

nature DIGEST

日本語編集版

FEBRUARY 2006

VOL.03, NO.2

2

<http://www.naturejpn.com/digest>

自然災害が 引き起こす 大混乱



nature asia-pacific

自然災害特集

HIGHLIGHTS

02 vol. 438 no. 7071 vol. 439 no. 7072 no. 7073

NATURAL DISASTERS SPECIAL

EDITORIAL

04 自然災害への備え

NEWS FEATURE

05 自然災害が引き起こす大混乱

Quirin Schiermeier

11 消えゆく湿地

Emma Marris

14 永続的な復活をめざして

Erika Check

JAPAN NEWS FEATURE

17 首都直下地震は迫っているのか？

北原逸美

NEWS@NATURE.COM

20 物質と反物質から分子ができた？

21 リスクを察知する脳のしくみ

NEWS & VIEWS

22 カビが3つ寄ってわかること

André Goffeau

JAPANESE AUTHOR

24 生殖細胞の減数分裂に関する

新しい遺伝子を発見——松居靖久

小島あゆみ

英語でNATURE

26 Marine reserves do more good than expected

海洋保護区に予想外の効用

NATURE GALLERY

28 ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた最も鮮明なオリオン星雲

発行人：デービッド・スウィンバンク
編集：北原逸美
デザイン／制作：村上武
広告：浅見りの子
マーケティング：吉原聖豪

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

©2006 NPG Nature Asia-Pacific

11

17

28

nature
DIGEST

02

volume 3 no.02
February
www.naturejpn.com/digest

© 2006 年 NPG Nature Asia-Pacific
掲載記事の無断転載を禁じます。

菌類トリオのゲノム解説

Fungal trio sequenced

3種類の菌類のほぼ完全なゲノム塩基配列が発表された。ゲノムが解読されたのは、食品の生産に使われるコウジカビ (*Aspergillus oryzae*)、広く見られる病原菌である *Aspergillus fumigatus*、菌類の遺伝学研究によく利用されるモデル生物の *Aspergillus nidulans* の3つである。

町田雅之たちは、日本で酒や醤油といった伝統的な発酵食品の醸造に使われるコウジカビ (*A. oryzae*) のゲノム塩基配列を解読した。この菌のゲノムは *A. fumigatus* や *A. nidulans* に比べておよそ3割増しの大きさであり、この余分な遺伝子の多くが、この菌特有の性質をもたらしている。例えばこの菌には、食品を発酵させる酵素が含まれている。またこの塩基配列から、この菌が有毒なアフラトキシンを生産しない理由も明らかになった。町田たちは、アフラトキシンの遺伝子が近縁の *A. flavus* から伝わった後で不活性化されたのだらうと考えている。

W Nierman たちは、病原体であり、また重い喘息を引き起こしかねない重要なアレルギーでもある *A. fumigatus* の塩基配列を解読した。感染を防ぐための薬剤の標的となる可能性がある遺伝子や、この菌が生産するこれまで知られていなかったアレルギー9種類の遺伝子が同定された。

J Galagan たちは *A. nidulans* の塩基配列を解読し、他の2つの菌のゲノムと比較している。これら3つのゲノムは互いに大きく異なっていて、近縁の遺伝子どうしても哺乳類と魚類の遺伝子の場合と同じくらい異なっている。そのうえ、DNAの大規模な再編成についても、3つのゲノムの進化速度は異なっている。比較によって、*A. fumigatus* と *A. oryzae* が有性生殖することも明らかになった。これまでこれらは細胞分裂によって無性的に増殖すると考えられていたのだが、この発見によって工業生産に適した菌株の開発や感染のさらなる解明への道が開けるだろう。

22/29 December 2005 Vol. 438/Issue 7071
articles p.1105, letters p.1151, 1157, N&V
p.1092 参照

アインシュタインの $E = mc^2$ を検証する

Einstein's $E = mc^2$ is put to the test

おそらく、科学の全分野にわたって最もよく知られている公式は、質量とエネルギーの互換性を表すアインシュタインの有名な $E = mc^2$ だろう。もしこれがほんのわずかでも不正確なら、現代物理学に多大な影響

が及ぶと考えられる。でも心配ご無用。この公式に対する新しい直接的な検証が行われ、 $E = mc^2$ は 0.00004% 以内の誤差で正しいことが報告された。

この公式は、非常に小さな質量が非常に大きなエネルギーと等価であると予測している。それは c^2 (c は光速) が極めて大きな値だからだ。このことを検証するために、S Rainville たちは、2種の異なる同位体が中性子を捕獲するときに生じる質量変化(加わった中性子自身の質量分は含まない)を綿密に測定した。この変化量は、イオンが下方遷移するときに放出されるガンマ線のエネルギーに等しいはずである。

彼らは、高精度の結晶回折装置を用いてガンマ線のエネルギーを測定し、ペニングトラップと呼ばれる電場と磁場を組み合わせた特殊なトラップ装置でイオンの質量変化を測定することにより、測定の不確かさを低減させた。今回の結果は以前の検証より55倍も正確で、世界物理年のフィナーレを飾る成果といえる。

22/29 December 2005 Vol. 438/Issue 7071
brief communications p.1096 参照

魅惑のリズム: 性選択におけるダンスの役割

FASCINATING RHYTHM:

Dancing's role in sexual selection

ダンスはヒトの求愛行動によく見られる要素である。ダンスはちょっとした楽しみにすぎないのか、それとも隠れたメッセージを発しているのだろうか。今回、この疑問への取り組みとして、ダンスが男女両方にとって重要であるジャマイカの社会集団が調べられた。ダンスが伝える可能性のある情報の1つは、身体的な対称性(シンメトリー)の度合いである。対称性は、発生の安定性つまり遺伝的な質の尺度として進化研究で広く使われている。モーションキャプチャー・カメラでビデオ画像を作成して調べたところ、身体対称性とダンス能力の間に強い正の相関性があることがわかった。この作用は、女性よりも男性の場合に強く働き、また、対称性の高い男性のダンスに対しては、男性よりも女性のほうが高い評価を下した。この作用は両方向に働き、対称性の高い男性は対称性の低い男性に比べて、女性ダンサーの対称性をより高く評価する。つまり、少なくともジャマイカでは、ダンスは性選択にかかわって



おり、踊り手に関する重要な情報を伝えている。表紙のコマ送り画像は、対称性の高い男性ダンサーが踊っているところ。

22/29 December 2005 Vol. 438/Issue 7071
letters p.1148 参照

冥王星の衛星カロンによる恒星食

Charon among the stars

太陽系内の天体が我々と恒星の間を通過する際に、恒星からの光がさえぎられて起きる恒星食は、天文学者にとって待ち遠しい現象である。なぜならこの現象は、通常では不可能な観測を行う絶好の機会になるからだ。冥王星の衛星カロンの恒星食が単独に観測されてから25年になる。そして2005年7月11日に再び恒星食が起き、今回は南米各地の天文台が追跡観測に理想的な拠点となった。この観測で得られたデータを使ってカロンの直径が正確に測定され、ほぼ605 kmであることがわかった。そして、大気密度の上限が比較的低いこともはっきりした。恒星食のようすは、QuickTime ムービー形式により tinyurl.com/9c56s で公開されている。

5 January 2006 Vol. 439/Issue 7072
letters p.48, 52, N&V p.24 参照

治療薬としての RNAi

RNAi as therapy

低分子干渉 RNA (siRNA) による遺伝子のサイレンシングは多くの生物学的過程に関与している。siRNA は重要な治療薬となる可能性があるが、主な障害は細胞内への siRNA 送達が進まないことである。今回 D Palliser たちは、マウスの腫瘍に効率よく siRNAs を送達し、致死的な性器単純ヘルペスウイルス 2 への感染からマウスを防御できたと報告している。性感染症の伝播を防ぐ殺微生物剤の開発は、HIV/AIDS の拡大阻止のための優先的課題であり、また単純ヘルペスウイルス 2 の感染は HIV 伝播の重要な補助因子となっている。この研究から、伝播の阻止、感染の治療、あるいは性感染症ウイルスの再活性化防止に役立つ殺微生物剤の活性成分として siRNA を使える可能性が示唆される。

5 January 2006 Vol. 439/Issue 7072
letters p.89 参照

たっぷりリンを含んだ海

The ocean as P soup

熱帯と亜熱帯の海では、窒素固定を行うアイアカシオ (*Trichodesmium*) の仲間の藍藻が「新たな」窒素の主な供給源になって

※「今週号」とは当該号を示します。

いるが、この仲間の大増殖を可能にした細胞の適応に関してはほとんどわかっていない。*Trichodesmium* 属は、溶存無機リン酸塩が乏しい北大西洋西部のような海域で大繁殖していることから、溶存有機リンを使うことができる、効率的のよいリン回収を行っていると考えられてきた。この考えが、サルガッソー海で行われた新たな研究によって確証された。*Trichodesmium* 属は C-P リアーズを使ってホスホン酸化合物からリンを取り込んでいたらしい。これまで C-P 結合は切断しにくいものと考えられてきたが、*T. erythraeum* ははじめ、これまでに調べられた *Trichodesmium* 属はすべて、ホスホン酸塩を代謝するための遺伝子がゲノムに存在している。

5 January 2006 Vol. 439/Issue 7072
letters p.68, N&V p.25 参照

共同して働く：

単独性のハチに社会性が生じた仕組み WORKING TOGETHER:

How solitary bees evolved sociability

表紙は、産卵用にタンパク質源となる花粉を探す単独性ハナバチ（左）と、その横にいる「真社会性」ミツバチの不妊のワーカー（働きバチ）。この 2 匹の雌バチは生物学的な社会性が異なるものの、両者の行動は進化上の起源が同じである。真社会性の生活様式には、弟妹たちを養育する不妊のワーカーが含まれる。この行動が生れたことの説明の 1 つとして、母性的繁殖形質に選択がかかったとする説があり、その可能性はミツバチの実験から実証される。おもしろいのは、働きバチの行動の違いが繁殖形質の多型



によって説明できる点である。蜜集めより花粉集めを好むよう選択された系統では、働きバチに通常は発現されないような高い生殖能力が備わっている。選択されなくても高い生殖能力をもっているハチは、同じように花粉集めを好む。これは、母性的形質が単独性とワーカーのいる昆虫社会との間をつなぐ進化の足がかりとなった可能性があることを意味する。

5 January 2006 Vol. 439/Issue 7072
letters p. 76 参照

植物はメタンをまき散らして地球温暖化に 加担している

Plants exhale methane and affect global warming

大気中の温室効果ガスのかかなりの部分は植物が原因だとわかった。植物が放出するメタンは、年間発生量全体の実に 10 ～ 30% に相当するらしい。

この発見は意外なものだ。それは、植物がメタンを生成するのは酸素がない条件下のみであると考えられてきたからである。今回 F. Keppler たちは、酸素の存在する普通の条件下でも、さまざまな植物がメタンを放出していることを見いだした。また、メタンは枯死した植物体からも出ているという。

D. Lowe は News and Views で「新たな発生源が見つかったことで地球のメタン収支を再検討する必要が出てきた」と論評している。

今回の発見は、熱帯雨林上空に見られる大規模なメタン上昇流を説明できるかもしれない。Keppler たちはまた、地球上の急速な森林破壊が大気中のメタン蓄積速度低下と関連しているのではないかと考えている。「新たな森林は、CO₂ の吸収源として地球温暖化を抑止するのではなく、メタン放出によってかえって温暖化を促進するのではないかという不安を我々は抱えることとなった」と Lowe は述べている。

12 January 2006 Vol. 439/Issue 7073
letters p.187, N&V p.148 参照

2 個の光子と半導体チップ

Two photons and chips

簡単な半導体電子デバイスを使って量子もつれ光子対を発生させる方法が報告された。このような半導体チップを使った量子もつれ光子（光の粒子）源は、量子情報技術にとって極めて有用と思われる。

量子もつれと呼ぶ量子力学効果から生じる相互依存な性質を持つ 1 対の光子は、量子を用いる情報処理の基本単位、いわば「基本通貨」となる。量子もつれ光子対は、例えば、量子暗号技術に使うことができる。これは、情報を伝送する極めて安全な方法だ。また、原理的には現在の従来型デバイスより非常に高いコンピューター性能が得られる量子コンピューティングにも使える。しかし、オンデマンドに量子もつれ光子を作るのは簡単ではない。

今回、A. Shields たちは、半導体発光デバイスでよく使われる材料の 1 つ、インジウム砒素半導体からできた量子ドットと呼ばれる小さい構造から、量子もつれ光子が

放出されたと考えられる結果を報告している。量子ドットは、その電子がレーザー光によってより高いエネルギー状態になってから、余分なエネルギーを光として解放するときに光子対を放出する。Shields たちは磁場を使って、光子が放出される条件を微調整し、その偏光が量子もつれ状態にあると見なせる光子対を発生させることに成功した。つまり、この光子対では、対の一方の偏光面がもう一方の偏光面に依存するため、対の片方で測定を行えば他方の偏光を決定できるのである。このプロセスをもっと厳密に制御できれば、簡単な半導体発光ダイオードを、小型かつ堅牢で信頼性の高い量子もつれ光子対源として使えるかもしれない。

12 January 2006 Vol. 439/Issue 7073
letters p.179 参照

宇宙のフォース：宇宙で起こる磁気リコネクションにより 250 万キロメートルの粒子 加速器が作り出される

FEEL THE FORCE: Magnetic reconnection in space creates a 2.5-million-kilometre particle accelerator

磁気リコネクションは、対になった磁力線が合体して、磁気エネルギーが粒子の運動エネルギーに変換される過程である。合体した磁力線で生じたねじれはスリングショット効果を生じ、合体した位置から遠くに向かう高速のプラズマジェットを加速する。この過程は太陽フレアや地球付近の宇宙嵐へエネルギーを供給して、電力網や電気通信を妨害する。宇宙物理学の分野では、リコネクションが長距離を越えて発生するのかが、あるいはパッチ状に局地的にランダムに発生するのかが長らく問題となってきた。2002 年 2 月 2 日、惑星間宇宙で広く離れた位置にあったクラスター、ACE、ウィンドのすべての探査機が、通過中の同じ電



流シート内で、似たようなプラズマジェットを観測した。これは、250 万キロメートルにわたる磁気リコネクション領域を示す端的な証拠であり、磁気リコネクションは長時間にわたって非常に大きな規模で発生しうることを確認するものである。表紙は、ねじれた磁力線が一对の粒子ジェットを加速するようすを示す。

12 January 2006 Vol. 439/Issue 7073
letters p.175, N&V p.144 参照

自然災害への備え

Preparing for disaster

Nature Vol.438(889)/15 December 2005



自然災害の危険に関する事実を広く伝え、地域住民が必要な準備をするのに役立つ仕組みの改善が期待される。

昨今は地震、火山噴火、暴風雨、洪水の危険について、これまでになく、科学による総合的な評価がなされている。また技術の発展により、これらの危険に対して従来以上に高度な対策を取ることも可能となっている。にもかかわらず、人口が増え続ける都市の住民、そして2005年10月の巨大地震の影響に今も苦しむパキスタン北部やカシミール地方のような人口の多い農村部の人々は、こうした自然災害によって大きな被害を受けやすいという状態が続いている。

