などの解読に成功した例はありましたが、サイズの大きい脊椎動物で高精度に読めた例はありませんでした。今回私たちは、約8億塩基対に及ぶメダカの全ゲノムのうち、89.7%にあたる約7億塩基対の配列を決定でき、その精度は99.96%と極めて高いものでした¹。私は、メダカの染色体上で目印となるような配列（マーカー）をすでにたくさん作っていましたが²、こうしたマーカーを利用できたことが大きかったと思います。さらに、森下先生がパイオインフォマティクスを駆使した新しいアルゴリズムを開発してくださったことと、メダカの近郊系はゲノムの個体差がほぼゼロであるためにDNA断片の配列を確実につなげたことも、成功へのかぎとなりました。解読できなかった約10%は、同じ配列の繰り返し部分ですが、こうした領域には遺伝子はないと考えられています。

神経系の遺伝子の進化速度が速かった

ND — 解読の結果、どのようなことがわかったのでしょうか？

武田 — まず、遺伝子の数が2万141個であることがわかりました。この数はヒトとほぼ同じで、内容的にも約8割がヒトの遺伝子とよく似たものでした。魚類ではミドリフグのゲノムがすでに解読されていますが、メダカとフグのゲノムを比較することで、魚類の4億年分くらいのゲノム進化がみえてきました。例えば、魚類の染色体は13本からスタートし、倍化を重ねることで、メダカが48本、フグが42本、ゼブラフィッシュが50本になったことがわかりました。

また、メダカは非常に種内分化が進んでいることがわかっていましたが、南日本系統と北日本系統とは、ゲノムの実に3%に当たる部分の配列に違いがみられました。ヒトの間の多型は0.3%ほどで、ヒトとチンパンジーの間の多型が1.2%ほどであ

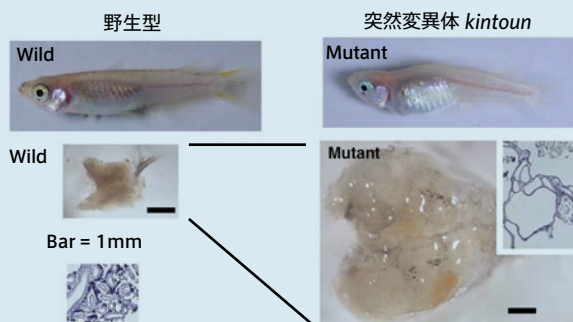


図1 腎臓にのうができる変異体

右が変異体で、左は野生型。変異体では、発生10日後くらいに腎臓にたくさんののうができ、腎臓機能が低下する。すでに原因遺伝子も特定できており、ヒトの多発性のう腎症のモデルになると期待されている。



武田 洋幸 (たけだ・ひろゆき) / 東京大学大学院理学系研究科教授。理学博士。専門は実験発生学、発生遺伝学。1958年、新潟県生まれ。1982年、東京大学理学部動物学教室卒業。1984年、東京大学大学院理学系研究科修士課程修了。1985年、東京大学理学部助手、1990年、理化学研究所研究員、1993年、名古屋大学理学部助教授、1999年国立遺伝学研究所教授を経て、2001年より現職。

1991年に理化学研究所にてゼブラフィッシュを用いた発生遺伝学、実験発生学の研究を開始（当時は日本で初めてゼブラフィッシュの実験系を導入した）。以来、一貫して脊椎動物の普遍的発生原理の解明をめざして、小型魚類を用いた研究に従事する。1999年、国立遺伝学研究所にて、メダカ変異体スクリーニングとメダカESTプロジェクトを推進。また、2002年よりメダカゲノムプロジェクトに携わる。

ることを考えると、メダカの3%は種が異なってもおかしくないほどの大きな違いであるといえます。とくに、神経系に関する遺伝子に多型が多くみられました。メダカはさまざまな環境に非常によく適応してきていますが、もしかしたら、適応や行動と神経系の遺伝子多型との間には何らかの関係があるのかもしれません。今後の研究が待たれます。ただし、生殖に関する遺伝子にはほとんど違いがみられませんでした。哺乳類では、生殖に関する遺伝子の進化速度が速く、脳神経系の遺伝子の進化速度は遅いので、魚類ならではのゲノム進化の傾向なのかもしれません。

