

北海道北部のブロック境界で繰り返し発生する浅いスロー地震 Repeating Shallow Slow-Slip-Events along the Block Boundary in the Northern Hokkaido

池田 将平^{1*}; 日置 幸介²
IKEDA, Shohei^{1*}; HEKI, Kosuke²

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻, ² 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門

¹Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, ²Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University

留萌以北の北海道北部(道北部)では過去数十年間を見ても M6 クラス以上の大きな地震は発生していない。しかしこの地域には南北に縦断するブロック境界があり、アムールプレートの東進の結果東西方向で約 1cm/yr の収束があると考えられている (Loveless and Meade, 2010)。また、2012 年夏から 2013 年の初頭にかけて幌延-中頓別間の基線長が四ヶ月かけて約 1cm 短縮したが、数少ない内陸部でのスロー地震 (Slow Slip Events, SSE) であったことが報告されている (Ohzono et al., 2014)。

本研究では 2012 年の幌延 SSE 以外にも、ブロック境界の別のセグメントで SSE があったのではないかと考え、国土地理院による GEONET の点の F3 解を用いて稚内から留萌にかけてこの境界をまたぐ様々な GNSS 点間の距離の時系列を解析した。その結果、幌延-中頓別間より約 20 km 程の中川-音威子府間で 2005 年半ばと 2007 年半ばの 2 回、さらに南の羽幌-幌加内間で 2002 年後半と 2004 年前半に、いずれも 1-2 ヶ月で数 mm ほどの基線長が短縮するイベントが見られた。この基線長変化の検出には、Nishimura et al. (2013) に倣って、SSE を仮定した場合としない場合の AIC (Akaike's Information Criterion) の差の大きいものについて、SSE が存在すると見なした。なお幌延より北の地域では、はっきりした SSE は見つからなかった。

道北部を対象に過去 20 年分の浅い地震活動を調べたところ、震源は上記のブロック境界に沿って分布しているとともに、留萌付近の緯度 (N44.1) から西に曲がるように並び、日本海東縁のプレート境界に続いていた。留萌では 2004 年 12 月に M6 クラスの地震が発生、M3 以上の余震が 20 回以上発生し (高橋・笠原, 2005)、より北部の地域に比べて多く地震が起こっていた。留萌以北での境界でのブロック収束運動は通常地震によるのではなく、SSE によって解消されるため、通常地震は発生しにくいのかも知れない。反対に留萌以南では SSE ではなく通常地震によってブロック運動に伴う歪みが解消されているのだろう。

キーワード: 北海道, 内陸部, スロー地震, SSE, GNSS, GPS
Keywords: Northern Hokkaido, inland, SSE, GPS, GNSS

DONETで捉えた紀伊半島沖のスロースリップの断層推定 Estimation of fault parameters of slow slip event, off the Kii Peninsula, detected by DONET

鈴木 健介^{1*}; 中野 優¹; 堀 高峰¹; 高橋 成実¹
SUZUKI, Kensuke^{1*}; NAKANO, Masaru¹; HORI, Takane¹; TAKAHASHI, Narumi¹

¹ 海洋研究開発機構
¹ JAMSTEC

海洋研究開発機構は、南海トラフで発生する地震・津波を常時監視することを目的として、熊野灘海域に地震・津波観測監視システム (Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis: DONET) を展開している。我々はこれまでに、DONETに設置されている水晶水圧計記録から海底面変動成分を抽出し、一部の観測点において2013年2月頃から圧力変動が生じていることを検出した(鈴木・他, 2014)。この圧力変動と同時期かつ近傍において地震活動の低下も見られた。この圧力変動は海底の上下変動によるものと解釈でき、スロースリップによって生じた地殻変動と解釈できるが、断層推定はおこなわれていない。そこで、本研究では地殻変動を引き起こした断層の推定を試みた。

半無限弾性体中の矩形断層の断層すべりを用いて計算された理論上下変位 (Okada, 1992) を得られた観測上下変位と比較することによって地殻変動を引き起こした断層の推定を試みた。鈴木・他 (2014) では圧力変動から上下変動を得る際に次のような手法を用いた。すなわち、圧力計記録から潮汐成分を除去し、さらに潮汐成分以外の海面変化に由来する変動を除去するために、同じノードに接続された観測点の圧力計記録の平均を引いた。そのため、本研究においても理論変位を計算する際に同じノードに接続された観測点の平均変位を個々の観測点の理論変位から引いている。

