

「予知」の封印を解く

米国の地震研究者たちは長い間、「予知」という言葉を避けてきた。しかし、観測データの質が改善されたり、一般の認識が変化してきたりして、研究者のそうした決心も揺らぎ始めている。David Cyranoskiが地震予知をめぐる議論を追った。

原文：A seismic shift in thinking

Nature Vol.431(1032-1034)/28 October 2004; www.naturejpn.com/digest

今年9月。米国カリフォルニア州パームスプリングズで開かれた南カリフォルニア地震センター主催の会議のことだ。ある言葉が廊下でささやかれるかと思えば、カクテルパーティーでの会話では感情的にとがめられる対象ともなった。講演でのスライドには、その言葉は「Pで始まる言葉」としか書かれていなかった。

実はこれは「予知(prediction)」という言葉だ。この言葉がそのように強い反応を引き起こすとは思ってもみなかった人もいるだろう。しかし、地震研究者自身にとっては、「予知」という言葉にかくも過敏に反応してしまう理由はよく分かっているのかもしれない。初期の地震予知研究では、動物の行動を調べる科学者や、異常な光を探して夜空を監視する科学者たちが主役だった。地震研究が進歩してからも、予知は正しい場合よりも間違っていることのほうが多かった。地震研究者たち、特に米国の地震研究者たちは予知に幻滅し、また、誤った予知が引き起こす損害は予知が防ぐ損害を上回ると考え、「予知」という言葉と概念に背を向けたのだった。

米地質調査所でカリフォルニア州南部を担当している地震学者Lucille Jonesは「みずから『予知』を名乗る、たちのよくない研究が多かった。研究者たちは、そうした研究と関わりあいになりたくなかった」と説明する。

しかし今、予知という言葉は、流行語だとはいえないまでも、研究者の使う語彙に戻ってきてつつある。その功績(立場によっては非難の対象となるが)のほとんどは、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)のVladimir Keilis-Borokにある。彼が最近行った予知は、一般の人たちの不安と関心をかきたてた¹。UCLAが出したプレスリリースがカリフォルニア州南部で起こるであろう地震の予知についてふれ、物議をかもしてメディアの多大な

注目を集めたのだ。地震はまだ起こっていないが、この出来事は「Pで始まる言葉」を復活させ、マスメディアの関心を地震研究にひきつけた。南カリフォルニア地震センターの代表を務める、南カリフォルニア大学(同州ロサンゼルス)のThomas Jordanは「一般の人たちから、まるで肩越しに私たちの研究を見つめられているようなものだ」と言う。

同時に、研究者たちが使う装置や技術の範囲が広がり、自分たちの研究結果は科学的に重要で役に立つものだと、研究者たちは自信を持つようになってきている。日本や米国には10億ドルを超える費用を投じた地震監視装置があり、新しい統計手法や理論がその解析に役立っている。「データの質は急速に向上した。研究を大きく前進させる準備はできていると研究者たちは感じている」とJonesは話す。

こうした情勢に呼応して、米地質調査所(USGS)は特定の予知の評価について調査所のトップに報告する「全米地震予知評価委員会」の再建に着手した。USGS地震危険度プログラムの上級科学アドバイザーであるDavid Applegateは、「私たちは、予知の評価の誠実な仲介者である責任がある」とパームスプリングズの会議で話した。この委員会が設置されたのは1970年代後半だが、ここ12年間、新しい委員を任命していなかった。USGSは新しくこの委員会の設立認可申請書を作成した。認可に向けた手続きは、ゆっくりとではあるが米内務省やそのほかの部局で進んでいる。Applegateは、来年春までに委員会の設立準備をすませ、実際に活動を開始させたいと考えている。USGSと南カリフォルニア地震センターの合同作業部会(「地域地震可能性モデル」と呼ばれる)は、2005年1月までにカリフォルニア州のさまざまな予測モデルの比較検討を始めたい意向だ。

成功と失敗

1970年代は、地震予知を熱心に追求することで物議をかもすというようなことは少なかった。科学者たちは、プレートテクトニクスの発見に続き、予知の難しさも克服できる自信を持っていた。また、地震予知が真剣に受け取られた国もあった。1975年2月、中国では科学者たちが土地の高さ、地下水位、地震活動、動物の行動の変化にもとづいて予知を行い、政府が遼寧省海城の住民を避難させた。その2日後にマグニチュード7.3の地震が襲い、避難のおかげで12万人の死傷者を未然に防ぐことができたとされている。

