



## 富士山 眠れる巨人の身震い

富士山は日本文化のひとつの象徴であり、地質学的にも最も重要な日本の特徴となっている。しかし、数年前に富士山で地震が頻発するようになるまで、科学者たちは富士山にほとんど関心を払ってこなかった、とDavid Cyranoskiは言う。富士山は再び噴火しようとしているのだろうか。

原文：Mount Fuji: A sleeping giant stirs

Nature Vol.428(12-13)/4 March 2004; www.naturejpn.com/digest

**富**士山は日本でいちばん高い山で、最後に噴火したのは1707年12月16日。このときの噴火は2週間以上続き、東へ100キロにある江戸に熱い灰を降らせ、灰は5センチも積もった。田舎では灰が川床に積もったために、何十年も洪水が頻発した。

そんな激しさは今の富士山からは想像しがたい。「ほとんどの人は、富士山は完全に活動を終えていると思っているようだ」と、東京大学火山噴火予知研究推進センター長の藤井敏嗣教授は話す。富士山は古来、神聖な山とされ、数々の神の居場所であり、今でも毎年数千人の巡礼者が山頂に登る。宗教に関心が薄い人々の間でも、富士山が見えるオフィスやマンションは人気が高い。冬の晴れた日には東京の都心から富士山が見える。「だれもが富士山は美しいと思っている。本当に爆発するまで、再び爆発することがあるとはだれも信じないだろう」と話すのは、富士山の南西40キロにある静岡大学の地質学者、小山真人教授だ。

しかし、4年前からゴロゴロという不気味な音が富士山の地下深くから検出され始め、この巨大な山は眠っているだけなのだと人々は思い出した。日本政府は噴火が近いのかもしれないと考え、富士山を研究し、富士山がいつどれぐらいの規模の噴火を起こす可能性があるのかを調べる研究プロジェクトをスタートさせた。最初に得られた結果からは、わかったことよりも新たにわいた疑問のほうが多かったようだ。だが、富士山は科学的にはおもしろくないと考えていた地球科学者たちは今や、火山のメカニズムの理解につながる予期せぬ手がかりが富士山にあると考えている。

### 1カ月に100回を超える地震

2000年10月、富士山の地下10キロを超えたところで弱い地震波が発生し始めた。これは約8カ月間続いた。防災科学技術研究所(茨城県つくば市)によると、2001年4月のピーク時には1カ月に100回を超える地震が記録

された。それまでの20年間の平均年間15回よりもはるかに多かった。この地震は地表では感じるできないものの、富士山の地下のマグマが活動しているという気がかりな兆候だった。

この地震が噴火の前兆だとしたら、その先の事態は恐ろしいものだろう。「世界中で、大きな首都が巨大火山にこれだけ近いところはない」と小山は話す。少なくとも、ちりと灰のために交通がまひし、飛行機は飛べなくなり、コンピュータのハードディスクにもエラーが起きて、首都機能が停止することだろう。もし噴火が夏に起こったら、もっと被害は大きくなる。

毎年、2,000万人が富士山の側面に点在するゴルフ場や遊園地、夏の別荘を訪れる。さらに心配なのは、富士山が火砕流を時々起こしていたという証拠が新たに見つかったことだ。火砕流は、高温のガスと灰と岩石が入り混じって流れるもので、その速度は時速150キロに達することがある。火砕流の到達範囲

は、噴火の大きさによるが、数キロの場合から100キロを超えることもある。

富士山噴火の可能性が出てきたことから、日本政府は2001年11月から対策に乗り出した。富士山を基礎から科学的に解明するために、5億円の予算を投じた3年間の研究計画をスタートさせた。また、さまざまな噴火シナリオについて周辺住民の生命と財産にどのような脅威がありうるかを詳細に明らかにするハザードマップ(被害予想図)の作成にも同程度の予算をあてた。