科学知識と経験、計画、常識を適切に組み合わせることで、自然災害による危険性が大きく減少するという証拠はたくさんある。その1例が、1946年に津波で大きな被害を受けたヒロ市（ハワイ州）だ。その結果、巨大な波の原因と物理的挙動に関する科学研究が強化され、1949年の太平洋津波警報センターの創設につながった。そして、1960年に津波が同市を再び襲ったとき、このシステムの有効性が試された。建築制限と定期的な防災避難訓練のおかげで、ヒロ市は比較的安全に暮らせる土地としての姿を取り戻している。

だが、太平洋地域で行われているこうした津波への備えは一般的なものではなく、むしろ例外といえる。2004年に多数の死傷者を出したインド洋大津波の被害を受けた十数か国では、科学者がそうした災害の危険性を知っていたにもかかわらず、ほとんど何の備えもできていなかった。トルコ、イランをはじめとする世界の数多くの国々は、発生の危険性が高いと専門家が指摘する災害について必要な対策が取ることができないか、あるいは対策に消極的な姿勢に終始している。

災害の危険性を研究する科学者は、重大かつ貴重な役目を担っている。差し迫る危険に対して一般市民や政治家の意識を高めるため、最善の措置を講じなければならない。危険の内容を効果的に伝えることは、けっして些細な問題ではない。断層破壊、火山あるいはサイクロンの熱力学的性質を研究する個々の研究者たちは、その知見を幅広く公

表するための体制を常に整えているとはとてもいえない。また、地域の政策当局者や政策立案者が自力で科学文献を直接調べ、情報収集を必ず行うことも期待できない。そのため、研究者と政策当局との間の有効なパイプ役となるような、独創的なアプローチが必要とされる。

今、このようなアプローチを世界レベルで実施するための活動が展開されている。たとえば2005年1月に神戸で開催された国連防災世界会議では、国連による調整のもと、世界的なリスク管理戦略が提唱された。このような戦略には、科学の確かな支援が必要とされる。そのために、英国政府科学顧問 David King は、自然災害の評価に関する国際科学パネル（International Science Panel for Natural Hazard Assessment）の創設を提案した。また、国連開発計画（UNDP）と世界銀行が提案した共同事業は、新たな組織を設立しなくても同じ目的を達成できるかもしれない。

「防災には広大な社会的側面がある。貧困との戦いという、より大規模な戦いの一環としてしか人々を守ることはできない。」

しかし、貧困や非識字、汚職によって災害への備えが妨げられている地域では、どんな国際協調活動をもってしても、ほとんど成果は得られないだろう。たとえば建造物の耐震設計を義務づける建築規則ができて、その遵守が地域住民の手にはまったく負えないような地域も、世界には数多く存在している。テヘランからニューオーリンズにいたるまで、防災には広大な社会的側面がある。貧困との戦いという、より大規模な戦いの一環としてしか人々を守ることはできない。

そうはいうものの、災害のリスク管理は、最高レベルの科学知識を政策決定担当者に伝える国際的な仕組みによって改善できる。そして国際的に物事を考えることが極めて重要であると同時に、人間の生命を守るうえで最終的に必要なのは、地域レベルでの備えなのである。

The chaos to come

自然災害が引き起こす大混乱

Nature Vol.438(903-906)/15 December 2005



この1年あまり、世界各地で自然災害が猛威をふるった。そして、その規模はこれからも拡大し続けると一部で予想されている。今後、大災害による被害増大が予測される世界の諸地域について、Quirin Schiermeier が検討した。

数字をみるかぎり、洪水、地震、津波、火山、サイクロン（インド洋や南太平洋に発生する熱帯性低気圧）による死者の数は決して多くはない。年平均で8万人ほどである。最近の一連の大災害でさえ、人類が被った惨害の歴史の中では意外にも小規模な部類に入る。この1年間に起きた自然災害による死者は、インド洋大津波とカシミール地震を含めて40万人を超え、1970年以降で最悪の数字となった。だが、同じ過去1年間の交通事故による死者数は、全世界でその3倍を超えると推定されている。予防可能な小児病による死者数にいたっては、その20倍以上にものぼる。

しかし、平均値にこだわると話のポイントがみえなくなってしまう。大災

害というのは平均的な事象ではなく、大いなる例外なのだ。交通事故を目撃する人は多いが、自然災害を目撃した人は少ない。大災害とは日常との断絶であり、都市や国家、時には国を超えた地域全体を永久的に変えてしまうこともある。思考パターンすら変えてしまいかねない。1755年のリスボン地震（ポルトガル）とそれに伴う津波が街を襲ったとき、被災地の教会では万聖節を祝っている最中だった。そのため、数百万の人々の信仰が揺らぎ、その世紀の思想は大きく変わり、元に戻ることはなかった。

自然災害はまれにしか発生しない例外的なものであるため、備えをするのが非常にむずかしい。1世代が1度経

験するかどうか、場合によっては1000年に1回も起こらないため、簡単に見逃されてしまう。一部の自然災害については専門家が予測可能なものもあるが、その予測と評価も、人口増加と開発の圧力の前にほとんど意味をなさず、危険にさらされる人々の数が増えている。特に災害に弱いとされる沿岸地域での人口が増加しており、これまでにない規模での災害の危険が生じている。このため、人類の歴史上最も進んだ技術の恩恵を受けたはずの20世紀に、自然災害による死者数が史上最大（350万人）を記録するというパラドックスが生まれてしまった。今世紀は、さらにそれを上回る死者数になるという、背筋の凍るような事態を迎えるかもしれない。

ALFRED / SIPA / NEWS.COM



粉々になった浜辺の村（スリランカのムバランゴダ）：インド洋大津波（2004年12月）による破壊は、ほとんど予想されていなかった。

津波

過去 — 1755年、リスボン地震（ポルトガル）とその後の津波で、6万人以上が命を落とした（描画）。2004年12月のインド洋大津波では、約30万人が死亡、または行方不明となっている。津波は、地震、海底地すべり、小惑星衝突などの種かく乱が引き金となって起きることがある。

将来 — スマトラ島や中国、ペルー、地中海東部の沿岸部が最も危険性の高い地区とされる。多くの命を救うために、早期警報システム、啓蒙教育、土地利用の規制などの方法が有効である。



自然災害の予測の背後にある科学には、不確かさがつきまとう。それでも、現在最高の地質学や気象学の知識、そしてさまざまな地域の住民が受けるだろう自然災害の可能性を算定するモデル（コラム「自然災害に備えた保険」参照）を使って、専門家は将来の厳しい状況を定量化する作業を始めている。ブリストル大学（英国）で火山学を研究する Steve Sparks は、ドイツの再保険会社 Munich Re による最新傾向の分析結果を検討した。「今後、世界では年間3～5件の大規模自然災害が起こり、それぞれ5万人を超える死者が出るだろう」と彼はいう。

自然災害の発生メカニズムは、以前からわかっていた。火山の噴火や地震、サイクロン、洪水の根底にある基本的な要因、そして発生リスクの地理的分布についても説明が進んでいる。しかし、今後の災害がいつ、どこで起こる

のか、どのような予想外の被害がありうるのか、そして、政策当局者や一般市民が自然災害の問題やその不確実性と真剣に向き合うにはどうすればよいのか、この3点は未解決のまま。

一般市民の備えが科学的知識に歩調を合わせるということは、まずほとんではない。「科学の知識が、政策当局者、政策立案担当者や住民に伝わっていない」と Sparks はいう。彼は最近、英国学士院（ロンドン）で自然災害に関する会議を開催した。米国の気象学者は、ハリケーンによる最悪のシナリオとして、暴風雨によってニューオーリンズの低地を取り囲む防護堤防が破壊されることもありうるかと何度も警告していた。それがまさに、2005年8月29日のハリケーン「カトリーナ」で現実化した。死者は1300人にのぼり、米国内での自然災害による死者数としては、1928年のハリケーン「オケチョビー」以来最大となっ

自然災害に備えた保険

自然災害が保険業界に及ぼす影響と自然災害による死者数との間には、あまり相関関係はみられない。2005年の2つのハリケーン（「カトリーナ」と「ウィルマ」）の発生は、保険会社にとって400億ドル（約4兆6000億円）という記録的な支出となった。一方、ほとんど死者の出ないヨーロッパの大雪でも、支出が数十億ドルにものぼることがある。

このような支出に備えるため、リスクのモデル化が保険会社にとって極めて重要になっている。リスクモデルを基に、会社の「リスク負担能力」に合わせた保険料が設定され、再保険額や必要な増資額が判断される。

1995年、再保険会社の最大手であるロイズ・オブ・ロンドンは、66の引受けシンジケートに対し、歴史上の事例から仮定される大災害による損害額を見積もるよう求め始めた。そのシナリオには、カリフォルニア州、米国中西部と日本での大地震、フロリダ州やヨーロッパでの暴風雨が含まれて

いる。そうして作られた「現実的な自然災害シナリオ」は、ロイズ社が、大損害に対する保険市場の脆弱さを評価するうえで役立っている。

1970年代と80年代には大規模な自然災害がほとんどなく、保険業界は十分な蓄えをしないままに1992年のハリケーン「アンドリュー」と1994年のノースリッジ地震（ロサンゼルス）を迎えた。この2つの災害で、保険会社は300億ドル（約3兆5000億円）の支出となり、少なくとも9社が破綻した。また、1995年の阪神・淡路大震災や2001年に米国で起きたテロ攻撃などの危機による影響も生じている。この10年間で、再保険料は40倍にも跳ね上がった。

こうした事態に保険会社が対応できるように、リスク管理の専門家が自然災害のモデルを作成した。特定規模の事象の頻度を算定し（表参照）、特定のポートフォリオをもつ保険会社が損失額を推定できるようになっている。

このモデルは、通常3つのモジュールによって構成されている。高解像度危険性モジュールでは、史的記録、風速マップ、地震データなどの情報源に基づき、特定地域で生じる物理的影響の予測ができる。次に脆弱性モジュールでは、地域の建造物やインフラに生じる影響を災害の規模、期間の段階ごとに予測する。最後に、財務モジュールがある。保険会社のポートフォリオと被保険者の

の所在地を考慮に入れて、こうした災害が起きた場合に会社が被る損害額が算定される。

それぞれのモデルの対応度には大きな幅がある。米国内でのハリケーンや地震による損害額は、だいたいうまく算定されるだろう。だが、過去の大災害に関する情報が乏しい地域（オーストラリアやモロッコなど、その他多くの地域を含む）では、リスクモデルの作成には困難と不確実性を伴う。

また、隕石の衝突や大西洋での巨大津波といった最も破壊的なシナリオの一部に対しては、モデルがまったく役に立たない。Zurich Financial Services社の大災害危険部門の責任者であるIwan Stalderは、次のように語っている。「保険業界が本当に心配しているのは、一部の最悪事態に使えるモデルがないことである。しかし私たちは、引受けのための定量化ができないリスクがあるという現実を認めなければならない」。

Quirin Schiermeier

発生頻度	規模（死者数で表示）		
	地震	洪水	火山
100年に1回	472,000人	98,000人	34,000人
500年に1回	1,052,000人	520,000人	74,000人
1000年に1回	1,446,000人	1,061,000人	97,000人

データ提供：Risk Management Solutions社

た。2005年10月にカシミール地方を襲った地震のような、ヒマラヤ前縁沿い地域での大地震の可能性についても、地質学者は長い間警告していた。2004年12月には、インドネシア沖のスマトラ海溝で大津波が発生した。

インド洋大津波の甚大さは、予想外の被害を示すものとしてまさに適例だった。同地域での地震の危険性は知られていたが、その結果生じる津波が十数か国に影響を与えることになるとはまったく予想されていなかった。津波が比較的頻

繁に生じ、啓蒙プロジェクトや早期警報システムが存在するハワイや日本の場合と異なり、東南アジアやインド、東アフリカの多くの人々は津波の話聞いたこともなかった。死者は、赤道付近の「空白地帯」で特に多かった。この地域で熱帯性サイクロンが発生することは減多になく、地域住民は何世紀にもわたって沿岸部で平和に暮らしてきたのだ。

同じような規模の津波が起きる可能性は500年に1回に過ぎない、とリスク管理の専門家は予測している。それ

でもインド洋沿岸諸国は、ハワイの太平洋津波警報センターに似た早期警報システムを設置するために資金を出し合い、2005年11月、そのための最初のブイのセットが設置された。この技術は、次の大津波が襲来する前に海底で錆びつく運命にあるだろうという批判もある¹。だが、そうした批判は的外れだ。保険に加入しても、多くの場合、実際に保険金を手にすることはない。だからといって、保険に加入するのは愚かな行為だとはいえない。

歴史の教訓

過去の出来事を参考にして将来に備えるとしても、それで十分とはいえない。Hemant Shah は、保険業界向けにリスクモデルを構築する、Risk Management Solutions 社（RMS；カリフォルニア州ニューアーク）の社長だ。彼は、ラムズフェルド米国国防長官の言葉を引用してこういう。「業界にとっての本当の課題とは、予想外の未解決問題について考えることだ」。このような方針で考えを進めていけば、インド洋での津波のリスクをよりよく理解できていたかもしれない。とはいえ、過去の出来事の分析は少なくとも将来のシナリオを描くうえでのデータ

火山

過去— 過去 200 年間に十数件を超える火山災害があり、死者は 500 人以上となっている。1902 年のカリブ海に浮かぶマルチニーク島プレー火山の噴火はその 1 つ（写真）。被災地は、インドネシア、コロンビア、メキシコ、グアテマラ、マルチニーク、パプアニューギニア、カメルーン、コンゴなど、ほとんどが開発途上国である。

将来— 1815 年のタンボラ火山（インドネシア）の噴火が今日起きていれば、1 万 5000 人が命を落としていたかもしれない。長年鳴りを潜めていて、いつ噴火してもおかしくない火山について、火山学者がタイムリーな警報の開発を試みているが、その作業は難航している。



を提供してくれる。専門家は、たとえばリスボン大地震が再び起きたときの被害状況を予測することができる。

地質調査総合センター（茨城県）の遠田晋次と米国地質調査所（カリフォルニア州メンロパーク）の Ross Stein をリーダーとする研究チームは、過去の地震データを使って、東京での地震危険度を再評価する作業を行っている。彼らは日本政府に提出した報告書の中で、安政江戸地震とよばれる 1855 年に死者 7,000 人を記録したマグニチュード 7.3 の地震が再び起これば、都心部は破壊され、世界の金融市場に大きな影響が出るという結論を示した。しかし問題なのは、1855 年地震について十分な知識があり、同クラスの地震が次にいつ起こるのかを予測し、そのリスクを定量化できる者がいないことだ。「不確実性があまりにも大きい」と Stein はいう。