しかし、成功の後には失敗があった。海城の地震のわずか1年後、マグニチュード7.8の地震が河北省の唐山市を襲い、25万人が死亡、16万4,000人が負傷した。この地域での地震は予知されていなかった。

研究者たちは、予知は不可能ではないにしても現在の手法では無理だと考えるようになった。地震の前兆現象の可能性があるとすると、降水量、水位、ラドン放出、地震波、地形の変形、地電位、雲形成、ナマズが研究されたが、地震の発生時刻、発生場所、規模という3つの重要なパラメータとの信頼に足る関連ははっきりしないままだった。

1994年1月のカリフォルニア州でのノーズリッジ地震と、1995年1月の阪神・淡路大震災(兵庫県南部地震)は二重の打撃だった。いずれの断層域も脅威とはみなされておらず、両地域の建築規制は不十分で、大地震を想定していなかったことを物語っていた。ともにすさまじい地震だった。もし仮に地震の前兆現象があったとすれば、地震研究に世界でもっとも力を入れているこの2国の研究者は、それをつかむことはできなかったことになる。

さらに、日本列島中に設置された1,224基の全地球測位システム(GPS)観測点と約1,000

基の地震計でも、昨年9月に北海道を襲ったマグニチュード8.0の2003年十勝沖地震の兆候は見つからず、研究者を落胆させた。京都大学防災研究所地震予知研究センターの川崎一郎教授は「はっきりした兆候はまったくなかった。ショックだった」と話す。

今日の専門家は、中国での1975年の予知を含め、単純な前兆現象にもとづいた予知は、きちんとした科学ではなく、運よくあっただけだと言うだろう。これまでに行われた数千の地震予知のほとんどは、災害の被害を和らげる試みというよりは学術的な好奇心によるものだ。そのいくつかは単なる偶然で地震の起こる場所や時期を言い当てられたにすぎない。UCLAの地球物理学者 David Jackson は「地震予知はラスベガスに行くようなものだ」と言う。彼は、予知が当たらない方に金をかけ、同僚から金をせしめたという経験がある。

そうした状況にもかかわらず、地震予知研究を続けている国もある。しかし米国では、研究者が地震予知に取り組むと表だって公表することはわが身のためにならないことになってしまった。熱心な地震学研究者たちは、研究資金を得るためには全米科学財団(NSF)や米地質調査所の意向に配慮しなければならない、と言う。彼らは、誤りの余地がもっと大きい気象学から言葉を借りて、「予知」ではなく「予報」という言葉を使い始めた。

特に、ノースリッジ地震と阪神大震災の後、一般の人たちの関心は地震を予測する試みから離れ、地震の損害を減らすことに移った。1990年代に米地質調査所で研究していた、地球物理学者の Jim Mori 京都大学防災研究所地震予知研究センター教授は「科学者たちは、一般の関心に追従した」と話す。研究資金は地震の早期警戒システムに流れた。これは、たとえば地震の初期微動を見つけ、地震そのものよりも速く地震警報を送るというものだ。こうしたシステムは現在、台湾、日本、メキ

シコシティで実際に設置されていて、地震災害が襲う前に列車やガスの供給を止めることができる。カリフォルニア州でも同様のネットワークが検討されている²。「ひどい地震の後には、人々は災害による被害の緩和を望むものだ。しかし今、一般の人たちの関心は基礎科学に戻つつある」と Mori 教授は話す。

たとえばサンフランシスコの住民を避難させるに十分な根拠とできるような、本物の予知はまだ不可能かもしれない。しかし、研究者たちは今、地震の複雑さについて理解を深めており、その知見は緊急の対策を行うべき場所と時間を明確にするのに役立つ可能性がある。たとえば、研究者たちはカリフォルニア州のサンアンドレアス断層で、地震が発生する場所である断層線上のポイントを調べ、そこでの圧力、温度、岩質、含水量を知るために深さ数キロのボーリング調査を行っている。これは(少なくともいくつかのケースでは)地震の理解を大きく進めるはずだ。

このように研究者たちは地震がどのように起こるのかを解明しようとしている。最近、地球の深部がエネルギーを放出するメカニズムが新たに2つ発見され、地震発生機構の研究に大きな刺激となった。

静かな地震

新たに見つかったエネルギー放出メカニズムの1つは、「サイレント地震」あるいは「スロースリップ」と呼ばれている³。この現象は深さ30キロから40キロの地中で起こり、1日から1年間続き、マグニチュード7.0の地震に相当するエネルギーを放出することがある。しかし、通常の地震よりも運動は遅く、地表で感じることはこれまでなかった。こうした断層線での摩擦は、互いに滑らかにゆっくり動いている構造プレートの境界にある、滑らかに動いている断層よりも大きい。しかし、断層の滑り量が大きく、大きな地震を引き起こ