観測された4観測点の上下変動に対して推定すべき9つのパラメータが存在する。そのため、パラメータを一意に推定することができず、インバージョンをおこなう際に拘束条件が必要となる。本研究では、地殻変動をおこした断層としてプレート境界および付加帯内の分岐断層を想定して、断層推定をおこなった。プレート境界を想定した断層では、走向・傾斜・すべり角を固定し、他のパラメータをグリッドサーチによって推定した。ただし、深さについてはプレート境界に一致するようにした。一方、分岐断層を想定した断層の場合では、プレート境界よりも浅部で深さと傾斜についてもグリッドサーチによって推定した。

プレート境界を想定した断層の場合では、観測された相対的な上下変動のパターンを説明することができるが、観測点の平均変位量が大きくなる。このような変動があるとすれば、水圧計記録においても観測されるはずだが、実際の記録では観測されていない。したがって、プレート境界上の断層運動では観測を説明することは難しい。一方、分岐断層を想定した断層の場合では、観測された相対的な上下変動パターンを説明できるとともに、観測点の平均変位量も小さくなる。そのため、こちらのモデルの方が観測を説明することができる。今後は、他のタイプの断層モデルを検討するとともに、断層運動と地震活動変化間の関係について考察する予定である。

キーワード: DONET, 海底圧力計, スロースリップ, 地震活動変化
Keywords: DONET, ocean bottom pressure change, slow slip event, seismicity change

スロースリップイベント時空間分布のスイッチングモデルによるロバストな推定 Robust estimation of spatio-temporal distribution of slow slip event by switching model

荒木 貴光^{1*}; 落 唯史¹; 松本 則夫¹; 赤穂 昭太郎¹
ARAKI, Takamitsu^{1*}; OCHI, Tadafumi¹; MATSUMOTO, Norio¹; AKAHO, Shotaro¹

¹ 産業技術総合研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

短期的スロースリップイベント (SSE) の正確な計測には、埋め込み式歪計や傾斜計といった微小な地殻変動も感知可能な感度の高い計測器が必要である。一方、そのような感度の高い計測器は、様々な外乱因子の影響を受けやすく、計測したデータにはスケールの大きい複雑な時間的構造を持つノイズが含まれる。

本研究では、それら感度の高い計測器から得られたノイズなデータを用いて SSE の時空間分布を推定する。SSE 時空間分布推定の標準的な手法としてネットワークインバージョンフィルター (NIF) があり、主に GNSS データのようなノイズの少ないデータを用いた長期的 SSE の推定に適用されてきた。しかし、NIF はノイズや断層すべりによる信号に対して常に同じダイナミクスを仮定しており、大きく変動するノイズを除去できない。そのため、NIF はノイズな歪計・傾斜計の全期間のデータから SSE 時空間分布を適切に推定できない。

本研究では、モデルを2つの時点で切り替えるスイッチングモデルを用いてロバストに SSE 時空間分布を推定する方法を提案する。観測期間を

(1) 断層すべりが起こる前 (2) 断層がすべっている間 (3) 断層が滑り終えた後の3つの期間に分けてそれぞれの期間ごとに次のようにモデルをあてはめる。

- (1) の期間：滑り量と滑り速度が0で一定なモデル
- (2) の期間：断層が滑り続けるモデル
- (3) の期間：すべり量が一定なモデル

モデルの切り替え時点とパラメータは最尤法で推定し、パラメータの推定アルゴリズムには Expectation-Maximization (EM) アルゴリズムを用いる。EM アルゴリズムは初期値依存性が低いため安定したパラメータ推定が可能となる。SSE の時空間分布は、切り替え時点とモデルパラメータを推定した後にカルマンフィルターを実行して推定する。①③の期間で断層すべり量を物理的に合理的な値で固定したことで、これら期間のノイズをほとんど除去でき、②の期間の断層すべりにおいても安定した推定値を得ることができる。

提案手法と NIF を次の2つのデータに適用して性能を比較した。一つは、SSE による歪のシミュレーション値にスケールの大きなノイズを加えて生成した人工データ、もう一つは、東海地方・紀伊半島で2012年に発生した短期的スロースリップによる微小な地殻変動を計測した歪計のデータである。人工データに対しては、提案手法が NIF より正確に断層すべり分布を推定できた。歪計データに対しても、NIF は地震学的に生じえない断層すべり分布を推定したが、提案手法はより物理的に矛盾しない断層すべり分布を推定した。また、SSE の開始時点を客観的に検出することは重要であるが、提案手法では、NIF では捉えることができなかった人工データ、歪計データ両方において正確に SSE 開始時点を検出できた。