東京が特に地震に弱いのは、3 つのプレートが東京付近の地下で重なっているという地質的特徴による。そして、このことが世界の金融システムにとって、常に心配の種となっている。一方で、死傷者数という点から、地震学者は別の地域を心配している。20 世紀最悪の、そして史上最悪とさえいえるかもしれないのが、1976 年の唐山地震（中国）だった。その死者数は 50 万人以上と推定されている。アジアの地震帯上にあって成長を続ける都市部には、不安定な建造物が多く、近い将来、死者 100 万人クラスの地震が発生する可能性があるという一部の地震学者は考えている。Sparks は、イスタンブール（トルコ）、テヘラン（イラン）とスマトラ島のパダン（インドネシア）を地震発生危険地帯に挙げる。なかでも人口 1200 万人を擁し、RMS のある専門家が、「人類の歴史上、最も危なっかしい建造物が立ち並ぶ」都市だと形容するテヘランが、特に懸念されている。東京で起きる地震が極めて大きな金融上の影響を生じさせる可能性があるのに対し、テヘランでの地震では甚大な地政学的影響が出ると予想されている。

ハリケーン

過去— 1780 年の巨大ハリケーンによって、マルチニーク島とセントユースタティウス島、バルバドスで合わせて 2 万 2000 人が死亡した。また、1900 年には名称不明の暴風雨によってテキサス州のガルベストーン島が全滅し（写真）、かわってヒューストンが同州の主要港として確立された。

将来— 2005 年 8 月の「カトリナ」よりも被害が大きくなる可能性のある、いくつかのシナリオを専門家は指摘する。その 1 つは、カテゴリー 5 のハリケーンが米国東海岸を北上して、ニューヨークのマンハッタンに上陸するというシナリオだ。インド東部とバングラデシュの低地では、洪水や暴風雨による高潮によって大量の死者が出る恐れがある。沿岸地域での人口増加が脆弱さを増大させている。



火の海

火山噴火についても、過去よりもこれから起きる場合の被害のほうが確実に大きいと考えられている。これは単純に、溶岩流に巻き込まれる可能性のある地域に住む人の数が昔よりも増えたという理由からである。地震と比べて、火山噴火の場合はある程度の警報が発せられる可能性が高いが、その信頼性はまだ高くない。イタリアのベスビオ山のふもとにあるナポリのような都市が危険であることは間違いなが、他の



ALFRED / SIPA / NEWS.COM

2005年10月のパキスタン地震で破壊されたムザファラバードの町。マグニチュード7.6の大地震で死者は7万人を超えた。

地域でも状況によっては多数の死者が出る可能性がある。RMSの主席研究員 Robert Muir-Wood は、即時避難対象区域のすぐ外側にあって人々の避難先となるはずの大都市にまで溶岩が流れ込めば、大惨劇になりうると指摘する。

さらに心配なのは、過去の大規模な火山噴火の実態を知る者がいないことだ。20世紀で死者が最も多かった1902年のマルチニーク島（カリブ海）での火山噴火は、19世紀の巨大噴火と比べれば相当に規模の小さいものだった。1883年のクラカトア火山（インドネシア）の噴火はクラカトア島を破壊し、その火山灰が何年にもわたって世界中に漂った。同じインドネシアで1815年に起きたタンボラ火山の噴火も、地球規模で気候に影響を与えた。だがクラカトア火山の大噴火でさえ、サントリーニ火山（エーゲ海）の噴火と比べると、規模の一桁小さいものだった。

のだ。この噴火は紀元前1400年頃に起こり、地中海東部にあったミノア文明を壊滅させた。

火山噴火に比べると、ハリケーンはまだ扱いやすい。規模や破壊力に限りがあり、季節性もからだ。ハリケーンの進路は、ある程度正確に予想できる。おまけに、頻繁に襲来するので、警報や情報を正しく発していれば、人々が真剣に考えるようになる。米国では、国立ハリケーンセンター（フロリダ州マイアミ）が、沿岸地域が大西洋ハリケーンの脅威にさらされる場合にハリケーン警報を発する責任を負っている。現在では、ハリケーンの進路予想図をインターネットとテレビ放送を通じて発表している。その精度は、過去30年間に50%も高まった。

ほとんどの沿岸住民は、ハリケーンが自分の住む地域を通過する恐れがあるときにだけ注意を払う。そのため、

ハリケーン情報は適切な地域に向けて、適切なタイミングで、適切な方法で流される必要がある。「番組の視聴者の99%にとって、気象状況の説明は無意味なもの。私たちとしては、気象状況をインパクトあるものに変えて伝える必要がある。たとえば、『屋根が吹き飛ぶ恐れがあるので避難してください』という具合に、とにかく具体的に語りかけるよう心がけている」と、視聴者の多いアメリカ天気予報チャンネル(US Weather Channel)のキャスターで、ハリケーンの専門家でもある Steve Lyons は話す。

メディア情報だけではない。人々に自然界からの警報（たとえば大地の揺れや潮の引き）に気づく方法を教えることで、あらゆる種類の自然災害から人命を救うことができる。このほかにも比較的単純な対策としては、避難路や避難方法の計画を立てること、洪水、

暴風雨、地滑り、なだれの恐れのある地域の土地利用を見直すなどが考えられる。1990年代の自然災害コストに関して世界銀行が発表した2004年の報告によれば、リスクの低減と準備に400億ドル(約4兆6000億円)の投資をしていれば、1990年代の10年間における自然災害関連支出費は、実際にかかった5350億ドル(約61兆5000億円)から2550億ドル(約29兆3000億円)に、つまり約半分にカットできたとされる。また、過去40年間に中国では、治水対策に31億5000万ドル(約3620億円)が投入されたことで、120億ドル(約1兆4000億円)の損害が回避されたと推定されている。

このような緩和戦略は、洪水による死者数を劇的に減らす効果があったとMuir-Woodはいう。たとえば中国では、20世紀を通じて洪水による死傷者が減り続けた。その一因となったのが、防護システムへの投資と避難計画だっ

地震

過去—1906年のサンフランシスコ地震による壊滅的な被害(写真)が有名だが、史上最悪の地震は中国で発生している。1976年の唐山地震では、少なくとも50万人が死亡した。

将来—専門家は、史上初の死傷者100万人規模の地震が起こる可能性のある地域として、中国、ヒマラヤ前縁、テヘラン市を挙げる。東京やカリフォルニア、ミシシッピ渓谷で地震が起これば、経済的損失の規模は過去最大となる可能性が高い。しかし建築基準や緊急避難計画を改善することで、死者数を大きく減らすことが可能である。



たのだ。1930年代と40年代、中国国内での洪水による死者は440万人だったが、50～60年代になると死者数は200万に減り、70～80年代には1万4000人となった。

それでもインド洋大津波とハリケーン「カトリーナ」によって、被害の予防策を取らなかった社会全体の怠慢がクローズアップされた、とMaxx Dilleyは語る。彼は、国連開発計画(UNDP; ジュネーブ)の災害防止部門に所属する地理学者だ。国際機関から各地の政策決定機関にいたるまで、災害担当者は自然災害が惨劇を生む過程を知る必要があると考えている。「多くの事例で機は熟した。今は、被災後の緊急対策ではなく、リスク判定と管理重視が世界的な流れになっている」とDilleyは話す。

最近、UNDP、赤十字社、国際防災戦略を含むいくつかの組織が、リスク管理戦略の改善について概説した報告書を発表した²⁻⁴。報告書では、より多くの資源を自然災害に対する備えに投入すべきだと強調され、たとえば地震多発地域における都市開発を制限することなどが盛り込まれている。こうしたすべての活動は科学に基づいて行うべきだ、とDilleyはいう。ただし、「各分野の研究者が独自の活動だけを行っているのは、適切な情報は得られない。必要なのは、専門性の高い科学論文ではなく、政策立案者にとってわかりやすい一般的な共通認識だ」とも話す。

この問題に取り組むため、英国政府の主任科学顧問、David Kingをリーダーとする専門家グループが、自然災害の評価に関する国際科学パネル(International Science Panel for Natural Hazard Assessment)の設立を提案した。このパネルでは、膨大な科学データを整理し、最新の知見に関して一般市民にわかりやすい概説文書を作成するなど、気候変動に関する政府間パネルのような機能を果たす。また、UNDPと世界銀行は、コロンビア大学地球研究所(米国ニューヨーク)と共

洪水

過去—20世紀最大の10例の洪水のうち、7つが中国で起こった。なかでも1931年(写真)、39年、59年の三大洪水で溺死、餓死、病死した人は600万人を超えた。

将来—中国は議論的となった三峡ダム建設を進めており、現在のところ2009年に完成する予定となっている。その建設目的の1つは、洪水のリスク低減である。中米、バングラデシュ、台湾などの地域には豪雨のリスクがある。ダムやその他の防壁、そして河道の再自然化によって、災害の被害を食い止める可能性がある。オランダをはじめとする低地の国々は上の写真にあるような洪水に慣れているが、洪水のリスクは気候変動によってさらに高まる可能性がある。



同で、高いリスクを判定し、政府や地元の政策立案者に対して、そのようなリスクを認識できるようなデータを提供するプロジェクトを推進している。

最後にSparksはこう話した。「この種の情報が10年前にあれば、東南アジア諸国の政府は津波の襲来に備えることができていただろう」。

Quirin SchiermeierはNatureのドイツ特派員。

1. Alversen, K. *Nature* **434**, 19-20 (2005).
2. *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development* (United Nations Development Programme, 2004).
3. *World Disasters Report 2005* (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2005).
4. *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives* (International Strategy for Disaster Reduction, 2004).

The vanishing coast

消えゆく湿地

Nature Vol.438(908-909)/15 December 2005

2005年8月に米国を襲った巨大ハリケーン「カトリーナ」は、ルイジアナ州の湿地にも打撃を与えた。専門家たちはその被害の大きさを見積もろうとしている。何を救うことができ、何は救えないのか。Emma Marris がルイジアナ州の沿岸地域を訪ねた。

E. MARRIS

ボートが泥につかえて動けなくなった。それなのにルイジアナ州のリトルバーミリオン湾を訪れていた研究者たちは、そのことをとても喜んでいて。ルイジアナ州では、沿岸の陸地が急速に消えつつある。だから、研究者たちは見つかる陸地はすべてどんなに小さくても大切する。そういうわけで、科学者たちを乗せたボートがチョコレート色の泥の中で動けなくなっても、彼らは進むのに苦労しながらもはしゃいでいたのだ。ルイジアナ州自然資源局で沿岸資源を専門とする科学者 Richard Raynie は、「前は、難なくここをボートで通過できたのに」と、その変化をうれしそうに話す。

ルイジアナ州の沿岸地域は三角州群でできたレース編みのような平地で、海産物と石油、アリゲーター、ハリケーンで有名なところだ。だが、その沿岸地域が崩壊しつつある。このはじめ

とした氾濫原（河川が運んだ小石や砂がたい積してできた平野）を人の住める土地に変えるための土木工事が何世代にもわたって行われた結果、湿地を維持してきた自然のプロセスが崩れてしまったのだ。

かつては、このミシシッピデルタ地帯に堆積物が堆積した。だが、堤防と洪水防壁が建設された今では、河川の水は氾濫せずにメキシコ湾に直接流れ込むようになっている。一方、運河によって沿岸の湿地に海水が入り込み、塩化と浸食がもたらされている。

2005年8月、ルイジアナ州の両端を襲ったハリケーン「カトリーナ」と「リタ」はこの湿地の明るさを見せつけた。湿地は生き物の生息地であり、不動産であり、ハンティングの場であり、漁業の場であり、海産物を得るところであり、石油を産出する場所として使われてきた。そうした役割のいっただれを優先

させるのが、今回のハリケーン襲来であらわになった問題だ。一時的に高まった湿地に対する米国民の関心も薄れていくなか、海を外側に押し戻そうと長い間努力してきた科学者たちは今、あらゆる問題の一举解決を求められている。すべてを救うことはできるのか。何を最初に救うべきか。何が最も効果的な方法か。費用はだれが出すのか。

ルイジアナ州にとって、湿地の資源はそこに設備されたインフラとともにとても貴重なものであり、州政府は湿地が海に消えてしまわないよう長く努力してきた。しかし1990年代、ルイジアナ州の沿岸地域では毎年60平方キロを超える湿地が失われていった。30分ごとにフットボール場1つ分の広さが消える計算になる。米地質調査所が見積もった速報値によると、「カトリーナ」と「リタ」によってさらに260平方キロの湿地が押し流されてしまったという。

分水路

これまで工学者たちは、陸地の保護に努める一連のプロジェクトに取り組んできた。その1つに、ニューオーリンズの南25キロに作られたカーナーボン分水路がある。ここでは、河川の水を堤防を越えて湿地に注ぎ込ませている。

分水路は、かつてこの地域に堆積物と真水をもたらしていた河川の氾濫の代わりをするものとして作られた。しかし、自然界がもたらす氾濫ほどの力はない。分水路を流れる水量は最大流量で毎秒230立方メートルとされるが、実際はそれよりもかなり少ないことが多い。カトリーナが襲来してからは、電力不足などの問題のためにまったく水が流れていない状況だ。見積もりによると、理想的な条件下でさえ、分水路で救える陸地は50年間でわずか65平方キロだという。

だとしても、カーナーボン分水路のおかげで、この地域に淡水の湿地が回復しているという兆しはある。研究者たちを乗せたプロペラボートが水面を滑るように動くと、数十匹のアリゲーターが動き出す。アリゲーターウィードやセスパニアの仲間などの淡水に生育する植物も繁っている。鳥たちの中には、ベニヘラサギも混じっている。

しかし、カトリーナがこの地域のあらゆるところを壊滅させて以来、開水域と湿地も、その場所が互に入れ替わってしまった。湿地が押し流された一方で、風が何エーカーもの湿地をすくい上げ、それが湿地ボールとよばれる小さな固まりになって開水域に投げつけられたのだ。研究者たちは、この湿地ボールのどれだけが開水域に根づき（根づくものがあるとして）、新しい湿地を作り出すかについて議論している。

カーナーボン分水路は、ルイジアナ州選出上院議員のJohn Breauxが沿岸回復のための予算を得た1年後の1991年に完成した。現在は合衆国と州の信託基金によって、この種のプロジェクトの資金がまかなわれている。しかし、そうしたプロジェクトで回復されるのは、失われた湿地のごく一部だけだ。



湿地にはまって：ルイジアナ州自然資源局の科学者たちはリトルバーミリオン湾を調査した。

そして、Breauxが獲得した予算は確かに一連の回復プロジェクトに資金を提供するものだったが、包括的なビジョンに欠けていた。ルイジアナ州自然資源局沿岸回復管理部部長のGerald Duszynskiは「全体計画がないことに人々が疑問を感じ始めている」と話す。結果として、さまざまな目標を盛り込んだ、多数の行政機関がかかわる「沿岸2050」とよばれる計画が作られた。たとえば、ここの海岸線を守り、あそこには三角州を作り、ミシシッピ川のいたるところで分水を行う、というように。

