地震

サモア沖地震はダブル地震だった

Double trouble at Tonga

佐竹健治 2010年8月19日号 Vol. 466 (931-932)

2009年9月に発生したサモア沖地震は、性質を異にする2つの大きな地震が、ほとんど同じ時刻に、非常に近い場所で発生するという不思議な地震だったようだ。どちらか一方の地震が他方の地震を誘発したと考えられるが、どちらの地震が、どのような機構で、後続の地震を誘発したのだろうか？

1つの地震が、ほかの地震を誘発することがある。このようにして誘発される地震のほとんどは、より大きな主震を引き起こした断層面の上、またはその付近でひずみが解消されることにより生じる余震である。しかし、*Nature* 8月19日号で Beavan ら¹ (959 ページ) と Lay ら² (964 ページ) が取り上げたサモア沖地震は、発生時刻が重なっていて、場所も近接しているが、その機構が大きく異なる2つの地震から構成されている点で興味深い。著者らは、どちらの地震が先に発生したかについても、またその地震がもう1つの地震を引き起こした機構についても、対照的な結論に達している。

問題の地震は、南西太平洋のトンガ海溝の付近で2009年9月29日に発生した。この地震に伴う津波は、サモア独立国、アメリカ領サモア、トンガの全域で200人近くの命を奪った^{1,2}。この地震は、基本的には、太平洋プレートがオーストラリアプレート（詳しくいうと、その中のトンガブロックとよばれる部分）にぶつかり、その下に沈み込んでいくことにより発生した。トンガ海溝付近のプレートの収束速度は1年に約20cmで、世界で最も速いにもかかわらず、1917年以降、マグニチュード8以上の大地震は一度も発生していなかった。だから、2009年9月の2つの地震がそれぞれマグニチュード8クラスに達していたこ

とは、地球物理学者たちを驚かせた。

地震記録から読み取れる主震は、典型的な沈み込み帯地震ではなかった。大地震と、これに伴う津波は、2つのプレートの境界が突然すべり、そこに蓄積されていた圧縮応力が解放されることにより発生する。そのようなプレート境界地震の最近の例としては、2010年2月27日にチリ中部を揺るがせ、津波を発生させたマグニチュード8.8の地震がある。これに対して、サモア沖地震の主震は、沈み込んでいく太平洋プレートが海溝の手前で折れ曲がり始めるアウターライズ（海溝外縁隆起帯）とよばれるプレート内の領域で、伸張応力による断層運動として発生した。

ただし、大きなアウターライズ地震は、地球物理学的には特に珍しいものではなく、過去100年間に何度か記録されている。アウターライズ地震は、沈み込んでいくプレートが下向きに引く力により容易に説明できる。この力は、プレートの境界の断層に応力が蓄積されない場合にはアウターライズのほうまで伝わることもあり、大地震によりプレート境界が破壊された場合には突然大きくなることもある。2006年11月に千島海溝に沿って発生したマグニチュード8.3のプレート境界地震は、沈み込んでいくプレートをアウターライズから引き離し、わずか2か月後に、伸張応力によるマグニ

チュード8.1のアウターライズ地震を引き起こした³。一般的には、第二の地震は静的応力の変化により誘発される。地震の際に断層が突然ずれると、付近の一部の断層にかかる負荷が増し、ほかの断層にかかる負荷は減る。このような応力の変化は、前者の場合は第二の地震の発生時期を早め、後者の場合は遅らせる可能性がある⁴。

Beavan ら¹ と Lay ら² は、サモア沖地震ではプレート境界地震とアウターライズ地震が関連していたことを発見した（図1）。この発見を裏付ける最も強力な証拠は衛星測地学データである。Beavan ら¹ は、地震の前後のトンガ北部のGPSの測定値を比較して、横方向に35cmの変位が起きたと見積もったが、その変位の向きは、この地震がアウターライズ地震であった場合に予想される変位の向きとは反対だった。2010年のチリ地震のときのように連続的なGPS測定値があればどちらの地震が先に起きたか特定できたはずであるが、サモア沖地震ではそうしたデータは入手できなかった。

米国海洋大気局（NOAA）が運用するDARTという海底圧力センサーに記録された津波の波形も、地震の発生順序を知るための手がかりとなる。プレート境界地震とアウターライズ地震は地震断層の上で対照的な海面変位を引き起こすた