キーワード: スロースリップイベント, 歪計データ, スwitchingモデル, 最尤法, カルマンフィルター
Keywords: Slow slip event, Strain data, Switching model, Maximum likelihood method, Kalman filter

GNSS データのスタッキング手法を用いた西南日本の短期的 SSE の継続時間推定の試み An attempt to estimate duration for short-term SSEs in southwest Japan using the stacking method of GNSS data

西村 卓也^{1*}; 松澤 孝紀²; 木村 武志²; 小原 一成³
NISHIMURA, Takuya^{1*}; MATSUZAWA, Takanori²; KIMURA, Takeshi²; OBARA, Kazushige³

¹ 京都大学防災研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 東京大学地震研究所

¹Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ³Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

はじめに

西南日本の沈み込み帯では、数日から 10 日間程度の継続時間でプレート境界がゆっくりとずれる短期的スロースリップイベント (SSE) が発生していることが知られている。Nishimura et al.(2013) 及び Nishimura(2014) は、国土地理院の GNSS データ (GEONET) の解析から、東海地方から豊後水道にかけての南海トラフ沿いの深部 (深さ 20~40km) だけでなく、日向灘から八重山諸島にかけての琉球海溝沿いにおいても短期的 SSE が多数発生していることを示した。短期的 SSE のシグナルは GNSS のノイズレベルぎりぎりであるため、Nishimura et al.(2013) では、短期的 SSE の継続時間は 0 と仮定して、時系列データに 1 次トレンド付ステップ関数をフィッティングし、得られたステップの大きさを用いて断層モデルの推定を行っていた。そのため、この手法で検出された短期的 SSE がどの程度の時定数を持っているのかは不明であった。

西南日本で観測されている SSE は、その継続時間が短期的 SSE と長期的 SSE の間でギャップがあり、その中間の 1 ~ 2 ヶ月程度の継続時間を持つような SSE は報告されていない。しかし、このような中間的な時定数の SSE は地殻変動連続観測と GNSS の得意とする時定数の間にあるため、今まで見つかっていないという可能性もある。

本研究は、この問いに答えるため GNSS データを用いた短期的 SSE の検出手法 (Nishimura et al., 2013) と地殻変動データのスタッキング手法 (宮岡・横田, 2012) を組み合わせて、短期的 SSE の継続時間の推定を試みた。

データ及び解析手法

本研究で用いたデータは、国土地理院から公開されている GEONET の日座標値 (F3 解) である。まずは、Nishimura et al.(2013) 及び Nishimura(2014) の手法で短期的 SSE の検出と矩形断層モデルの推定を行う。この矩形断層モデルの計算値を用いて、宮岡・横田 (2012) の手法に準拠して時系列データのスタッキングを行った。スタッキング手法の具体的な手順は以下の通りである。まず、各 GNSS 観測点の南北・東西成分毎に短期的 SSE の発生日を中心とする 181 日間の時間窓のデータをとりだして、中心の 60 日間を除いた時間窓の両端の期間を使って 1 次トレンドの除去と RMS の計算を行う。この RMS を各データのノイズレベルとし、時系列をノイズレベルで規格化する。次に、矩形断層モデルから計算されるシグナルと上記のノイズレベルから、各観測点各成分毎の S/N 比を計算する。そして、S/N 比の大きい順に時系列データのスタッキングを行い、時間窓の両端の期間を用いてスタッキングしたデータのノイズレベルを計算して、スタッキングデータの S/N 比が最大となるまでスタッキングを行う。最後に、得られたスタッキング時系列に対してランプ型の関数をフィッティングし、短期的 SSE の継続時間を推定した。

結果

南海トラフ沿い深部での短期的 SSE に関しては、概ね 30 から 100 のデータをスタッキングすることにより S/N 比が最大となり、スタッキング時系列では、目視でも SSE の継続時間を認識することが可能となった。GNSS の各観測点各成分の時系列では短期的 SSE の時定数を目視で確認することが難しいことから、スタッキング手法の有効性を確認することができた。比較的 S/N 比の良いスタッキングデータから推定された短期的 SSE の継続時間は、数日から 1 ヶ月程度である。この継続時間は、傾斜計データから短期的 SSE の継続時間を推定した先行研究 (e.g., Sekine et al., 2010) よりも明らかに長いものも含まれる。このような長いイベントは、休止期間を挟んで連続した SSE を 1 つのイベントとして誤認したものも含まれるが、それだけでは説明できないイベントも存在する。講演では、継続時間の地域性や微動活動との比較、防災科学技術研究所の Hi-net 傾斜計データと比較した結果についても報告する予定である。

謝辞 本研究では国土地理院の日々の座標値 (GEONET F3 解) を使用しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

宮岡・横田 (2012) 地震 2, 65, 205-218.