当然のことだが、合衆国政府は140億ドル（約1兆6000億円）という必要予算にしり込みした。そして、19億ドル（約2200億円）の短期計画が作成された。しかし、米国学術研究会議(NRC)が2005年11月に発表した評価では、短期計画に盛り込まれたプロジェクト群は、沿岸の問題解決に不可欠な「一貫したアプローチ」にはなりえないとされた。

一方でプロジェクトの一部は歩みをみせている。テキサス州との州境に近いリトルバーミリオン湾では、90万ドル（約1億1000万円）の予算計画により、「テラス」とよばれる23個の細長い島が沿岸の浸食を遅らせる目的で築かれた。そしてここ数年の間に、典型的な湿地植物群がこの島に根づいた。それはちょうどよいタイミングで、なんとか間に合ったといえるかもしれない。この地

域はハリケーン「リタ」に襲われたが、テラスが植生に厚く覆われていたため、浸食が最小限ですんだのだ。

2005年11月の暑い日、ルイジアナ州自然資源局の科学者David CastellanosとDona Weifenbachは、この島を苦労して横断し、1メートルごとにあらゆる植物を記録した。「イトスゲ、オモダカ、ヨシ、ソラマメ、アリゲーターウィード！」とCastellanosが大声で植物の名前をよび上げる。その横でWeifenbachが、「根を下ろす可能性のある植物すべてを大切にしている」と語った。

また、テラスはさまざまな面で役立つ。「テラスで海岸線を保護したおかげで、実は新たな陸地ができています」とCastellanosは話す。テラスが堆積物をつかまえて、新たな陸地を作るのだ。1999年から2003年の間に、幅50センチ足らずの土地が新たにできた。Raynieたちがリトルバーミリオン湾で浅瀬を見つけたように、今ではそこにボートを引き上げておくことができるほどだ。

異なるアプローチ

ルイジアナ州が陸地を守るために努力すべきだということに、反対する人はほとんどいない。ハンターや漁師も環境問題の専門家と同じくらい、湿地の価値を重要視している。しかし、ではどういった戦略で守っていくかという点になると意見が一致しない。単純にいつ

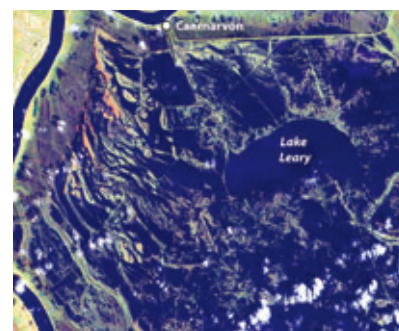
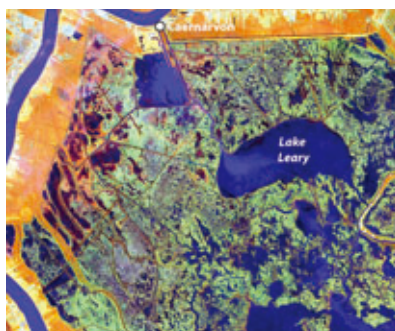
てしまえば、エンジニアは堤防や石垣のような堅固な（ハードな）構造物を好み、生物学者はカーナボン分水路のような真水の分水を好み、地質学者はテラスのようなソフトな土木工事を好む。

それぞれの方法にそれなりの欠点がある。ニューオーリンズ大学の地質学者 Shea Penland は「真水の分水路が実際に効果を上げるまでには数十年かかる」と指摘する。ルイジアナ州立大学（同州バトンルージュ）のシステム生態学者 Robert Twilley は、分水路が効果を上げるまでに時間がかかることは認めるが、分水路は安い維持費で湿地を改善することができるため、実施する価値があると主張する。そして、費用のかかる土木工事は、「（問題を悪化させないよう）短期間に効果を上げたい場合の選択肢」だという。

問題の1つは、どこから土を確保するかだ。「土を配置し直すというだけでは無理だ。どこからか新しい土をもってくる必要がある」と Twilley は話す。一部の専門家は、海底から堆積物を掘削してそれを沿岸に加えたいと考えている。特に、多数の沿岸回復の専門家が、20 キロ沖合いにある「シップショール」（「船にとって危険な浅瀬」の意味）とよばれる巨大な砂脈に目をつけている。

ニューオーリンズ大学の Mark Kulp もそのひとりだ。彼は水上飛行機でニューオーリンズの南のブラクマインズ郡上空を飛んだ。南へ行くと細長い陸地はさらに狭くなり、破壊の程度はひどくなっていった。カトリーナの襲来から10週間後の時点で、海のはしげが堤防の上で横倒しになったままだった。家々は板の上に積み上げた木材のかたまりようになっていて、地面は割れたガラス片できらきら光っていたという。

Kulp は、自分の考え通りに対策が進めば、今回のような悲劇が再び起こることはないと考えている。ブラクマインズ郡の低地にあった集落は、もっと海拔の高い土地へ移されるだろう。「損失の少ないうちに手を引こうとすることが必要だ」と Kulp は話す。彼は、資金と



ハリケーン前（左側）と後（右側）：ハリケーン「カトリーナ」によって最も大きな打撃を受けた地域の1つが、ルイジアナ州ブルトンサウンドだ。衛星写真から、ここで湿地が失われたようすがわかる。

労力を使って救済すべき土地はどれか、優先順位をつけるべきだと考えていて、この考えを「管理下避難」とよんでいる。米国学術研究会議の研究では、ハリケーンの被害を受けやすい地域を立ち去らなければならない人々が出てくるかもしれないとされた。Kulp は、2005 年のハリケーンで多くの人が強制的な立ち退きを余儀なくされた今こそ、人々を移動させるのに好都合だという。

湿地はハリケーンで急に有名になったが、これがルイジアナ州沿岸の回復を目指す者たちにとってプラスに作用するかはまだわからない。2005 年6月、ルイジアナ州の政治家たちは Breau 法によって設立された信託基金に加えて、4年にわたり年間9000万ドル（約110億円）近くが給付される沿岸回復のための資金を獲得した。また、議員らは2006年度予算の初期案で沿岸回復のために14億ドル（約1600億円）を計上した。

沿岸回復に向けて

カトリーナ被害を受けて、州議会はハリケーン対策と沿岸回復を1つの機関に統合し、場合によっては1つの信託基金のもとで行う決議を採択した。Duszynski はこのことで神経質になっている。「堤防を作るべきだという圧力が大きくなって、沿岸の回復が取り残される事態を懸念している」と彼は話す。一方、予想外に得られた堤防建設の予算が沿岸回復にも使われるという可能性もある。しかし、資金はすぐに必要だと彼はいう。「時間がたてばたつほど、

何を行うにせよ、（対策を講じるべきだという）圧力が減ってきてしまう。それが問題だ。そうなれば、私たちは沿岸回復のための資金を再び要請してまわらなければならないことになる。」

いずれにせよ、「沿岸回復」とはこうした科学者たちが目指すものにぴったりな言葉ではない。堤防と洪水防壁の建設を望む科学者はいない。また、ルイジアナ州の沿岸が将来どのようにあるべきか、意見の一致をみた未来像はない。ルイジアナ州自然資源局の Chuck Villarrubia は「沿岸地域は回復させることもできるし、修復することもできるし、保護することもできる。本当に何がしたいのかといえば、生息地を持続可能な道筋にのせることだ」と話す。

Castellanos はまた違った表現でいう。「自然のシステムはすでに改変されてしまった。それを元に戻すことはできない。肝心なのは、土地を増やせば常に得るものがあるということだ。魚のエサや海岸線の保護、それに人々が美的価値を感じることもあるかもしれない」。科学者たちが湿地をアリゲーターの好きにさせておきたいと密かにに願う一方で、沿岸の回復を行う人たちが使っている岩、砂、真水、泥などを用いて、望みどおりに沿岸を作り変えたいと考える人たちもいる。沿岸の回復を考えるなら、まず、どのような沿岸地域を望むのかという基本計画が必要だ。このことだけははっきりしている。 ■

Emma Marris は *Nature* のワシントン特派員。

Roots of recovery

永続的な復活をめざして

Nature Vol.438(910-911)/15 December 2005

緑の盾：海岸線の防護を願ってバンダアチェ近郊でマングローブを植える。

2004年12月の大津波で失われた海岸の林を再生させたい。いずれ来る暴風雨への備えを考えればなおさらだ。しかし、それを成功させるには適切な配慮が必要だ、と Erika Check が報告する。

蒸し暑い曇り空の日だった。2005年11月、インドネシアのカジュという小さな村の海岸近くに250名の人々が集まった。地元当局者や外国の役人がスピーチをし、地元住民による伝統舞踊が披露された。それから参加者全員でスコップとバケツをもち、折れた木の根が散在する海岸沿いの平坦な砂利道を歩いていった。バケツにはマングローブとモクマオウの小さな苗が入っていて、村人たちが海辺に掘った浅い溝にそれらを植えた。

カジュ村はスマトラ島アチェ州にある。そこは2004年の大津波で甚大な被害があった地域だ。2004年12月26日の犠牲者約30万人のうち、13万人以上がアチェ州で亡くなっている。カジュの式典は、悲劇から立ち直ろうとする中でのささやかな希望の催しだった。今回の植林活動は、非営利団体、海外

からの寄付、それにインドネシア政府による「緑の海岸計画」の始まりとなるものだった。この種のプロジェクトは、大津波や人間の産業活動で破壊されたマングローブ林を再生させるために東南アジア一帯で広く行われている。

東南アジアの海岸線では、数十年にわたってマングローブが次々と姿を消している。その跡地に生まれるのは、大規模なエビの養殖場や観光リゾートだ。大津波で深刻な被害を受けた5か国では、1980～2000年に150万ヘクタールのマングローブが開発で失われた。これはこの地域のマングローブ林の26%に相当する¹。しかし、大津波が残した惨状を受け、各国政府は生態系を回復させることに目覚めた。環境学者や経済学者は、こうした地域の生態系こそが暴風雨被害に対する天然の防御策だと長年説き続けてきた。

ただ、マングローブを復活させることがむずかしいことはよく知られており、こうした植林プロジェクトにも難問がつきまとう。これまでの復活プロジェクトでは、不適切な種が不適切な場所に植えられていたと科学者たちはいう。また、マングローブ林近くの住民を無視したり疎外したり、逆に彼らをいたずらに利用したりするプロジェクトも多かった。ワイオミング大学（同州ララミー）の環境経済学者Ed Barbierは、「マングローブの管理や利用、保護にあたっては、地域社会の意見を尊重する必要がある」と話す。さもないと今後のプロジェクトも結局はこれまでの二の舞となり、永続的な成果が得られない。

景気の波

マングローブ活動プロジェクト（米国ワシントン州ポートアンジェルス）理事の

Alfredo Quarto は「マングローブ地帯はへんぴな場所にあり、ほとんどが公有地であるために、腐敗した役人の手が伸びてきやすい」ことが問題だと話す。貧しい漁民や農民が地権者であることはほとんどなく、エビ養殖場の建設を目的としたマングローブ伐採を止めさせることができない。「権力者はこうした地域に住んでおらず、金持ちにまるめ込まれてマングローブが破壊される事態に背を向けてしまう」と Quarto は語る。病気や汚染で養殖場が崩壊しても、裕福なオーナーは用済みとなった荒れ地を見かぎり、手つかずの海岸に新たに食指を伸ばすことができるのだ²。

エビ養殖場は一時的には雇用を生み出すが、そうした景気の波は村の役に立つどころか有害なものだ。魚やカニなどの生物は、孵化後しばらくの間、健全なマングローブの下で過ごし、海で成熟する。つまり、マングローブの減少は食糧と収入の源が断たれることにつながっていく。

マングローブの伐採は、大津波による影響も増幅させてしまった。大津波が去った後、マングローブの多い地域では被害が軽かったと話す村人がある。そして大津波の前後に撮影された衛星画像を解析してみると、確かにそうなのだ。2005 年 10 月、北欧開発環境機関（デンマーク、コペンハーゲン）は、マングローブや樹木の生育地域は大津波の被害を受けにくかったと発表した³。

報告では、最悪の災害が植生で防げるわけではないが、フィリピンを毎年襲う台風など、通常の暴風雨による被害を少なくする防衛的な役割は認められるとしている。M.S. スワミナサン研究財団（インド、チェンナイ）の Vaithilingam Selvam はこうした知見について、マングローブが天然の防壁になるという地元の考え方を支持するものだとして評価する。そして、「マングローブは保護する価値のあるものだということを、理解してもらうのに長い時間がかかった。でも、マングローブが生物学的な盾になると考えられるよ

うになった今、活動ははるかにやりやすい」と話す。

東南アジアでは、マングローブ復活への支持を約束する国が増えた。マレーシアでは、暴風雨と開発で失われたマングローブ 4000 ヘクタールの復元を目的とする 2500 万ドルの拠出が約束されている。インドネシアではマングローブのために 2200 万ドルが約束され、すでにバンダアチェ近郊で 30 万本の苗が植えられている。タイ政府は、マングローブの復活と海岸地域の再建に対する支援を表明している。インドでは、サイクロンの被害を受けたマングローブを復活させようという計画に、南部のケララ州政府が 800 万ドルの支援を約束した。国際的な寄付団体からも現金や苗が寄せられており、復活プロジェクトを調整する会議も複数立ち上げられた。

プロジェクトの行方

では、こうしたプロジェクトの成功の見通しはどのようなだろうか。2005 年初めてアチェの海岸に植えられた苗の多くはすでに枯死している。現地で活動している専門家は、植える時期が早すぎ、場所もよくなかったためだとしている。生態学者で地球環境センター（マレーシア、セランゴール）理事の Faizal Parish は「場所の選択が不適切なうえ、大津波で流されてきた瓦礫が残っていて、苗がだめになることがある」と話す。また、仕事を請け負う土木業者は、弱い苗木を守り続ける役目まで負っているわけではない。

原状回復はさらに時間のかかるむずかしい問題だ、とアジアでのマングローブ復活の経験が豊富な団体は語る。インドネシア国際湿地保全計画（WIIP；ジャワ島、ボゴール）では 1998 年からプロジェクトを推進している。WIIP は村のひとつひとつと交渉して取り決めを結び、再生のためのプロジェクトを調整している。住民は自分たちが採集してきた野生の苗を一定数植え、その見返りとして、WIIP はサポートス



参画：復活プロジェクトの成功には地元住民を巻き込むことが重要だ。

タッフを派遣したり、ニワトリやヤギの飼養事業などを始めるための資金を融資したりする。

5 年後、植えた苗の 70% が根づいていれば、村は受けた融資を返さずに済むが、30% 以上が枯れてしまうと一部を返済しなければならない。湿地生態学者で WIIP 技術担当理事の Nyoman Suryadiputra は、この方式だと、住民は植林にもその後の手入れにも熱が入り、枯死させずに済む可能性が大きくなるのだと語る。これまでのところ、こうした取り決めにしたがって、インドネシアの海岸 3.5 キロメートル、350 ヘクタールにおよぶ地域で村人による植林が行われている。