図1 2009年9月29日にトンガ海溝で発生した地震の2通りの解釈。a. 2つの地震が発生した順序について、Beavanら¹とLayら²は異なる結論に達した。ここでは、それぞれが先に発生したと考える地震をB1とL1、後に発生したと考える地震をB2とL2とする。地震学的には、どちらの解釈も明確ではない。地震(B1)がゆっくりしていて、すべりの速さが遅い場合、その信号は通常の地震記録では検出できない可能性がある。また、第二の地震(L2)が第一の地震のすぐ後に起こる場合、その信号は地震記録の中で埋もれてしまう可能性がある。b. オーストラリアプレートと太平洋プレートがぶつかるトンガ海溝の模式図。2つの研究グループ^{1,2}は、B1/L2が圧縮応力により2つのプレートの境界で起こるプレート間地震であったことと、目に見える主震(B2/L1)が伸張応力によりアウターライズで起こるプレート内地震であったことについては意見が一致している。Beavanら¹は、GPSの測定値と津波の波形のモデルからその結論を導き出した。Layらの解釈は、入手可能な地震データの分析に基づいている。

め、津波の波形は、その原因となった地震の種類に強く影響されるからである。NOAAのモデル製作者は、遠地の津波を予測するためのリアルタイムのデータ同化(内挿や外挿)において、暗黙のうちにプレート境界地震モデルを考えていた⁵。Beavanらも、この地震はプレート境界地震であったと考えるほうが、DARTステーションで記録された津波の波形をうまく説明できることを示し、アウターライズ地震の前にゆっくりしたプレート境界地震が発生したと考えたときに最もよい一致を得た。彼らによると、この順序は、千島列島沖地震の場合と同じく、静的応力の変化によって説明できるという。

2つの地震がほぼ同時に発生するときには、第二の地震からの信号は、第一の地震からの地震波の中に埋もれてしまう可能性がある。Layら²は、入手可能な地震データについて、非定型的で、詳細で、包括的な分析を行い、アウターライ

ズ地震の後に発生した地震からの信号を検出することができた。彼らのモデルは、主震であるアウターライズ地震がプレート境界を揺さぶり、これを破壊したことを示唆している。こうした動的誘因は実際にあり、第一の地震から数百kmも離れた所の断層で記録されている⁶。

しかし、プレート境界地震が本当に後で起きたのかどうかを判断することは困難だ。その地震が、地震波の周期に比べてゆっくり発生した場合には、通常の地震記録では検出できないだろう¹。超長周期地震記録を分析することで²、そうした「ゆっくり地震」の存在を示すことはできるが、超長周期記録から地震が発生したタイミングを正確に推定することは難しい。Layら²は、プレート境界地震は、一対のサブイベントとして海溝の近くで発生したと考えている。すべりが発生した場所がプレート境界の浅いところであるほど、そして、海溝軸に近いほど、地震はゆっくりになることが

示されている⁷。ゆえに、プレート境界地震による破壊はゆっくり起きたのかもしれない。

まとめると、2本の論文^{1,2}はいずれも、2つの地震のうちどちらが先に起きたかについて、不確定性を残している。そして、どちらの地震が原因で、どちらの地震が結果であったのかが明らかになるまでは、第二の地震の誘因が、伸張による断層運動での静的応力の解放であったのか、圧縮による断層運動での動的応力の解放であったのか、特定するのは困難である。

(翻訳：三枝小夜子)

きたけけんじ
佐竹健治、東京大学地震研究所。

1. Beavan, J. et al. *Nature* **466**, 959–963 (2010).
2. Lay, T. et al. *Nature* **466**, 964–968 (2010).
3. Ammon, C. J., Kanamori, H. & Lay, T. *Nature* **451**, 561–565 (2008).
4. Stein, R. S., King, G. C. P. & Lin, J. *Science* **265**, 1432–1435 (1994).
5. <http://nctr.pmel.noaa.gov/samoa20090929>
6. Gombert, J., Reasenberg, P. A., Bodin, P. & Harris, R. A. *Nature* **411**, 462–466 (2001).
7. Bilek, S. L. & Lay, T. *Nature* **400**, 443–446 (1999).