Nishimura, T., T. Matsuzawa, and K. Obara (2013) JGR Solid Earth, 118, 3112-3125.

Nishimura, T. (2014) PEPS, 1:22.

Sekine, S., H. Hirose, and K. Obara (2010) JGR Solid Earth, 115, B00A27.

SCG62-04

会場:303

時間:5月27日 15:00-15:15

キーワード: スロースリップイベント, GNSS, 西南日本, 継続時間
Keywords: Slow Slip Event, GNSS, Southwest Japan, Duration

四国中西部における微動発生域と固着域の中間領域で発生するスロースリップイベント Slow slip event within a gap between tremor and locked zones in midwestern Shikoku

高木 涼太^{1*}; 小原 一成¹; 前田 拓人¹
TAKAGI, Ryota^{1*}; OBARA, Kazushige¹; MAEDA, Takuto¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, UTokyo

西南日本に沈み込むフィリピン海プレート境界の深さ 30-40 km の領域では、深部低周波微動と短期的スロースリップイベント (SSE) が同期して発生することが知られているが、この微動発生域とより浅部の巨大地震を発生させる固着域との間には空白域が存在する。本研究では、GNSS 変位データから定常変動成分と大地震後の余効変動を取り除くことで、四国中西部の微動発生域と固着域の中間領域で発生する長期的な SSE を検出した。

使用したデータは、国土地理院 GEONET の日座標値 (F3 解) である。まず、地震時オフセットとアンテナ交換などによる人為的なオフセットを補正した後、Nishimura et al. (2013) と同様の手法を用いて、観測点間にコヒーレントなノイズ成分を除去した。その後、2007 年から 2008 年の 2 年間の変位から定常変動成分を推定し、その定常成分を全体の時系列から差し引いた。2011 年以降の期間の変位場には定常成分からの変化が見られ、東北沖地震の余効変動の影響による長波長の空間変動に加えて、四国中西部において短波長の空間変動が確認された。そこで、長波長の変位場を空間の二次関数で近似して四国中西部を除く領域の変位場から推定し、それを全体の变位場から差し引くことで、東北沖地震の余効変動の影響を除去し、短波長変動のみを抽出した。

四国中西部における短波長の変位場は、南東方向への変位を示し、プレート境界における低角逆断層すべりで説明できる。Okada (1992) の式に基づき矩形断層を用いてモデリングしたところ、観測された変位場は、微動発生域と固着域の中間領域における年間 2 cm 程度のプレート収束方向のすべりで説明できることがわかった。この SSE は少なくとも 1 年半継続する。2011 年 4 月、2011 年 10 月、2012 年 4 月、2012 年 10 月からそれぞれ 1 年間の変位場をデータとして推定した矩形断層は、四国中西部から豊後水道に位置し、長さ 150-180 km、幅 20-40 km で、走向はプレート形状とほぼ平行である。断層長は 2011 年以降のイベントに比べて短いものの、同様の現象は 2004 年から 2005 年にも確認でき、その一部は小林 (2010) でも報告されている。検出された長期的な SSE は、2003 年と 2010 年の豊後水道長期的 SSE の後にすぐ東側で発生することから、豊後水道長期的 SSE のすべりが東に移動し、微動発生域と固着域との間の空白域で小規模な SSE が発生したことが示唆される。

四国西部における深部低周波微動は約半年間隔で発生し、プレート走向方向に数日から 1 週間かけて震源移動することが知られているが、2011 年以降にはその移動パターンが変化した。各微動エピソードにおけるプレート走向方向の移動距離を測定すると、四国西部において 2011 年以降には 120 km 以上という、それまでよりも長距離移動するエピソードが存在したことがわかった。本研究で検出された長期的な SSE は、移動パターンが変化した微動発生域の浅部に位置しているため、浅部の長期的な SSE がその深部の短期的 SSE の伝播を促進し、結果として深部低周波微動の移動距離が長くなった可能性がある。