しかし、大津波を受けた地域の再建はさらにたいへんで、面積も広いと Suryadiputra は話す。WIIP は現在、カジユのプロジェクトを含むアチェ州の海岸に重点を置いた活動をいくつか進めている。と同時に、バンダアチェの南西 300 キロメートルにあるシメウルエ島でも活動を開始させた。こちらは大津波とその後の余震で打撃を受けた地域だ。

災害に見舞われる前、シメウルエ島には WIIP の推定で 1000 ヘクタールを超えるマングローブ林があった。しかし、大津波に加え、その後 3 月に起きた地震で島の一部が 1 ～ 2 メートル隆起し、マングローブとサンゴ礁は命の源である潮汐水から遮断されてしまった。また、島民も大きな被害を受け、植林どころの話ではなくなってしまっ



インド洋大津波の襲来を受けたタイのリゾート、カオラックビーチ。タイ政府はマングローブの復活と海岸地域の再建に対する支援を表明している。

た。Suryadiputra は「住民の多くが、いまだに傷を負っている」と語る。

そのため WIIP は、シメウルエ島民に対し、植林は生計を立てるための食糧など失ったものを少しでも回復させるために必要なのだ、と説明するところから活動を始めざるを得なかった。2005 年夏、スタッフである Eko Budi Priyanto はシメウルエ島ランギの村民に対し、海岸で採集したテリハボクの実から苗木 5000 本を育てようと説いてまわった。苗圃をつくることで村は結束し、全戸が参加した。現在、苗は高さ約 1 メートルにまで育ち、ちょうど植え付けが終わったところだと Suryadiputra は話す。Suryadiputra は、「これはほんとうにむずかしい仕事で、私たちの取り組みがうまくいくとはいいいきれない。初めからきちんと順を踏んでやりたいが、それは簡単なことではない」という。

復活するか

地域社会に根ざした活動を行うには、時間も労力もかかり、たいへんだ。それでも、地元の人たちを巻き込んだり

り方こそが意味をなすと経験者はいう。Selvam が活動するインドの 3 州では、1993 年以来 33 の村が林野当局と協働し、1500 ヘクタールのマングローブを復活させようとしている。Selvam によれば、これまでのところ苗木の 4 分の 3 は枯れずに育っており、ほかの方法の 2 倍の成果だという。木々によって大津波の威力が緩和されたとき、村の人々はこの仕事の価値を認識したといい、Selvam は新たに復活プロジェクトに取り組む村を探している。

問題は、復活への取り組みが大津波の発生から 1 年を過ぎてなお持続するかということだ。すでに、政府や開発業者の中には以前の道に後戻りする兆しもみられる。インドネシアでは、行政が環境保護地域の後ろ盾となっているにもかかわらず、大津波で破壊されたエビ養殖場が植林を無視して再建され始めている。新たな被害を受けた海岸沿いの用地を、新規のエビ養殖場建設用に政府が提供した例もインドネシアにはある、と Parish は語る。「以前と同じく強い圧力がかかっている」という。

多くの場合、地元住民はこうした新規開発を喜んでいないが、いかなせん政府当局への影響力が弱い。これは、大津波の被災地に限らず、どの貧しい地域社会も直面する問題だと東南アジア漁業開発センター（フィリピン、イロイロ）の海洋生物学者である Jurgenne Primavera は話す。「危険に直面するのは貧しい住民なのに、政府に対して地域に防護林を設けさせるための圧力をかけることができない」。その結果インドネシアでは、「ある緑地帯を海岸沿いに作るという合理的な計画があったが、予定通りに進んでいない」と Parish は指摘する。

今度カジュを襲う災害は津波ではないかもしれない。だがそこに健全なマングローブがなければ、おそらくその被害はさらに壊滅的なものになるだろう。■

Erika Check は *Nature* の生物医学部門担当特派員（ワシントン）。

1. Food and Agriculture Organization State of the World's Forests (FAO, Rome, 2003).
2. Naylor, R. L. et al. *Science* **282**, 883 (1998).
3. Danielsen, F. et al. *Science* **310**, 643 (2005).

首都直下地震は迫っているのか？



STEVE ALLEN / PICTUREARTS / NEWS.COM

昨年、震度 5 を上回る地震が相次いだ南関東地域。その地下は世界で最も複雑なプレート構造をなしており、地震の巣とよばれる。首都東京に壊滅的な被害をもたらす可能性のある直下地震について、北原逸美が取材した。

2002 年、ドイツにあるミュンヘン再保険会社は世界各都市の自然災害のリスクを数値化した。これは、地震や台風、火山噴火など自然災害の発生危険性に加えて、都市の脆弱性（住宅の構造特性、住宅密度、都市の安全対策水準）、経済上の影響規模の 3 つの指標から算出されたものである。それによると、世界第 1 位は 710 の東京・横浜、続いてサンフランシスコ 167、ロサンゼルス 100 の順であった¹。

つまり日本の首都圏には、自然災害のリスクが世界でも極めて高いとの評価が下されたのだ。それは、政治・行政・経済の中核機能を担い、ばく大な人口を抱える巨大都市の足元に「地震の巣」が横たわっていることに起因している。

地下では複雑なプレートのせめぎ合いが

南関東の地下では、陸地がのっている北米プレートの下に海底を作るフィリピン海プレートが南側から沈み込み、さらにその下へもう 1 つ東側から太平洋プレートが沈み込むという形で、3 枚のプレ

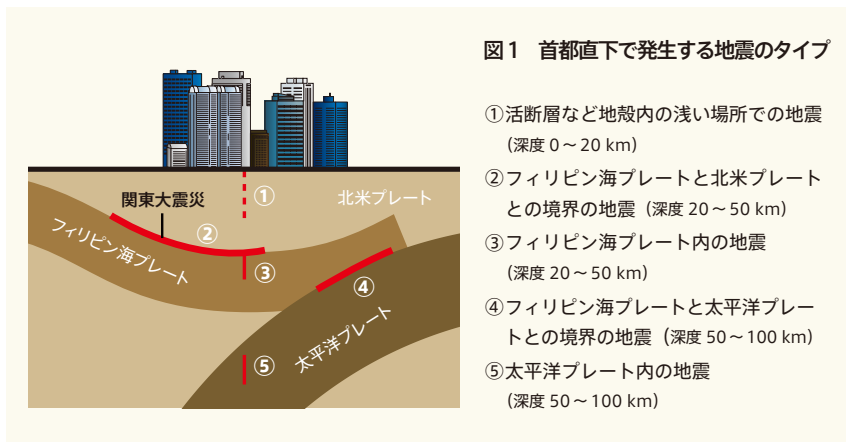
ートがサンドイッチのように重なり合っている。プレートは厚さ数十キロメートルに及ぶ岩盤からなり、毎年数センチの速さでそれぞれ決まった向きに動いている。

そこで発生する地震には、プレート内で発生するタイプと、プレートどうしが接する境界面で発生するタイプがある。前者はプレート内部に力が加わることによって、断層が破壊されて地震となる。後者は海側のプレートが陸側のプレートを引きずり込み、そのひずみが限界に達したときに陸側のプレートがはね上がって地震が引き起こされる。首都直下で起きる地震には、図 1 で示すように①～⑤の 5 種類が挙げられる。「地震活動が活発で、かつ地震の性質も複雑。首都直下は、地震大国日本の中でも特にやっかいな場所といえる」と、東京大学名誉教授で中央防災会議の首都直下地震対策専門調査会委員を務めた溝上恵博士は説明する。

これまで南関東は、1703 年の元禄関東地震（M7.9～8.2）や 1923 年の関東地震（関東大震災、M7.9）など、マグニチュード 8（M8）に達する巨大地震

に見舞われてきた。これらはフィリピン海プレート上面を震源とするプレート境界地震（図 1 の②）である。かつて、首都を襲う巨大地震はこのような M8 クラスの再来とされてきたが、最近では、近い将来に甚大な被害を及ぼすのは、M7 クラスの地震ではないかとの認識が高まってきた。

図 2 に示したように、南関東における地震活動の歴史的規則性をみていくと、上記の 2 巨大地震の間には 220 年の隔たりがある。よって、M8 クラスは 200～300 年の間隔で起きると予想され、10 万人の死者を出した関東大震災並みの地震の発生は、早くても 22 世紀に入ってからということになる。また図からは、M8 クラス発生前の 100 年ほどの間に M7 クラスが数回発生する傾向も読み取れる。関東地震の前では 1855 年の安政江戸地震（M6.9）、1894 年の明治東京地震（M7.0）などがそれに相当し、その時期を活動期とよぶ。関東地震以降は、1924 年の丹沢地震（M7.0）を最後に余震活動は衰え、



静穏期が訪れている。「次に首都を襲う大地震としては、M7 クラスをまず警戒すべきだ。M7 のエネルギーは、M8 に比べて 32 分の 1 と小さいが、安政江戸地震では 1 万人の犠牲者が出たと記録されている」と溝上博士は語る。

M7 クラスの地震はいつ起きてもおかしくない

2005 年 8 月、政府の地震調査委員会は、南関東で M7 クラスの地震が今後 10 年以内に発生する確率は 30%、30 年以内では 70% だとする長期評価を発表した。これは 1855 年以降に発生した M7 クラスの 5 つの地震の発生頻度から推定されたものだが、かなり高い確率だといえる。1995 年に起きた兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災、M7.3）の場合は、震源となった野島断層の地震発生確率は 0.02～8% と低い値だったにもかか

らず発生したのだ。もはや首都直下地震は、いつ起きてもおかしくない。

では、首都直下地震を事前に予知することはできるのだろうか。現在、日本で予知のための観測体制がとられているのは、東海地震（M8 クラスのプレート境界地震）だけである。本震の 1～2 日前に起きる可能性のあるプレスリップ現象（震源の一部がゆっくりとすべり始める現象）をひずみ計などで検知し、地震発生が予知できれば、警戒宣言が発令されるしくみになっている。「しかし M7 クラスの首都直下地震の場合は地殻変動量が小さく、事前予知は不可能。必ず不意打ちされるだろう」と溝上博士は警告する。

1924 年以降静穏期が続いていた南関東だが、1980 年 9 月の千葉県中部地震（M6.1）をきっかけにして、1992 年 2 月の東京湾南部浦賀水道地震

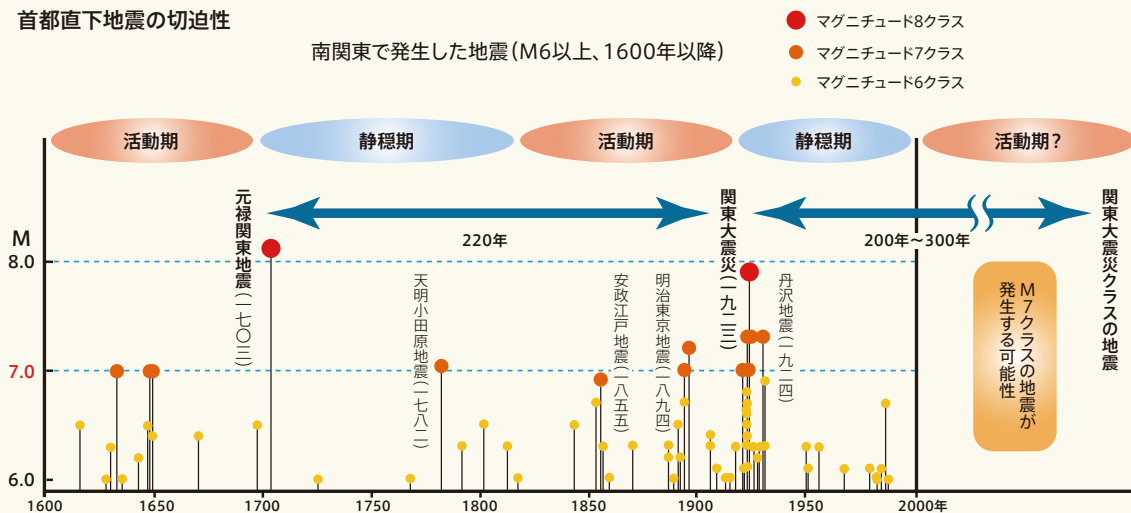
（M5.9）にかけての 11 年間に、M6 クラスの地震が続けて 7 回も起きた。その後しばらくおさまっていたものの、昨年（2005 年）7 月 23 日には再び千葉県北西部で M6.1 の地震が起き、東京足立区で震度 5 強が観測された。このことから、南関東ではすでに活動期に入ったと考える専門家が多い。

最悪のケースは M7.3 の東京湾北部地震

内閣府の中央防災会議は 2005 年 7 月、M7 クラスの首都直下地震を想定し、その被害予測を明らかにした。報告書では 18 パターンの地震が想定されているが、その中でも最大の被害をもたらすものは、東京湾北部の深度 30 キロ前後を震源とする M7.3 のケースとしている。これは、フィリピン海プレートと北米プレートの境界部で起きる地震である。

各地点での揺れの大きさを示した震度分布図（図 3）によると、阪神・淡路大震災と新潟県中越地震（2004 年、M6.8）で記録されたような震度 7 の場所はないものの、東京湾北部沿岸や地盤の弱い東京区部東部で震度 6 強、東京都東部、埼玉県南部、千葉県西部、神奈川県東部で震度 6 弱の強い揺れが予想されている。震度 6 弱では、人は立っていることが困難になり、6 強になると、立っていることができず、はわないと動くことができない状態となる。

図2 首都直下地震の切迫性



また、冬の午後6時ごろ風速15メートルの風が吹いている（関東大震災時と同じ風速）ときに地震が襲ったとすると、死者は1万1000人、建物の全壊20万棟・焼失65万棟、避難所生活者は最大460万人と推定。阪神淡路大震災の直接死者5502人、建物全壊・焼失棟数11万棟、避難所生活者30万人を大きく上回る。また、地震が平日の昼間に発生した場合は、650万人の帰宅困難者（徒歩による帰宅が困難な人）が出ることも予想。「東京があまりにも巨大で、同じM7.3の地震でも状況が悪いと、阪神・淡路大震災を大きく超える被害が予想されることがわかった」。そうコメントするのは、中央防災会議の首都直下地震対策専門調査会委員を務めた首都大学東京の中林一樹教授である。

さらに、直接間接の経済的被害は112兆円に達すると推定されている。これは年間国内総生産の約2割に当たり、M8クラスの東海地震の推定被害額37兆円、東南海・南海地震の57兆円を大幅に上回る。このように、地震の規模が小さいにもかかわらず被害額が大きくなるのは、政治・行政・経済の中核機能が東京に一極集中しているからにほかならない。東京には、国会、

各国大使館、中央省庁、都庁などの公的機関や、日本銀行、都市銀行、証券取引所、大手企業本社など経済の要が集まっている。「地震によってこれらの機能が麻痺すれば、その影響は首都圏だけでなく、全国に広がることは避けられない。世界経済へも大きな打撃を与えかねない」と中林教授は危惧する。