富士山はよく知られているにもかかわらず、しっかりした科学的データはほとんどなかった。このため、科学者たちはこの標高3,776メートルの山が発見されたばかりのように、事実上ゼロから研究をスタートしなければならなかった。情報が乏しいひとつの理由は、富士山に近づくことが制限されているからかもしれない。頂上は、冬は雪に閉ざされ、危険のため立ち入り禁止になる。また富士山は国立公園の中にあり、富士山からサンプルを得ることは官僚的な形式主義のため容易ではなかった。

しかし、もう一つの理由は科学者の見方の問題だった。「マグマに関する限り、富士山はあまりおもしろい研究対象には思えなかった」と藤井は話す。マグマの研究者は、中央海嶺のように、マグマの源がもっと単純な対象を好む傾向がある。中央海嶺の場合、マグマは地球のマントルからまっすぐにやって来る、と藤井は説明する。これに対して富士山のマグマは、1枚のプレート(岩板)が別のプレートの下でたわみ、複雑な接合点となった場所から来るという。「これではおもしろいとはいえない」と藤井は話す。

### 過去の日記を解読

そうした懸念材料はあったものの、藤井は国の富士山研究プロジェクトを率いるチャンスに飛びつき、数週間後には富士山の山腹でボーリング調査を始めていた。北東斜面の深さ100メートルと600メートルの穴から円筒形試料が採取され、現在、分析が行われている。この試料から、1707年にどんな種類の物質が噴出したのかが詳細に分かるはずだ。それは噴火の原因を理解するのに役立つだろう。「現在、何が起きているのかを知るには、過去に何が起こったのかを知る必要がある」と藤井は話す。

1707年の噴火(宝永年間に起こったので宝永噴火と呼ばれる)に関してこれまでに得られているデータからは、この噴火が標準的な火山活動のモデルにはびつたりとあてはまらないことがうかがえる。記録によると、この噴火はとりわけ激しかったらしい。だが富士山は、ほぼ全体が玄武岩という火山岩でできている。理論によると、玄武岩はスムーズに流れ、ガスを内側に閉じこめないので、このタイプの火山ではふつうは激しい爆発は起きない。

爆発的だった宝永噴火はどうやら例外で、このため従来の火山理論に挑戦状を突きつけた形となっている、という言うのは姫路工科大学の火山地球物理学者、井田喜明教授だ。「もしかしたら、爆発を伴わない低粘性の方程式が間違っているのかもしれない」と井田は言う。

宝永噴火はほかの面でも奇妙な噴火だったことが、300年前に書かれた数々の日記からわかっている。この時代の手書き文字は、現代のふつうの日本人にはほとんど読めない。しかし、地質学者であると同時にアマチュア歴史家でもある小山は、当時の日記を解読してくれる歴史家を見つけた。小山は、噴火の重要な特徴について書いている約30件の日記を熟読した。日記によると、噴火は2週間を超えて続き、また休止も何度もあった。「不思議なことに、噴火は激しさが横ばいになるはずの最後の数日になってさらに激しくなったようだ。この現象を説明できる、マグマに関するメカニズムを突きとめなくては」と小山は話す。

### ハザードマップを作成

一方、財団法人「砂防・地すべり技術センター」(東京都千代田区)は、ハザードマップを作成している。これは、もっとも可能性の高い噴火シナリオについて、灰、溶岩、ガスの放出量、噴火の持続期間、周辺地域の被害などの詳細を示すものになるだろう。ハザードマップの作成にあたっては、富士山が噴出するとみられる物質の種類をどれだけわかっているかが重要になってくる。このため、砂防・地すべり技術センターのチームは、富士山の側面に堆積した昔の噴火の噴出物を調べてきた。

砂防・地すべり技術センターのチームが発見したことは、地質学者を驚かせた。これまでも、富士山で4,000年前に火砕流があったという証拠が富士山周辺の2カ所で見つかった

ていたが、それは一種のまぐれだと考えられていた。玄武岩の火山では通常、火砕流は起こらない。

だが、砂防・地すべり技術センターの測量技師は2001年、これまでとは別の場所で火砕流による物質を掘り当てた。最初の年代測定では、この火砕流が起きたのは約1,400年前と見積もられた。ハザードマップ作成プロジェクトのリーダーである安養寺信夫・総合防災部次長は「この発見は、火砕流がこれまで考えられていたよりも、もっと頻繁に起こるかもしれないことを示唆している」と話す。