微動発生域と固着域の間の空白域は北米のカスケード沈み込み帯にも存在し、その領域でのすべり様式の理解は、巨大地震時すべり域の dip 方向の下限の推定 (Hyndman, 2013) や固着域への応力蓄積過程の理解 (Wech and Creager, 2011; Yokota and Koketsu, 2015) のために非常に重要である。本研究では、GNSS 変位データから定常変動成分と大地震後の余効変動を取り除くことで、四国中西部の空白域における長期的な SSE を検出し、この長期的な SSE によりプレート沈み込みによる歪み蓄積の一部を解消していることが明らかになった。

キーワード: スロースリップイベント, スロー地震, GNSS, 深部低周波微動, 沈み込み帯
Keywords: slow slip event, slow earthquake, GNSS, non-volcanic tremor, subduction zone

南西諸島波照間島付近の繰り返し SSE の発生頻度変化とその原因 The properties and variations of repeating slow slip events near Hateruma Island, south-western Japan

Tu Yoko^{1*}; 日置 幸介¹
TU, Yoko^{1*}; HEKI, Kosuke¹

¹ 北海道大学理学院自然史科学専攻
¹Department of Natural historical sciences, Hokkaido University

スロースリップイベント (SSE) はプレート境界で繰り返し起こるゆっくりした滑りであり、カナダ西海岸、アラスカ、中部日本、西南日本等の沈み込み帯で見いだされている。南西諸島沖の琉球海溝では一般的にプレート間カップリングが弱いと信じられているが、実際には GNSS データの解析によって、最西端の西表島から波照間島にかけて領域 (Heki & Kataoka, 2008) を始め、沖縄本島を含む様々な領域で繰り返し SSE が検出されている (Nishimura, 2014)。西表?波照間地域の SSE は、平均 Mw6.6 で約半年に一度発生しているが、Nakamura (2009) は台湾付近で 2002 年に起こった Mw7.1 の地震のアフタースリップに伴う応力変化によって、その長期的なモーメント解放率が変化したことを示唆した。一方我々は 2002 年と 2013 年に与那国島が南向きの transient な動きを示していることを見だし、与那国島北部海域の地震活動の消長も考慮して、沖縄トラフでスロー拡大事件 (Slow Rifting Episode) が発生したと考えている。本研究では、これらに伴う南琉球ブロックの南進による応力変化も西表の SSE の発生率に影響を及ぼしていると考えて様々な定量的議論を行った。数値の詳細は英文要旨を参照のこと。

キーワード: SSE, 波照間島, 発生頻度変化, 琉球海溝
Keywords: SSEs, Hateruma Island, variations, Ryukyu subduction zone

2013年4月沖縄トラフの群発地震とダイク貫入について The Apr 2013 earthquake swarm and dyke intrusion in the Okinawa trough

安藤 雅孝^{1*}; 生田 領野²; Tu Yoko³; Chen Horng-Yue⁴; Lin Cheng-Horng⁴
ANDO, Masataka^{1*}; IKUTA, Ryoya²; TU, Yoko³; CHEN, Horng-yue⁴; LIN, Cjeng-horng⁴

¹ 静岡大学防災総合センター, ² 静岡大学大学院理学研究科, ³ 北海道大学自然史科学部門, ⁴ 中央研究院地球科学研究所
¹Center for Integrated Research and Education of Natural Disasters, ²Graduate School of Science, Shizuoka University, ³Department of Natural Historical Sciences, Hokkaido University, ⁴Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

2013年4月17日与那国島北北西50kmの沖縄トラフ内で、最大Mw5.2の群発地震が発生し、ほぼ1週間で活動は収束した。この地域では、2002年の群発地震以来の地震活動であった。活動期間中、Mw4.5を超える地震は28回起きた。メカニズム解はすべて東西走向の正断層地震であり(F-NETによる)、地震モーメントの総和はMw5.7であった。

地震活動と同時に、与那国島や周辺の島のGPSが急激な変動を示した。KGPS解析の結果、4月17?18日の2日間にわたり周辺の島がゆっくり変動したことが分かった。観測された水平変動は、与那国島で南南東に4.7cm、西表島で西に1cm、石垣島ではmmオーダーであった。台湾東部の観測点では有意な地殻変動は検出されなかった。これらのGPSデータを総合すると、群発地震域にMw7.0相当の正断層地震またはマグマ貫入が生じたと推定された。ただし、地殻変動データだけでは、二つのモデルの優劣はつけられない。