国民運動の展開が急務

2005年9月、中央防災会議は被害想定をもとに「首都直下地震対策大綱」を策定した。その中で、首都中枢機関は地震発生時に機能を継続できるようにするための事業継続計画（Business Continuity Plan; BCP）を策定するよう提案。具体的には、行政機関は建物の耐震化や非常用電源、食糧の備蓄などを進め、地震発生後3日間程度で機能を復旧させることを目標としている。金融機関は情報データセンターを二重化してリスクの分散化を図り、金融決済システムを1日以内に復旧させる必要があるとした。日本銀行では、世界からの信用不安を避けるため、情報データのバックアップセンターを大阪に設置し、地震で東京の機能がダウンしても2時間以内に大阪で取引を再開できるシステムをすでに構築している。

中林教授は「首都直下地震への対策は、質の問題と量の問題に分けて考える必要がある」と指摘する。質の問題とは、前述した首都特有の中核機能をいかに維持していくのかという、主に国が主導すべき対策に属するものだ。「この対応を誤れば、国家の存立にかかわる最悪の事態になりかねない」と中林教授。

量の問題とは人的被害や物的被害に関するもので、家具の固定や建物の耐震補強・不燃化、密集市街地における消火・救助活動のための街路空間の整備、食糧の備蓄など、基本的に個人とその集合である地域社会が行い、自治体が支援するものだ。「国民ひとりひとりの被害軽減の取り組みこそが、膨大な被害に対する首都防災の基本的な方針だ」と中林教授はいう。首都直下地震対策大綱にも「国民運動の展開の重要性」が盛り込まれている。未曾有の大災害に、私たちは今から取り組み、備えておかねばならない。■

北原逸美は *Nature* のローカル・コンテンツ・エディター。

1. Munchener Ruck Munich Re Group, *topics annual review: natural catastrophes* (2002)
2. Sato H., et al. *Science* **309**, 462-464 (2005)

想定よりも浅かったプレート境界

2005年7月、東京大学地震研究所の佐藤比呂志教授たちのグループは、南関東付近のフィリピン海プレート上面深度について新しく得られた結果をサイエンス誌に発表した²。人工的に地震波を発生し、地下で反射した波を解析する方法（反射法）で測定したところ、プレート上面深度は従来推定されていたものより浅かった。とくに関東西部で浅くなっており、その差は最大で17kmにも及ぶ。また、中央防災会議の想定にある東京湾北部では、約10km浅くなることが判明した。

震源となるプレート境界部が浅いということは、実際には中央防災会議が想定したよりも、揺れはもっと強くなるはずだ。中央防災会議は、微小地震の震源分布などから推定されるプレート上面深度（1992年石田瑞穂博士発表）に基づいて震源位置を推測したが、「現在のところ、今回の反射法の結果だけで被害想定を見直すことはしない」という。

一方、佐藤教授は「そもそも想定のようなM7クラスのプレート境界部の地震が、東京湾北部で起きるかどうかは疑

問だ」という。今回の解析から、東京湾北部のプレート境界面は強く固着してはならず、ひずみはたまらないと判断されるからだ。しかし同時に、「東京の下に沈み込むフィリピン海プレート内部には、微小地震の配列から震源断層が推定される。そこで地震が起きれば、最悪の場合は、M7クラスの地震となる可能性はある」と佐藤教授。結論として、科学的根拠は中央防災会議の見解と異なるが、東京湾北部でM7クラスの地震が起きる可能性はやはり否定できないといえそうだ。

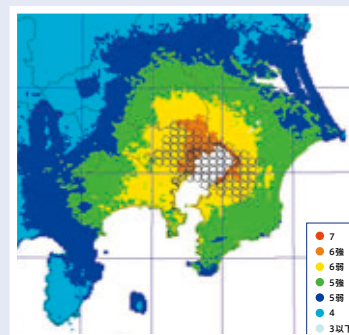


図3「東京湾北部地震（M7.3）」の震度分布
四角のブロックは想定震源範囲を示す。東京湾北部を中心に震度6強、6弱の地域が広がる。

物質と反物質から分子ができた？

Did matter-antimatter mix yield molecules?

ポジトロニウムの結合が化学の新しい世界を開く。

doi:10.1038/news05121-4/22 November 2005

Philip Ball

物質と反物質でできた「原子」から、初めて「分子」を作ることができたかもしれないという報告がなされた。この研究を行ったのはカリフォルニア大学リバーサイド校の Allen Mills たちで、2つのポジトロニウムからなる「ポジトロニウム分子」ができたことを示唆するデータが得られたという¹。

ポジトロニウムは水素原子に似ているが、その一部が反物質でできている。水素原子では、負の電荷をもつ電子が正の電荷をもつ陽子の周りを動いている。この2つの粒子がその間で働く電気的な引力によって引かれ合い、原子を形作っている。これに対しポジトロニウムでは、水素原子における陽子が電子の反粒子である陽電子に置き換わっている。陽電子は陽子と同じ正の電荷をもつが、質量は電子と同じで陽子のわずか1836分の1だ。だから、ポジトロニウムは極端に軽い「原子」である。

2 原子分子

水素原子が結合して2原子分子を作るように、理論的には2つのポジトロニウムが結合して分子を作ることが可能ではなく、化学式は Ps_2 となる。しかし、ポジトロニウムは自然界には存在しない。物質と反物質が出会うとエネルギーを放出して対消滅するからだ。陽電子と電子を人工的に結合させてポジトロニウムを作るとは1951年に初めて成功したが²、ポジトロニウムはガンマ線の形でエネルギーを放出し、すぐに消滅する。

このようにポジトロニウムは不安定なので、ポジトロニウムどうしが互いに結合するほど、ポジトロニウムのガスを高密度にすることはむずかしい。しかし Mills たちは今回、その方法を見

つけたかもしれないと語っており、ポジトロニウムでできた分子が消滅する前に短時間存在したと思われるかすかな証拠を見つけたという。

新たな化学反応

科学者たちはこれまでも、反物質でできた奇妙な物質を作り出してきた。たとえば、陽子と電子のそれぞれの反粒子でできた「反水素」が実験室で作られた。また、デンマークの研究者たちは1992年、1個のポジトロニウムと通常の水素原子を結合させ、 PsH 分子を作った³。彼らは「ポジトロニウム水」、すなわち、 Ps_2O を作ることさえ考えた。

しかし、もし Mills たちが本当にポジトロニウム分子を作ったならば、これは自然界に存在する原子とはまったく異なる物理的性質をもつ「爆発性」（エネルギーを放出して消滅する）の原子どうしを反応させるという、新しい種類の化学反応を行った最初の例となる。

ガラスに陽電子ビーム

Mills たちがこの不思議な分子を作り出した手順はこうだ。放射性のナトリウムの崩壊で出る陽電子のビームを、普通のシリカ（二酸化ケイ素、ごく小さな穴がたくさんあいた窓ガラスのような物質）のターゲットに当てる。衝突した陽電子の一部は電子をとらえ、ポジトロニウムを作る。ポジトロニウムは多孔質のシリカの内部にたまり、 Ps_2 ができるほどその密度が高くなる可能性がある。

研究チームは、電子と陽電子が対消滅するときに出るガンマ線の強さを測定することにより、蓄積するポジトロニウムの量を測定した。彼らは、孤立したポジトロニウムから出るガンマ線よりも、シリカから出るガンマ線のほ



理論的には、物質と反物質からできた原子からでも分子（ただし、とても不安定なもの）ができるはずだ。

うが強いはずだと予測した。物質と反物質が接近して閉じ込められると、より頻繁に対消滅が起こると考えられるからだ。しかし、ガンマ線の強さは予測されたよりもさらに強いことがわかった。そして、「ポジトロニウムの一部が結合して分子になり、電子と陽電子が衝突する確率を高めた可能性がある」と話す。

しかし、それだけがこの実験結果を説明する論理だとはいえない。対消滅の量が増えるのは、多孔質のシリカの小さな割れ目やひびの中で、ポジトロニウムのガスが通常以上に圧縮されたからなのかもしれない。研究者たちは、今後の実験で異なるターゲットを使い、どの説明が正しいのかを調べたいと考えている。

1. Cassidy D. B., et al. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 195006 (2005).
2. Deutsch M., et al. *Phys. Rev.* **82**, 455 - 456 (1951).
3. Schrader D. M., et al. *Phys. Rev. Lett.* **69**, 57 - 60 (1992).

リスクを察知する脳のしくみ

Heart rules head on risky calls

不確実性は脳の感情中枢を活性化させる。

doi:10.1038/news051205-10/8 December 2005

Roxanne Khamsi

先の読めない場面に出くわしたとき、人は手がかりをもとに最も理にかなった判断をくだそうとする。ところが、脳イメージング研究の結果から、そうしたむずかしい判断が求められる場合には、感情を司る脳領域も活性化していることがわかった。

カリフォルニア工科大学（米・パサデナ）の Ming Hsu の研究チームは、被験者に2種類の「賭け」ゲームを行ってもらい、その脳活動のようすを比較した。ゲーム中の脳活動の変化は、機能的磁気共鳴画像法を使って観察された。

1つめのゲームでは、赤と青が半々に含まれるカードの山から引かれた1枚のカードの色を当てる。カードの色を当てることができれば掛け金がもらえる。もう1つのゲームでは、赤と青のカードがどのような割合で含まれているかは被験者に伏せられた。そうすると、被験者が賭ける金額は少なくなった。そしてその際、脳の感情処理中枢である扁桃体と眼窩前頭皮質における神経活性に顕著な高まりが認められた。研究の結果は *Science* 誌の12月9日号で報告された¹。

リスクと感情

被験者たちは、当たる確率がどちらのゲームでも実際には同じであることに気づいていなかった。というのも、2つめのゲームでもプレイヤーが口にするのは引かれたカードの色が「赤」か「青」かだけであり、それが当たる確率は2色のカードの割合に関係なく五分五分で変わらない。

この説明ではわかりにくいかもしれない。だが、赤か青かの先入観がないかぎり、どちらの色を選ぶかの可能性は同じである。たとえカードの山がすべて赤だったとしても、プレイヤーが



正体不明のリスクは感情の変化を引き起こす。

カードの色を正しく当てる確率は50%で変わらないのだ。

2つめのゲームでは、被験者の感情を司る脳領域が、主に色を選択する数秒前に活性化していた。おそらく、賭け事を前に被験者の心を揺さぶる、注意しなければという感情が生まれたためだと考えられる。これは、脳内の神経細胞集団は不確実なリスクに対して判断を躊躇させるように配線されているという仮説を支持するものだ、と研究チームは考えている。

眼窩前頭皮質に異常のある患者の場合、リスクがあるとわかっているかわいにかかわらず、どちらのゲームでも同じような賭け方をした。「こうした人たちは経済的に苦況に陥ることが多い」と Ming は語る。彼らは、眼窩前頭皮質が正常な人たちが備えている、不確実性に対する感情を伴う反応や、リスクを回避しなければという感覚を欠いているのではないかと Ming は考えている。

ミネソタ大学（米・ミネアポリス）で意志決定論を研究する Aldo Rustichini

は、今回の結果は、困難な条件下でどのような感情が喚起されるかがみごとに説明されていると語る。その一方で Rustichini は、今回の研究で、リスクに直面すると脳内の分析にかかわる領域の神経活動が高まることも明らかにされた点を指摘する。「意志決定段階には、感情と理性の両者が関与している。論文ではこの2つの点が明らかにされた」。そして、「感情と理性にかかわる2つの大きな脳内神経網が相互にどのように作用しているかを理解することが必要だ」とも Rustichini は話す。

Ming の研究チームは今後、感情を制御する中枢を間接的に刺激することで、人をより慎重にさせることができるかを調べる予定でいる。将来的には、扁桃体における神経活動と慎重な意志決定との因果関係が明らかになるかもしれない、と Ming は期待している。 ■

1. Hsu M., Bhatt M., Adolphs R., Tranel D., Camerer C., et al. *Science*, **310**, 1680-83 (2005). doi:10.1126/science.1115327

Multiple moulds

カビが3つ寄ってわかること

André Goffeau



コウジカビ属の3種のカビのゲノム配列が解読された。これらのゲノムの比較から、カビが病原性になったり、人間の役立つものになったりするのを決める要因など、いろいろなことが明らかになった。

Nature Vol. 438 (1092-1093) / 22 December 2005

菌類コウジカビ属 (*Aspergillus*) の3種のゲノム塩基配列が *Nature* 2005年12月22/29日号に報告された。日本で酒造に利用されている麹 (こうじ) 菌 (*Aspergillus oryzae*; コウジカビともいう)¹、ヒトの病原体である *Aspergillus fumigatus*²、そして遺伝学のモデル種である *Aspergillus nidulans*³ の3つである。コウジカビ属は185種が知られており、その中にはヒト病原体が20種、植物病原体が多数、そして食品や化学合成物質、産業用酵素の製造に使われる多様な種が含まれる。今回解読された3種のゲノムから、カビの仲間の進化について、また、それぞれの種がもつ有益な、あるいは有害な特性についてたくさんのことがわかってきた。

日本、米国、ヨーロッパ混成の研究チームが発表した3種の塩基配列は、平均して各ゲノムの95%近くをカバーしている。3種を合計すると、95メガ塩基以上が配列解読されたことになり、合わせて24本の染色体上には3万3500個以上のタンパク質コード遺伝子がぎっしり詰まっている (1種につき染色体は8本)。これと比べて、ヒトゲノムでは3000メガ塩基に対してタンパク質コード遺伝子はおおよそ3万個である。

麹菌は、日本で1000年ほど前から伝統的な発酵食品や醸造酒の製造に使われてきた。麹菌ゲノム¹のDNAは *A. fumigatus* や *A. nidulans* よりも約7~9メガ塩基多い。論文著者たちはその理由を、他の種から麹菌に、進化の過程で遺伝子がいくつか移転したからではないかという。この余分のDNAは麹菌ゲノム全域に分散しており、そのおかげで、さまざまな二次代謝産物の合成や輸送にかかわる遺伝子が豊富となっている。生物の正常な成長や発生、生殖には直接的に関与しない物質である二次代謝産物は、1種か、せいぜいごく少数の種に特異的であることが多く、その種に固有の生理特性を知る手がかりとなる。

麹菌に近縁な *Aspergillus flavus* や *Aspergillus niger* (クロカビ) といった種は、同じような遺伝子を獲得している。たとえば有毒な *A. flavus* は、毒素アフラトキシンの生成経路にかかわるタンパク質の遺伝子を25個もっている。これらの遺伝子は麹菌にもあるが発現はしない。どうやら、*A. flavus* の祖先がこれらの遺伝子を麹菌に受け渡し、その後麹菌が進化していくなかで、これらの遺伝子が不活性化されたらしい。