すような断層内の小領域における摩擦よりは小さい。こうしたサイレント地震を地表で検出するにはふつう、GPSが使われる。世界でもっとも大規模なGPS観測点網を持つ日本では、そのような現象が過去10年間に10回見つかかり、サイレント地震はまれで、取るに足らない例外現象であるという批判が誤っていることを証明した。

もう1つのエネルギー放出機構に伴う地震活動は、火山の地下を動くマグマが起こす震動と似ているが、火山の近くではないところで起こる。防災科学技術研究所(茨城県つくば市)の小原一成・高感度地震観測管理室長は2000年9月はじめ、紀伊半島などの3カ所でこの種の地震活動を観測した⁴。いずれの震動も、本来は震動の源であるはずのマグマから遠い場所で、沈み込み帯という地震活動が活発な場所で起こった。沈み込み帯は海洋のプレートが大陸のプレートの下に潜り込む場所ではあるものの、見つかった震動はこれまでにない新しい現象だった。米地質調査所のカリフォルニア州メンローパークにある支所に所属する Bill Ellsworth は「これは新しい地震波源だ。新しい地震波源は、ここ50年間見つかっていなかった」と言う。

こうした非火山性震動は、潜り込む海洋プレートとともに地下約30キロの深さへ運ばれる水によって引き起こされると小原室長はみている。その深さでは水は強く圧縮され、地殻深くの裂け目に無理に入り込むか、新しい裂け目を作るというのだ。

両方の現象とも地震発生時の複雑さを示している。地震予知に使われる単純なモデルがきわめて不完全であることを知っていた研究者にとっては、こうした現象の発見は喜ばしい前進だ。「複雑なシステムが理解されれば、予知は可能かもしれない」と川崎教授は話す。川崎教授は1992年にサイレント地震を追跡した⁵。「こうした新しい地震発生機構は、ほとんどの人が10年前には想像もできなかった新しい地震像を教えてくれる」と川崎教授は話す。

米国北西部とカナダの海岸沖のカスケード沈み込み帯では、サイレント地震と非火山性震動がともに見つかった⁶。時間をさかのぼるデータ分析により、この2つの現象がここ6年間はおよそ14カ月周期で起こっていることが分かった。「地球は秩序だったふるまいをしているらしいことが分かってきた」と



▶ Ellsworth は話す。

カリフォルニア州パークフィールドで起きた最近の地震も、周期的なシステムの存在を示唆している。この地域では22年ごとに大きな地震が起こると考えられていた。もっとも最近の地震は今年9月28日にあり、予測された時期よりも15年遅れていた。しかし、地震は予測されたとおりの場所で起こり、一部の地震の周期的な性質について再び議論が活発になった⁷。

別の研究者たちは、もっと複雑なパターンを探している。たとえばカリフォルニア大学デービス校の John Rundle らのグループは、小さな地震の記録を詳しく調べ、今後10年間に大きな地震がありそうな「ホットスポット」を探している。Rundle の分析方法は、一見無秩序に見えるマグニチュード3あるいは4の地震の発生パターンを調べれば断層にかかる圧力を割り出すことができるはずだという考えにもとづくものだ。圧力があるしきい値を超えると大地震が起こる可能性が高くなる、と Rundle は説明する。

Rundle が2002年2月に彼の研究結果⁸を発表してから、研究対象となったカリフォルニア地域でマグニチュード5以上の地震が11回起きた。うち10回は彼がいうホットスポットの範囲内だった。「自分の分析方法がこれほどうまくいくとは思っていなかった」と Rundle は話す。Rundle は、日本のホットスポットの地図作成にも取り組んでいる。10月23日には新潟でマグニチュード6.8の地震が起こり、少なくとも25人が死亡し、2,000人を超える人がけがをした(記事初出10月28日現在)。新潟は Rundle のホットスポットの1つの近くである。

Rundle は「私のホットスポット地図では、地震活動が活発とされる地域は、活断層地帯の24%に絞られる」と話す。これは、地震で破壊される恐れのある橋などのインフラの改良に、限られた予算や人をどう配分すればよいかを決める際に役立つだろう。「この地図を今すぐにも使ってくれればいいのだが」と Rundle は言う。

Keilis-Borok も、統計とパターン分析を使って地震予知を行う。彼のアルゴリズムは大地震の履歴から導き出される。最新の Keilis-Borok の予知によると、今年1月5日から9月5日の間に、カリフォルニア南部、32,000平