ND — こうした成果は、今後どのような研究につながるのでしょうか？

武田 — 私は発生学者なので、メダカのゲノム情報を使って、左右軸の形成や神経系の発生、体節の形成などの仕組みを明らかにしたいと考えています³。実験ではENUという特殊な物質を使って突然変異を誘発し、さまざまな突然変異体を作り出しているのですが、とくに腎臓や肝臓の形成異常を伴ったものに注目しています。すでに、腎臓にのう胞ができる変異体を確立しており、その原因遺伝子も特定できています（論文準備中）。この病態はヒトで1000人に1人発症する多発性のう胞腎症とよく似ており、現在、ヒトでも同様の遺伝子に変異がみられるかどうかを調べています。メダカでは発生10日後くらいに腎臓にたくさんののう胞ができ、しだいに腎臓機能が低下し短命なことがわかっていますが（図1）、のう胞ができるようすを追うことで、ヒトの多発性のう胞腎症の発症機構の解明や治療法のヒントにつながると思われます。そのほか、脂肪肝のモデルになるような突然変異系統も得られており、医療分野への応用が期待されています。一方で、メダカは、産業として重要なサンマやヒラメ、マグロ、進化上注目されているシクリッド、トゲウオなどと近縁であるため、これらの魚のゲノム解析にも今回の成果が使えると思います。

ゲノム情報を一から作り出すことも重要

ND — ゲノム解読に予算がつきにくいなかでの解読で、何を感じられましたか？

武田 — 日本はゲノムの配列よりも、ゲノム情報に基づく応用研究、例えばタンパク質の解析などに予算が多く割かれていますが、今回の私たちの試みによって、ゲノム配列の一次情報を作り出すことがいかに有意義かということを示せたと思います。

また、生物学者と情報学者が協力し合うことで、どうしたら正確なゲノム配列を得られるかといったノウハウを蓄積することもできました。研究背景の異なるメンバーが議論するのはたいへんですが、どのように問えば欲している答えを返してもらえるかを学ぶことができ、苦しくも楽しい、よい経験になったと思っています。得られたアルゴリズムはすでにほかの研究にも使われており、私の現在の研究でも森下先生に協力していただいています。ゲノム解読は国際競争になってしまうことが多いのですが、メダカは例外的に日本独自で解読できたことは幸運でした（一部のみドイツと共同で解読⁴）。おかげで、世界の目を気にせず、のびのび研究できました。

ND — 今後は、日本や世界でどのような研究が期待されるのでしょうか？

武田 — メダカは、日本の国家プロジェクトである「ナショナル・バイオリソース・プロジェクト」でも採択されてきており、全国で確立された300に及ぶ突然変異体系統の収集とゲノム情報との統合が進みつつあります。メダカの全ゲノム情報が得られたことで、今後は日本のみならず、世界中で突然変異体の解析と変異遺伝子の同定が大幅にスピードアップすることになるでしょう。進化や多様性の解明という点では、メダカの近縁種のゲノムをおおざっぱに読み、メダカのゲノム構造と比較することでさまざまなことがみえてくると思います。また、ポリプテルスなどの原始的な魚類のゲノム情報も必要になると思われます。メダカは絶滅するのではないかなどともいわれますが、実にタフな生き物です。田を再び小川と結ぶ工夫をすれば、また繁殖してくれると思っています。私自身はメダカを中心にゼブラフィッシュなども一部使うことで、研究を進めたいと考えています。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は西村尚子（サイエンスライター）

*1 階層的ショットガン法と全ゲノムショットガン法
どちらもDNAを切断して断片化し、各断片のコピーを作ったうえで塩基配列を読み取り、配列の重複部分をたよりにコンピューターでつないでいく方式。階層的ショットガン法では、比較的大きな断片を用意し、各断片のゲノム上の位置をあらかじめ調べたうえで配列を読むのに対し、全ゲノムショットガン法ではランダムに断片化してひと続きの配列に組み立てる。全ゲノムショットガン法のほうが、時間も予算も少なくて済むが、これまでは精度の点で階層的ショットガン法にはかなわなかった。しかし最近になってシステムや技術開発が進歩し、全ゲノムショットガン法でも高精度の配列データを得られるようになってきた。