Aspergillus fumigatus はヒトを死に至らしめることもある病原体で、主要なアレルギー誘発物質 (アレルゲン) でもある。*A. fumigatus* の塩基配列²から、これまで知られていなかった9種類のアレルゲン、特異的な二次代謝産物の生成に関与する多数の遺伝子、そして、薬剤標的となりそうな必須遺伝子の一群が見つかった。しかし、このカビの病原性を支える要因は複雑であり、それらを特定するにはゲノム解析を補完する他のアプローチも必要だ。たとえば、*A. fumigatus* が我々ヒトなど温血動物の体内で増殖するには、(外界温度と比べて) 高い体温に耐えられなければならない。これについては、DNAマイクロアレイ解析を使って、37°Cで活性が高まる一群の「温度耐性遺伝子」が突き止められた。だが、このカビの病原性に関係するその他の多くの遺伝子にスイッチが入るには、37°Cに暖まるだけでは不十分だとみられている。

Aspergillus nidulans は、菌類の遺伝学研究に長く使われてきたモデル生物である。そのゲノム³はコウジカビ属3種の比較解析に不可欠だったが、それ自体にも解明が待たれる特徴がいくつかあった。そして、数種類の遺伝子の調節が明らかとなり、遺伝子の調節因子や制御要素が結合すると思われる部位も見つかった。加えて、遺伝子の上流にある短いオープン・リーディング・フレームも多数見つかった。

た。これらの短い塩基配列は、隣り合う遺伝子の発現にブレーキをかける可能性がある。さらにこのゲノムの塩基配列からは、固有の代謝経路（脂肪酸酸化）や発生過程（極性増殖）、DNA 修復経路にかかわる、まだ知られていなかった遺伝子が多数突き止められた。

今回解析された3種のカビは数億年前に枝分かれし、それぞれのゲノムは大きく異なっている³。3種のゲノムの間で非常に近い「相同」タンパク質はおよそ3000種類ある。平均すると、こうしたタンパク質は3種すべてのゲノムに存在する構成アミノ酸のうちの68%にすぎない。この数値は、約4億5000万年前に枝分かれした哺乳類と魚類の間の相同タンパク質の率と同程度である。にもかかわらず、染色体上の相同タンパク質遺伝子の並び順（シンテニー）は3種のカビで保存されており、進化の過程で全ゲノム重複は起こっていないことがうかがわれる。しかし、小規模な縦列反復配列や、染色体の端での遺伝子再配列、シンテニーブロックの少なからぬランダムな切断と再配列があるために、大規模領域にわたるシンテニーはみられない。こうしたゲノム再編成の程度は、*A. fumigatus* よりも麹菌のほうが大きい。相同遺伝子内のアミノ酸進化の速度は3種のカビすべてで同程度であることから、大規模な構造的再配列の進化は、個々のカビのアミノ酸変化の速度と肩を並べて起きたわけではないようだ。

また、カビ3種のゲノム比較解析から見つかった意外な新事実、*A. fumigatus* と麹菌の交配システムにある。酵母菌の有性生殖は、交配型遺伝子によって決まる「交配型」、つまり「性」の異なる個体どうし間だけで起こる。*A. nidulans* には2種類の交配型遺伝子があり、一方はアルファボックスを含み、もう一方は高移動度群（HMG）ドメインを含む。そのため、各細胞は同時に2つの性をもつことができ、*A. nidulans* は自家受精が可能だ。*A. nidulans* はまた、「有糸分裂による増殖」によって無性的に増えることができ、分生子柄という構造の先端に胞子を作ってまき散らす。

A. fumigatus と麹菌は、有糸分裂で無性的にしか増えないと考えられていた。ところが意外なことに、今回解析された麹菌と *A. fumigatus* のゲノムでそれぞれ1個の交配型遺伝子が見つかった。麹菌の塩基配列にはアルファ交配型遺伝子が含まれ、一方、*A. fumigatus* の塩基配列にはHMG交配型遺伝子が含まれていたのである。これらの遺伝子はそれぞれのゲノム内でほぼ同一の位置を占めており、どちらの側にも1.7メガ塩基の保存されたシンテニーがある。さらに、*A. nidulans* の交配過程において別々の段階で関与する215種類の遺伝子は、麹菌や *A. fumigatus* にもみられる。これらのデータや他の最近のデータ⁴から、*A. fumigatus* と麹菌が雌雄異体である可能性や、コウジカビ属の進化の過程で雌雄同体から雌雄異体への転換が起こった可能性が出てくる（図1）。

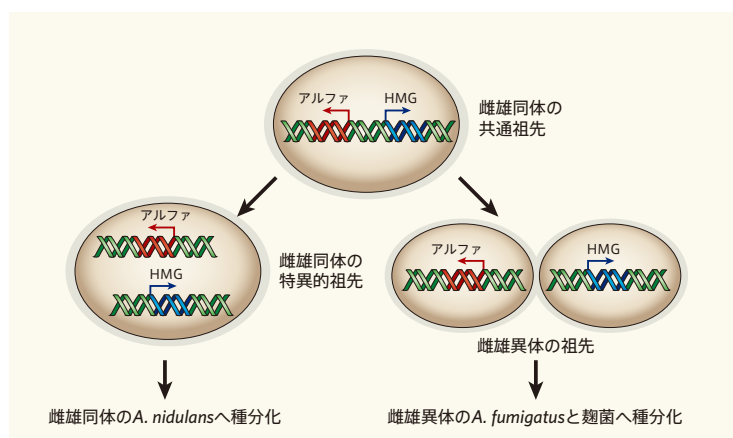


図1 コウジカビ属の交配型遺伝子の進化モデル。雌雄同体の共通祖先では、アルファ（赤色）とHMG（青色）の2つの交配型遺伝子が同一染色体上に前後して並び、類似した隣接する調節領域（緑色）を共有している。雌雄同体の *A. nidulans* では、染色体が切断され、2つの交配型遺伝子は違う染色体にそれぞれ隣接領域を伴って分かれた状態となる。麹菌と *A. fumigatus* の祖先では、2つの交配型遺伝子は分離して別々の株に入るが、隣接する遺伝子群は似通ったままである。種分化を経て *A. fumigatus* も麹菌も完全に雌雄異体となり、アルファ交配型のみをもつ株かHMG交配型のみをもつ株になるが、そのどちらも染色体環境は似通っている。

今回の研究報告はもちろん、カビ3種のゲノムを解析した初めてののものであって、得られたゲノム塩基配列情報からは今後のさらなる解析が待たれる。コウジカビ属内の他種のゲノム塩基配列解読も現在進んでおり、そちらの成果が上げれば、コウジカビ属の生物学的特性や進化に関してもっと幅広い情報をつかめるはずだ。なかでも塩基配列解読に最も熱い期待が寄せられているのが、クエン酸製造に長年利用されてきたクロカビ *A. niger* である⁵。コウジカビ属のクロカビも含めたいくつかの種は商業的に重要な価値があるために、それらのゲノム塩基配列に対してはこれまで長くバイオテック企業がその門戸を閉ざしてきた。しかし、この慣例も変わりつつあるようだ。日本の醸造企業の共同研究組織は麹菌の塩基配列の公表に同意し、モンサント社は自社の *A. nidulans* ゲノム塩基配列へアクセスできるようにしてくれた。そのおかげで、これらのゲノムも今回、公的資金で解析された他の塩基配列のグループに仲間入りできたわけだ。そして、米国エネルギー省は産業用に使われるクロカビ *A. niger* の塩基配列を完全に読み取り（現在のものはカバー度が低い）、このゲノムの有用版を公表するとしている。ゲノム塩基配列情報を業界の中だけに囲い込む時代は、どうやら終わりを告げたようだ。 ■

ルーヴァン・カトリック大学（ベルギー）、André Goffeau

1. Nierman, W. C. et al. *Nature* **438**, 1151-1156 (2005).
2. Machida, M. et al. *Nature* **438**, 1157-1161 (2005).
3. Galagan, J. E. et al. *Nature* **438**, 1105-1115 (2005).
4. Paoletti, M. et al. *Curr. Biol.* **15**, 1242-1248 (2005).
5. Hennebert, G. L. *Recueil de Travaux d'Histoire et de Philologie* **6**, 61-103 (Univ. Louvain, 1979).

生殖細胞の減数分裂に関する新しい遺伝子を発見

松居靖久

東北大学加齢医学研究所の松居靖久教授は、生殖細胞の分化に関する研究を16年間続けてきた。最近、減数分裂開始後の一時期だけ発現する遺伝子の構造と機能を明らかにし、*Nature*2005年11月17日号に発表¹。松居教授に研究テーマとの出会いや研究生活を通じて得たことなどを語っていただいた。



小島あゆみ

松居 靖久（まつい・やすひさ）/ 東北大学加齢医学研究所教授。薬学博士。1959年、東京都生まれ。1983年、東京大学薬学部を卒業、1988年、東京大学大学院薬学系研究科博士課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、同年9月から米国バンダービルト大学医学部博士研究員。1992年に帰国し、東北大学抗酸菌病研究所助手、助教授の後、1998年大阪府立母子保健総合医療センター研究所長、2004年より現職。

培養が困難であった始原生殖細胞を、培養皿上で生体と同様に増殖させることに成功²。また、細胞膜に結合するSteel factorとLIF (leukemia inhibitory factor)、bFGF (basic fibroblast growth factor) の3種の細胞増殖因子を培養液に加えると、始原生殖細胞が未分化幹細胞であるES細胞に戻って増殖することを発見した³。始原生殖細胞がその前段階のエピブラストから分化する初代培養系を確立⁴。この培養系は生殖細胞の分化を研究する基礎技術の1つになっている。

* 1 減数分裂

生殖細胞はある時期がくると、もともと持っている母親由来、父親由来の各1セットの相同染色体（形と大きさが同じで、塩基配列もほぼ同じ染色体）がペアになり、一部の遺伝子を交換する。その後、細胞分裂を2回繰り返して1セットの遺伝子のみをもつ細胞になり、精子と卵子に変わる。一方、体細胞では1組の相同染色体がそのまま2つの細胞に分離する。

* 2 細胞増殖因子

細胞に情報を伝達するタンパク質やペプチドの一種で、細胞表面の受容体に結合して、その細胞の増殖や分化をコントロールする物質。臓器などから分泌されるものと、接着した細胞間で働くものがある。栄養物質は細胞増殖因子とは区別される。

* 3 トランスジェニックマウス

そのマウスが本来もっていない遺伝子を受精卵などに入れ、マウス個体にその遺伝子を発現させた遺伝子組み換えマウス。導入された遺伝子は次世代にも伝達される。広い意味では遺伝子欠損マウス（ノックアウトマウス）を含むこともある。

* 4 ES細胞

胚性幹細胞のことで、ESはembryonic stem cellsの略。受精卵が胚盤胞まで分割したとき、将来胎児となる内細胞と胎盤をつくる細胞群（栄養芽層）に分化している。この内細胞を取り出し、培養すると未分化のまま保たれるES細胞になる。ES細胞はそこに動く細胞増殖因子の種類によって、神経や筋肉などさまざまな組織に分化するため、万能細胞とよばれる。再生医療への利用が期待されている。

ヒストンがメチル化されて減数分裂が進むことを明らかに

Nature Digest — 今回の成果は、生殖細胞の減数分裂の際に現れる遺伝子の発見が鍵になりました。

松居 — 生殖細胞は、最初は体細胞と同様の細胞分裂によって増え、ある時期が来ると減数分裂^{*1}を始め、やがて精子か卵子になります。この特別な分裂様式に切り替わるメカニズムが興味のポイントでした。そこで、普通に細胞分裂している時期と減数分裂に入ってしまう時期の生殖細胞の遺伝子発現の差を調べました。すると、減数分裂直後に一過性に発現する遺伝子が見つかったのです。

ND — その遺伝子がユニークな働きをしていたわけですね。

松居 — この遺伝子を調べると、減数分裂を進めるスイッチであることがわかり、しかもその働き方に特徴がありました。細胞の核内では、4種類のヒストンというタンパク質が2分子ずつ集まってボール状になり、そこにDNAの鎖が2回転半巻き付いて1つの単位（ヌクレオソーム構造）を形成し、それが数珠状につながって、きれいに折り畳まれています。ヒストンがメチル基やアセチル基で修飾されることで、ヌクレオソームの遺伝子の折り畳みがゆるくなって外からの物質が働きやすくなったり、タイトになって遺伝子が眠ったりする現象は、ここ5年間くらいの世界のホットトピックスです。ヒストンをメチル化する酵素は何十種類もあり、どの細胞にも発現しますが、細胞分化での具体例は知られていません。私たちが探し出した遺伝子を単離したら、既知のヒストンをメチル化する酵素の遺伝子とよく似た構造をもっていました。実際に私たちが見つけた遺伝子が欠損したマウスを作ると、精巣や卵巣では減数分裂が始まった直後に、相同染色体の対合と組み換えが正常に起こらず、減数分裂が止まって精子や卵子ができませんでした。また、このとき、ヒストンH3の4番目のリジンのメチル化が低下していました。そこで、この遺伝子をその機能と構造から、Meisetz (meiosis-induced factor containing a PR/SET domain and zincfinger motif: マイセッツ) と名付けました。Meisetzは、当初探していた減数分裂を始める遺伝子ではなく、進行にかかわる遺伝子だったのですが、この発見により、減数分裂ではヒストンのメチル化が鍵を握ることが明らかになりました。

ND — これから研究は、どのような方向に進むのでしょうか？

松居 — 今、Meisetzの別の機能を研究しています。ヒストンのメチル化は染色体自体にも影響を与えることがわかっているからです。また、減数分裂の開始にかかわるほかの遺伝子も調べているところです。おそらく多くの遺伝子がかかわり、全部が正しい順番で働かないと減数分裂が完了しないのではないかと推測しています。また、不妊症とのかかわりについて共同研究をする可能性もありますね。

生殖細胞の不思議に魅せられて研究を続ける

ND — アメリカ留学時代はどんな研究をされたのでしょうか。

松居 — 最初は、細胞増殖因子^{*2}の働きで乳がんが発症するトランスジェニックマウス^{*3}を作っていました。2年後、マウスの発生を研究したいとボスにアピールしていたら、生殖細胞に働く細胞増殖因子の遺伝子の発現パターンを調べる共同研究の話をもってきてくれて、そこで始原生殖細胞の細胞増殖因子を同定しました。最もおもしろかったのは、ある特定の増殖因子3種類を入れると、始原生殖細胞がES細胞^{*4}と同様の万能細胞に変化したことです³。始原生殖細胞ももともとは万能細胞の一部から変化するのですが、それが分化を後戻りして万能細胞に戻ったわけです。

ND — 生殖細胞をテーマとされたきっかけは？

松居 — 学生時代、研究テーマであった造血幹細胞を遡ると、胎児の万能細胞の発生と分化に行き着きました。また、体細胞はヒトでも動物でも一生が終わると死んでしましますが、生殖細胞だけは卵子と精子に分化し、それが受精するとリセットして新しい世代を生み出します。いわば死なない細胞というイメージです。その違いを知りたいと思ったのです。生物学に惹かれたのは、大学2年のときの一般教養の講義がきっかけ。病気や行動、発生は遺伝子が制御していることがよく理解でき、細胞外の情報伝達と遺伝子との関連に興味をもちました。