この群発地震発生前、与那国島の水平方向の経年変化(2006?2013.3)は南南東方向に6.5 cm/yrであったが、群発地震後は8.4 cm/yrに増え、2014年には9.5 cm/yrになっている。このような長期にわたる地殻変動は、浅い正断層上のslow slipより、マグマ貫入モデルの方が説明しやすい。2013年の群発地震は、沖縄トラフ中の急激なマグマ貫入により引き起こされたもので、その後も通常より活発にマグマ貫入は継続していると推測される。

ただし、この種のマグマ貫入が、琉球弧を南に押し出す(琉球弧の南進)原因とは考えにくい。なぜならば、西表島と波照間島は琉球弧に対しほぼ垂直に並ぶが、両島間のGPS基線長は1mm/yの速度で定常的に伸びている。琉球弧は、海溝に垂直方向に引き伸ばされていると言える。つまり、琉球弧が南進するのは、琉球海溝が後退するためで、マグマ貫入はその結果により引き起こされている。2013年の急激なマグマ貫入は、1997年GPS観測開始以降初めて起きたもので、この種の現象は稀に起こるものであろう。通常は、琉球弧の南進に伴い、マグマは受動的に沖縄トラフに貫入すると考えられる。

キーワード: 群発地震, 正断層, 沖縄トラフ, 背弧海盆拡大, ダイク貫入, 琉球海溝

Keywords: earthquake swarm, normal fault, Okinawa trough, back-arc rifting, dyke intrusion, Ryukyu trench

潮汐に応答する琉球海溝の超低周波地震 Correlation of activity of very low frequency earthquakes with tide in the Ryukyu Trench

中村 衛^{1*}; 嘉数 圭人¹
NAKAMURA, Mamoru^{1*}; KAKAZU, Keito¹

¹ 琉球大学理学部
¹ Faculty of Science, University of the Ryukyus

琉球海溝に沿って超低周波地震 (VLFE) が発生していることが明らかになってきた (Ando *et al.*, 2012; 浅野・他, 2013, 2014, Asano *et al.*, 2015; Nakamura and Sunagawa, 2015)。VLFE は応力降下量が非常に小さいため、地球潮汐 (数 kPa) 程度の小さな応力変化で活発化しやすいと考えられる。そこで琉球海溝で発生する浅部超低周波地震活動について、地球潮汐との対応を調べた。

2002年1月1日~2014年12月31日に琉球海溝で発生した Mw3.5 以上の VLFE イベントを解析に用いた。使用した VLFE カタログは Nakamura and Sunagawa (2015) の手動読み取り法による震源リストである。海洋潮汐の記録として気象庁の検潮記録 (那覇・石垣・名瀬) の3点を使用した。また、地球潮汐による理論歪と VLFE 活動を比較するため、GOTIC2 (Matsumoto *et al.*, 2001) を用いて、各領域での地球潮汐と海洋荷重による歪成分を計算した。

まず琉球海溝で VLFE が集中する5領域を選択し、それぞれの地点で検潮記録による海洋潮汐の位相と VLFE 活動を比較した。その結果、南西琉球弧 (与那国南方) 以外の全ての地域で干潮時に活動が活発化し、満潮時に活動が静穏化する傾向が見られた。活動は M2 分潮に対応するものが最も顕著であった。また、VLFE 活動を地球潮汐と海洋荷重による理論水平歪と比べた結果、圧縮歪の時期に活発化、拡張歪の時期に静穏化する傾向が見られた。さらに理論歪を用いてプレート面でのせん断応力を計算したところ、せん断応力が最大となる位相のときに VLFE 活動が活発化することが明らかになった。琉球海溝で起こる VLFE は低角逆断層型地震である (Ando *et al.*, 2012) ため、せん断応力が強くなることで VLFE は発生しやすいと考えられる。海洋荷重による歪の影響と琉球海溝の走向の関係により、プレート面に働くせん断応力は中~北部琉球弧では振幅が大きく南西琉球弧では小さい。この影響のために VLFE 活動は琉球海溝中北部では潮汐に応答するものの琉球海溝南西部では応答しなかったと考えた。

キーワード: 超低周波地震, 潮汐, 琉球海溝
Keywords: very low frequency earthquake, tide, Ryukyu Trench

深部低周波微動の潮汐応答性 Tidal sensitivity of tectonic tremors in subduction zones

矢部 優^{1*}; 田中 愛幸²; Houston Heidi³; 井出 哲¹
YABE, Suguru^{1*}; TANAKA, Yoshiyuki²; HOUSTON, Heidi³; IDE, Satoshi¹

¹ 東京大学理学系地球惑星科学専攻, ² 東京大学地震研究所, ³ ワシントン大学
¹EPS, UTokyo, ²ERI, UTokyo, ³ESS, Univ. of Washington

