

「なみふる（ナイフル）」は「地震」の古語です。「なみ」は「大地」、「ふる」は「震動する」の意味です。

02.....
「6年間隔でスロー地震」の中

2009年度 日本地震学会
若手学術奨励賞受賞研究

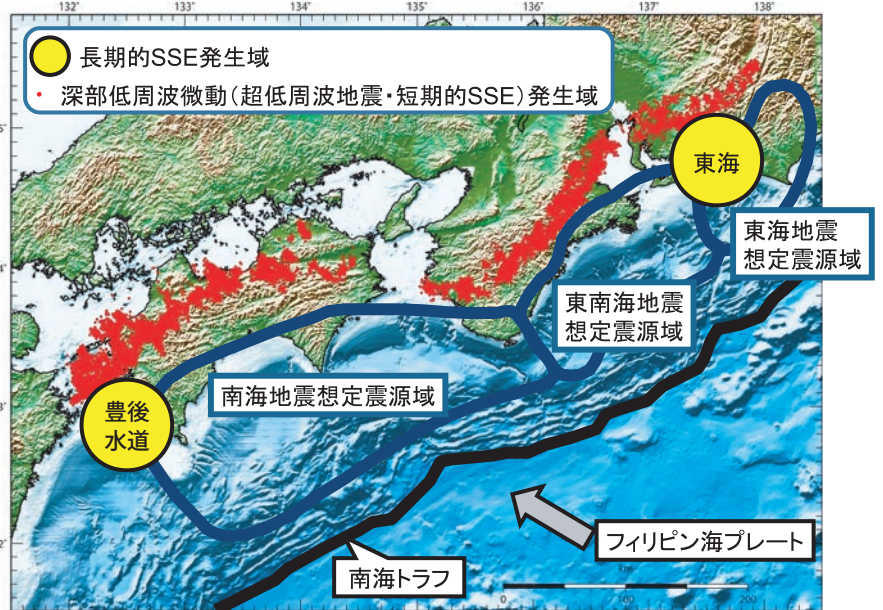
04.....
「小さな構造」が支配する
断層の破壊過程

05.....
相似地震でアスペリティ解明へ

06.....
「揺れ」の予想精度をさらに高く

07.....
第10回 地震のホト
地球深部で発生する不思議な地震
深発地震

08.....
最近の地震に関する質問より

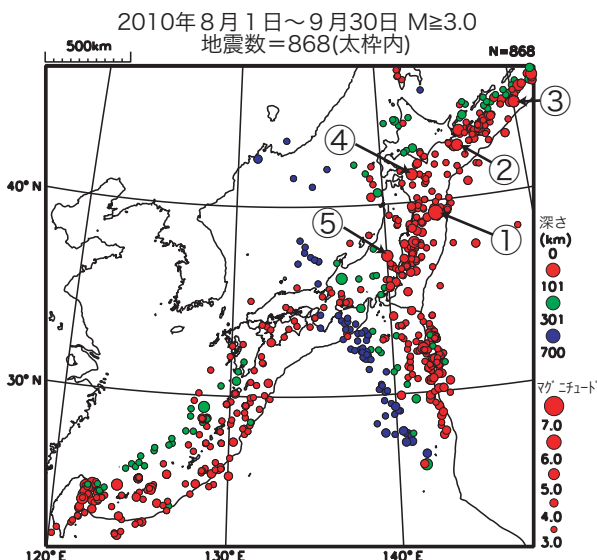


西南日本におけるスロー地震の分布。黄色い丸が長期的SSEの発生域。赤い点は深部低周波微動の震央位置で、超低周波地震や短期的スロースリップイベント（SSE）の発生域を反映すると考えられます。青い線で囲まれた領域は、南海トラフに沿って発生する東海・東南海・南海地震の想定震源域です。詳しくは-2-3ページの記事をご覧ください。



2010年8月～9月 おもな地震活動

2010年8月～9月に震度4以上を観測した地震は4回でした。図の範囲の中でマグニチュード(M)3.0以上の地震は868回発生し、このうちM5.0以上の地震は18回でした。「M5.5以上」、「震度5弱以上」、「M5.0以上かつ震度4以上」、「被害を伴ったもの」のいずれかに該当する地震の概要は次のとおりです。



① 三陸沖

8/10 14:50 M6.3 震度4
宮城県で最大震度4を観測しました。

② 釧路沖

9/4 06:15 深さ61km M5.1 震度4
北海道で最大震度4を観測しました。

③ 択捉島南東沖

9/9 02:39 M5.6
震度1以上を観測した地点はありませんでした。

④ 青森県東方沖

9/13 14:47 深さ63km M5.8 震度4
太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震で、北海道、青森県、岩手県で最大震度4を観測しました。

⑤ 福島県中通り

9/29 16:59 深さ8km M5.7 震度4
地殻内で発生した地震で、福島県で最大震度4を観測し、住家一部破損21棟などの被害が発生しました。福島地方気象台が実施した現地調査によると、震源に近いところでは局所的に震度5弱相当の揺れがあったものと推定されます。

世界の地震

M7.0以上あるいは死者50人以上の被害を伴った地震は以下のとおりです。(時刻は日本時間、震源要素は米国地質調査所(USGS)によるもの、Mwは気象庁CMT解によるモーメントマグニチュード(10月7日現在)。

●バヌアツ諸島

8/10 14:23 深さ25km Mw7.2
太平洋プレートとインド・オーストラリアプレートの境界で発生した地震です。

●エクアドル

8/12 20:54 深さ207km Mw7.1
沈み込むナスカプレートの内部で発生した地震と考えられます。

●ニュージーランド、南島

9/4 01:35 深さ12km Mw7.0
インド・オーストラリアプレートと太平洋プレートの境界付近で発生した地震で、重傷者2人、6つの橋と多くの建物に被害が発生しました。