1. Kasahara, M. et al. *Nature* **447**, 714-719 (2007)
2. Kimura, M. et al. *Mechanisms of Development* **121**, 915-932 (2004)
3. Horikawa, K. et al. *Nature* **441**, 719-723 (2006)
4. Sasaki, T. et al. *Genomics* **89**(1), 124-133 (2007)

「デトックス」、つまり体内にたまった毒素を排出させることに、健康や美容に敏感な人は懸命に取り組んでいます。食生活の改善からリンパマッサージまで、お金をかけたり地道な努力を重ねたりして、体の内側からきれいになりたいと願うのです。

カニにとっても「デトックス」は重要です。汚染された水域に

すむカニは、有害な微量金属が体内にたまるため、結果として生殖障害や再生の遅れなどの問題が起こります。しかし、どうやらカニは毒素を劇的に排出させる方法を知っているようです。今回は、大きなはさみを振る動作で知られるシオマネキを使った調査からわかったことをまとめた記事を読んでみましょう。

NEWS news@nature.com

語数：433 words 分野：生態・生化学

Published online: 19 July 2007 | doi:10.1038/news070716-12

Crabs use their shells for garbage disposal

Fiddler crabs rid excess lead from their system by moulting.

<http://www.nature.com/news/2007/070716/full/070716-12.html>

Matt Kaplan



1. Shedding an old shell could be about more than just getting too big for it. Crustaceans living in polluted waters may dispose of toxic metals by dumping their old casings, say researchers.
2. Crustaceans need to moult their exoskeletons throughout their lives so they can grow. As the time for a moult nears, a new exoskeleton starts to form beneath the old one. To soften the old exoskeleton and make the shedding process easier, calcium is reabsorbed in the days before the moult. Once the new exoskeleton is in place and the old one gone, calcium that was absorbed from the old exoskeleton is shifted to the new one to harden it.
3. Marine biologists have long understood this process of calcium control. But they have only just started to realize how moulting might affect the distribution of other elements, such as trace metals. These can be toxic in excess and cause numerous health problems, such as disrupting reproduction, slowing limb regeneration and changing body colour. Copper, zinc and lead have all been found in the exoskeleton, leading some researchers to speculate that crustaceans shed their shells to rid their bodies of too much metal.
4. To check, Lauren Bergey and Judith Weis at Rutgers University in Newark, New Jersey, obtained fiddler crabs (*Uca pugnax*) from two very different populations. One was from Linden, New Jersey, in a site adjacent to a sewage treatment plant and a highway and surrounded by industrial facilities. The other lived in the New Jersey Jacques Cousteau National Estuarine Research Reserve.
5. The team found that fiddler crabs could indeed manage their metals. Both populations shifted copper and zinc from the exoskeleton back into soft tissues just before the moult, but in the polluted population the moult served to rid the crabs of excess lead. "What I found really impressive was how much lead shedding we were seeing in polluted waters," says Bergey. Some crabs released 76% of their body's lead content in a single moult. The results will be published in an upcoming issue of the journal of *Marine Environmental Research*¹.
6. Shifting around this much metal is probably bad for the crab. The long-term energy costs are unclear, but they are almost certainly less than the penalties of metal poisoning.
7. "We need to consider looking at moulting in a new light," says Bergey. Some researchers studying crustaceans response to metals have watched the creatures over only a short period of time. But this work on moulting shows that exposure to metals should be studied over the long-term, to capture the effect of shell shedding on dealing with pollution.