Tectonic tremor, which is one of slow earthquakes occurring in subduction zones, have been known to be triggered by small stress perturbation such as passing surface wave from distant earthquake and tidal stress. Tidal sensitivity of tremors can be detected by investigating the frequency of tremor catalog, but more quantitative comparison gives us useful information. By comparing tremor activity with calculated tidal stress on the plate interface, some previous studies estimate frictional property on the plate interface, such as frictional parameter in rate and state friction (Tanaka et al., 2008), friction coefficient (Thomas et al., 2012; Houston, 2015). Furthermore, recent studies reveal the relation between tremor rate and tidal stress is exponential (Ide and Tanaka, 2014, Houston, 2015), which would represent the frictional property of plate interface. However, the analyses of previous studies are limited to specific places in subduction zones. Hence in this study, we try to estimate the spatial variation of tidal sensitivity in Nankai, Cascadia and Mexican subduction zones.

Tidal stress calculation includes both body tide and ocean tide. Tidal stress is converted to normal stress and shear stress on the plate interface based on the local plate model and plate movement.

Tremor catalog is from Yabe and Ide (2014). We calculate tremor rate at each tidal stress level following Ide and Tanaka (2014) and Houston (2015). Tidal sensitivity is calculated from this data using maximum likelihood method. The uncertainty of estimated parameter is assessed as well.

In this study, we categorize tremors in the catalog into four types. Tremors occurring between major ETS episodes are categorized into inter-ETS events. Tremors in ETS events are categorized into three categories ("early", "front", and "later" as Houston, 2015). Spatial variations of tidal sensitivity for each type of tremors are estimated. Nankai and Cascadia subduction zones have both ETS tremors and inter-ETS tremors, while tremors in Mexican subduction zone do not show significant along-strike migration, and all tremors are categorized into inter-ETS tremors.

As for tremors in ETS, early tremor and later tremor show high sensitivity in Nankai subduction zone, while front tremor does not. In Cascadia, only after tremor does show tidal sensitivity. The absence of tidal sensitivity in early tremor in Cascadia is considered to be due to the smaller amplitude of tidal stress and/or stronger coupling of slow earthquake region. In the front period, stress perturbation due to SSE slip would be larger than tidal stress, and tidal sensitivity disappears. After the SSE front passes, plate interface get weakened, and strong tidal sensitivity will appear. Comparing with the amplitude of tremors estimated by Yabe and Ide (2014), tidal sensitivity tends to increase from early tremors to later tremors where the amplitude of front tremors is large. Because the amplitude of tremors is proportional to moment rate (Ide and Yabe, 2014), this observation is consistent with the interpretation presented above. Tidal sensitivity also tends to be higher in shorter duration tremors, which is defined as the half value width of tremor envelope. Considering the tremor model by Ando et al. (2010, 2012) and Nakata et al. (2011), shorter duration might imply smaller tremor patch, which would not endure higher strain accumulation than larger tremor patch, resulting in higher tidal sensitivity.

キーワード: 深部低周波微動, スロー地震, 沈み込み帯, 潮汐応答性, 速度状態依存摩擦則

Keywords: Tectonic Tremor, Slow Earthquake, Subduction Zone, Tidal Sensitivity, Rate and State Friction Law

潮汐と海洋の長期変動によるプレート沈み込み速度のゆらぎを見積もる An estimate of fluctuating plate subduction velocities caused by tidal modulations and decadal variations in the ocean

田中 愛幸^{1*}; 矢部 優²; 菊池 亮佑²; 井出 哲²
TANAKA, Yoshiyuki^{1*}; YABE, Suguru²; KIKUCHI, Ryosuke²; IDE, Satoshi²

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
¹ERI, Univ. Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, Univ. Tokyo