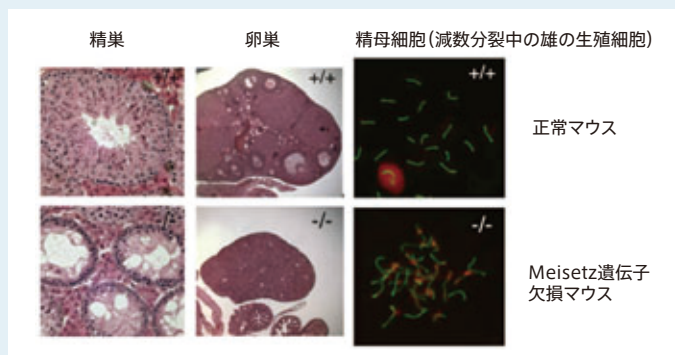
ND — 研究室はどのように選ばれたのでしょうか？

松居 — DNAの複製や細胞分裂をテーマとする研究室に入るつもりでしたが、そこでまた運命的な出会いがありました。当時、料理番組のようにお膳立てされ、しかも結果がわかっている実習を物足りなく感じていました。ほぼ最後の実習で、私たちのグループは電気泳動で遺伝子をみるのに失敗しました。担当の先生は「うまくいかなかった理由をレポートに書きなさい。でも、ほんとうの研究は実習とは違い、全部自分で考えて、うまくいくまでやるのだよ」といわれたのです。そこで初めて、研究は自分でよく考えて、うまくいかなければうまくいくまでやることだと知りました。これを契機に、その先生に6年間お世話になることになりました。

敬意をもってコミュニケーションすることが成功の鍵

ND — アメリカでトランスジェニックマウスの作製技術を学ばれたことは、その後どのように役立ちましたか？

松居 — 学生時代に遺伝子のクローニングを通じて造血幹細胞の分化をひと通り勉強した後、まず遺伝子ありきでなく、生き物の現象を説明するために遺伝子を調べることも大切だという意識が芽生えました。自分は遺伝子側の出口からトンネルを掘り、生命現象という反対側からトンネルを掘っている誰かとトンネルがつながって握手できたらすばらしいなと思って



Meisetz 遺伝子欠損マウスでは減数分裂は始まるものの、途中で進まなくなり、精巣や卵巣に精子や卵子ができない。雄マウスでは、精子になる精母細胞が作られていなかった。Meisetz は既知のヒストンのメチル化酵素の遺伝子と似た構造をしており、Meisetz がコードするヒストンのメチル化酵素が減数分裂の進行に働いていると予測された。

いたのです。しかし、実際は遺伝子から胎児そのものの研究までやることになり、自分で両方からトンネルを掘れました。

ND — 研究を成功に導いたのはどんなことだったのですか？

松居 — 自分ができないテクニックをもっている人、違うスタンスで研究している人と話すと、ひらめきが与えられることがあります。留学して最初の2年近くは、トランスジェニックマウスがまったくできず、行き詰まっていました。あるとき、ボスがほかの研究室の人に受精卵に入れるDNA溶液をきれいにするようアドバイスされたので、手間をかけて徹底的に不純物を取り除きました。そうしたら嘘のようにうまくいき、それから論文がどんどん出せるようになったのです。もちろん成功ばかりではありません。帰国後は論文もうまくいかず、人間関係でも悩みました。でもあきらめないで十数年ずっとやっていると、またいい時も来る。学生時代に教えられた「研究はうまくいくまでやる」のが原点なのだと実感します。

ND — 若い研究者にアドバイスをお願いします。

松居 — 研究を進めるためには、教えられる側も教える側も、お互いに相手に敬意を表してコミュニケーションを取ることが大事です。私自身未熟で相手に敬意を表していなかった時代があり、壁にぶつかりました。研究職にとって個性は大切で、ときに自分を主張することと相手を尊重することは相対しますが、両方できることが理想。学生たちにうまくできるように導くのが私たちの責任ですし、それを目指したいと思います。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は小島あゆみ（サイエンスライター）。

- Hayashi, K., Yoshida, K., Matsui, Y. *Nature* **438**, 374-378 (2005)
- Matsui, Y. et al. *Nature* **353**, 750-752 (1991)
- Matsui, Y. et al. *Cell* **70**, 841-847 (1992)
- Yoshimizu, T., Obinata, M., Matsui, Y. *Development* **128**, 481-490 (2001)

NEWS

Published online: 5 January 2006; | doi:10.1038/news060102-9

Marine reserves do more good than expected

Caribbean reefs protected by no-fishing zones despite rise in predators.

<http://www.nature.com/news/2006/060102/full/060102-9.html>

Emma Marris



1. A no-fishing zone in the Caribbean appears to be helping both the big fish it was designed to save and, surprisingly, the coral that underlies the ecosystem. That's despite the fact that the large fish chow down on smaller fish that help out the coral.
2. The study highlights how difficult it can be to predict how an ecosystem responds to changes, the researchers say. But it also reconfirms that protecting biodiversity is a good defense against destructive changes, they add.
3. The Caribbean coral reefs in question were dealt a blow in the mid 1980s when a mysterious disease almost completely wiped out the spiny urchin (*Diadema antillarum*). One way these urchins influenced the ecosystem was by grazing down the large algae that grows in the area, making a clear area where juvenile coral could gain an easy foothold. With the urchins gone, it was up to another grazer, the colourful parrotfish, to keep the algae under control.
4. Parrotfish are hunted and eaten by the predatory Nassau grouper (*Epinephelus striatus*), another fish in the region. Groupers are often kept in check by fishermen. But some regions in the Caribbean, such as the Exuma Cays Land and Sea Park, are protected from fishing. So Peter Mumby of the University of Exeter worried about how the corals would fare with a mass of groupers around to gobble up all the parrotfish. Perhaps, they feared, the corals would simply be smothered under a blanket of algae.
5. After five years of diving trips, whereby Mumby and his international team scuba-dived transect after transect of Caribbean ocean, the group is pleased to report in this week's *Science* that the corals are faring well¹.
6. Although some small species of parrotfish do get nibbled on a bit more, they found, the large species—just too big to comfortably fit into the mouths of the grouper—have also benefited from the absence of fishermen. These larger parrotfish are fantastic grazers, making the algae cover fourfold less inside the park than outside the reserve.
7. "It is good to know that the use of reserves to manage fish and corals is compatible," says Mumby. But he adds that there could be more complicated interactions elsewhere, and that the corals may need additional help. "I don't feel that marine reserves are the only tool necessary to manage reefs," he says.
8. Robert Carpenter, a marine biologist at California State University, Northridge, California, says the result is good news. In his own work, he has documented the gradual re-emergence of the urchin and its positive benefit for corals. Carpenter says he looks forward to the day when both urchins and parrotfish share the task of clearing way for baby coral. "The benefit of biodiversity is that it gives us redundant players in the system, which can then provide resilience in the face of disturbance," he says.

References

1. Mumby P., et al. *Science*, **311**, 98 - 101 (2006).

How to read?

今回のニュースでは大きな論争はなく、話が穏やかに進んでいる。冒頭で「漁業禁止区域を設定した」ところ「サンゴ礁が復活した」という、すぐには結びつかないような2つの事象を提示し、本文で話の肉付けをして、その間をつなげている。第2パラグラフ（段落）では、この記事の2つのテーマが示されている。「生態系が変化にどのように応答するのかを予測するのはむずかしい」という一方のテーマを中心に話は展開するが、最終パラグラフでは、生物多様性の意義というもう一方のテーマに帰着している。

NEWS

参考訳

Published online: 5 January 2006; | doi:10.1038/news060102-9

海洋保護区に予想外の効用

カリブ海の漁業禁止区域では、サンゴ礁を守る魚の捕食者が増えているにもかかわらず、サンゴ礁保護効果が確認されている。

<http://www.nature.com/news/2006/060102/full/060102-9.html>

エマ・マリス

- カリブ海の漁業禁止区域は、本来の保護対象である大型魚にとって有益だが、意外なことに、それは生態系を支えるサンゴの助けにもなっているようだ。大型魚は、サンゴの味方である小型魚を食べるという事実にもかかわらず、である。
- 今回の研究では、変化に対して生態系がどのように応答するかを予測することのむずかしさがクローズアップされており、それと同時に生物多様性の保全が壊滅的な変化に対するすぐれた防御策であることが再確認された、と研究論文の著者は語る。
- 研究対象となったカリブ海のサンゴ礁は、1980年代中ごろに打撃を受けた。当時、謎の病気が流行して、ウニの一種であるガンガゼ (*Diadema antillarum*) がほぼ全滅したのだった。ガンガゼは、この領域で繁殖していた大型藻類を食べ尽くして、クリーンな環境を作り出し、若いサンゴが容易に定着できるようにするという影響を生態系に及ぼしていた。ガンガゼがいなくなり、大型藻類の繁殖を抑えられるかどうかは、カラフルな草食魚であるブダイしだいとなった。
- ブダイは、同じ領域に生息する捕食性のナッソーグルーパー (*Epinephelus striatus*) という魚に狙われ、食べられる。ナッソーグルーパーの生息数は、漁業によって抑制される場合が多い。ところがカリブ海のエグズマケイズ島やシーパークといった地域では、漁業が禁止されている。そのためエクセター大学 (英国) の Peter Mumby は、ブダイをむさぼり食うナッソーグルーパーの一群に対してサンゴがどうなるかを心配した。おそらく、サンゴが藻類の毛布に覆われて窒息死することを恐れたのだろう。

魚が魚を食べる世界

- 5年間のダイビングツアーで、Mumby とその国際的な研究チームは、スキューバダイビングによるカリブ海の海底トランセクト調査を次々と敢行し、サンゴ礁が順調に生育していることを *Science* 誌に発表した¹。
- 確かにブダイ科の一部の小型魚が、従来よりも少し多く食べられてしまっているが、ナッソーグルーパーの口には、少々大きすぎる種は、漁業禁止措置の恩恵を受けていることが Mumby たちによって確認された。このブダイ科の大型魚は、草食の大食漢で、禁止区域内での藻類の繁殖量は、区域外の4分の1となっている。
- 「海洋保護区を使った魚類とサンゴの保護が両立することがわかってよかった」と Mumby はいう。しかし同時に彼は、これとは別に、より複雑な相互作用が働いている可能性があり、サンゴを保護するために追加的な施策が必要かもしれないと付言している。「海洋保護区が、サンゴ礁の管理に必要な唯一の手段だとは思わない」。(Mumby)
- カリフォルニア州立大学 (米国カリフォルニア州ノースリッジ) の海洋生物学者 Robert Carpenter は、今回の研究成果は朗報だという。彼自身の研究では、ウニ類が徐々に復活して、サンゴにとってプラスに働いていることが記録されている。ウニとブダイが協力して、サンゴの赤ん坊のための道を開く日が来ることを心待ちにしている、と Carpenter はいう。「生物多様性の利点は、生態系というシステムに冗長性を与えることだ。このおかげで、生態系が攪乱されたときのレジリエンス (回復力) が生じうるのだ」。(Carpenter)

Words and phrases

- 1,4,6. **chow down on, gobble up, get nibbled on:** いずれも「食べる」に関連したフレーズ。chow down on は、「～を食べる」という米国の俗語、gobble up は「がつつ (急いで) 食べる」という意味。nibble on は「かじって食べる」という意味で、get nibbled on で「かじって食べられる」だが、ここは比喩的な用法で、意味的には「食べる」にウェイトがある。
3. **deal a blow:** 「打撃を加える」の意味で、比喩的な表現。この意味での deal という動詞は文語的。
3. **gain an easy foothold:** 基本形は gain a foothold で、foothold (足場) を gain (得る) こと。「足がかりを得る」、「定着する」という訳になる。副詞 easily が名詞 foothold とつながって easy foothold になった。gain a foothold easily と同じ意味である。
3. **up to [名詞] to [動詞]:** 「[動詞] するかどうかは [名詞] しだい」という熟語。
- 3,4. **keep under control, keep in check:** under control (統制下におく)、in check (抑制状態におく) を維持すること。いずれも「勢いを抑える」という意味になる。
- 4,5. **fare:** 「暮らす、やっていく」という意味のやや古い言葉。
4. **smother:** 「窒息する」という意味。新聞記事の見出しや小説でよく目にする。論文なら suffocate だろう。
5. **[名詞] after [名詞]:** 同じ行為や状態が反復、継続していることを意味する。
8. **in (the) face of ~:** ～に直面して、～に向かい合って、という意味の熟語。

Science key words

1. **ecosystem: 生態系**
ある地域に生息する生物すべてと、それを取り巻く非生物的環境を総合的に1つのシステムととらえた概念。動的で複雑な総体で、生態学の基本概念。
2. **biodiversity: 生物多様性**
ある地域における遺伝子・種・生態系レベルでみられるすべての変異性を総合的に指す概念。生命の豊かさを包括的に表した広い概念だが、近年、人間活動によりその豊かさが脅かされている。生物資源を提供し、人間の生存の基盤となる生態系を支えていることから、その保全が課題となっている。
5. **transect: トランセクト**
生態観測地区。
8. **resilience: レジリエンス**
群集の安定性を表す指標の1つで、一時的な攪乱 (下記参照) を受けて変化した状態から元の状態に戻る速さ、回復力のこと。レジリエンスが大きいほど攪乱からの回復は速く、安定度が高い。
8. **disturbance: 攪乱**
成熟した生態系・群集などの安定を乱す事象。地震、台風、山火事などの災害や人間活動など。



ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた最も鮮明なオリオン星雲

NASA/ESA/M. Robberto (STSI/ESA)

米航空宇宙局（NASA）のハッブル宇宙望遠鏡がオリオン星雲（M42、NGC1976）をこれまでで最も鮮明に撮影することに成功し、その結果は2006年1月11日ワシントンDCの米国天文学会で発表された。

オリオン星雲は、冬の星座としてなじみ深いオリオン座にある大きな明るい星雲で、地球から約1500光年の距離にある。掃天観測用高性能カメラ（ACS）を使って撮影された写真には、大小3000個もの星々や、ちりやガスからなる星形成領域の姿が映し出されている。その中には、これまで暗いために

撮影がむずかしかった若い褐色矮星とみられる天体も含まれる。褐色矮星は小さすぎて、恒星にはなれなかった星である。太陽のように中心核で核融合反応を維持することができないため、温度が低い。

この観測のリーダーである宇宙望遠鏡科学研究所（米国メリーランド州ボルティモア）のMassimo Robbertoは、「オリオン星雲における星形成の完全な歴史を、この写真に見ることができる。太陽もおそらく、これと似た雲の中で45億年前に誕生したのだろう」と話す。