方キロの地域でマグニチュード6.4以上の地震が起こるとされた¹。

予知がもたらす混乱

Keilis-Borok の方法⁹は、多くの地震研究者にとって納得できるものではなかったし、理解しやすいものでさえなかった。Keilis-Borok や Rundle の分析方法は、両方とも莫大な計算が必要で第三者のチェックが困難だと非難する研究者もいる。

仮にこのような長期の予知が常に正確だとしても、それをどう扱うべきか、防災担当当局にとって頭が痛い問題として残る。地震警報によって引き起こされるパニックは、早期警報が防ぐ損害よりも深刻かもしれないと恐れる者もいる。

予知結果に関するカリフォルニア州知事の諮問機関「カリフォルニア地震予知評価会議」は、Keilis-Borok の予知について公式見解を発表した。それによると、Keilis-Borok の方法は「まだ実証されておらず、特別な対策を行う根拠とはならない」とされた。しかし、同じ文書内で Keilis-Borok の分析方法は「妥当」とされている。

今回の混乱を考えると、一般の人たちには明確なメッセージを伝えることが大切だ。南カリフォルニア地震センターのコミュニケーション・教育・奉仕活動部門の責任者 Mark Benthien は「Keilis-Borok は、地震が起こらないであろう確率を50%としたが、こうした言い方では一般の人には理解できない」と話す。9月5日が過ぎると地震はただ遅れているだけだと考える人もいたし、地震はまさに9月5日当日に起こるものと考え、前日に水を手に入れようと走り出す人もいた。ある人は9月6日になると、もうはずした額縁を壁に戻してよいものかと思案していた。「この地震はもう終わったから、準備の必要はなくなったと考えている人たちが少なくない」と Benthien は話す。

ふたたび「予知」へ

各国政府がすぐに短期の地震予知を行うことは考えにくい。もっとも、中国は例外かもしれない。中国では今も「公式な予知」がときどきニュースに流れる。日本では地震予知を研究している研究者は多く、「予知」という言葉はそれほどタブー視されていないが、その日

本でさえ政府は公式な予知を行っていない。川崎教授によると、これはパニックを避けるためと、自然の複雑さへのある種の敬意のためだという。日本では、予知研究はあくまで個々の研究者の研究テーマであって、一般人に対して予知結果を公表することは科学界の意見の一致がない限り行ってはならないという倫理がある。明らかに今のところ、そのような意見の一致はまだない。

米国では、地震予知そのものについての議論と、それを呼ぶのに使う言葉に関する議論が続いている。南カリフォルニア地震センターの会議の記者会見では、Jones はイライラした記者に「記事に『予報』と『予知』のどちらを使うべきなのか」と問いつめられた。記者は「『予知』という言葉をもう何年も聞いているし、ふたたび脚光を浴びるようになってきているというのに、なぜ、『予報』のほうが適切だとデスクを納得させる必要があるのか」と尋ねた。

多くの人が、この議論はアカデミックなものだというだろう。たいいていの地震研究者は、2つの言葉の違いを明確にするよう求められれば、ため息をつき、回答はだれかほかの研究者にまかせようとするだろう。しかし、Jackson は「予知」に明確な定義を与えた。「『予知』は、何らかの理由で地震の発生確率が通常よりも高くなった場合、つまり、何らかの特別な行動の根拠となるに十分なほど高くなった場合に使われる言葉だ」。もしそうなら、「予知」という言葉を実際に使うのは難しい。しかし、科学、一般の人たちの理解、メディアが、いずれも地震予知に関する意識を高めることを求めている。こうした状況に後押しされ、米国政府は「予知」という言葉を使う準備を進めている。 ■

David Cyranoskiはネイチャーのアジア・太平洋担当記者。

1. Cyranoski, D. *Nature* **431**, 117 (2004).
2. Allen, R. M. & Kanamori, H. *Science* **300**, 786–789 (2003).
3. Kawasaki, I. *Earth Planet. Space* **56**, 813–821 (2004).
4. Obara, K. *Science* **296**, 1679–1681 (2002).
5. Kawasaki, I. et al. *J. Phys. Earth* **43**, 105–116 (1995).
6. Rogers, G. & Dragert, H. *Science* **300**, 1942–1943 (2003).
7. Cyranoski, D. *Nature* **431**, 618 (2004).
8. Rundle, B., Tiampo, K. F., Klein, W. & S Martins, J. *S. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **99**, 2514–2521 (2002).
9. Keilis-Borok, V. *Phys. Earth Planet. Int.* **145**, 75–85 (2004).