●インドネシア、パプア

9/30 02:11 深さ12km Mw7.0
インド・オーストラリアプレートとユーラシアプレートの境界付近で発生した地震です。

※「おもな地震活動」の見方の詳細は「なみふる」No.31 p.7をご覧ください。

「6年間隔でスロー地震」的中

2009年の秋ごろから、四国と九州の間の豊後水道付近で、再び「スロースリップイベント」(SSE)が始まりました。この活動がGPSによって捉えられたのは、1996年、2003年に続いて3回目です。過去2回の間隔が6年でしたので、関係者の間では、そろそろ次のSSEが来るのではと囁かれていましたが、その予想はまさに的中したのです。

プレート間巨大地震

四国沖では、マグニチュード8クラスの巨大地震が約100年おきに発生します。フィリピン海プレートが陸の下に沈み込むときに、プレート境界は普段はくっついて(固着して)いるので、陸のプレートを引きずり込もうとして大きなひずみが溜まります。そのひずみが限界に達したときに、陸のプレートが元に戻ろうとしてプレート境界断層で高速のすべりが生じ、強い地震動を引き起こすためです。つまり、巨大地震の発生域では約100年間はプレート境界が固着していますが、すべりはほんの一瞬で終了します。

スロー地震の発見

最近、スロー地震、あるいはゆっくり地震と呼ばれる現象が発見されてきました。スロー地震とは、通常の地震に比べ断層すべりのスピードが遅く、そのため揺れの周期もゆっくりしています。あるいは、振動を生じないほど、ゆっくりすべることもあります。1995年の阪神・淡路大震災を契機として、地下で生じる現象を詳しく観測し、今後の地震発生の予測に役立てるため、日本列島には様々な地震計やGPSが張り巡らされてきましたが、これらの観測装置によって、西南日本にはいくつかのタイプのスロー地震が発生していることがわかってきました。

いろんなスロー地震

スロー地震には、少なくとも4つのタイプがあります。振動現象としては、数Hzに卓越する深部低周波微動と数10秒に卓越する超低周波地震、振動を伴わない現象としては、すべりが数日間続く短期的SSEと、半年以上も継続する長期的SSEに分かれます。このうち深部低周波微動は、防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-netによって発見されたもので、東海地域から紀伊半島、さらに四国を横断する全長約600kmの細長い帯の中に分布します(巻頭図の赤い点)。短期的SSEや超低周波地震は、非常に活発な微動に伴って検出され、発生場所やメカニズムも同じであることから、これらの3つのスロー地震は

一連の現象とみなすことができます。その発生原因は巨大地震と同様で、プレート境界のすべりによるものですが、固着の程度が非常に弱いために、繰り返し間隔が数カ月と短くなります。数日間継続するすべりは短期的SSEとして検出されますが、地殻変動としての変化量は非常に小さく、検出は容易ではありません。その代わりに、微動を地震計で捉えるほうが比較的容易で、微動活動を通してプレート間のすべりがモニタリング可能です。

豊後水道の長期的SSE

長期的SSEは、国土地理院のGPS観測網が全国に整備されて以降、東海地域と豊後水道の2か所で発見されました(巻頭図の黄色い丸)。その発生場所はいずれも、微動の帯と巨大地震発生域との間です。豊後水道では、長期的SSEがこれまでに3回発生し、いずれも半年から1年程度すべりが続きます。この現象も、プレート境界における逆断層のすべりであり、すべりの繰り返し間隔が約6年と、巨大地震と微動・短期的SSEの中間的な性質を示します。前回(2003-04年)と今回(2009-10年)の長期的SSEを比較すると、その活動パターンはよく似ています。図1は、GPSで観測された地表の変位から、プレート境界のどの場所がどのくらい滑っているかを示したものです。すべりの中心(図1左の矢印の大きな場所)はいずれも四国南西部の海岸線付近に位置しており、また、すべりの増加の仕方を表す積算モーメントの変化もよく似ています。これらの観測結果は、豊後水道の長期的SSEが一定の間隔で発生し、そのすべり方についても毎回同様であることを示しています。

長期的SSEと微動との関係

それでは、長期的SSEとその深部の微動・短期的SSEとの間には何か関係があるのでしょうか?長期的SSEによるGPSの変化と、微動域のうち南側の微動の積算個数の変化を並べてみると、両者は非常によく似ています。一方、その北側の微動活動は、長期的SSEの発生の有無に関わらず、一定レートで定期的に発生しています。このことは、長期的SSE発生域と微動発生域が隣接しており、長期的SSEによる影響はその隣接部分のみで、それより深部には影響しないことを示しています。これらの観測結果は、プレート境界に発生するいろいろな現象の相互作用や、プレート間の固着とすべりの特徴を解明するうえでも大変重要です。