ハザードマップを作成するには、マグマがどこにあり、どのように動いていて、どのような力が作用しているかを知る必要がある。しかし、富士山のマグマだまりの様子はとらえにくいことが明らかになってきた。

藤井の同僚である火山噴火予知研究推進センターの渡辺秀文教授は、富士山のマグマだまりを明らかにする研究の一環として、富士山の地震運動を監視する取り組みのリーダーを務めている。地震波は地下のソナー(水中音波探知機)のように働き、マグマだまりの大きさ、位置、動きを示す映像を作る。センサーの数が多くなるほど映像は改善するはずだ。このため渡辺のチームは、富士山の側面にある地震計の数を2倍近くの約80個にし、これまでよりも信号対雑音比を上げるため、うち3つを藤井が開けた深い穴の中に置いた。

富士山のマグマだまりの配置が分かれば、富士山で最近起きている深部低周波地震を解釈しやすくなるかもしれない。科学者たちは、深部低周波地震の理解が進めば、噴火の予測や噴火に対する備えに役立つはずだと期待している。

### 震動や変化は警報なのか

過去にもさまざまな種類の地球の振動や変化は、火山噴火を知らせる警報のような役割を果たしてきた。例えば、1991年にはフィリピンのピナツボ山周辺で浅い地震と土地の変形が起きたことで、噴火の少し前に大規模な避難を行うきっかけとなった。2000年の北海道・有珠山の噴火でも、先に発生した地震活動によって噴火を予知することができた。

しかし、深部低周波地震の信頼性は低い。火山活動の前に深部低周波地震が観測された例はあるが(たとえばピナツボ山の爆発の前に

も検出された)、深部低周波地震が観測されても何も起きない例ははるかに多い。結局、富士山の震動をどう解釈するかには不確かさがともなう。

防災科学技術研究所で火山噴火を予測する研究計画を率いている鷗川元雄・固体地球研究部門副部門長は、「説得力のあるモデルは提案されていない」と話す。しかも、富士山の深部低周波地震の波形はとりわけ複雑のため、地震を起こすマグマの移動が複雑でモデル化が難しい。地震計の増設は効果があるだろうが、地震の頻度は以前の低いレベルに戻ってしまったので、結果を出すには時間が必要だろう。

藤井らは、ボーリング調査で得られた円筒形試料の最初の分析結果を5月に発表する準備をしている。安養寺のグループも、同じころにハザードマップを完成させるだろう。しかし、「今回のハザードマップは、これまでに担当したものの中で最も不確実なものになり

そう。噴火がどこに起こり、どんな種類の溶岩がどんな速度で流れるか。これらはすべて、予測がきわめて難しい」と安養寺は話す。

富士山の美しさをたたえる人たちにとって、富士山を揺り動かしているマグマがなにか「悪の力」のように聞こえたとしたら、それは少し間違っている。美しい対称性を見せる富士山の形が絶え間ない浸食作用にもかかわらず保たれてきたのは、過去10万年にわたって側面に積もった500立方キロのマグマのおかげだ。だが今では、その地下には災害が起きる危険性が潜んでいる。オーストラリア国立大学(キャンベラ)の地球化学者 Richard Arculus は「もしマグマが動けば、富士山の一部は崩れ始めるだろう。それは文化的には悲しいことかもしれないが、すべての火山の運命なのだ」と話している。

**David Cyranoski はネイチャーのアジアパシフィック特派員**

## 遺伝子治療の将来

臨床試験のリスクと効果のバランスをどう取るか。

原文: *The future of gene therapy* Nature Vol.427(779-781)/26 February 2004; www.naturejpn.com/digest

