

新たな地震「ゆっくり地震」のスケール法則を発見

井出哲

近年、「ゆっくり地震」とよばれる奇妙な現象が相次いで発見されている。東京大学大学院理学系研究科の井出哲講師らとスタンフォード大学の合同研究チームは、主に四国西部のデータを解析し、これらの現象が1つの単純な法則に従うことを突き止め、Nature 5月3日号¹に発表した。ゆっくり地震とはどんな地震なのか、井出講師に話を聞いた。

通常の地震とは異なる「ゆっくり地震」のスケール法則

Nature Digest — ゆっくり地震とはどういう現象ですか？

井出 — 四国西部は、フィリピン海プレートが南から日本列島の下に沈み込むプレート境界にあたり、過去にマグニチュード (M) 8クラスの南海地震が繰り返し起きていた地域です。その震源域の深部で、2000年ころから普通の地震ではないおかしな地震がたびたび観測されてきました。体に感じない小さな振動が比較的長い時間続く現象で、M1程度で継続時間が1秒以下の「深部低周波地震^{*1}」、微かな振動が数十秒〜数日間続く「深部低周波微動^{*2}」、M3程度で数十秒続く「超低周波地震^{*3}」、M6〜7程度で数日から1年以上続く「スロースリップ^{*4}」などがあります (図1)。これらの現象を総称して「ゆっくり地震」とよんでいます。

ND — いろいろなレベルのゆっくり地震があるのですか。

井出 — はい。これまでの研究で、深部低周波地震と深部低周

波微動は、どちらも同じプレート境界のすべり運動であることがわかっています^{2,3}。深部低周波地震が群発したものが深部低周波微動であることもわかりました⁴。さらに、超低周波地震やスロースリップの分析結果と比較してみると、すべてが同じ時期に同じ場所で起きた同じ方向へのすべり運動であると解釈できます。そこで、それぞれの規模と継続時間を比較してみたところ、ある法則性が見つかったのです。

ND — どんな法則ですか？

井出 — 地震の規模を表す地震モーメント^{*5}と継続時間が、極めてシンプルに比例するのです。マグニチュードが1大きくなると、継続時間は30倍長くなるという関係です。普通の地震はマグニチュードが1大きくなると継続時間は3倍長くなりますから、明らかに違います。また、四国西部と似た現象は世界各地で見つっていますが、それらもこのシンプルなルールで説明できるだろうと考えています (図2)。

ND — 4種類のゆっくり地震は、結局は同じ現象だということですか？

井出 — 要は継続時間の長さの違いで、基本的には同じ現象だと考えられます。1秒以下なら深部低周波地震。1秒以上続くと深部低周波微動として認識され、微動がある程度集中して起こると超低周波地震として認識される。さらに何日も続くと、その変動は地殻変動観測によってスロースリップとして観察される。つまり、これまで別の現象だと思われていたものは、実は同じ現象を異なる時間スケールで見えていたものだったといえるでしょう。

プレート境界で起こる巨大地震とゆっくり地震

ND — 南海地震の震源域のすぐ近くで起きています。ゆっくり地震と巨大地震との関連性はありますか？

井出 — この地域はプレート境界そのものです。浅いところでは巨大地震が繰り返し起き、それより深いところではゆっくり地震が起きている。その関連性はまだはっきりわかりませんが、地震はたまっぴずみを解放するプロセスですから、すべり運動が起きればその近くになんらかのひずみがたまり、地震の発生を促進するのは自明のことです。四国西部とよく似た現象が観測されている北米大陸西岸沖のカスケード沈み込み帯では、ゆっくり地震が起きたあとで地震活動が高まるといわれています。今後は、ひずみの量の推定やひずみと地震活動との関係など、観測とからめて定量的に検討する必要があると思います。

ND — ゆっくり地震は普通の地震と何が違うのでしょうか？

井出 — それこそが、これから解明していきたいことです。なぜゆっくりになるのか？ 何が違うのか？ まだわかっていな

Ide, S. et al. Nature 447, 76-79 (2007)

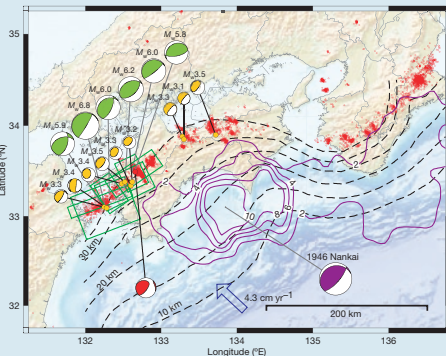


図1 四国西部のゆっくり地震の分布。赤は深部低周波地震、黄は超低周波地震、緑はスロースリップを示す。紫色の範囲は1946年の南海地震の震源領域を、点線は沈み込むフィリピン海プレートの上面の深さを表している。ゆっくり地震は、沈み込むフィリピン海プレートが深さ30〜35kmに達したあたりで起きている。

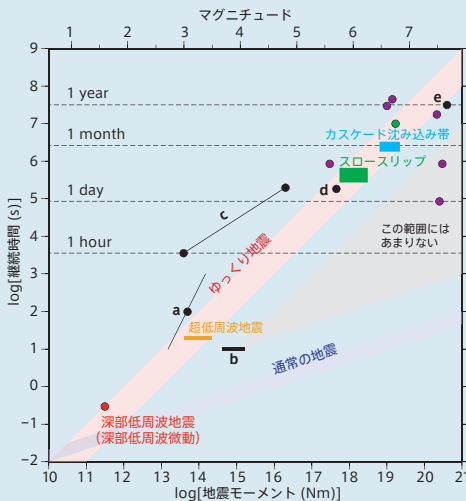
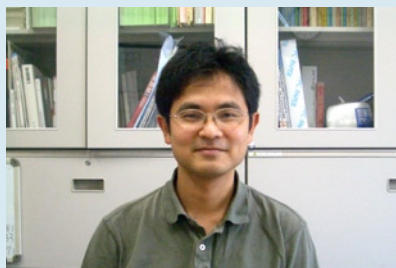


図2 ゆっくり地震と通常の地震のスケール法則の違い。普通の地震は断層が高速ですべる現象で、マグニチュード7の巨大地震であっても20秒程度しか続かないが、マグニチュード7のゆっくり地震は1年近く継続する。a〜eは世界各地の類似の現象 (a: イタリア, b: 南海, c: カリフォルニアのサンアンドレアス断層, d: ハワイ, e: 三陸、紫のドット: 南海とカスケード沈み込み帯以外のスロースリップ)。これらがすべて同じ物理現象であるかどうかはわからない。



井出哲 (い で ・ さ と し) / 東京大学大学院理学系研究科講師。理学博士。1969年、東京都生まれ。1992年、東京大学理学部地球物理学科卒業。1997年、同大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻博士課程修了。1997年に東京大学地震研究所助手、2001年にスタンフォード大学在外研究員を経て、2002年より現職。

兵庫南部地震などの大地震をテーマに研究をスタート。主に地震データの解析から、地震とはどういう現象なのかという一般性を探ってきた。1997年

から5年間は、東京大学地震研究所で地震観測業務のかたわら研究を行う。大地震から微小地震までのさまざまな地震の起こり方を解明するとともに、地震時の断層摩擦法則の推定を行う。平成16年度日本地震学会若手学術奨励賞、平成18年度文部省若手科学者賞受賞。2000～2001年にはスタンフォード大学に在外研究員として滞在し、G・C・ペローザ教授とともに地震のエネルギー収支やスケール法則の研究に取り組んだ。2005年ごろから、ペローザ教授、D・R・シェリー博士とともに、一連のゆっくり地震の研究を行っている。

いのです。これまでプレートのすべり運動は、浅い場所では不安定すべりを、深い場所では安定すべりを起こすと考えられてきました。ブロックをバネで引っ張る場面を想像してください。2つのモデルが考えられます。1つはずるずるとついてくる。もう1つはしばらく動かず、突然ビヨーンと動く。前者が安定すべり、後者が不安定すべりに相当します。つまり、地震が発生する浅い領域ではプレートは固着して今は動かない。一方、深い領域では常にずるずるすべっているため、固着した領域にはしだいにひずみがたまっていく。ひずみが限界に達すると固着がはがれて、巨大地震が発生するというわけです。

ND — 深さですべり方が違うために地震が起こるのですね。

井出 — 深さで違うということは、温度で違うということです。プレートが沈み込むにつれて、地下の温度は上昇しますから、岩石の性質も岩石と岩石の間の摩擦の性質もかわってきます。ただ、これまでの考え方の中に、ゆっくり地震は含まれていませんでした。最近では、固着している領域と安定している領域の間に中途半端な領域があって、そこで間欠的にすべり運動が起きるのではないかと考えられています。この深さでは岩から搾り出された水の存在が、プレート間のすべり運動を促進する効果をもつと推定されます。だからといって、なぜゆっくりになるのかは、まだ説明がつきません。ゆっくり地震についてのさらなる理解が、プレート沈み込みのプロセスや巨大地震発生のメカニズムの解明につながると思います。

ND — 今回の発見の意義はどんなところにありますか？

井出 — サイエントフィックな意義としては、私たちは非常にベーシックな法則を見つけたのではないかと思います。これまでよくわからなかった地下のすべり運動を、統一的に理解するための1つの突破口が得られたのではないかと思います。また、東海地方から四国地方は巨大地震発生のリスクが日本でいちばん高い地域です。ゆっくり地震はそのリスクを高める要素になります。同時に、プレートのすべり運動は常に起きているのではなく、ときどき活動として起きることがわかったわけです。そうすると、地震発生のリスクは均一に上昇するのではなく、急激に上がったたり下がったり不均一になると考えられます。巨大地震発生のリスク評価に、こうした新たな要素を付け加えることができるという社会的な意義もあると思います。

地震の総合的な解釈をめざして

ND — 地震の研究を始めたきっかけはなんでしょう？

井出 — 自問自答するところですね (笑)。もともと物理学に興

味がありませんでしたが、最先端の極限の世界にはあまり魅力を感じなくて、自然の現象について研究したいと漠然と思っていました。あとは、実験より観察や観測のほうが好きでしたね。そんなところから、地球を相手にオブザベーションすることに魅力を感じたのは事実です。実際、地震研究所に在籍していたころは、観測をメインの仕事にしていました。地球科学の基本は、やはり観測からくるデータだと思っています。

ND — 今後はどんなことをめざしていますか？

井出 — 今回の発見で、急に視野が開けた感じがしています。地球全体の変形を考えたときに、何がわからないのかがわかってきたという感じですね。これからはなければならないことがたくさんあると思っています。私はもともと、地震とはどういう現象なのか、地震の大小で性質はどちらがうのかということの研究してきました。だいたいわかってきたなと思っていたら、今度はゆっくり地震のような別のものがでてきた……。今まで私たちが地震として見てきたものは、実は総合的な地震のプロセスのごく一部であって、地震という現象を本当に知るにはまだまだ先があると感じています。これからの研究の中で、ゆっくり地震と普通の地震を合わせた新しい考え方を見だし、正しく理解したいと思っています。

ND — ありがとうございます。 ■

聞き手は財部恵子 (サイエンスエディター)。

* 1 深部低周波地震

深さ約30 kmで発生する微弱な地震で、低周波振動が卓越するもの。規模はM1程度、継続時間は1秒以下。南海トラフ沿いや内陸の地震活動領域の深部にも見られる。四国西部においては、震源位置がプレート境界に沿って分布しており、プレートのすべり運動であることが明らかになっている。

* 2 深部低周波微動

微弱な振動が数十秒～数日間続く現象。2000年ごろに、西日本の南海トラフ沿いで発見された。成因にはさまざまな説があったが、深部低周波地震が群発的に起こっているものであることがわかった。

* 3 超低周波地震

深部低周波地震とスロースリップの中間的な現象で、微弱な振動が数十秒続く。規模はM3～4。2006年に深部低周波微動の発生領域付近で発見された。プレートのすべり運動によるものと判明。

* 4 スロースリップ

地震波をほとんど放出しないゆっくりとしたすべり運動。地震波ではなく、地殻変動の観測によって、1990年ごろから世界各地で観測されている。継続時間は数日程度のものから1年以上続くものもある。M6～7程度。

* 5 地震モーメント

地震の規模を表す量の1つ。地震は断層運動によって生じるため、その規模は断層の大きさ(面積)と断層面上のすべり量の積で表すことができる。さらに断層の岩盤の性質を表す定数をかけたものを地震モーメント(Nm)とよぶ。

1. Ide, S. et al. *Nature* **447**, 76-79(2007)

2. Shelly, D. R. et al. *Nature* **442**, 188-191(2006)

3. Ide, S. et al. *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2006GL028890(2007)

4. Shelly, D. R. et al. *Nature* **446**, 305-307(2007)