地球科学

Lasting earthquake legacy

大地震の予兆か、それとも単なる余震か

Tom Parsons

Nature Vol. 462(42-43)/5 November 2009

地震はプレート境界だけでなく、大陸プレートの内陸部でも起こる。このプレート内陸部地震は、長期にわたる危険な場所を教えているのか、それとも、遠い過去に起こった地震の余震にすぎないのか。

1811 年 12 月 16 日の早朝、米国中央部にあるミシシッピ州の小さな町ニューマドリッドの周辺をマグニチュード約 7 の地震が襲った。翌年 2 月 7 日までに、同程度のマグニチュードの地震がさらに 3 回発生した[1]。この地震は、アーカンソー州、ミズーリ州、テネシー州の州境界に沿った一群の断層を破壊し、大陸プレート内にある昔の断層を再び活発化させたとみられる[2]。

1886 年 8 月 31 日、サウスカロライナ州チャールストンをマグニチュード 7 の地震が襲った。この場所では、現在もなお低レベルの地震活動が続いている。これらの場所の地震の危険性を予測すると、ニューマドリッドとチャールストンは約 500 年間隔で大地震に襲われるはずだという見方がある[3]。こうした場所では平均よりも強い揺れが予測され[4]、サンアンドレアス断層やカスカディア（カスケード）沈み込

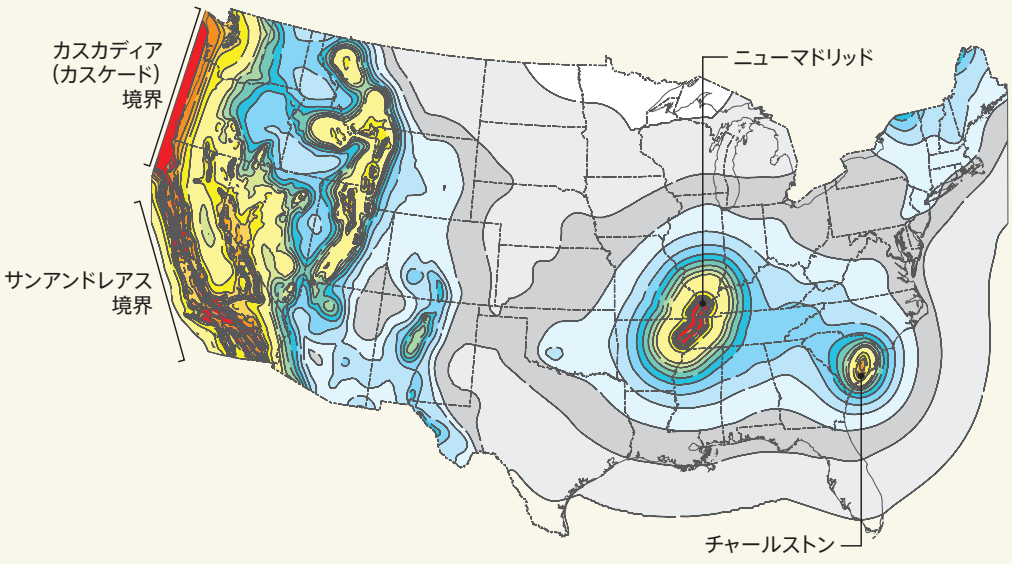

図 1：米国の地震の危険性の確率的評価[3]。暖色系の色は、強い地震動が起こる可能性が最も高い地域を示している。そうした地域は、主要なプレート境界の近くにあるか、プレート境界に影響される場所にある傾向を示す。一方、ニューマドリッドやチャールストンなど大陸内陸部で地震が集中している場所は、大地震を頻繁に起こせるほどの変形が持続していることを反映していると解釈されてきた。このことと予測される地面の応答とを考え合わせ、これらの地域は西海岸のプレート境界地域に匹敵する危険性があると見積もられた。しかし、Stein と Liu は、低レベルの大陸内陸部地震活動は、長く続く余震なのではないかと提案した[5]。

© 2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

み帯が位置するプレート境界に匹敵する地震の危険性がある、という見積もりが出されている[3,4]。その結果、全米地震危険度地図には、危険性の高いこれら2か所が射撃の的のように示されており（図1）、その地域の建築基準や人々の安全に対する意識などに影響を与えている。

しかし、ニューマドリッドやチャールストンなどの大陸内陸部を、地震が再び襲うとは限らないとしたらどうだろう。ノースウェスタン大学（米国イリノイ州エバンストン）のSeth Steinとミズーリ大学コロンビア校（米国）のMian Liuは、ニューマドリッドや世界の他の場所の地震活動データから、余震の持続期間とプレート変形速度との間に逆相関があることを発見した（*Nature* 2009年11月5日号87ページ）[5]。大陸内の活動度が特定の場所で高いことは、定常的なプレート変形を反映していると解釈されているが、もしかすると「単に非常に長く続く余震かもしれない」とSteinらは主張している。

余震の発生率（単位時間あたりの余震回数）は、本震直後に最も高く、その後はおおむね時間の逆数に比例して減衰する（図2）。この法則は、1894年に地震学者の大森房吉（後に東京帝国大学教授）によって初めて見いだされ[6]、現在「大森公式」とよばれている。SteinとLiuは、余震の減衰はプレートの変形がほとんどないときはとても緩慢で、数百年間続く可能性があることを示した[5]。対照的に、変形の速いプレート境界での余震発生率は、約10年でバックグラウンドレベルに戻る。