Full metal jacket

4. To check, Lauren Bergey and Judith Weis at Rutgers University in Newark, New Jersey, obtained fiddler crabs (*Uca pugnax*) from two very different populations. One was from Linden, New Jersey, in a site adjacent to a sewage

Reference

1. Bergey, L. & Weis, J. *Mar. Environ. Res.* doi:10.1016/j.marenvres.2007.04.009 (2007).

Topics fiddler crabs (シオマネキ) とは？

エビ目（十脚目）・スナガニ科・シオマネキ属（*Uca*）に分類されるカニの総称。雌のはさみはどちらも小さいのに対し、雄では片方のはさみが甲羅と同じくらいまで大きくなるのが特徴で、極端な性的二形である。雄が求愛の際にこの大きなはさみを振る（ウェーピング）姿が潮を招いているように見えるところから、日本では「シオマネキ（潮招き）」とよばれている。

この記事に出てきた *Uca pugnax* は、主に米国中部の東海岸沿いの塩性湿地帯に巣穴を作って生息している。平均的な雄は、甲羅が縦15mm、横23mm程度で、全体は黒っぽい黄褐色をしている。甲羅の中央に青色の点がある。一方、雌の甲羅は雄よりもひと回り小さく、青色の点もない。

なお日本には、南西諸島や小笠原諸島などを中心に約10種類が生息する。海岸の埋め立てなどで生息地が減少し、環境汚染などの影響で分布域は各地で狭まり、2006年には *Uca arcuata* などが環境省レッドデータブックで絶滅危惧II類に分類されている。

シオマネキの種の中には、大きなはさみを失った場合に小さなはさみが大きく成長し、失われたほうが小さなはさみへと再生されるものがある。



シオマネキ（*Uca pugnax*）の雄。雄は、小さいほうのはさみを使って砂や泥の中を口に運び、その中の餌を食べる。その姿が、大きなはさみをバイオリンに見立てて、バイオリン奏者（fiddler）に見えるところから、英語では fiddler crab とよばれている。

Science key words**リード. moult(ing) : 脱皮**

昆虫や甲殻類などの節足動物や爬虫類、両生類で、外皮が一気にはがれて更新されること。節足動物は、成長や再生の段階が進むにつれて古い外骨格（右記の解説参照）を脱ぎ捨てることで、体の構造を大きく変えることができる。脱皮の準備段階として、脱ぎ捨てる古い外骨格の内側に新しい外骨格が形成され始める。古い外骨格から体内へ、脱皮後には体内から新しい外骨格へとカルシウムが移動することが知られていたが、今回の記事では、有害金属も移動していることが確認された。

1. crustaceans : 甲殻類

節足動物門甲殻亜門に属する動物の総称で、エビやカニからミジンコまで多種多様な生物が分類される。約6万7000種が甲殻類に含まれるといわれ、化石種も多い。同じ節足動物でも昆虫が主に陸地に分布しているのに対して、甲殻類は海を中心とした水環境に主に生息している。特徴としては、体がキチン質の硬い甲殻で覆われ、節のある内肢と外肢の二股に分かれた肢を持っている。

2. exoskeletons : 外骨格

脊椎動物や棘皮動物の体内にある全体の構造を支える骨格（内骨格；endoskeleton）に対して、無脊椎動物の体の表面に付属するように形成される骨格のこと。厚くなったクチクラ層（比較的硬い膜様の構造）などからなり、水の浸入を防いでいる。外骨格には感覚器があったり、物質を分泌したりするなど生物としての機能をもっているため、厳密には、体の外にカルシウム分などが固まった殻とは区別される。

3. trace metals : 微量金属

生物学においては、生物に必要不可欠な元素のうち、体内に微量にしか存在しない金属のことをいう。生体にとって必須であると同時に、含量によっては高い毒性をもつ。鉄、亜鉛、銅、マンガン、鉛などが挙げられる。例えば鉛は、食材にも含まれておりごく微量ならば問題はないが、体内に大量に蓄積されると中毒を起こし、免疫異常などさまざまな健康障害を引き起こす。最近では、中国製の安価なおもちゃの塗料に鉛が含まれていることがわかり、回収されるなどの社会問題となっている。