東京大学地震研究所 小原一成

推定プレート間すべり分布

推定すべりの積算モーメント

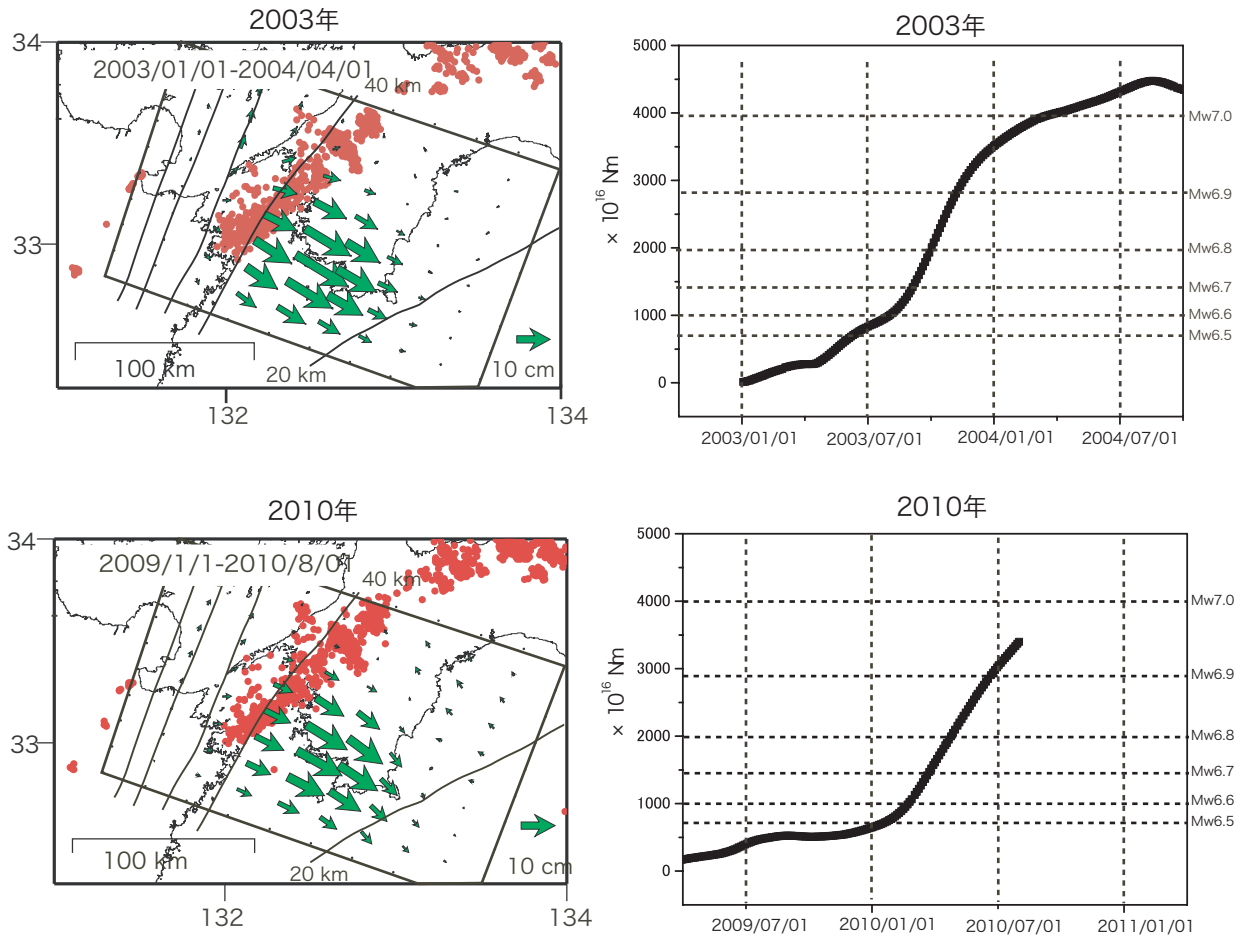


図1 2003-04年と2009-10年における豊後水道の長期的SSEのすべり分布と積算モーメント変化。左側の緑の矢印は、プレート境界面上の解析領域内で推定されたすべりの大きさと方向、赤い点は当該期間中に発生した深部低周波微動で、ここには気象庁が低周波地震として決定したものが表示されている(2010年8月20日開催の第187回地震予知連絡会国土地理院資料 <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/187/187.html> より)。

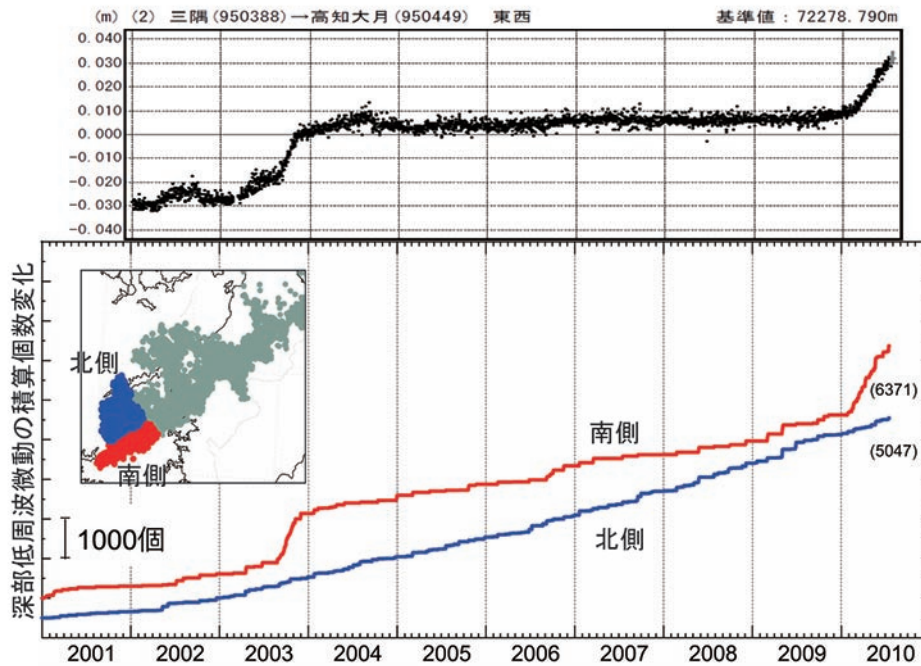


図2 長期的SSEによるGPS変化と微動活動との比較。下に豊後水道の微動活動領域を南側(赤)と北側(青)に分けた微動の積算個数変化を示す。右側の括弧内の数値は、それぞれの領域における2001年から2010年7月までの微動積算個数である。上のグラフは、国土地理院のGPS観測点である島根県の三隅と高知大月間の東西方向の距離の変化である(2010年8月20日開催の第187回地震予知連絡会国土地理院資料 <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/187/187.html> より)。

「小さな構造」が支配する断層の破壊過程

破壊の伝播

地震が起こるときには、断層全体が同時に滑るのではなく、紙が破れるときのように、最初に滑ったところから周囲に伝わって行きます。これを破壊の伝播と言います。破壊が長距離を伝播すれば大地震となるわけです。よく地震は、プレートに徐々にひずみがたまって断層がそれに耐えられなくなると発生する、と説明されますが、ここでは破壊の伝播が表現されていません。大地震はなぜ起こるのかという基本的な質問に答えるには、破壊が何にコントロールされて伝播しているのかを理解することが大変重要です。

分岐断層の形

断層の形が破壊の伝播に大きく影響することが、最近の研究で分かってきました。しかし、断層は分岐をしたり曲がったり、とても複雑な形状をしています(図1 緑の線)。我々は、画像解析技術を応用した新しい手法を開発しました。これを米国カリフォルニア州の断層系(図1)に適用し、横ずれ断層が分岐するときの角度に、約±17度という典型的角度があることなどを発見しました(図2)。この発見は、例えば、多数の断層から破壊の経路しやすい経路、さらに地震規模の予測などにも活用できると期待されます。

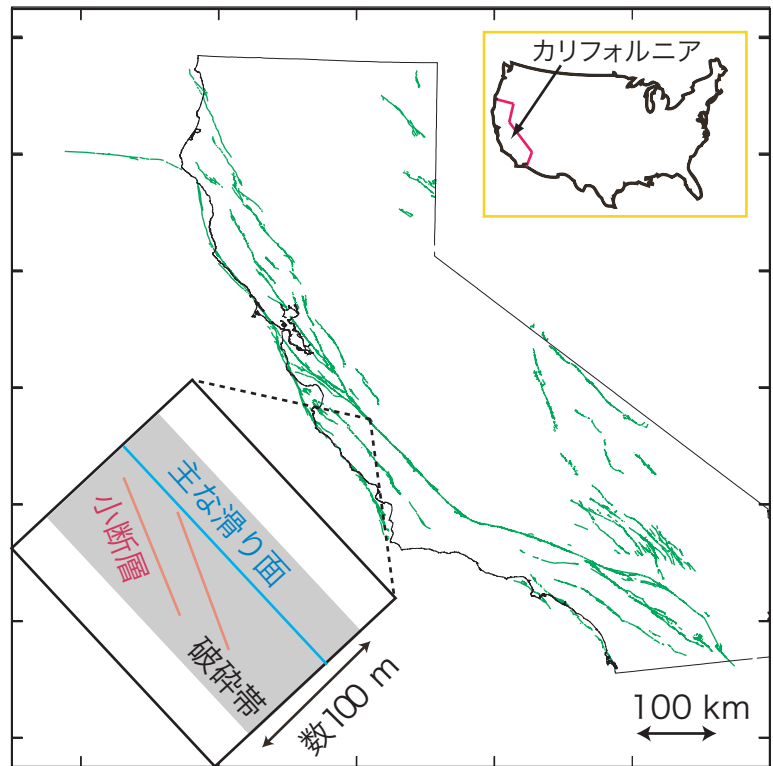


図1 カリフォルニア州の右横ずれ断層の地表トレース(緑線)。挿絵は断層の拡大図を示す模式図。

断層の大きさ

天然の断層にはこのように小さな分岐断層がたくさんあることがわかりました。しかし、これらの小断層や破碎帯が大地震を起こす破壊の伝播にどのような影響を及ぼすのか明らかではありません。そこで我々は、小さな断層と大構造がたがいに影響し合う破壊伝播のシミュレーションを行い、小構造が巨大な破壊の伝播をコントロールし得ることがわかりました。地震研究の大きな制約は、実際の地震が大きすぎて実験室で再現できないことです。断層形状の調査と破壊シミュレーションを組み合わせることにより、実際の地震の起こり方をより詳細に理解できるようになり、破壊過程の予測につながる可能性ができました。

産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター
安藤亮輔

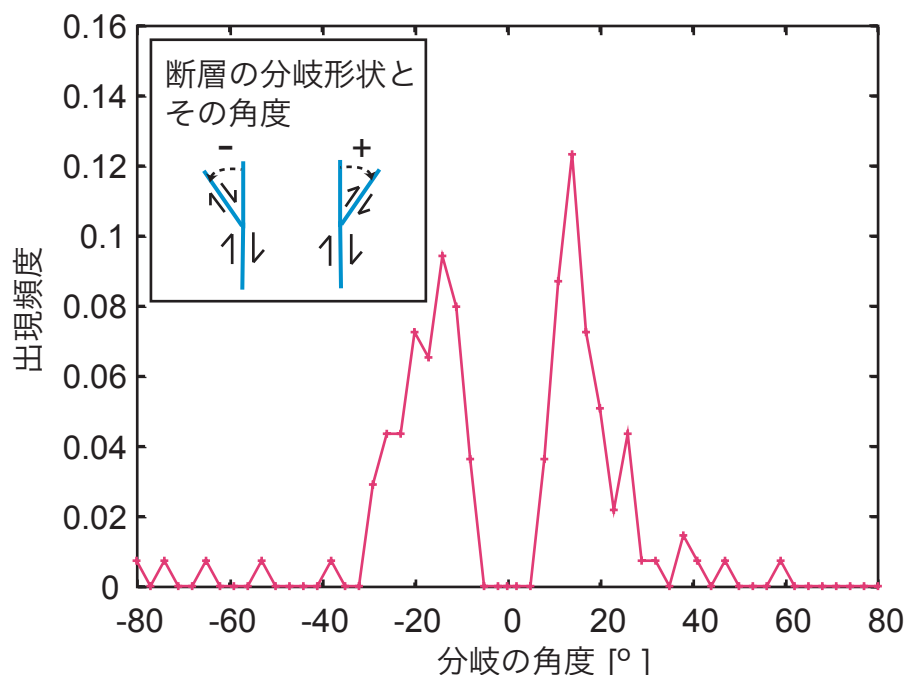


図2 断層分岐角度の頻度分布。挿絵は右横ずれ断層での分岐角度の定義。

相似地震でアスペリティ説明へ

近年、プレート境界では、どこでも地震が起きるわけではなく、アスペリティと呼ばれる固着領域が、地震発生の源であることが分かってきました。このことは大きな固着域をさがしだすこと、そしてそこへの応力のたまり具合を知ることが将来発生する大地震の予測のために重要なことを意味しています。

私たちは、小繰り返し地震（相似地震、図1）という小さな地震をつかって大きなアスペリティの“外側”のすべりを推定しました。その原理は以下のとおりです。図2は東北日本のプレート境界でのすべり様式のモデルを示していますが、準静的（ゆっくり）すべり域の中に大小様々な大きさのアスペリティが存在しています。大きなアスペリティの破壊は大きな地震、小さなアスペリティの破壊は小さな地震に対応します。このうち、ゆっくりすべり域の中に存在する、孤立した小さなアスペリティが小繰り返し地震を起こす場所です。小繰り返し地震のアスペリティには、周囲のゆっくりすべりによって応力が集中し、やがてそれがアスペリティの強度の限界に達し、地震が発生すると考えられます。逆に小繰り返し地震の活動（積算すべり）から、ゆっくりすべりを推定することができます。

東北日本では、千個以上の小繰り返し地震系列がみつかりました。一見遠回りのように見えますが、小さな地震を調べることで、大地震のアスペリティへ応力を集中させるゆっくりすべりを観測することができるのです。

さらに、小繰り返し地震そのものの研究から、アスペリティの繰り返し破壊の特徴についても、少しずつ分かってきました。たとえば岩手県釜石沖の地震では、アスペリティが階層構造をしていること、アスペリティ内でも地震の間の期間に非地震性すべりが生じている可能性があることが分かりました。このような小繰り返し地震について分かったことが大きな繰り返し地震について成り立つとすれば、大地震の発生のしくみについても理解が進むと考えられます。

東北大学 内田直希

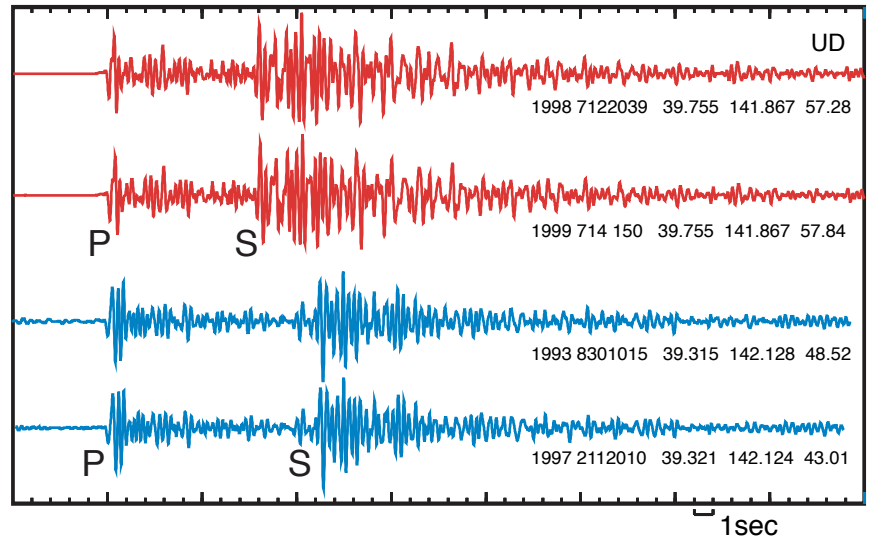


図1 小繰り返し地震2グループの波形例（東北大学姫神観測点）。小さなアスペリティの繰り返し破壊により、図のような波形が相似な地震が起こると考えられます。

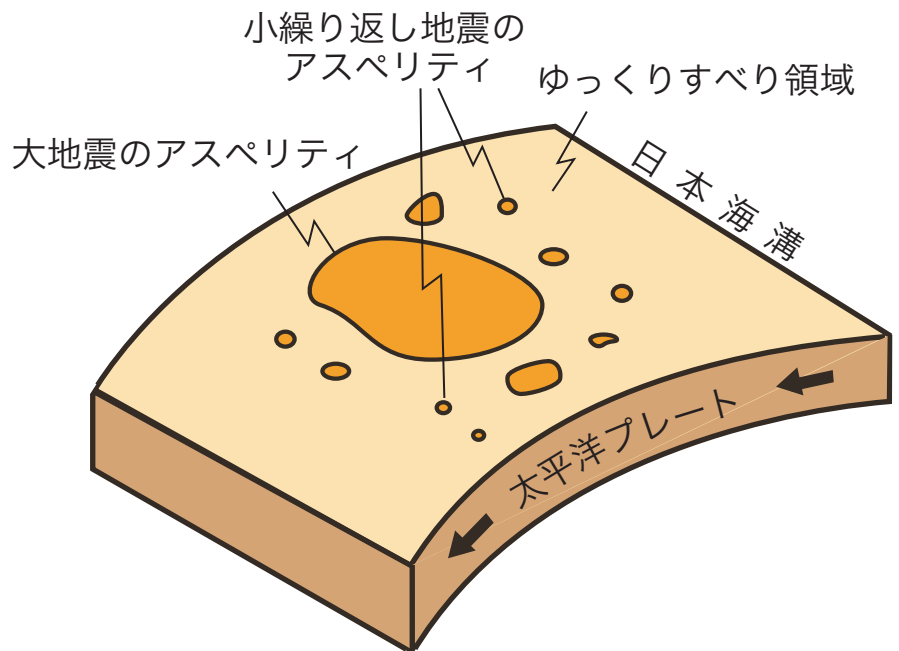


図2 東北日本のプレート境界でのすべり様式のモデル。濃いオレンジの領域がアスペリティを示します。

「揺れ」の予想精度をさらに高く

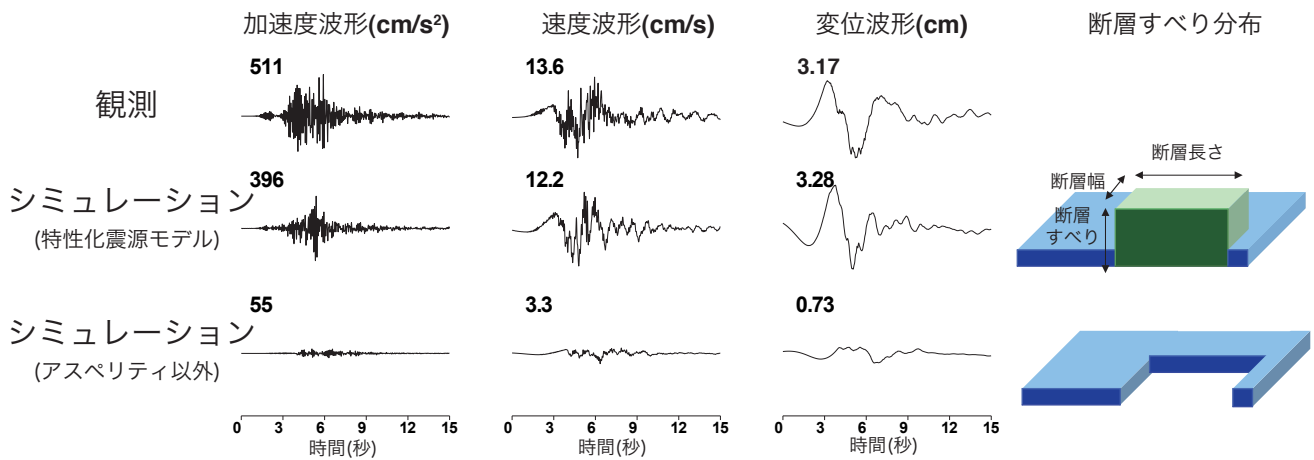


図1 陸で起きる地震の震源モデル化の一例。

「あ、地震だ!」の地震は、地震の揺れを指しています。大地震の強い揺れは、しばしば地震災害を引き起こしてきました。地震による被害を減らすためには、敵の姿を知る必要、つまり将来起きる地震の揺れを事前に予測し、対策を立てることが重要です。

被害をもたらす地震の強い揺れの原因には、地震の規模、地震が起きた場所からの距離、断層が破壊する方向、地盤のやわらかさ、など様々な要素が関わっています。例えば、1995年阪神・淡路大震災の震災の帯では、十秒ほどの地震の揺れが続き、その中にあった二つの鋭いパルス状の周期1~2秒の揺れ(キラパルス)が、被害を引き起こしたと考えられています。このような破壊力のある地震の強い揺れを予測するためには、断層破壊の時空間的な不均質を考慮する必要があり、精度の高い予測を行うことは難しいとされてきました。

断層破壊は複雑であるため、将来起きる地震のシナリオを完全に予測することは不可能です。そのため、被害を引き起こす地震の揺れの性質を失わない程度に断層破壊を単純化し、最低限必要な複雑性を残した特性化震源モデルを構築することにしました。日本を含む世界の断層近傍の強震記録や断層モデルの性質を解析することによって、大きな地震であっても小さな地震であっても、断層面全体を大きな矩形(長方形)で表し、その中に大きく滑って強い揺れを発生させる場所(アスペリティ)をいくつか設定すると効果的であることが分かったのです。この特性化震源モデルは、全国地震動予測地図の作成に役立てられています。

東京大学地震研究所 三宅弘恵

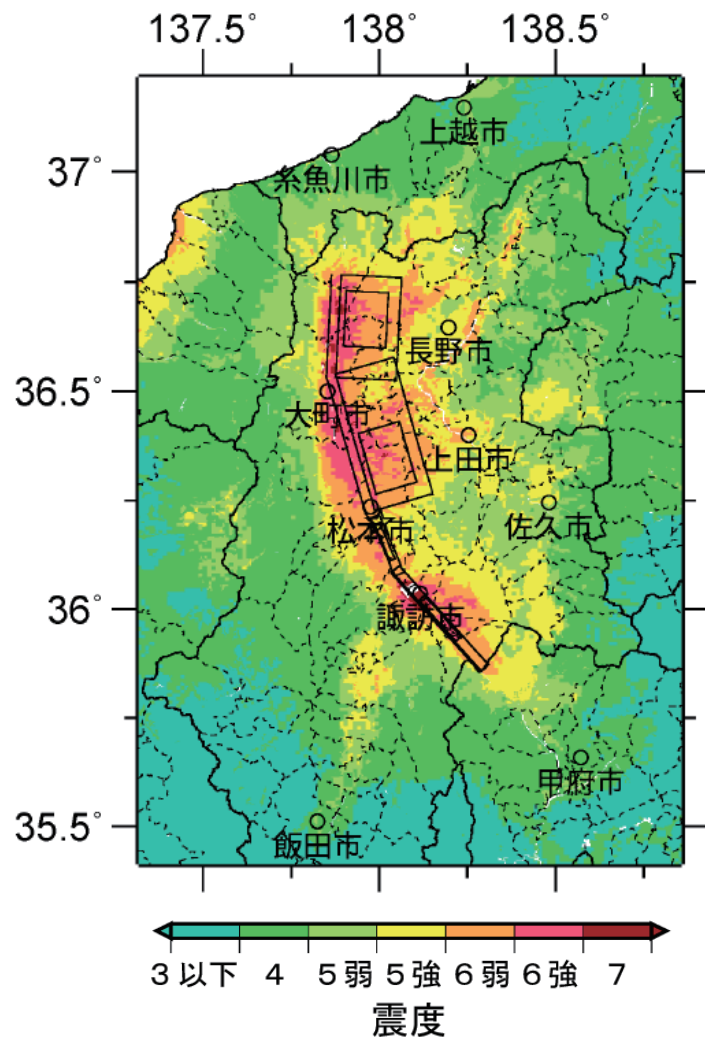


図2 糸魚川-静岡構造線断層帯北部・中部の特性化震源モデルと予測震度分布(地震調査研究推進本部, 2009)。

第10回

地球深部で発生する不思議な地震
深発地震

1920年代に、和達清夫氏によって、地球深部で地震が発生していることが発見されました。この深部で発生する地震は、帯状に分布していることより、和達-ベニオフ帯と呼ばれています。和達-ベニオフ帯は、沈み込み帯に沿って分布しており(図1)、その分布と地下の速度構造の分布の比較から、沈み込む海洋プレート(スラブ)の中で深発地震が発生していることが確認されています(なみふる, 5, p. 6)。

図2(a)は、深さに対する地震発生回数の分布です。これを見ると、地震の発生個数は、深さ100kmから300kmにかけて指数関数的に減衰しており、その後、500km付近までほぼ一定となり、その後深さ600km付近をピークとして増加しています。上部マントルから下部マントルに遷移する遷移層は深さ410~660kmですので、遷移層より浅いところで地震活動が変化しているように見えます。この地震活動の変化の理由は必ずしも明らかにはなっていませんが、地震活動が変化する深さ300kmより深い地震を深発地震、この深さより浅くかつ70kmより深い地震をやや深発地震と呼ぶことが多いです。

観測された地震波形から、深発地震の震源メカニズム解を求めると、多くの地震で断層運動を示すダブルカップル型となり、浅い地震と同様に、震源では断層のずれ運動

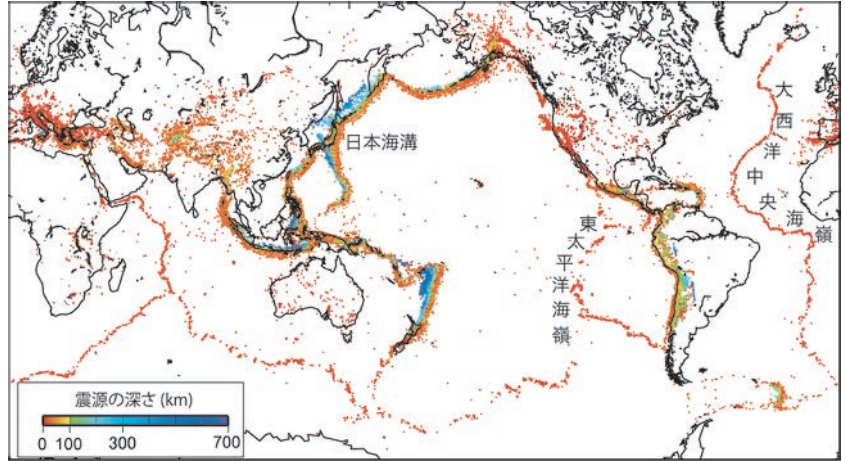


図1 世界で発生する地震の分布(国際地震センター(ISC)カタログ)、深さごとに色を変えてあります。

が起きていると考えられています。規模の大きな地震に着目すると、圧縮軸となるP軸と引張軸となるT軸の方向は、スラブの沈み込む方向に近いことが知られています。沈み込む方向にP軸が向いている、つまり沈み込み方向に押されている地震はDown-dip Compression型(以下DC型)、沈み込み方向にT軸が向いている地震は、Down-dip Extension型(以下DE型)の地震と呼ばれます。一般に、やや深発地震では、DC型とDE型が共存するか、DE型が卓越するのに対して、深発地震では深くなるほどDC型が卓越することが知られています。これはスラブ内での相変化に伴う密度変化によって生じた浮力と密接に関係していると考えられています。

深発地震の特徴の一つとして、余震をほとんど伴わない地震が多いことが

知られています。プレート内部で発生する浅い地震では、断層面とその周辺で活発な地震活動が観測されるのに対照的です。図2(b)は、余震を伴う地震かどうかを深さ分布で示したものです。興味深いことに、余震を伴う地震は、深さ600km付近にピークを持ちます。どうやら、こちら辺りに破壊しやすい領域が存在するように見えます。

深発地震の性質はよく分かっていないことが多いです。深発地震の性質として極端にシンプルな地震波形が観測されることもあれば、非常に複雑な破壊を示唆する地震波形が観測されることもあります(図3)。どうも深発地震では、それぞれの地震で個性が大きく異なるように見えます。深発地震は、震源近傍で観測を行うことができず、また、同様の環境下で破壊実験等を行うことが困難なために、その震源過程の性質は良く分かっていないことが多いです。今後の研究に期待したいと思います。

筑波大学 八木勇治・鈴木満

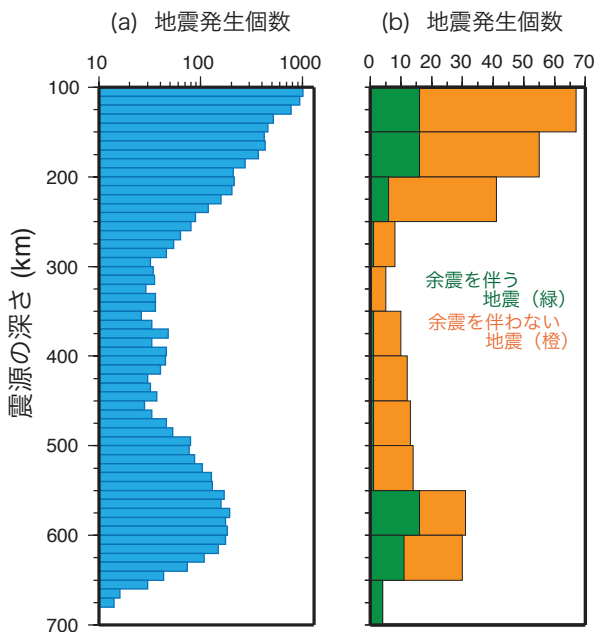


図2 a) 深さ毎の地震活動の個数(ISCカタログ、mb >5.2)
b) 深さ毎の余震を伴う地震の個数(緑)とそれ以外の地震(橙)