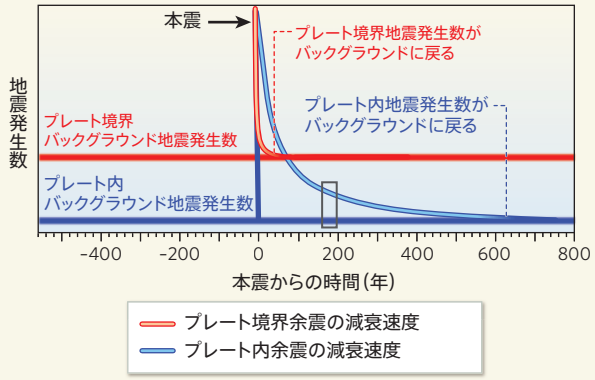

図2：プレート境界とプレート内地域との余震減衰速度の比較。本震は地震発生数を一時的に増やし、その持続期間はプレート変形速度によって決まる[5]。黒い長方形は、減衰しながら長く続くプレート内余震を現代の機器によって観測した期間を示す。観測期間は約40年にすぎず、バックグラウンドの定常的で低い地震発生率と余震とを区別することの難しさを示している。

「速度および状態依存摩擦構成則」とは、「断層の破壊は、最初は極めてゆっくりしたすべり速度と断層中のある接触点群の持続時間（状態）とによって決まる」という考え方である。この仮説の主要な予測は「1つの断層の余震減衰期間は、プレート応力が蓄積する速度に直接的に依存するはずだ」というもので[7]、この予測がSteinとLiuの観察によって確かめられた。ニューマドリッドやチャールストンでの余震が減衰していることは、定常的な変形がほとんどないことと合わせて考えれば、地震の発生確率も同様に低下していることを意味するだろう。

プレートの変形が続いているかどうかを評価するには、異なる観測方法がいくつかある。その1つが古地震学によるもので、古地震学は、犯罪捜査のように有史以前の地震が残した地質学的手がかりを読み取っていく。ニューマドリッドで900年ごろと1450年ごろに起きた地震群は、この古地震学の手法で分析されてきた[8]。この分析では、1811～12年の一連の地震も考え合わせて、地震は500年間隔で繰り返すと見積もられ、それが危険度地図の作製に使われた[3]。一方、宇宙測地学は、宇宙に置かれた座標系を使って現在の地殻の運動を監視するもので、それによると、ニューマドリッド地域の現在の変形速度を教えてくれるが、大陸内陸部のほかの部分の変形速度と変わりがない。このため、ニューマドリッドの断層は活動を終えつつあると解釈されてきた[9]。古地震学の記録をさらに詳しく調べると、地震が一時的に続いた時期の後、数千年にわたって活動しない時期があったことがわかった[10]。もし現在が静かな期間に入りつつある時期だとするなら、これら対照的な観測事実は矛盾なく説明できる。

ここで、地質学的時間尺度と人間の時間尺度の相違が問題になる。気象学者は、数百周期におよぶ季節変動を観察して、自分たちの天気予報を検証することができる。しかし、地震予測を研究する研究者らは、地球のどんな場所であろうと、いまだ、ゆっくりと変形していく大陸内陸部での地震周期を完全に観察したことがない。地震の予測は、1年間の天気を1月の1週間をみただけで予測することに似ている。SteinとLiuの研究もこの問題から逃れることはできない[5]。短い観察期間で長い余震減衰傾向を正確に予測することは難しい。地震を歴史的に長く観察できてはいないことは、実際に危険でもある。インドネシアのスマトラ島や中国の四川省で最近、不意打ちといえる巨大地震があったにもかかわらず、将来の危険性を予測するとき、過去の地震を過度に重視する傾向がまだある。

最近の地震を過度に重視することを避け、大陸内陸部の地震活動をさらによく理解するためには、過去に破壊が起こっ

© 2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

ていない地殻の弱い部分を見落とさないことが必要だろう。ニューマドリッドやチャールストンなどの場所が特別なのかどうかを知るためには、これまで断層地図作製や古地震学的研究を行っていない場所での調査や研究も必要かもしれない。同時に、定常的なプレート変形の信号とゆっくりと減衰する過去の地震の余震とを区別しなければならない。

大陸内陸部の地震周期の研究はまだ日が浅く、どうしても不確実なことが多い。このため、地震の予測は、大森公式にのっとって時間的に減衰する危険性評価を含め、論理ツリーのさまざまな可能性を考慮しなければならない。そうしたアプローチをとれば、地震被害軽減のために使える資金の範囲内で、大陸内陸部地域の耐震建築設計基準を現実的かつ適切に決めることは可能だ。（新庄直樹 訳） ■

Tom Parsons、米国地質調査所。

1. Mueller, K., Hough, S. E. & Bilham, R. *Nature* **429**, 284–288 (2004).
2. Braile, L. W., Keller, G. R., Hinze, W. J. & Lidiak, E. G. *Tectonics* **1**, 225–237 (1982).
3. Frankel, A. *et al. US Geol. Surv. Open-File Rep*. 02-420 (2002).
4. Frankel, A. *Seismol. Res. Lett.* **75**, 575–586 (2004).
5. Stein, S. & Liu, M. *Nature* **462**, 87–89 (2009).
6. Omori, F. *Rep. Imperial Earthquake Investigation Committee* **2**, 103–109 (1894).
7. Dieterich, J. H. *J. Geophys. Res.* **99**, 2601–2618 (1994).
8. Tuttle, M. P. *et al. Bull. Seismol. Soc. Am.* **92**, 2080–2089 (2002).
9. Calais, E. & Stein, S. *Science* **323**, 1442 (2009).
10. Holbrook, J., Autin, W. J., Rittenour, T. M., Marshak, S. & Goble, R. J. *Tectonophysics* **420**, 431–454 (2006).

リンおよびオーキシンの受容体が突き止められ、最近注目　かにされた。

© 2010 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved