

SCG058-01

会場:302

時間:5月22日 10:45-11:00

## 深部低周波微動の移動に関する様々な特徴 Migration properties of non-volcanic tremor

小原 一成<sup>1\*</sup>, 松澤 孝紀<sup>2</sup>, 田中 佐千子<sup>2</sup>, 前田 拓人<sup>3</sup>

Kazushige Obara<sup>1\*</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>2</sup>, Sachiko Tanaka<sup>2</sup>, Takuto Maeda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 東京大学大学院総合防災情報研究センター

<sup>1</sup>ERI, Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>NIED, <sup>3</sup>CIDIR, Univ. Tokyo

西南日本や Cascadia の沈み込み帯で検出される深部低周波微動 (Obara, 2002) は, プレート境界の巨大地震発生領域深部延長における固着すべりである短期的スロースリップイベント (SSE) に同期して発生することが知られている (Rogers and Dragert, 2003; Obara et al., 2004). 微動源と SSE すべり源は時空間的にも一致し (Hirose and Obara, 2010), 微動エピソードの期間が同期した SSE のモーメントと比例すること (Aguilar et al., 2009) など, 微動活動は SSE すべり過程を忠実に反映する, プレート間すべりのモニタリングセンサーと考えることができる. 微動は, エピソード期間中に 1 日約 10km の速度でプレート走向方向に移動する (Obara, 2010) が, それ以外に, 数 10km/hour の高速でプレート間すべり方向に移動する観測事例も報告されている (e.g. Shelly et al., 2007; Ghosh et al., 2010). これらの様々な移動様式は, 断層すべり破壊過程を明らかにする上でも重要であり, シミュレーション研究においても観測事実を説明する試みがなされている. そこで, 最近構築した西南日本の微動カタログに基づき, 微動の移動に関する特徴を整理した.

本研究に用いる微動カタログは, 観測点間におけるエンベロープの時間差を用いるエンベロープ相関法に振幅情報を加え, 1 分間隔で微動源を推定するハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009), 及びその結果から 1 時間毎に重心を推定するクラスタリング処理 (Obara et al., 2010) によるものの 2 種類である. 微動源の深さは, プレート境界面の位置 (Shiomi et al., 2008) に固定されている. これらのカタログに基づき, 微動活動は狭い帯状領域の中で深さ方向に特徴的な分布パターンを示し, 浅部側では規模の大きな, つまり継続時間の長い微動が数カ月間隔でエピソード的に発生するのに対して, 深部側では継続時間の短い微動がより頻繁に発生することが明らかになった (Obara et al., 2010).

一方, 微動の移動についても, 深さ方向に系統的な移動パターンが存在する. つまり, 規模の大きな微動活動は深部側から開始し, 1 日約 10km の速度で浅部側に移動する. 微動分布には, プレート間すべり方向に平行な線状配列が随所に存在し (Ide, 2010), 深部からの移動はこれらの線状配列で明瞭に観察できる. さらに, 余震の活動を除いて微動発生の時空間分布を詳しく調べると, 移動は直線的ではなく放射状で, 移動フロントはほぼ同心円に近い. 従来から観測されていた横方向の移動は, 幅の狭い微動活動域内での同心円状の拡大を表わしていると考えられる. これらの「低速」移動の期間中に, その 10 倍以上の速度で逆方向に移動する「高速逆」移動現象がしばしば含まれる. 紀伊半島中部から北東部の地域では, 全長約 100km の範囲で微動エピソードが約半年周期で発生し, 走向方向に沿って 1 日 10~15km の速度で移動する. この移動は, それぞれの場所における微動活動の開始を表わすものであり, 移動フロントが経過した後も微動活動は引き続き継続する. その際に地球潮汐応答も見られるが, 低速移動とは逆方向に, 5-20km/h の高速で移動するケースが 10 回以上のエピソードで確認された. このような高速逆移動の方向は, 同一場所であってもそこを通過する低速移動の方向に依存する. 例えば, 2006 年 1 月に北東方向に向かう微動エピソードでは, 奈良・三重県境南部の約 10km の距離を 5km/h で南西方向に移動する活動が含まれていたが, 2004 年 6 月に南西方向に向かう微動エピソードでは, 北東向きの 5km/h の高速移動が生じた.

これまでの移動に関する観測結果をまとめると, プレート走向方向に 10km/day の低速移動, それと平行で逆向きに 100km/day の高速移動, さらに直交する方向に 1000km/day の超高速移動が存在することになり, これらの移動現象をまとめて説明可能なモデル構築が期待される.

キーワード: 深部低周波微動, スロー地震, 沈み込み帯, プレート境界, 震源移動

Keywords: non-volcanic tremor, slow earthquakes, subduction zone, plate boundary, source migration

SCG058-02

会場:302

時間:5月22日 11:00-11:15

## 深部低周波微動カタログの性能評価と規模別頻度分布

### Data quality characterization of deep low-frequency tremor catalogs and frequency-magnitude relation of tremor events

楠城 一嘉<sup>1\*</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>2</sup>, Enescu Bogdan<sup>2</sup>, 前田 拓人<sup>3</sup>, 笠原 敬司<sup>1</sup>, 平田 直<sup>1</sup>

Kazuyoshi Nanjo<sup>1\*</sup>, Kazushige Obara<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>2</sup>, Bogdan Enescu<sup>2</sup>, Takuto Maeda<sup>3</sup>, Keiji Kasahara<sup>1</sup>, Naoshi Hirata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 東京大学大学院総合防災情報研究センター

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>NIED, <sup>3</sup>CIDIR, Univ. Tokyo

防災科学技術研究所高感度地震観測網(防災科研 Hi-net)によって、西南日本で低周波微動が発見されて以来(Obara, 2002)、北米大陸西海岸のカスケード地方やサンアンドレアス断層、台湾などでも検出され、沈み込み帯に限定されない、ある程度普遍的な現象と考えられるようになってきた。既往研究では、微動の検出法の開発や、トリガリング・セグメンテーション・移動等の成果が報告されているが、微動の集団的(統計的)性質に関する研究は国内外ともまだ十分ではない。このような研究には、安定したカタログの構築が必要不可欠である。Maeda and Obara (2009)は、防災科研 Hi-netの連続データに基づき、観測点間におけるエンベロープの時間差を用いるエンベロープ相関法に振幅情報を加え、1分間隔で微動源を推定するハイブリッド法を開発し、さらに Obara et al.(2010)は、その結果からクラスタリング処理により1時間毎に重心を推定したカタログを構築した。本研究では、まず微動カタログの基本的な性能を評価して、通常の地震活動で一般的な統計地震学的性質が微動活動に見られるかどうかを調べる。ここで注目する統計は、規模別頻度分布のグーテンベルグ・リヒター(GR)則である。この法則は、地震活動の統計的性質を示す指標として最も良く研究され、極めて広く成り立つ法則である。もしGR則が微動カタログで成立しなければ、地震とは本質的に異なる物理過程に支配された現象であると示唆される。

データとしては、Maeda and Obara (2009)によるハイブリッド法微動カタログ(以下、NIEDカタログ)と、比較の意味で、気象庁(JMA)の一元化地震カタログ中に低周波地震フラグが付与されたイベントのうち深部低周波微動域に発生したものを抽出したカタログを使用した。イベントの大きさについては、後者では通常の震源決定プロセスによるマグニチュード(M)が与えられているが、前者では微動エンベロープ振幅に基づいてエネルギーが評価されている。そこで、小さい地震( $M=-0.7\sim 4.9$ )に対するMとエネルギーの関係式(Duda, 1965)を用いて、Mへの変換を行った。その結果、西南日本に帯状に分布する微動は、両カタログ共にM1.6を最大値として小さい地震ほど数が多い傾向がある。

まず、カタログの基本的性能評価の一つとして一時間ごとに微動頻度をプロットし、微動の発生時間依存性を調べた。自然現象であれば昼夜を問わずに発生するはずであるため、それからの逸脱は人為的原因に由来することを示唆する。両カタログを調べた結果、Mの小さい微動に対しては、人間活動に伴う日中の雑微動の増加が影響し、また採石発破等による人工地震が混入していることが分かった。これは地震のカタログと同様な特徴であり、微動の統計解析には人為的原因が関与しないデータセットをあらかじめ準備する必要があることを示す。

上記の評価結果を考慮して、研究領域全体の微動の規模別頻度分布を調べた結果、両カタログ共に、GR則が成り立つことを確認した。このことは、微動活動も通常の地震活動と同じ統計的性質を有するものであり、微動と地震は同一のメカニズムを背景に持つ物理過程であることが示唆される。しかし、GR則のb値は、JMAカタログで2程度、NIEDカタログで3.5程度であり、通常の地震( $b=1$ )に比べて高い。このことから、地震に比べて微動は大きいイベントがより起こりにくいことを示している。さらに、地域ごとのb値を両カタログについて調べた結果、空間的に不均質であることを確認した。特に、四国西端の豊後水道域では、他地域と比べて高いb値を示しており、2003年や2010年に発生した長期的スロースリップイベントと関連する可能性がある。今回の結果は、解析に使用したカタログは統計解析に十分耐えうるものであることを示しており、微動発生場の理解のためには、微動のb値に関する詳細研究も重要であろう。

キーワード: 地震計測・観測網, ダイナミクス: 地震テクトニクス, 統計解析, データ管理, 地震ダイナミクス

Keywords: Seismic instruments and networks, Dynamics: seismotectonics, Statistical analysis, Data management, Earthquake dynamics

SCG058-03

会場:302

時間:5月22日 11:15-11:30

## 西南日本における深部非火山性微動と遠地大地震による表面波の同期現象について (その2) Deep non-volcanic tremors synchronized with surface waves from teleseismic large earthquakes (2)

須田 直樹<sup>1\*</sup>, 松本 紘幸<sup>1</sup>  
Naoki Suda<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Matsumoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大・院理  
<sup>1</sup>Hiroshima Univ.

西南日本非火山地域の沈み込み帯深部で発生している微動は、地震波により動的に誘発されることがある。特に、表面波の到来時に微動が表面波の卓越周期(約20秒)で消長を繰り返す同期現象は、因果関係がはっきりしている点から、微動発生域の状態を考察する上で重要である。そのような表面波との同期現象は、これまでに西南日本(Miyazawa and Mori 2006; Miyazawa and Brodsky 2008)やカスカディア(Rubinstein et al. 2007; Rubinstein et al. 2009)といった沈み込み帯以外に、サンアンドレアス断層(Peng et al. 2008; 2009)や台湾(Peng and Chao 2008)でも観測されている。

一方、微動は活動期において地球潮汐と同期して発生する(Rubinstein et al. 2008; Nakata et al. 2008; Thomas et al. 2009)。特に四国東部の微動については、速度・状態依存摩擦則にもとづく地震発生率(Dieterich 1994)を用いて説明され、微動発生域の断層パラメータ  $A$  ( $A$ : 摩擦則の定数;  $\sigma$ : 実効法線応力)が求められている(Nakata et al. 2008)。そこで我々は、微動の表面波との同期現象も、地球潮汐の場合と同様に地震発生率理論で説明できると考えた。今回は、同期微動の震源決定と表面波による応力擾乱を想定した数値実験を行い、同期微動は特定の微動クラスターでのみ発生することと、位相の観点からは同期微動の観測は地震発生率理論と調和的であることを示した。今回は、表面波による断層面上での周期的な応力変化を推定し、それを用いてインバージョンをおこない、同期微動発生域の断層パラメータを求めた。その結果、表面波との同期微動は、地球潮汐の場合とは異なり、別の仮定を導入しない限り、地震発生率理論では説明できないことが分かった。

今回は、2009年サモア地震(Mw8.1)によって励起された表面波によって四国西部で発生した同期微動を解析した。インバージョンでは、観測と理論の微動発生率の相互相関係数が最大となるように断層パラメータを決定した。同期微動のデータとしては、震源近傍のHi-net4観測点の上下動記録を用いた。それらを変位波形に変換して1-10Hzのバンドパスフィルターをかけてエンベロープ波形を求め、それぞれJMA2001から計算した理論走時だけ時間シフトさせて平均し、さらに移動平均をとったものを近似的な観測微動発生率として用いた。理論微動発生率の計算には断層面上でのクーロン破壊応力速度が必要である。前回、地球自由振動モードの重ね合わせによる理論波形を用いた考察により、この地震については断層面上でのクーロン破壊応力速度の波形は、上下動地動速度波形の符号を逆転させて位相を  $\pi/2$  だけ遅らせたものと比例関係にあることを示した。そこで、微動近傍のF-net観測点の上下動記録に対し、走時を考慮して時間シフトさせて上と同様の操作を施して比例定数を掛けたものをクーロン破壊応力速度とし、インバージョンでの理論微動発生率の計算に用いた。また、相互相関係数の最大化にはシンプレクス法を用いた。

地動速度からクーロン破壊応力速度への変換比例係数は、球対称地球モデルにおける値であり、実際とは異なる。そこで、インバージョンではこの値に幅を持たせた。また、観測微動発生率を求める際の移動平均の時間窓幅にも結果は依存する。これら不確定要素を考慮してインバージョンを行った結果、同期微動を説明する  $A$  の値として2~5kPaという値が求められた。これらの値から得られる理論微動発生率は、定常的なプレートの沈み込みによる応力速度のもとでの微動発生率を1としたとき、最大でも2程度であった。

地球潮汐との同期現象の解析から求められた四国東部における  $A$  の値はおよそ1kPaであった。今回の結果は、それよりもやや大きな値が求められた。 $A$  の値が小さいほど応力擾乱に敏感なので、四国西部よりも四国東部のほうが応力擾乱に敏感なはずである。四国東部で予想される表面波による断層面上でのクーロン応力速度と、地球潮汐との同期微動の解析で得られた  $A = 1\text{kPa}$  を用いて表面波との同期微動発生率を計算すると、最大で10程度の値が求められる。もし、四国西部で同期微動が観測できたとすると、同じ地震について四国東部でも観測できるはずであるが、実際は観測されていない。そもそも、2や10といった微動発生率は、実際に観測するには小さすぎる値である。

微動発生率を観測可能な程度に大きくするには、地球潮汐との同期の場合に短期的スロースリップによる応力速度増加が必要だったように、応力速度を大きくするような別のイベントを仮定する必要がある。発表では、そのようなイベントの可能性や一般的なクーロン破壊モデルにもとづく考察も示す。

キーワード: 非火山性微動, 表面波, 動的誘発, 西南日本, スロー地震

Keywords: non-volcanic tremor, surface wave, dynamic triggering, southwest Japan, slow earthquake

SCG058-04

会場:302

時間:5月22日 11:30-11:45

## 鳳来アレイ観測による深部低周波微動の検出

### Detection of non-volcanic deep low-frequency tremors recorded by the Horai seismic array, central Japan

山中 佳子<sup>1\*</sup>, 吉田 沙由美<sup>1</sup>, 中道 治久<sup>1</sup>, 渡辺 俊樹<sup>1</sup>, 寺川 寿子<sup>1</sup>, 堀川 信一郎<sup>1</sup>

Yoshiko Yamanaka<sup>1\*</sup>, Sayumi Yoshida<sup>1</sup>, Haruhisa Nakamichi<sup>1</sup>, Toshiki Watanabe<sup>1</sup>, Toshiko Terakawa<sup>1</sup>, Shinichiro Horikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup> Nagoya university

2003年に防災科学技術研究所によってフィリピン海プレート境界深部での低周波微動の存在が明らかになって以来、四国から東海にかけての低周波微動、低周波地震の研究が盛んになされるようになった。特に東海、東南海地域では近年巨大地震のやや深部で間欠的にスロースリップをとともなう低周波地震・低周波微動が数ヶ月間隔で発生していることが発見され、巨大地震発生をモニターする鍵として注目されている。しかし、微動は微弱なシグナルのためSN比が悪く、またP波とS波の立ち上がり不明瞭であり普通の地震のように震源決定をすることが難しい。

近年、微動の時空間分布を詳細に推定するために、アレイ観測が行われている(例えば、La Rocca et al., 2008)。アレイ観測では地震計が密に設置されているため、全地震計で相似な波形が観測され、微弱なシグナルを強調することができる。また、アレイ観測網を微動の発生領域近傍に展開することにより、Hi-netのような通常の(アレイ観測網より広い間隔で設置されている)地震観測網では捉えることの出来ない短い時空間スケールで微動の検出や震源の移動を捉えることができる。そこで本研究では、微動の発生領域近傍に展開したアレイ観測データを用いて、深部低周波微動の詳細な時空間分布の推定を行うことを目的として、まずアレイ解析による深部低周波微動の検出能力について検討した。

名古屋大学地震火山・防災研究センターは、2008年9月から愛知県新城市鳳来でアレイ観測を行っている。本研究では2009年2月5日~15日に東海地域で発生した微動を対象にアレイ解析を行った。観測波形に1~6Hzのバンドパスフィルターをかけ、解析時間窓2秒で波形の相互相関をとり、相互相関が最もよくなった時の見かけ速度と到来方向( )を算出した。まず気象庁によって決められた深部低周波地震に対して本アレイ解析を行い、アレイ解析の有効性を検証した。また深部低周波微動にこのアレイ解析を適用したところ、比較的安定して微動の到来方向が求められ、詳細な深部低周波微動検出が可能であることがわかった。

キーワード: 深部低周波微動, 深部低周波地震, 地震計アレイ, 検知能力, 相互相関, フィリピン海プレート

Keywords: non-volcanic deep low-frequency tremor, non-volcanic deep low-frequency earthquake, seismic array, detection ability, cross-correlation, Philippine Sea plate

SCG058-05

会場:302

時間:5月22日 11:45-12:00

## アレイ観測による深部低周波微動のP波および移動の検出

## Detection of P-waves and migrations of non-volcanic deep low-frequency tremors recorded by the Horai seismic array

吉田 沙由美<sup>1\*</sup>, 山中 佳子<sup>1</sup>, 中道 治久<sup>1</sup>, 渡辺 俊樹<sup>1</sup>, 寺川 寿子<sup>1</sup>, 堀川 信一郎<sup>1</sup>

Sayumi Yoshida<sup>1\*</sup>, Yoshiko Yamanaka<sup>1</sup>, Haruhisa Nakamichi<sup>1</sup>, Toshiki Watanabe<sup>1</sup>, Toshiko Terakawa<sup>1</sup>, Shinichiro Horikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup> Nagoya University

深部低周波微動はP波・S波が不明瞭であり、微弱な振動が続くため、通常の地震のように微動の検出や震源決定をすることが難しい。近年、微動の時空間分布を詳細に推定するために、アレイ観測が行われている（例えば、La Rocca et al., 2008）。アレイ観測は地震計が密に展開した観測網であり、全観測点で相似な波形が観測され、微弱なシグナルを強調することができる。また、アレイ観測網を微動の発生領域近傍に展開することにより、Hi-netのような通常の（アレイ観測網より広い間隔で設置されている）地震観測網では捉えることの出来ない短い時空間スケールで微動の検出や震源の移動を捉えることができる。そこで本研究では、愛知県新城市鳳来に展開した3成分アレイ観測データを用いて、深部低周波微動の詳細な時空間分布の推定を目的としてアレイ解析を行った。

上下動成分のアレイ解析から見かけ速度8km/sで相互相関が良くなる波群を見つけた。この波群はEW成分の解析と比較して、微動では検出の難しいとされているP波と考えられる。このP波とEW成分の解析から得られたS波から、S-P時間を算出し微動の震源推定を行った。微動の震源は、人工地震探査やトモグラフィーで得られた速度構造を考慮した1次元速度構造を仮定し、S-P時間、波の見かけ速度、到来方向を用いてグリッドサーチによって推定した。その結果、震源域は防災科学技術研究所で解析された微動の震源やLFEの震源領域とほとんど矛盾しないことから、上下動成分の解析でP波の検出が可能である微動があることがわかった。

しかし、微動は常時P波の検出が可能ではない。アレイ観測網が1カ所のみであるため、アレイ解析結果から震源の深さを制約するのは困難である。そこで微動の推定震源が沈み込むプレート境界面にあると仮定し、深さを境界面に固定してS波のみを用いた微動の震源推定を試みた。震源推定方法は、上記と同様にグリッドサーチによって推定した。なお、プレート境界面の形状にはCAMP Standard Model (Hashimoto et al., 2004)を使った。2009年2月7日に発生したLFEの震源とアレイ解析によって推定された微動震源域はおおむね一致する結果となった。このことから深さをプレート上面と仮定すれば微動発生位置をおおむね押さえられることが示された。

アレイ解析結果から1分間ごとに見かけ速度、波の到来方向の平均をとって微動の平均的な動きを見たところ、2009年2月12日の波群でおおよそ1時間かけてアレイから見て西から北へ70°移動している。そこで、これら微動発生域がプレート境界と仮定して1分間の平均S波見かけ速度、到来方向から微動の震源を推定したところ、推定微動源が西から北の方向へおおよそ30km/sの速さで移動している様子を捉えることができた。この移動の速さは四国西部で報告されている微動の移動の速さ（45km/h: Shelly et al., 2007）と同程度である。

本研究における微動の震源推定は、1カ所のアレイデータを用いているため、誤差が東西に延びる傾向が見られた。微動の深さの決定精度を上げるためには、複数のアレイ観測網を展開して微動を観測し、アレイ解析をしていく必要があると考える。

SCG058-06

会場:302

時間:5月22日 12:00-12:15

## 断層帯モデルの再検討 Fault-zone models revisited

嶋本 利彦<sup>1\*</sup>, 野田 博之<sup>2</sup>

Toshihiko Shimamoto<sup>1\*</sup>, Hiroyuki Noda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中国地震局地質研究所, <sup>2</sup> カリフォルニア工科大学

<sup>1</sup>Institute of Geology, CEA, <sup>2</sup>Seismol. Lab., Caltech

断層帯モデルは大地震の発生サイクル(応力の蓄積過程、地震発生、余効変動)の解析のみならず、リソスフェアの関わる変動の解析において極めて重要である。Sibson (1977, J. Geol. Soc. London) 以来、いくつかのモデルが提唱された (Scholz, 1988, Geol. Rundschau; Shimamoto, 1989, J. Struct. Geol.; Kawamoto and Shimamoto, 1998, Tectonophy. )。しかし、この問題は岩石の脆性変形から高温流動変形にまたがるために、それ以降ほとんどこの問題に取り組む研究はなかった。断層帯の剪断変形を再現しつつ脆性から塑性流動への変化をたどった実験データは、岩塩を用いたその時代の結果しか得られていない。一方、これらの研究は実験結果のみが報告されていたために、実験結果が地震発生サイクルの解析などに採用されることは少なかった。最近、実験結果を非常によく記述する摩擦流動構成則が提唱され、状況が変わりつつある (Shimamoto, 2004, JpGU; Shimamoto and Noda, 2010, AGU)。この経験則は摩擦の構成則と流動則のみから記述されているために、両者が決まっていれば、脆性から高温流動変形をつなぐ性質の予測ができる。本講演では、規則の摩擦と流動に関する実験データをまとめ、(1) 脆性と流動の遷移挙動としてどのような性質が予想されるか、(2) とくにスロースリップ発生域でどのような性質が予想されるか、また (3) より重要な岩石で脆性から高温流動の変化をたどるにはどのような実験が必要かについて議論したい。

キーワード: 断層モデル

Keywords: fault-zone model

SCG058-07

会場:302

時間:5月22日 12:15-12:30

## スロー地震の発生メカニズム：動的モデルに基づいた数値解析

### Generation mechanism of slow earthquakes: Numerical analysis based on a dynamic model

中田 令子<sup>1\*</sup>, 安藤 亮輔<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>1</sup>, 井出 哲<sup>3</sup>

Ryoko Nakata<sup>1\*</sup>, Ryosuke Ando<sup>2</sup>, Takane Hori<sup>1</sup>, Satoshi Ide<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 産業総合技術研究所, <sup>3</sup> 東大理

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>EPS, Univ. Tokyo

西南日本や北米カスカディア沈み込み帯に沿って観測されている深部低周波微動・低周波地震・超低周波地震は、スロースリップイベントを起こす断層面(プレート境界面)上に分布する、小さな不安定パッチの破壊(剪断破壊)であると考えられている [Ito et al., 2007; Ide et al., 2007]。低周波地震・微動に関して観測されている主な特徴には、プレートの走向に沿った一定速度(約 10 km/day)での震源の移動 [Obara, 2002; Ito et al., 2007]、沈み込み方向に沿った約 100km/hr での震源の移動 [Shelly et al., 2007]、拡散に従った移動 [Ide, 2010]、低周波地震の変位波形の震源スペクトルの傾きが高周波で(周波数)<sup>-1</sup>を示す [Ide et al., 2007b]などが挙げられる。

低周波地震・微動の走向方向と沈み込み方向における移動速度の異方性とスペクトル特性を説明するために、Ando et al. [2010] は、スロースリップイベントによる応力パルスが低周波地震・微動の震源域を伝播することによって、複数の不安定パッチが破壊する力学モデルを提案した。本研究では、このモデルにおいて、パッチサイズとパッチ中心間の間隔を変えることで、小さな多数のパッチが疎(または密)に分布した震源モデルや、大きめのいくつかのパッチが疎(または密)に分布した震源モデルを作成し、それぞれの震源モデルについて、パッチの粘性係数・バックグラウンドの粘性係数を変えて、破壊伝播を計算した。

その結果、パッチがある程度疎に分布し、パッチが不安定(低粘性)でバックグラウンドが安定(やや高粘性)なとき、観測されたスペクトル特性を説明できた。さらに、パッチの密度を小さくする、または粘性を大きくすることによって、動弾性相互作用による弾性波速度での速い伝播から、パッチまたはバックグラウンドの粘性緩和による拡散に律速された遅い伝播へ、破壊伝播過程の遷移を見ることができた。また、波形や地震エネルギー/モーメント比なども観測と調和的な結果が得られた。さらに、拡散に律速された破壊の場合、拡散による移動と一定速度での移動を両方とも説明できた。従って、低周波微動・低周波地震・超低周波地震について観測されているいろいろな特徴は、震源構造とプレート境界に沿った脆性・塑性遷移領域の摩擦特性に依存するいくつかのパラメタからなるシンプルなモデルで本質的には説明できるだろう。

謝辞：本研究は文科省のプロジェクト「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」の補助を受けて行われました。関係各位に感謝いたします。



SCG058-08

会場:302

時間:5月22日 12:30-12:45

## 拡散に律速された断層破壊 Rupture propagation limited by on-fault diffusion

安藤 亮輔<sup>1\*</sup>

Ryosuke Ando<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>AIST/GSJ

我々は、ゆっくり地震のメカニズムとして、断層の速度強化特性をもつレオロジーに起因する拡散過程が支配的ではないかと考えている。しかし、拡散過程の関与は単純ではないだろう。よって、モデルを検証するためには拡散過程がどのように観測可能量に現れるのかよく理解する必要がある。本発表では、この考えに基づいて簡単な理論を示し、いくつかの観測事実を整理して示したい。本研究のモデルは、Ando et al. [2010] で構築され、Nakata et al. [2010] で系統的な数値解析を行ったモデルに基づいており、断層の脆性塑性遷移領域では、おそらく断層帯構成物質の不均質を反映して、脆性的で力学的に不安定なパッチが塑性的で安定な背景領域にいくつも存在していると仮定している。岩石の塑性変形は、実験条件や構成則としての経験的定式化において様々なバリエーションがあるものの、一般に速度強化型の振る舞いをするのが、様々な岩石実験的研究により知られている。一方、間隙流体で充填された断層帯が剪断変形を受けると空隙が形成され、間隙圧が低下する効果が存在することも、理論的に提案されており、このような効果も、断層上の強度変化に寄与すると考えられる。ゆっくり地震のメカニズムを本モデルの枠組みで説明するために定性的に重要な点は、破壊伝播速度は、不安定パッチの密度と大きさ、さらに主に背景領域での速度強化の係数（実効粘性係数）に依存することである。すなわち、破壊伝播速度は、パッチ密度とサイズが小さく、また実効粘性係数が大きくなるほど、遅くなる。また、その依存性にははっきりとした遷移点があり、その遷移点より下では破壊伝播は動弾性相互作用で律速され弾性波速度程度となり、遷移点より上では拡散過程で律速される。

### 参考文献

Ando, Nakata and Hori, A slip pulse model with fault heterogeneity for low frequency earthquakes and tremor along plate interfaces, GRL, doi:10.1029/2010GL043056, 2010

Nakata, R., Ando, R., Hori, T. and Ide, S, Generation mechanism of slow earthquakes: Numerical analysis based on a dynamic model with brittle-ductile mixed fault heterogeneities, Journal of Geophysical Research, (submitted), 2010.

キーワード: スロー地震, ゆっくり地震, モデル, 理論, シミュレーション, 動力学

Keywords: Slow earthquake, model, theory, simulation, dynamics, dynamics

SCG058-09

会場:302

時間:5月22日 14:15-14:30

## 大阪湾における火山性のような深部低周波地震 Volcanic-like Deep Low-Frequency Earthquakes beneath Osaka Bay

麻生 尚文<sup>1\*</sup>, 太田 和晃<sup>1</sup>, 井出 哲<sup>1</sup>  
Naofumi Aso<sup>1\*</sup>, Kazuaki Ohta<sup>1</sup>, Satoshi Ide<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科

<sup>1</sup>The University of Tokyo

近年、世界中で多く発見されている深部低周波地震の中で、大阪湾で起きる低周波地震は特殊である。それらの波形は単色的であり、一部の火山性低周波地震によく似ているが、周りに火山はない。ベルト状に分布するスラブ上面の低周波地震からも、遠くはないがはっきり孤立していて、内陸型大地震である兵庫県南部地震の震源にも近い。

これらの低周波地震の活動を明らかにするために、気象庁によって決められた低周波地震をテンプレートとして、連続波形記録に対して matched filter 解析を行い、豊富な地震カタログを用意する。

5年間で1221の地震が震源再決定され、それらの活動は2つの立体的な領域で集中して起こり、一部の活動期には微動のような連続的なイベントも含まれる。マグニチュードと頻度の分布は、Gutenberg-Richter 則を  $b=2$  で満たす。潮汐力に敏感であるスラブ上面の低周波地震と違って、大阪湾の低周波地震には潮汐周期での活動は見られず、この活動スペクトルパターンは、桜島の火山性低周波地震のものと類似している。

これらの発見から、大阪湾の低周波地震は火山性低周波地震とほぼ同じ起源である、あるいは、少なくともマントルからの流体の上昇と関係している、ということが示唆される。

キーワード: 深部低周波地震, 大阪湾, 火山性地震, イベント検出, 潮汐応答, G-R 則

Keywords: Low-frequency earthquake, Osaka Bay, Japan, Volcanic earthquake, Matched filter, Tidal modulation, G-R law

SCG058-10

会場:302

時間:5月22日 14:30-14:45

## 非線形な火山性微動の相図と微分方程式系の構造推定

## Phase portrait of non-linear low frequency volcanic tremors and structure estimation of differential equation system

武尾 実<sup>1\*</sup>, 四方義啓<sup>2</sup>

Minoru Takeo<sup>1\*</sup>, Yoshihiro Shikata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 名城大学

<sup>1</sup> Earthq. Res. Inst., Uni. Tokyo, <sup>2</sup> Meijo Univ.

On September 1, 2004, a middle-scale eruption occurred at Mt. Asama, Japan. Before the eruption, we had observed several kinds of low frequency volcanic tremors and low frequency long-lasting volcanic events since October 2003. Takeo (2010) revealed the non-linear dynamics of these low frequency tremors and long-lasting events using an embedding method of time delays and a surrogate data analysis, and made clear that there existed a deterministic non-linear dynamics in the tremor and event excitations, which could be modeled with the system dimension between 3 to 7 (prospective dimension 3 or 4).

In this paper, we formulate a new topological approach for structure estimation of differential equation system exciting the non-linear low frequency volcanic tremors and long-lasting events based on a phase portrait analysis and a potential estimation. The basic concept of this approach is that the time series data exemplify a variable of differential equation exciting these tremors and events. The typical period of them are several to ten seconds, meaning that the wavelengths are longer than one or two kilometer. These signals were recorded by the seismometers installed at the crater rim, so the waveforms were not affected by wave propagation effect, and exemplified the excitation dynamics correctly. Therefore, it will be expected that we directly infer the structure of differential equation system.

At first, we divided the time series data ( $x$ ) into several terms and made phase portraits of  $x$  vs.  $dx/dt$  and/or  $x$  vs.  $d^2x/dt^2$  to examine differential structure in the particular term. As a typical example, we picked up a long-lasting low frequency event occurred at 12:34 on June 12, 2004. We employed a FIR low-pass filter with a cut-off frequency of 1 Hz to omit high frequency component. Before the event, the phase portrait of  $x$  vs.  $d^2x/dt^2$  ( $x, d^2x/dt^2$ ) depicts two linear lines with different negative gradients and the portrait of  $x$  vs.  $dx/dt$  ( $x, dx/dt$ ) does two circles with different radii. These phase portraits mean that the solution of differential equation consists of sinusoidal waves with two different frequencies and amplitudes. In the initial part of the event, the phase portraits dramatically change; ( $x, d^2x/dt^2$ ) consists of several lines in which some of them have negative gradients and others do positive gradients. ( $x, dx/dt$ ) consists of several circles but some of them are separated by cusps, and some turnaround orbits depict quick movements. The existence of positive gradient in ( $x, d^2x/dt^2$ ) and of cusps in ( $x, dx/dt$ ) indicates that a system potential with a number of local minimal surface is thought to exist and the solution jumps across a local maximal pass when some amount of energy is supplied. The quick movement of phase portrait suggests that the differential equation system includes a relaxation oscillator.

The results mentioned above reveal the source dynamics of these non-linear tremors and long-lasting events could be modeled by the differential equation system including a relaxation oscillator and with the system dimension between 3 to 7 (prospective dimension 3 or 4). Takeo (2010) proposed a hydraulic control valve model with the system dimension of 4 as a candidate of source model of these events. ( $x, dx/dt$ ) and ( $x, d^2x/dt^2$ ) phase portraits of this model have similar characteristics of the observed phase portraits, meaning this model is a leading candidate. During the first stage of eruption activity in Kirishima volcano in 2011, we also observed the analogous non-linear volcanic tremors. We will analyze these tremors using the same approach, and will examine other possible candidates of differential equation system.

キーワード: 火山性微動, 非線形ダイナミクス, 低周波振動

Keywords: Volcanic tremor, Non-linear dynamics, Low frequency oscillation

SCG058-11

会場:302

時間:5月22日 14:45-15:00

## Distribution and focal mechanisms of very low frequency earthquakes along the Ryukyu trench axis in 2007-2008

### Distribution and focal mechanisms of very low frequency earthquakes along the Ryukyu trench axis in 2007-2008

Tu Yoko<sup>1\*</sup>, 安藤 雅孝<sup>1</sup>, 熊谷 博之<sup>2</sup>, 山中 佳子<sup>3</sup>, Lin Cheng-Horng<sup>1</sup>  
Yoko Tu<sup>1\*</sup>, Masataka Ando<sup>1</sup>, Hiroyuki Kumagai<sup>2</sup>, Yoshiko Yamanaka<sup>3</sup>, Cheng-Horng Lin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中央研究院地球科学研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

<sup>1</sup>Inst. Earth Science, Academia Sinica, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Sc., <sup>3</sup>Graduate School of Environmental Studies

Broadband seismograms from BATS (Broadband Network in Taiwan) and F-Net (NIED broadband network in Japan) were analyzed to find very low frequency earthquakes (VLFs) along the Ryukyu trench. All seismograms in the years of 2007-2008 were band-path-filtered (0.02-0.05 Hz) to pick-up VLFs. Several clusters of very low frequency events were found along the Ryukyu trench. First, high signal-to-noise-level events were selected out the broadband seismograms. Then, local and teleseismic earthquakes were removed from these events using the hypocenter catalogs of the PDE, the Central Weather Bureau (CWB) and the Japan Meteorological Agency (JMA). Through the procedure, about 1200 and 1000 events were identified as VLFs in 2007 and 2008, respectively. Spectra of typical events in these earthquakes show peak frequencies between 0.06 to 0.1 Hz. These VLFs were selected and grouped into three main clusters. The regionalization is possible based on arrival time, amplitude and similarity in waveform: 1) Yonaguni-Ishigaki, 2) Okinawa Island, 3) Amami Island. The CMT solutions were obtained for these VLFs using the inversion technique by Nakano et al. (2008). The accurate locations and focal mechanisms were determined further by a grid-search method where a minimum residual is searched within each area of latitude range of 5 degrees and longitude range of 5 degrees and a depth range 0 to 100 km. About 100 events from the Ishigaki-Yonaguni group were well located with low residuals. For the analysis of this group, data from BATS were used. However, events in Okinawa Island and Amami Island groups were not as well located because they are small in terms of magnitude. Among the selected events, low angle thrust fault was found to be dominant. Although some strike-slip and normal faults are included, their reliability is low and they are not included in the list of reliable solutions. Based on the events herein studied, the distribution and depth of VLFs suggest that these events occurred mostly in the accretionary prism along the Ryukyu trench similar to those found in Central Honshu. This similarity may suggest that the upper interface of Ryukyu trench is locked.

キーワード: Very low frequency earthquake, Subduction, Ryukyu trench, Source inversion  
Keywords: Very low frequency earthquake, Subduction, Ryukyu trench, Source inversion

## 琉球海溝西端域における超低周波地震の最近7年間の活動 Very low frequency earthquakes near the western region of the Ryukyu subduction zone

安藤 雅孝<sup>1\*</sup>, Tu Yoko<sup>1</sup>, Lin Cheng-Horng<sup>1</sup>, 山中 佳子<sup>2</sup>  
Masataka Ando<sup>1\*</sup>, Yoko Tu<sup>1</sup>, Cheng-Horng Lin<sup>1</sup>, Yoshiko Yamanaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中央研究院地球科学研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学環境学研究所

<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, Academia Si, <sup>2</sup>School of Environmental Sciences

琉球海溝に沿って海溝軸付近に、超低周波地震 (VLFE) が発生することが知られている (Tu et al. 2009)。これらの VLFE の発生域は、西から順に、与那国・石垣沖、沖縄本島沖、奄美大島沖、九州沖の4つの領域に分けられる。この中では、与那国・石垣領域には比較的大きな VLFE が発生し、しかもそれらの地震波形が単純なため、震源位置やメカニズムが決定しやすい。またこの領域の陸側、深さ 40-50km 附近に、slow-slip が発生することが、GPS データの解析から明らかになった (Heki and Kataoka, 2008; Nakamura 2009)。Heki and Kataoka は、これらの slow slip が半年毎に活動することを示している。本研究では、与那国・石垣領域に絞り、VLFE 活動の時間的推移と slow slip との関係について調べる。F-net では、2003 年より、石垣 (IGK) 観測点に加え、与那国 (YNG) に設置されたため、それ以降は、琉球海溝西端域の VLFE の位置決定精度は上がった。ただし、2003 年は、他の観測点のノイズが高いなどの問題があり、本研究の解析期間は 2004 年~2010 年とした。VLFE は以下を満足するイベントとした: VLFE を検出しやすい 0.02-0.05Hz のバンドパスフィルターを通し、PDF、JMA、CWB (台湾中央気象局) の地震カタログから通常地震を取り除き、少なくとも 5 点で信号が確認できる。本研究では、地震活動の指標として VLFE の発生数を用いることにする。イベントとして確認できるものは、M2.0 以上のものである。この地域の VLFE は、群発的に発生するものと、孤立して起きるものとに別けられる。群発性の VLFE は、一般に小さく、M3.0 以下のものが多く、数分から 10 分程度の間隔で、2~6 時間程度継続して発生する。また、日向灘沖の VLFE のように、数日から 1-2 週間にわたり活動が継続する例は見つけれなかった。これらの活動のピークは、2-3ヶ月の間隔で現れる。長い例としては、6ヶ月ぐらい間隔が伸びる例もあった。ただし、本研究における VLFE 活動の推定では、遠地震または近地中規模以上の地震が発生すると、30 分から数時間、希には 1 日以上、大きな地震波に覆われ、VLFE の有無が確認できないことがある。これらの時間は全体の 10% 程度におよぶため、VLFE を見逃す可能性もある。特に、この地域の VLFE 活動の活発な期間が短いため、偶然に活動時期が重なると見逃しの可能性も高くなる。十勝沖や紀伊半島南東沖、日向灘沖の VLFE のように、遠地や近地の地震に誘発され、活動が継続する例は解析期間中には見られなかった。7 年間の VLFE 活動の推移から、琉球海溝西端部では、他の地震に誘発されることはないと考えられる。地域の応力があるレベルに達すると、VLFE として解放されるものであろう。また、VLFE 活動と Slow slip の発生時期との関連は特に見られなかった。今回は、VLFE の発生数のみを対象としたが、今後は地震モーメントに基づく解析を行う予定である。

キーワード: 超低周波地震, 琉球海溝, 地震活動, スロースリップ, 沈み込み帯, アクリーショナルプリズム  
Keywords: Very low frequency earthquake, Ryukyu trench, seismicity, slow slip, subduction, accretionary prism

SCG058-13

会場:302

時間:5月22日 15:15-15:30

## 南海トラフデコルマ面で発生した超低周波地震 Very-low-frequency earthquakes along the decollement of the Nankai trough

杉岡 裕子<sup>1</sup>, 岡元 太郎<sup>2</sup>, 中村 武史<sup>1</sup>, 石原 靖<sup>1</sup>, 伊藤 亜妃<sup>1</sup>, 尾鼻 浩一郎<sup>1</sup>, 木下 正高<sup>1</sup>, 深尾 良夫<sup>1\*</sup>  
Hiroko Sugioka<sup>1</sup>, Taro Okamoto<sup>2</sup>, Takeshi Nakamura<sup>1</sup>, Yasushi Ishihara<sup>1</sup>, Aki Ito<sup>1</sup>, Koichiro Obana<sup>1</sup>, Masataka Kinoshita<sup>1</sup>,  
Yoshio Fukao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology

There is a long history of studies of submarine very low frequency (VLF) earthquakes since the celebrated discovery by Wadati (1928). After over 80 years, we for the first time detected a swarm of VLF earthquakes by broadband ocean bottom seismometers (BBOBS) placed just above the source region in the Nankai trough accretionary prism, where the seismic crustal structure is well known. The nearby BBOBS records show permanent seafloor displacements of 0.1-0.5 mm with rise times ranging 20-60 s. These rise times are anomalously long as compared to those of ~1 s for ordinary earthquakes with comparative magnitudes ( $M_w \sim 4$ ). We made a waveform inversion for the source location and source mechanism for the selected 11 events, taking the heterogeneity of crustal structure into account. All the events but one are located roughly along the plate boundary as plate boundary-parallel thrust faults. Their source time functions show anomalously long durations, quantitatively consistent with the observed seafloor displacements at each site. Despite such long source durations, VLF events are extremely rich in high frequency components (~5 Hz). Anomalously long source duration and anomalously rich high frequency wave radiation are two unique features of VLF events, suggesting simultaneous, interrelated occurrence of shear failure across and hydrofracturing within the decollement at the base of the accretionary prism.

キーワード: 超低周波地震, 南海トラフ

Keywords: Very-low-frequency earthquake, Nankai trough

SCG058-14

会場:302

時間:5月22日 15:30-15:45

## 日向灘～足摺岬沖における浅部超低周波地震活動のマイグレーション Migrated activity of shallow very low-frequency earthquakes in and around Hyuga-nada, southwestern Japan

浅野 陽一<sup>1\*</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 廣瀬 仁<sup>1</sup>, 田中 佐千子<sup>1</sup>, 汐見 勝彦<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>2</sup>, 小原 一成<sup>3</sup>

Youichi Asano<sup>1\*</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Hitoshi Hirose<sup>1</sup>, Sachiko Tanaka<sup>1</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>2</sup>, Kazushige Obara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科研, <sup>2</sup> 東北大予知セ, <sup>3</sup> 東大地震研

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku Univ., <sup>3</sup>ERI, Univ. of Tokyo

西南日本の南海トラフ近傍では周期 10 秒以上の長周期成分に富んだ浅部超低周波地震が発生しており, セントロイド・モーメントテンソル (CMT) 解析の結果から, それらは付加体内部の逆断層系に沿って発生していると考えられている [ Ito and Obara (2006) ] . 一方, 2003 年および 2010 年に発生した豊後水道での長期的スロースリップイベントに際して, 深部低周波微動の活発化のみならず, 足摺岬沖における浅部超低周波地震活動が同期して発生したことが報告されている [ Hirose et al. (2010), 廣瀬・他 (2011; 本大会) ] . このような同期は, プレート境界近傍の付加体内部で発生する浅部超低周波地震の活動がプレート間すべりと密接に関係している可能性を示す. この関係を理解するために我々は, 日向灘から足摺岬沖にかけての領域で浅部超低周波地震の時空間分布と発震機構解を調べた.

データは, 九州および四国に位置する防災科研の広帯域地震観測網 F-net の広帯域地震計と高感度地震観測網 Hi-net に併設された高感度加速度計 (傾斜計) の 2002 年から 2010 年の記録を使用した. まず初めに, F-net 観測点 14 点の記録の相関解析 [ 浅野・他 (2010; 秋季大会) ] によって既知の浅部超低周波地震との波形相関が良いイベントを検出し, それらの大まかなセントロイド位置と時刻を推定した. 次に, それらのセントロイド位置と時刻を初期値として, F-net および Hi-net の約 30 観測点で記録された波形の CMT 解析 [ Ito et al. (2007) ] を行った.

解析の結果, 日向灘から足摺岬沖にかけて発生する浅部超低周波地震は, この地域で発生する通常のプレート間地震の発生域よりもトラフ側に位置することがわかった. 従来のアレイ解析の結果 [ 防災科研 (2010) ] によると, 九州-パラオ海嶺に沿った浅部超低周波地震の活動域が宮崎県沿岸部付近にまで延びていたが, 本結果にはそのような特徴は見られない. セントロイド深さおよび発震機構解については深さ 10 km 以浅で発生する逆断層型のイベントが卓越するが, トラフ付近ではより浅いイベントが, 一方の陸側では 10 km よりも深いイベントが数多く見られる傾向がある. このような深さ分布から, この地域の浅部超低周波地震はプレート境界にかなり近接した場所で発生しているものと考えられる.

一方, 浅部超低周波地震の時空間分布からは, パースト的な活動の期間内でのマイグレーションも明らかになった. 例えば 2010 年の活動では, 1 月 24 日に種子島の東方沖で始まった活動が北に向かって拡大し, 31 日には約 100km 離れた日向灘にまで達した. その後, 活動が低調となった 2 月 4 日から 11 日を挟んで, 活動域は 12 日からの 2 日間に東に向かって約 50km 拡大し, 足摺岬の南方沖に達した. 2 月中旬以降の活動の中心はこの足摺岬南方沖へと移り, 日向灘における活動は次第に収束した. 足摺岬南方沖における活動も 3 月初旬には低調となるが, 中旬には活動を再開し, これまでとは逆に日向灘へと向かう活動域の移動が見られた. 同様なマイグレーションは, プレート境界の巨大地震発生域深部延長で発生する短期的スロースリップイベントに同期した深部低周波微動や深部超低周波地震の活動に見られることが報告されている [ Ito et al. (2007) ] . 日向灘から足摺岬沖にかけて発生する浅部超低周波地震についても大規模なマイグレーションが検出されたことは, 通常のプレート間地震が起こらないこの領域のプレート境界浅部 (深さ 15 km 以浅) においても, これまで知られていないようなスロースリップイベントが発生しており, それに伴って浅部超低周波地震が発生している可能性を示唆する.

キーワード: 沈み込み帯, 超低周波地震, スロースリップイベント, 日向灘

Keywords: subduction zone, very low-frequency earthquakes, slow slip events, Hyuga-nada

SCG058-15

会場:302

時間:5月22日 15:45-16:00

## 西南日本の浅部超低周波地震活動における地球潮汐のトリガー作用 Tidal triggering of shallow very low frequency earthquakes in southwest Japan

田中 佐千子<sup>1\*</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 廣瀬 仁<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>

Sachiko Tanaka<sup>1\*</sup>, Youichi Asano<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Hitoshi Hirose<sup>1</sup>, Kazushige Obara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科研, <sup>2</sup> 東大地震研

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>ERI, Univ. Tokyo

西南日本の南海トラフ沿いでは卓越周期 10 秒程度の浅部超低周波地震が発生している (Obara and Ito, 2005)。これらの地震は付加体内部で発達した逆断層帯におけるゆっくりすべりによるものであると考えられており (Ito and Obara, 2006), その活動は時空間的に集中する傾向をもつ (Asano et al., 2008)。2010 年 1 月下旬から 3 月下旬にかけて日向灘・足摺岬沖で大規模な超低周波地震活動が観測され, その活動は地球潮汐と良い相関関係を示すことが明らかになった (田中・他, 2010)。本研究では, 西南日本において浅部超低周波地震活動の確認されている日向灘・足摺岬沖, 室戸岬沖・紀伊水道, 紀伊半島南東沖の各領域に注目し, 2003 年以降, 活発な活動が観測された延べ 10 期間について, 地球潮汐と超低周波地震活動の関係を調査した。

超低周波地震の検出には, Hi-net 高感度加速度計水平動成分の連続波形記録を用いたアレイ解析 (Asano et al., 2008) を行い, 震央位置を精度良く推定できたものを超低周波地震データとした。地球潮汐による応力変化は Tanaka et al. (2002) の方法に従い, 海洋荷重の効果も含めて計算した。超低周波地震の深さは 5 km を仮定した。応力成分は断層面上の法線応力成分, 剪断応力成分に注目した。断層幾何は, Ito and Obara (2006) によるセントロイドモーメントテンソル (CMT) 解析に従い, 各領域で最も精度良く決まった CMT 解を参考に, いずれもトラフ軸に平行な走向をもつ逆断層を仮定した。計算した理論地球潮汐から地震発生時刻の潮汐位相角を読み取り, Schuster (1897) の方法を用いて位相選択性の有無を検定した。この検定で得られる  $p$  値は帰無仮説「超低周波地震の発生は地球潮汐の位相角によらない」を棄却する危険率を表す。

調査した 10 期間のうち 9 期間で, 法線応力成分, 剪断応力成分ともに, 0.01% 以下の非常に小さい  $p$  値が得られ, 多くの超低周波地震活動が地球潮汐との間に明瞭な相関関係を示すことが明らかになった。地球潮汐による応力変化は, 法線応力成分が 4 ~ 14 kPa, 剪断応力成分が 0.2 ~ 1.2 kPa 程度の振幅で, 今回調査した領域, 期間ではいずれもほぼ同位相の変化を示す。潮汐位相角毎の超低周波地震の発生頻度を調べたところ, 特に顕著な位相選択性が確認された 7 期間 (日向灘・足摺岬沖, 2 期間; 室戸岬沖・紀伊水道, 3 期間; 紀伊半島南東沖, 2 期間) では, いずれの場合も, 超低周波地震の発生は地球潮汐による応力変化が引張及びすべり方向最大となる位相角 0 度前後に集中する傾向が見られた。このことは, 高い相関が偶然得られたものではなく, 地球潮汐による微小な応力変化が超低周波地震の発生に多大な影響を与えていることを示しており, このようなトリガー現象は西南日本の浅部超低周波地震活動において広く共通して見られる特徴であることが示唆される。

キーワード: 浅部超低周波地震, 地球潮汐, トリガー作用, 沈み込み帯

Keywords: shallow very low frequency earthquakes, Earth tide, triggering, subduction zone



## 十勝沖における浅部超低周波地震活動のモデル化 Modeling the activity of shallow very-low-frequency earthquakes in the region off Tokachi

芝崎 文一郎<sup>1\*</sup>, 浅野 陽一<sup>2</sup>, 堤 昭人<sup>3</sup>, 氏家 恒太郎<sup>4</sup>, 伊藤 喜宏<sup>5</sup>, 小原 一成<sup>6</sup>

Bunichiro Shibazaki<sup>1\*</sup>, Youichi Asano<sup>2</sup>, Akito Tsutsumi<sup>3</sup>, Kohtaro Ujiie<sup>4</sup>, Yoshihiro Ito<sup>5</sup>, Kazushige Obara<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科, <sup>5</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>6</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>IISEE, BRI, <sup>2</sup>NIED, <sup>3</sup>Kyoto University, <sup>4</sup>University of Tsukuba, <sup>5</sup>Tohoku University, <sup>6</sup>ERI, The University of Tokyo

Recent observations reveal that very-low-frequency (VLF) earthquakes occur in the shallow subduction zones in the Nankai trough, Hyuganada, and off the coast of Tokachi, Japan (Obara and Ito, 2005; Ito and Obara, 2006; Asano et al., 2008; Obana and Kodaira, 2009; Sugioka et al., 2010; Okamoto et al., 2010). Asano et al. (2010) investigated the details of the shallow VLF earthquake activity in the region off Tokachi and found that the sequences of VLF earthquakes repeat with intervals of a few years before the 2003 off Tokachi earthquake and that the activity became very high just after the 2003 off Tokachi earthquake and then intervals between sequences of VLF earthquakes become longer gradually. They also found that the migration speed of VLF earthquakes is from 10 to 50km/day.

We perform 2D quasi-dynamic modeling of the sequential occurrence of VLF earthquakes in the region off Tokachi in an elastic half-space using a rate- and state-dependent friction law. Tsutsumi and Ujiie (2011) examined frictional properties of clay-rich fault materials collected from a major splay fault within the Nankai accretionary complex under water saturated condition. Their experimental results reveal that there are both velocity-weakening and velocity-strengthening fault materials for slip velocities from 0.026 to 26 mm/s. Their results suggest that both velocity weakening and strengthening regions are comingled in the shallow subduction zones. Since no experiments have been conducted using the fault materials in the subduction zone, NE Japan, we refer to the experimental results by Tsutsumi and Ujiie (2011). We consider several unstable patches of a few km in the stable zone to simulate VLF earthquakes. We set the effective normal stress to be on the order of 1.0 MPa. When we set the intervals between patches to be in a certain range, VLF earthquakes occur sequentially. We can also reproduce the migration speed (10-50km/day) of VLF earthquakes in a certain range of constitutive law parameters. After large earthquakes occur activity of VLF earthquakes is very high due to afterslips but the recurrence intervals between sequences of VLF earthquakes become longer gradually with time. We report the range of constitutive law parameters which explain the activity of VLF earthquakes in the region off Tokachi.

キーワード: モデル化, すべり速度・状態依存摩擦則, 浅部超低周波地震, 沈み込み帯, 十勝沖

Keywords: modeling, rate- and state-dependent friction law, shallow very-low-frequency earthquake, subduction zone, the region off Tokachi

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG058-17

会場:302

時間:5月22日 16:30-16:45

## スロース地震発生域の構造 Seismic structures in source areas of slow slips

加藤 愛太郎<sup>1\*</sup>

Aitaro Kato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI University of Tokyo

We show fine-scale variations of seismic velocities and converted teleseismic waves that reveal the presence of zones of high-pressure fluids released by progressive metamorphic dehydration reactions in the subducting Philippine Sea plate in Tokai district, Japan. These zones have a strong correlation with the distribution of slow earthquakes, including long-term slow slip (LTSS) and low-frequency earthquakes (LFEs). Overpressured fluids in the LTSS region appear to be trapped within the oceanic crust by an impermeable cap rock in the fore-arc, and impede intraslab earthquakes therein. In contrast, fluid pressures are reduced in the LFE zone, which is deeper than the centroid of the LTSS, because there fluids are able to infiltrate into the narrow corner of the mantle wedge, leading to mantle serpentinization. The combination of fluids released from the subducting oceanic crust with heterogeneous fluid transport properties in the hanging wall generates variations of fluid pressures along the downgoing plate boundary, which in turn control the occurrence of slow earthquakes.

SCG058-18

会場:302

時間:5月22日 16:45-17:00

## 沈み込み帯での透水性変化による異常流体圧の生成 Anomalous fluid pressure developed by permeability contrast in subduction zones

片山 郁夫<sup>1\*</sup>, 寺田 竜也<sup>1</sup>, 岡崎 啓史<sup>1</sup>  
Ikuro Katayama<sup>1\*</sup>, Tatsuya Terada<sup>1</sup>, Keishi Okazaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学地球惑星システム学

<sup>1</sup>Hiroshima University

近年、西南日本やカスケードなどの沈み込み帯でみられる深部低周波微動やスロースリップなどのゆっくり地震は、沈み込むプレートとマントルウェッジの会合部付近に集中し発生しているとの報告がある (Matubara et al. 2009)。また、そのような微動の発生域は高  $V_p/V_s$  で特徴づけられ、震源解析からも有効応力が低いとの観測から、ゆっくり地震と水の関連性が示唆されている (e.g., Ito and Obara 2006)。本研究では、微動の発生メカニズムについては言及しないが、なぜマントルウェッジの先端に高間隙流体圧がかかるような水溜ができるかについて、岩層間での透水性変化に注目し考察する。

我々のグループでは、高圧透水実験により、沈み込み帯を構成する岩石の浸透率を系統的に測定している。これまでのところ、マントルと水が反応し形成される蛇紋岩では浸透率の異方性が確認され、プレートからマントルへ放出される水はプレート境界方向に選択的に移動することが分かってきた (Kawano et al. 2010)。蛇紋岩中をプレート境界に沿い上昇した水は、島弧のモホ面まで達すると、下部地殻を構成するガブロの浸透率に支配される。ガブロの浸透率は蛇紋岩に比べ2桁ほど低いいため、モホ面では低透水層により水の移動が抑制される。そのような構造が、マントルウェッジ先端に集中的に流体が溜まり高間隙圧が発生している原因と考えられる。浸透率が異なる二層間での間隙流体圧は時間の関数であり、流体の質量保存則を解くことにより定量的に評価することができる (e.g., Walder and Nur 1984)。モホ面での水の流入は蛇紋岩の浸透率、流出はガブロの浸透率に依存するとの関係から、両者の浸透率が顕著に異なる場合、境界面において著しい異常間隙圧が発生する。いくつかの仮定のもと、この微分方程式を解くと、浸透率に2桁の差が存在する場合、約1万年で1GPaほどの異常流体圧 (流体圧?静水圧) が発生することになる。このように、沈み込み帯での構成岩石の浸透率の変化により、境界面において異常間隙圧が発生し、そのような境界領域で微動が集中して発生していると考えられる。

キーワード: スロー地震, 異常流体圧, 浸透率, ガブロ, モホ面, 沈み込み帯

Keywords: slow earthquake, fluid pressure, permeability, gabbro, Moho, subduction zone

SCG058-19

会場:302

時間:5月22日 17:00-17:15

## 沈み込むプレートの傾斜方向に連動する3種のスロー地震 Slow earthquakes linked along dip in the Nankai subduction zone

廣瀬 仁<sup>1\*</sup>, 浅野 陽一<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>, 木村 武志<sup>1</sup>, 松澤 孝紀<sup>1</sup>, 田中 佐千子<sup>1</sup>, 前田 拓人<sup>3</sup>  
Hitoshi Hirose<sup>1\*</sup>, Youichi Asano<sup>1</sup>, Kazushige Obara<sup>2</sup>, Takeshi Kimura<sup>1</sup>, Takanori Matsuzawa<sup>1</sup>, Sachiko Tanaka<sup>1</sup>, Takuto Maeda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 東京大学大学院情報学環

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>3</sup>IIS, University of Tokyo