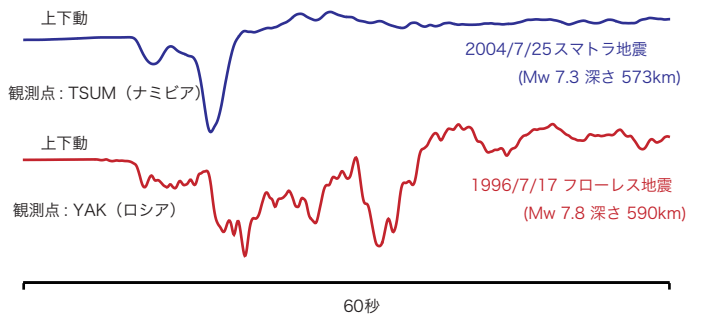


図3 2004年スマトラで発生した地震と1996年フローレンスで発生した地震のP波波形

最近の地震に関する質問より



日本地震学会広報紙「なみふる」第82号
2010年11月1日発行
定価150円(郵送料別)

発行者 (社)日本地震学会
〒113-0033
東京都文京区本郷6-26-12
東京RSビル8F
TEL. 03-5803-9570
FAX. 03-5803-9577
(執務日:月~金)
ホームページ
<http://www.soc.nii.ac.jp/ssj/>
E-mail
zisin-koho@tokyo.email.ne.jp

編集者 広報委員会
亀 伸樹(委員長)
伊藤 忍(編集長)
五十嵐 俊博、川方 裕則、小泉 尚嗣
武村 雅之、田所 敬一、田中 聡
西田 究、福満 修一郎、古村 孝志
八木 勇治、矢部 康男、山崎 太郎

印刷 創文印刷工業(株)

※本紙に掲載された記事等の著作権は日本地震学会に帰属します。

広報紙「なみふる」購読申込のご案内

日本地震学会の広報紙「なみふる」は、隔月発行(年間6号)しております。「なみふる」の購読をご希望の方は、氏名、住所、電話番号を明記の上、年間購読料を郵便振替で下記振替口座にお振り込み下さい。なお、「なみふる」は日本地震学会ホームページでもご覧になれ、pdfファイル版を無料でダウンロードして印刷することもできます。

年間購読料(送料込)
日本地震学会会員 800円
非会員 1200円

振替口座
00120-0-11918 「日本地震学会」
※通信欄に「広報紙希望」とご記入下さい。

日本地震学会広報委員会では、活動の一環として一般の皆さまから地震に関する質問にお答えしております。その中から、よく尋ねられる質問(Frequently Asked Question)を「地震に関するFAQ」として、日本地震学会ホームページにまとめています(なみふる28号(2001年11月)参照、<http://www.soc.nii.ac.jp/ssj/FAQ/FAQ.html>)。2010年10月現在、49個もの質問と回答が掲載されています。ここでは、まだこのFAQに収められていない最近の質問と回答から二つご紹介いたします。

1. 他の惑星の地震

Q

他の惑星でも地震は起きますか。起こらないなら何故地球だけ地震が起こるのですか。

A

これは、現在の地震学においても未解明の問題です。

地球上では、地震計を設置して、地震発生による地面のゆれを観測しています。一方、惑星に地震計を置く計画はありましたが、まだ成功していません。人類が地震観測できたのは、唯一、地球の衛星である月だけです。この結果、月では地震が起きることが分かりました。月震(げっしん)と呼ばれています。地震学会のニュースレターに関連する記事があります。

「地震学のニューフロンティアへの誘い—月・惑星内部構造探査—」

http://www.soc.nii.ac.jp/ssj/for_member/NL/v20n5/07.html

火星には、現在、地震計を置く計画が検討されています(例えば、小林・他、日本惑星科学会誌Vol.18, No.2, 2009、<https://www.wakusei.jp/book/pp/2009/2009-2/084.pdf>)。火星で地震がどのように起きているのか、未だ人類は本当のところを知りません。実際に地震計を置いて初めて、火星における地震発生がわかることとなります。火星の地震計については地震学者が開発中です(例えば、地震研ニュースレター「観測機器を開発し新世界を拓く」 http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/NEWSLETTER/plus/eriNL_No7%20low.pdf)。

2. 地震と音

Q

数日前からドンという音を数回聞き、昨日はその音と共に家が揺れました。昨日の揺れについては地震として記録されているようですが、その前については何の報告もありません。地震と音とはどのような関係があるのでしょうか?

A

比較的浅い場所(深さ10km程度あるいはそれより浅い場所)で発生する地震の場合、しばしば、音を伴うことが知られています。一般に、地震による地面の揺れは十数Hz以下であり、人間の耳に聞こえる音の周波数(20-20,000Hz)よりも低いため、音としては聞こえません。そこで、地震に伴って音がでるメカニズムとしては次の2つが考えられます。

1. 地震の揺れによって、地面の比較的浅いところで岩石が壊れ、その時に高い周波数の波がでて音として聞こえる。
2. その地域全体に力がかかっていて、それによって浅いところでも岩石が壊れて、そのときに高い周波数の波が出て音として聞こえる。

1の場合は、地震の最初の揺れと同時にそれより後に音が聞こえることとなります。2の場合は、音だけが聞こえて、揺れは感じないかもしれません。通常より高周波のゆれは、地震計でも感知しない可能性があります。

今回ご紹介した質問に限らず、改めて尋ねられると考えさせられることは多く、私たちにとても、とても良い勉強になります。今後とも皆さまからのご質問・ご意見をお待ちしております。

日本地震学会広報委員会