Words and phrases

タイトル **shells** : 「殻」「甲羅」

リード. **rid** : 「取り除く」「除去する」

3. の **rid (A) of (B)** : 「AからBを取り除く」

リード. **excess** : 「過剰な」

3. の **in excess** は「過剰な状態」の意味。

リード. **lead** : 「鉛」（発音は「レッド」）

1. **shedding** : 「（甲羅を）脱ぐこと」（動名詞）

ただし shed には、単に「排出する」「捨てる」という意味もあり、5. の **shedding** はこの意味。

1. **more than just ...** : 「単なる～にとどまらない」

1. **dispose of** : 「（～を）捨てる、廃棄する」

1. **dumping** : 「捨てること」

1. **casings** : 「外皮、外被」

この記事では「甲羅」を指している。

2. **reabsorbed** : 「再吸収する」

生体から濾出あるいは分泌された物質が再び吸収されること。

2. **in place** : 「所定の位置にあること」

この記事の文脈では、新しい外骨格が形成されたことを意味する。

2. **shifted** : 「移動させられる」

3. **limb regeneration** : 「歩脚の再生」

3. **speculate** : 「推測する」「仮説を立てる」

見出し. **Full metal jacket** : アメリカの映画『フル・メタル・ジャケット』（1987年／スタンリー・キューブリック監督）の題名にかけている。

4. **populations** : 「（生物の）個体群、集団」

4. **adjacent to** : 「（～に）隣接した」

4. **sewage treatment plant** : 「下水処理場」

5. **soft tissues** : 「軟組織」

7. **in a new light** : 「新しい観点から」

この light は「見方、観点」という意味。

7. **exposure to** : 「～にさらされること」「～に曝露されること」

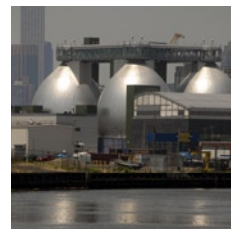
Published online: 19 July 2007 | doi:10.1038/news070716-12

カニは殻を利用して廃棄物を処理する

シオマネキは体内の過剰な鉛を脱皮によって排出している。

<http://www.nature.com/news/2007/070716/full/070716-12.html>

マット・キャプラン



1. 古い殻を脱ぎ捨てるのは、単に殻が小さくなったからという理由だけではないのかもしれない。汚染された水の中に生息する甲殻類は、古い殻を脱ぎ捨てることで有毒な金属を排出している可能性があるという研究者は考えているのだ。
2. 甲殻類は、一生の間、身体の成長に合わせて古い外骨格を脱ぎ捨てる（脱皮する）必要がある。脱皮の時期が近づくと、既にある外骨格の下に新しい外骨格が形成し始める。そして古い外骨格を柔らかくして脱皮過程を容易にするために、脱皮の数日前からカルシウムが体内に再吸収される。新たな外骨格ができあがり、古い外骨格が脱ぎ捨てられると、古い外骨格から吸収されていたカルシウムが新しい外骨格へ移動し、新しい外骨格は硬化する。
3. このカルシウム制御過程は、海洋生物学者の間では以前から知られている。しかし、ほかの元素（例えば微量金属）の体内分布に脱皮がどのように影響しているかについては、解明が始まったばかりである。微量金属は、過剰に蓄積すると有毒なことがあり、さまざまな健康問題を引き起こす。例えば生殖障害、歩脚の再生の遅れ、体色の変化などである。外骨格からは銅、亜鉛、鉛が検出されているため、甲殻類は体内に過剰に蓄積された金属を脱皮によって排出しているのではないかと一部の研究者は考えている。

シオマネキの「フルメタル・ジャケット」

4. この点を調べるため、ラトガース大学（米国ニュージャージー州ニューアーク）のLauren BergeyとJudith Weisは、2つの非常に異なった個体群に属するシオマネキの一種（*Uca pugnax*）を入手した。一方の個体群は米国ニュージャージー州リンデンのもので、下水処理場と幹線道路に隣接し、産業施設に囲まれた地域に生息していた。他方は、ニュージャージー・ジャック・クストー国立河口研究保護区（New Jersey Jacques Cousteau National Estuarine Research Reserve）に生息していたものである。
5. BergeyとWeisは、シオマネキが確かに体内の金属をうまく管理している可能性があることを見いだした。どちらの個体群も、脱皮の直前に外骨格の銅と亜鉛を軟組織へ移

動させていたが、汚染水域の個体群では、脱皮は体内の過剰な鉛を排出する役割を果たしていた。「とても印象的だったのは、汚染水域のシオマネキで大量の鉛が排出されていたことです」とBergeyは話す。中には、1回の脱皮で体内の鉛の76%を排出した例もあった。この研究結果は、*Marine Environmental Research* 誌の次号で発表される¹。

6. このように大量の金属を移動させることは、おそらくシオマネキにとって不利益なことである。その長期的なエネルギーコストは不明だが、金属中毒で被る不利益よりも小さいことは、ほぼ間違いない。
7. 「脱皮については新たな観点での研究を考える必要があります」とBergeyはいう。甲殻類の金属に対する反応を研究する一部の研究者は、甲殻類の短期観察しか行っていない。しかし今回の脱皮に関する研究は、環境汚染に対する脱皮の効果を把握するためには、金属への曝露について長期の研究を行うべきであることを物語っている。

Reference

1. Bergey, L. & Weis, J. *Mar. Environ. Res.*
doi:10.1016/j.marenvres.2007.04.009 (2007).



シオマネキの体の色は、昼間や干潮時には深い色、夜や干潮時には淡い色に変わる。

- | | | | | | | |
|----------|-------------|---------|---------|---------|-------|----------|
| • 地球物理学 | • 大気科学 | • 地質学 | • 鉱物学 | • 古海洋学 | • 海洋学 | • 惑星科学 |
| • 地球生物学 | • 気象科学 | • 地形学 | • 鉱物物理学 | • 古地磁気学 | • 水文学 | • 宇宙物理学 |
| • 地球化学 | • リモートセンシング | • 地震学 | • 岩石学 | • 古気候学 | • 氷河学 | • 生物地質化学 |
| • 地理情報科学 | • 地球電磁学 | • 構造地質学 | • 火山学 | • 古生物学 | • 陸水学 | |

貴殿からの論文投稿をお待ちしております。

地球誕生から約46億年、
解明されていない謎は数えきれず…

論文
募集中!!

気候や地形、海洋や大気に対する人間の影響が広がっているため、
地球の歴史や将来の進化に関して理解を深めることがますます重要となっています。

2008年1月に創刊される *Nature Geoscience* は、地球科学全般における
極めて意義の高い研究に関する情報を提供することを目的とする総合学術月刊誌です。

Natureだからお届けできる「質の高い情報」

日本語でnatureを読む

Nature Digestは、Natureを日本の皆様により身近に感じていただくために全ページ日本語で編集された科学情報誌です。英国本社で作成されたNature本誌、Natureオンラインニュースに掲載されている最新の科学ニュースや科学論説などの記事はもとより、日本オリジナルの企画編集記事も加わり、充実した1冊となっています。

Nature翻訳・編集記事

Natureならではの質の高い、面白い記事をお楽しみいただけます！

最近Natureに掲載されたニュース、論文を日本語に翻訳しました。分野も幅広く、宇宙・天文学、地球科学、物理から環境、医学、生命科学、バイオテクノロジー、コンピューター等の記事が1冊に集約されています。

日本オリジナル編集記事

Nature本誌にはないからこそ、是非Nature Digestでお楽しみください。

日本人著者も世界的に偉大な研究発表を数多くしており、新聞等のメディアで、それらの記事を多くの方が目にしています。そのような研究や、論文を発表した研究者にNatureがインタビューを行い、日本の研究をお伝えしていきます。

News
科学ニュース

Special Report
特別レポート

Highlight
論文ハイライト

Business News
ビジネス・ニュース

News Feature
科学ニュース 読み物

news@nature.com
Natureオンラインニュース

Japanese Author

日本人科学者へのインタビュー記事

Natureに論文を発表した日本人研究者にインタビュー。研究者をめざす人への有意義なメッセージをお伝えします。



英語でNature

Natureの記事を、単語やフレーズの解説に加えて、どのように読んだらいいか、読解のポイントも紹介するセクション。毎回少しずつレベルアップしていくので、科学英語を学ぶ教材としても使用できます。



Japanese News Feature

日本の科学ニュース

鳥インフルエンザや地震、宇宙開発、幹細胞など、日本のさまざまな科学ニュースを独自取材し、わかりやすく紹介します。



News and Views

科学論説

Editorial
社説

Author

論文著者のプロフィール

Research Highlights

リサーチ・ハイライト

Nature Digest定期購読お申込みはこちらから

www.naturejpn.com/digest-f07