**Marina Cavazzana-Calvo, Adrian Thrasher and Fulvio Mavilio**

**遺**伝子治療には、通常の治療法がまず見つかからないような重度遺伝性疾患を治療できる可能性がある。1990年代後半、パリ、ロンドンおよびミラノに拠点を置く筆者らのグループは、珍しい免疫障害(重症複合免疫不全症: SCID)の小児患者の治療を開始した。最初の患者で治療に成功したことを2000年と2002年に初めて発表したときには<sup>1,2</sup>、大きな反響があった。残念ながらこの盛運は2002年末、フランスで治療を受けていた10例中2例が白血病様の症状を呈したことによって暗転することとなった<sup>3</sup>。

いずれの患者も、欠損遺伝子の修復では、ベクターとして知られる「不活化」レトロウイルスに治療用遺伝子が組み込まれた。続いて、各患者から採取した骨髓幹細胞をこのベクターに「感染」させてから血中に戻し、通常の免疫細胞へと増殖させようとした。その後、このウイルスがDNAに自己を組み込む能力が、発

がん遺伝子の活性化をももたらすものであることがわかった。

白血病が報じられるや否や、これほど高い確率でがんを引き起こす可能性がある治療法の採用に懸念の声が上がった。新しい治療法を開発しようとする者すべてにとって、もちろん患者の安全性は最優先課題である。だが、遺伝子治療のリスクと効果を慎重に分析せず、感情論でその将来を決められてしまうとすれば、それは残念なことだ。

白血病の症例は、研究者や規制当局者、一般市民にかなり大きな関心と呼んだ。欧米規制当局の反応はさまざまだった。試験の実施基準を見直し、患者のインフォームドコンセントを得る手順の改訂を臨床医に求めた国もあれば、レトロウイルスを使用する試験全般を凍結する国もあった。英国では臨床試験が差し止められることはなかったが、イタリアで2003年中に遺伝子治療を承認された例は、生命に切迫した危険がある患者の治療に限られた。質の低い報道や研究者からの懐疑論、規制当

局者のさまざまな反応がない交ぜになって、遺伝子治療は明らかに退潮に追い込まれた。

現在の「遺伝子治療ががんを引き起こす」という社会感情や、厳しい規制の影響が予測不可能なことによって、研究者は新たな臨床試験を始めようという気がなえているし、投資家とバイオテクノロジー業界も遺伝子治療研究から足が遠のいている。業界大手では2003年、研究を中止した企業(ジーンセラピー社、米国メリーランド州)とレトロウイルス以外に活路を求めた企業(セルジェネシス社、米国カリフォルニア州)があった。これは残念である。企業の投資がなければ、遺伝子治療が最終的に真価を発揮することは困難だからだ。

なにが可能で、何をすべきなのか。研究者として、私たちは危機から学び、生じてくる問題の解決策をみ出している。だが、遺伝子治療の将来への信頼を回復させるのは困難な作業であろう。議論の多くはもはや、科学的な問題でもない。私たちが望むのは、遺伝子治療がほかのあらゆる試験的治療法とも同じ目で見られ、同じように取り扱われることであり、それは失敗ばかりでなく成功にも目を向けてほしいということである。

### 成功例

SCID は免疫系の発達に関する珍しい遺伝性障害であり、生後1~2年以内で死に至る例が多い<sup>4</sup>。イタリアの治療例はアデノシンデアミナーゼ欠損(ADA-)SCID患者で、これはDNA代謝に不可欠な酵素が欠損している病気だ。英仏の治療例はX-SCID患者で、これはX染色体上のある遺伝子の欠損によるものである。いずれの疾患も、適合度が完全なドナーからの骨髓移植が最適の治療法だが、適用可能な患者は3例中1例にも満たない。完全なドナーが見つからない患者の場合は、適合不完全ドナーからの移植による生存の見込みが全体75%、重度免疫学的合併症発症リスクが15~20%、回復せずに死亡するリスクが20~30%ある<sup>5</sup>。

1990年代前半、ADA- SCIDの遺伝子治療試験では部分寛解が得られたのみであったが、これは患者幹細胞への遺伝子導入に問題があったためである。しかし、近年はベクターも細胞移植技術も進歩し、SCIDでは両タイプとも良好な治療結果が得られるようになった<sup>1,2</sup>。パリ、ミラノおよびロンドンでこれまでに治療を受けたSCID患者18例中、免疫機能の再形成で一命