西南日本の沈み込み帯では、防災科研 Hi-net・国土地理院 GEONET 等の基盤的観測網などによる観測により、様々な「スロー地震」が発生していることが確認されてきている。それらは、プレート境界の固着域の深部延長上で発生している深部低周波微動 (Obara, 2002)・短期的スローリップイベント (SSE; Obara et al., 2004)・深部超低周波地震 (VLFE; Ito et al., 2007)、豊後水道と東海でそれらよりやや updip で発生する長期的スローリップイベント (SSE; Hirose et al., 1999; Ozawa et al., 2002)、さらに、沈み込み帯最浅部の南海トラフ沿いで発生する浅部 VLFE (Obara and Ito, 2005) であり、それぞれに特徴的な、卓越周波数もしくは継続時間・活動様式を示す。しかしそれぞれの現象は独立に発生しているのではなく、いくつかのものは相互に関連して発生している。例えば、微動・短期的 SSE・深部 VLFE はほぼ同様な場所で同期して発生している (Episodic Tremor and Slip (ETS); Rogers and Dragert, 2003; Obara et al., 2004; Ito et al., 2007)。また、豊後水道周辺では、約 6 年に 1 度繰り返し発生している長期的 SSE の影響で、四国西部の ETS エピソードの発生頻度が高まること (Hirose and Obara, 2005) や、豊後水道で発生する微動が活発化すること (Obara et al., 2010) が観測されている。しかしながら浅部 VLFE と他のスロー地震との関連はよく知られていなかった。本講演では、2003 年および 2010 年の豊後水道での長期的 SSE の際に、深部低周波微動と、それらのソースから 100km 以上南に離れた場所での浅部 VLFE 活動が同期して活発化したことを報告する (Hirose et al., 2010)。

スロー地震のそれぞれの規模を考えると、長期的 SSE が今回の同期現象を支配していると考えられる。また、それぞれの位置関係を見ると、まず SSE と同時に活発化している微動の位置は SSE のすべり領域に含まれる。一方、浅部 VLFE は SSE のすべり領域から南に離れた南海トラフ付近で発生している。この観測事実を説明する一つの仮説は、実際の SSE のすべり領域が、陸上の地殻変動観測からは検知することのできない規模で、この VLFE 領域付近まで延びていることが考えられる。この仮説が正しいとすると、豊後水道と足摺岬沖の VLFE をつなぐ領域は、約 6 年に 1 度 SSE によって相当の歪を解放していると考えられるため、すぐ東隣の南海地震の破壊に対してはバリアとして働くかもしれない。また SSE 領域は南海地震震源域と隣接しているため、SSE の発生は震源域の応力増加をモジュレートさせていると考えられる。しかしながら浅い部分の非地震性すべりは陸上の観測からは検知が困難であるので、その指標としての浅部 VLFE の監視は重要である。

謝辞: 国土地理院の GPS データを使わせていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 沈み込み帯, 非火山性微動, 超低周波地震, スローリップイベント, 地震発生サイクル

Keywords: subduction zone, nonvolcanic tremor, very low-frequency earthquakes, slow slip events, earthquake generation cycle

SCG058-20

会場:302

時間:5月22日 17:15-17:30

## 2002～2004年豊後水道スロースリップに誘発された地震活動の静穏化と活発化 Seismic quiescence and activation induced by a long-term slow slip event in the Bungo channel area during 2002-2004

勝俣 啓<sup>1\*</sup>

Kei Katsumata<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大・地震火山センター

<sup>1</sup> Hokkaido University

Katsumata(2010)は、2003年十勝沖地震の約5年前から続いていた地震活動の前兆的静穏化の原因は、スロースリップイベント(SSE)であると主張している。そこで本研究では、長期的SSEが確実に起きたことが分かっている場所を選定し、その周辺で地震活動度に変化があったかどうか調べる。豊後水道周辺では2002年から2004年にかけて長期的SSEが発生した(例えば、Hirose and Obara, 2005; Ozawa et al., 2007)。気象庁一元化震源カタログから以下の条件を満たす地震3216個を選び、デクラスタリング処理は行わずにそのまま解析に使用した:1998年1月1日～2007年12月31日、北緯31～35度、東経130～135度、深さ30～100km、M2.0以上。地震活動度の解析にはZMAP(Wiemer and Wyss, 1994)を用いた。グリッド間隔は0.05度、地震数100個、時間幅2年でグリッドサーチした。その結果、北緯33.55度、東経132.85度を中心とする半径35kmの円内の地震が2002年4月に $Z=+5.2$ を示し、静穏化が検出された。また、北緯33.30度、東経132.15度を中心とする半径13kmの円内の地震が2002年11月に $Z=-3.2$ を示し、活発化が検出された。静穏化と活発化の開始時期が豊後水道SSEの開始時期と一致していること、SSEのすべり量の大きな場所が静穏化域と活発化域に近接していること、これらの事実は2002～2004年豊後水道SSEによって地震活動変化が誘発されたことを示唆している。

Katsumata, K (2010), Precursory seismic quiescence before the Mw=8.3 Tokachi-oki, Japan earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalog, *J. Geophys. Res.*, in print.

Hirose and Obara (2005), *Earth Planets Space*, 57, 961-972.

Ozawa et al. (2007), *J. Geophys. Res.*, 112, B05409, doi:10.1029/2006JB004643.

Wiemer and Wyss (1994), *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 900-916.

キーワード: 地震活動, 静穏化, 活発化, スロースリップイベント, 豊後水道

Keywords: seismicity, seismic quiescence, seismic activation, slow slip event, Bungo channel

SCG058-21

会場:302

時間:5月22日 17:30-17:45

## SSE が誘発された証拠とその発生条件

### Direct evidence and generation conditions of triggered slow slip event

板場 智史<sup>1\*</sup>, 安藤 亮輔<sup>1</sup>, 武田 直人<sup>1</sup>

Satoshi Itaba<sup>1\*</sup>, Ryosuke Ando<sup>1</sup>, Naoto Takeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研 活断層・地震研究センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

近年、多くのプレート沈み込み帯の深部において、活発な深部低周波微動活動を伴う短期的 SSE が規則正しく反復して発生していることが明らかになっている。微動に関しては、規則的に発生する活動以外にも、地震波の到来時に、一時的に活動が励起された多くの事例が報告されている。しかし、地震波到来後も長時間継続するような規模の大きい SSE については、確認されていなかった。我々は西南日本に展開している高感度なボアホール歪観測網で、SSE と微動活動が地震により誘発された測地的証拠を発見した。SSE および微動の時空間的な繰り返しパターンに基づき、誘発されたイベントの物理的状态を考察すると、地震波による一時的なストレスの変化、テクトニックな応力と、近傍で発生した SSE が影響していると考えられる。このセグメントにおける前回の SSE は約 3ヶ月前に発生しており、このセグメントにおける繰り返し間隔と一致している。一方で、繰り返し間隔の 90 %が経過している他のセグメントでは、顕著な活動は認められなかった。すなわち、SSE が誘発されたセグメントでは、テクトニックな応力によるストレスレベルが臨界状態であり、地震波は最後の一押しに過ぎなかったのである。これらの結果は、スロー地震だけでなく、通常地震について、その発生と成長の解明に有用な情報を与えるものと期待される。

キーワード: SSE, 深部低周波微動, スロー地震, トリガリング, 歪

Keywords: slow slip event, tremor, slow earthquake, triggering, strain

## GPS データによる西南日本の短期的スロースリップの検出 Detection of short-term slow slip events in southwestern Japan using GPS data

西村 卓也<sup>1\*</sup>, 水藤 尚<sup>1</sup>  
Takuya Nishimura<sup>1\*</sup>, Hisashi Suito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup> GSI of Japan

南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの深部では、様々な時定数を持つスロー地震が発生している（例えば、Obara, 2010）が、これらのスロー地震の特性を調査し、沈み込み帯における地震サイクルと応力蓄積解放過程の理解に繋げていくことは、来るべき大地震の発生予測を行う上でも重要である。これらのスロー地震群のうち、数ヶ月から数年の時定数を持つ長期的スロースリップイベント（以下、SSE）に伴う地殻変動に関しては、豊後水道や東海地方において GPS によって検出され、プレート境界でのすべりの時空間発展が調べられているが、数日から 10 日の時定数を短期的 SSE については、傾斜計や歪計によって観測され、GPS ではノイズレベル以下であると考えられてきた。しかし、傾斜計に基づく短期的 SSE の断層モデルから期待される地表での地殻変動は、最大 3mm 程度になることが期待されており、最近の GEONET の基線解析戦略の更新により GPS データのノイズレベル小さくなっていることから、GEONET でも条件さえよければ、短期的 SSE に伴う変動が検出できると考えられる。実際、東海地方においては、短期的 SSE に伴う地殻変動を GPS によって検出したという報告（濱・他, 2009）もある。本講演では、西南日本の短期的 SSE を GPS によって検出し、その断層モデルの推定を試みた結果について報告する。

現在の GEONET の時系列をみると、水平成分のばらつきが 2-3mm 程度あることから、短期的 SSE が発生した時期に数日間で 2-3mm 程度の変動がステップとして存在するかどうかを目視で確認することは困難である。ここでは、空間フィルター（Tabei and Amin, 2002）を用いて各観測点に共通するばらつきを除去し、短周期のノイズ軽減を行った。ノイズ軽減後の時系列を短期的 SSE や深部低周波微動の発生時系列と見比べると、短期的 SSE の発生時期に対応するオフセットがみられる場合があり、オフセット値から得られる変位ベクトルは、短期的 SSE の断層モデルから期待される地表変位パターンと整合的である。

短期的 SSE については、防災科学技術研究所（Sekine et al., 2010）による傾斜計を用いた詳細な解析結果があるが、ここでは GPS データのみから客観的に短期的 SSE を検出することを試みた。まず、2005-2010 年の東海から近畿地方の GEONET 観測点を対象に、空間フィルター適用後の座標時系列（水平成分のみ）に対して、180 日間の時間窓を 1 日ずつずらしながら直線近似した場合と時間窓の中央でのステップを仮定して直線近似した場合のそれぞれで AIC を計算した。この両者の差をとり、ステップを仮定した方が AIC が小さく差の絶対値が極大値を取る日付を短期的 SSE の発生候補日とした。AIC の計算は、東海地域と紀伊半島北部の 2 つの領域毎に行い、各領域での短期的 SSE の候補日に対して水平ベクトル図を作成し、目視により短期的 SSE の特徴的パターンが見られるかどうかを確認した。その結果、5 年弱の期間で 21 個の候補日の内、9 個では短期的 SSE の特徴的パターンを認めることができ、深部低周波微動の活発化もほぼ同時期に見られた。さらに、比較的 SN 比の良いイベントに対しては GPS データに基づく矩形断層モデルの推定も可能であり、2007 年 2 月 13 日頃及び 2008 年 3 月 4 日頃の短期的 SSE に対して推定されたモーメントマグニチュードはそれぞれ 5.82 と 6.05 であった。以上のことから、GPS でも規模の大きな短期的 SSE の検出は可能であると言えるが、比較的規模の大きな短期的 SSE が発生していてもそれに対応する変位が見られないこともあり、最適な検出方法について改良を重ねていく必要がある。

キーワード: 短期的スロースリップ, GPS, 西南日本, 断層モデル, フィリピン海プレート

Keywords: Short-term slow slip, GPS, Southwest Japan, Fault model, Philippine Sea plate

SCG058-23

会場:302

時間:5月22日 18:00-18:15

## 南海トラフにおけるスロースリップイベントの数値モデリング その再現と予測

### Numerical model of slow slip events in the Nankai trough -Reproduction of observations and expectations from the model-

松澤 孝紀<sup>1\*</sup>, 芝崎 文一郎<sup>2</sup>, 廣瀬 仁<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>3</sup>

Takanori Matsuzawa<sup>1\*</sup>, Bunichiro Shibazaki<sup>2</sup>, Hitoshi Hirose<sup>1</sup>, Kazushige Obara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 建築研究所, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>Building Research Institute, <sup>3</sup>ERI, University of Tokyo

近年、いくつかの沈み込み帯において、深部低周波微動や超低周波地震、スロースリップイベント (SSE) といったスロー地震が見つかっている。これらの現象は、SSEに伴う地殻変動や地震のメカニズム解から、沈み込むプレート境界でのすべりであると考えられている (例えば、Hirose and Obara, 2005; Ide et al., 2007; Ito et al., 2007, 2009)。南海トラフで発生するスロー地震に関しては、最近の解析の進展によりさらなる知見が得られている (例えば、Obara et al., 2010; Ide, 2010; Hirose et al., 2010)。これらの活動を理解し、プレート間地震発生領域の深部延長での状態を把握するため、我々は、観測より得られた SSE・微動の発生挙動を再現することを目指し、数値モデルによるシミュレーションを行ってきた。

SSE 発生領域は、大地震発生域の脆性的な挙動から安定沈み込み域の塑性的な変形へと遷移する領域にあたるため、数値モデルにおいてはそのような特性を考える必要がある。これを表現する摩擦挙動として、我々は Shimamoto (1987) による岩塩の実験を参考にし、カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存の摩擦則を仮定した。また、Shelly et al. (2006) や Matsubara et al. (2009) による研究から、P 波と S 波速度の比から微動・SSE 発生領域では水の存在が示唆されるため、同領域で間隙水圧が高くなるような分布を考えた。数値シミュレーションにおいては、半無限弾性媒質中においたプレート境界面を多数の面積要素に分割して、上述の摩擦則・パラメータ分布を各要素上で仮定し、その時間発展を計算した。

まず単純な場合として、プレート境界が平板である場合を考え、数値シミュレーションを行った (Matsuzawa et al., 2010)。短期的および長期的 SSE の繰り返しを、異なる間隙水圧の分布を与えたモデル内で、個々に再現することができた。また、単一のモデル内でも有効法線応力を strike 方向に変化させることで、長期的および短期的 SSE の発生を同時に再現した。さらに、プレート間大地震の発生サイクル間には、SSE の発生間隔が短くなる挙動がみられた。このとき、SSE の発生間隔と大地震の固着域下部でのすべり速度の変化の間にはよい対応がみられ、大地震に至る固着域への応力集中に伴って SSE の発生挙動が変化する可能性が示唆された。

次に、実際に沈み込むプレート形状および微動の分布に基づいたモデル化を行った。このモデルでは、微動発生域付近に前述のような遷移過程の変形挙動が卓越していると仮定する一方で、微動分布から離れた場所で安定すべりとなるよう摩擦パラメータをおいた。沈み込むプレート形状として、Shiomi et al. (2008) および Baba et al. (2006) を参考に紀伊半島・東海地域および四国地方についてそれぞれ作成し、シミュレーションを行った。このモデルでは、短期的 SSE・微動のセグメント化を説明することができ、各セグメントにおける再来間隔も、紀伊半島南部で短く、紀伊半島北部や東海で長くなるなど、実際の観測結果と同様な活動の特徴を再現することができた。

プレート形状と微動の分布を考慮することで、SSE 発生領域のセグメント化と発生間隔の特徴を再現することができたが、特に発生間隔については Shibazaki et al. (2010) が指摘しているように、SSE 発生域の幅がこれを特徴づけていると考えられる。また、地震サイクルにおける SSE の発生間隔の変化については、深い部分まで固着している地震サイクル初期では間隔が長くなり、応力が集中して固着域の下端が浅くなる地震サイクル後半では、SSE 発生領域と固着域下部のすべりの影響から間隔が短くなっていると考えられる (Matsuzawa et al., 2010)。ただし、3次元形状と微動分布を取り入れた場合には、同様な傾向はあるものの、それぞれの再来間隔が大きな揺らぎをもつようになった。

SSE や低周波微動については新たな観測事実が次々と報告されており、数値シミュレーションを通じてこれらスロー地震とプレート間大地震との関係を明らかにしようとする研究はまだ初期段階にあるといえる。今後も、新たな知見を取り込んだモデルを構築し、予測される結果を検証していくことが、プレートの沈み込みや大地震の発生過程のさらなる理解につながると期待される。

キーワード: スロースリップイベント, 数値シミュレーション, 地震サイクル, 四国

Keywords: slow slip event, numerical simulation, seismic cycle, Shikoku



SCG058-24

会場:302

時間:5月22日 18:15-18:30

## 2004年9月に始まった伊豆背弧リフトにおけるスロー拡大事件 A slow rifting episode at the Izu back-arc since 2004 September

日置 幸介<sup>1\*</sup>  
Kosuke Heki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学研究院自然史科学部門  
<sup>1</sup>Dept. Nat. History Sci., Hokkaido Univ.

沈み込み境界におけるスロー地震はこれまで多く観測されてきたが、今回その発散境界バージョンであるゆっくり拡大事件 (Slow Rifting Episode) を見つけたので報告する。フィリピン海プレート北部には東西伸張の応力場が卓越し、伊豆小笠原弧の火山弧の背弧側には南北走行の正断層がリフトゾーンを形成している。西村 (2010) は連続 GPS 網 GEONET データから 2007-2009 の八丈島、青ヶ島、御蔵島を含むブロックの動きを、安定なフィリピン海プレート上にあるとされる大東諸島、沖ノ鳥島、小笠原から推定し、青ヶ島西方で島弧に直交する N81E 方向に 6.8 mm/yr の拡大が進行していることを報告した。

これを確認するにあたって、八丈島や青ヶ島の GPS 局のフィリピン海プレートに対する東向きの動きは従来もっと小さく、2004 年 9 月頃に急加速して西村 (2010) が求めた速度に至ったことがわかった。加速成分は約 4 年の時定数で指数関数的に減衰し、それによる余分な東向きの動きの積算値は青ヶ島や八丈島で 3-4 cm に達する。2004 年 9 月の加速は幾分小さくなるが御蔵島や三宅島でも見られ、伊豆大島あたりまで確認できる。

2004 年 9 月 5-6 日に紀伊半島南東沖で地震 (M7.2 の前震、M7.4 の本震、M6.6 の最大余震) が発生している。これらの地震による地震時地殻変動は大きな南北短縮と小さな東西伸張で特徴づけられる (水藤・小沢, 2009)。伊豆諸島の東向きの Transient な加速はその直後に始まっており、一見これらの地震の余効変動に見える。しかし計算された粘性緩和による余効変動や、より震源に近い GPS 点から求められた余効すべりから予測される伊豆諸島の東向きの動きは、本研究で見出された動きに比べて桁違いに小さい (水藤・小沢, 2009)。この地震の震源と伊豆七島の距離は 200 km 程度であるが、同じくらい震源から西方に離れた室戸岬ではわずかな地震時変動が見えるだけで余効変動は全く見えていない。

本研究では、伊豆諸島の東向きの動きの一時的な加速の原因は、地震によってトリガーされた伊豆小笠原背弧のゆっくり拡大事件ではないかと考える。なお紀伊半島南東沖地震に伴う地殻変動は伊豆諸島では東西伸張であるため伊豆背弧リフトの拡大を逆に discourage する。従ってこのトリガーは静的なものではなく地震動による遠隔トリガーであろう。過去に起こったであろう同様の拡大事件後にリフト帯は固着し、その間にリフト帯を含む広域で東西伸張ひずみが蓄積しただろう。2004 年 9 月の地震動によって大島から青ヶ島に至る南北 200 km を超える範囲の伊豆背弧リフトが同時に揺すられて固着が破壊され、そこが力学的に自由端になったと考える。溜まった伸張歪はリソスフェア下端の粘性抵抗と釣り合いを保ちながらゆっくり解放される、ストレス拡散 (Bott & Dean, 1973) の状態となる。本研究では適切なストレス拡散係数 (Heki et al., 1993) を与えて、GPS の観測結果と同様なゆっくり拡大事件を計算機で再現する。

### 文献

Bott, M.H.P. and D.S. Dean, Stress diffusion from plate boundaries, *Nature*, 243, 339-341, 1973.

Heki, K., G.R. Foulger, B.R. Julian and C.-H. Jahn, Plate dynamics near divergent boundaries: geophysical implications of post-rifting crustal deformation in NE Iceland, *J. Geophys. Res.*, 98, 14279-14297, 1993.

西村卓也, GPS データに基づく伊豆背弧拡大速度と伊豆マイクロプレートの運動の推定、地震学会 2010 年秋季講演会。

水藤尚・小沢慎三郎、東海地方の非定常地殻運動?東海スロースリップと 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余効変動?, 地震 2, 61, 113-135, 2009.

キーワード: GPS, 背弧リフト, 伊豆小笠原弧, ストレス拡散, 拡大事件, スロー地震

Keywords: GPS, back-arc rifting, Izu-Bonin arc, stress diffusion, rifting episode, slow slip event