プレート沈み込み帯の遷移域で、非火山性微動やスロースリップが検出されている。これらの震源域付近には脱水反応により生じた海洋プレート起源の水がたまっているため、有効法線応力が非常に低くなっていると考えられている。そのため、非常に弱い外力に対しても微動がトリガーされることがある。実際に、短周期の潮汐に同期した周期的な微動発生数の変化が観測されている。我々は先行研究において、日周や半日周潮の振幅が長期的に変調していくことに着目し、微動の長期的な変動を予測する単純なモデルを構築した。微動やスロースリップの発生はプレート境界のすべりにより生じるので、それらの発生の長期的な変動はプレート沈み込みのゆらぎを生み出す。南海トラフのデータにそのモデルを適用したところ、モデルから求めた微動の発生率が巨大地震の発生時期も含む地震活動とよく対応することが分かった。しかしながら、そのモデルでは観測された潮位に基づいているために、海洋変動の非潮汐成分を明示的に扱っておらず潮汐との分離が行われていなかった。海洋や大気の新潮汐変動と大地震の発生時期との関連を調べた研究は過去にもあったが、遷移域の外力に対する敏感さを考慮していなかったため、それらの応力は地震をトリガーするには不十分だと考えられてきた。本研究では、遷移域に対する海洋の長期的な変動を初めて見積もった。気象庁の海洋モデルで再現された海底圧力データを用いたところ、潮汐の振幅変調がもたらすすべり速度の変化よりも非潮汐変動のもたらすすべりの方が大きいことが分かった。微動の応答から決定した摩擦パラメータを用いて見積もったすべり速度のゆらぎは非潮汐の海洋変動と似た時間変動パターンを示し、振幅は年平均値で 1 mm/yr を超え得る。これらはゆっくりした変動であり測地観測で検証できる可能性がある。地震活動やスロースリップの一部もすべりゆらぎの時期に対応するので、海洋の新潮汐変動のような外力を地震サイクルのシミュレーションに取り入れ、定量的にトリガリングが生じるか検証することが今後の課題となる。

キーワード: 潮汐, スロースリップ, 微動, 地震, 地震活動, プレート沈み込み帯
Keywords: tides, slow slip, tremors, earthquake, seismicity, subduction zone

西南日本における深部低周波微動と上盤側の構造不均質 Tremor activity and slip modes controlled by the permeability of the megathrust boundary

中島 淳一^{1*}; 長谷川 昭¹
NAKAJIMA, Junichi^{1*}; HASEGAWA, Akira¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Sci. Tohoku Univ.

西南日本の非火山性の深部低周波微動は東海から豊後水道にかけての領域で活発であるが、例えば紀伊水道では微動が発生していないなど、島弧走向方向で活動度が変化することが知られている (Obara, 2002)。さらに、関東から伊豆半島では微動が報告されておらず、九州でも微動の活動は活発ではないことも大きな特徴の一つである。このような微動活動の変化の原因として、関東、紀伊水道、九州における島弧性のスラブ地殻の沈み込み (Seno and Yamasaki, 2003) や微動発生域の上盤の蛇紋岩化 (Matsubara et al., 2009) が考えられてきた。しかしながら、紀伊水道で長周期スロースリップが発生していること (Kobayashi, 2014)、九州-パラオ海嶺に沿ってやや活発な微動活動がみられ (Yabe and Ide, 2013)、長期的スロースリップが発生していること (Yarai and Ozawa, 2013) など、最近の研究によれば沈み込むスラブの性質とスロースリップの分布が必ずしも対応しない。また、スロースリップの再来間隔はスラブの不均質構造とは相関がないことも指摘されている (Audet and Burgmann, 2014)。

本研究では、西南日本の微動活動の島弧走向方向の変化を理解するために、フィリピン海プレート境界付近の詳細な地震波速度構造を推定した。その結果、プレート境界直上の構造不均質と微動活動の間に明瞭な関係が存在し、(1) 微動が活発な領域では、上盤側の速度が高速であること、(2) 紀伊水道や伊勢湾、関東?伊豆、九州のように微動が発生していない、または極めて少ない領域では、上盤側の速度は低速であることが明らかになった。このような上盤側の速度と微動活動の関係を説明する1つのモデルはプレート境界直上の岩石の透水性の違いである。つまり、上盤側の透水性が小さい場合には、プレート境界の間隙水圧が静岩圧と同程度まで上昇し、プレート境界の強度が著しく低下することで微動が多く発生すると考えられる。一方、透水性が大きい場合、上盤側に水が供給されるためにそこでの変成が進み、結果としてプレート境界の間隙水圧が高くなるならない。そのため、微動を発生させるほど強度を低下させることができず、微動ではなく長期的スロースリップが発生すると考えられる。このような透水性の違いから期待される間隙水圧の変化によるスリップモードの違いは、数値シミュレーション結果と調和的である (例えば、Liu, 2014)。

キーワード: 透水性, 地震波速度, プレート境界, スロー地震

Keywords: permeability, Philippine Sea plate

四国西部でのスローイベント域における人工地震探査 Seismic explosion survey on the episodic tremor and slow slip area in western Shikoku

武田 哲也^{1*}; 汐見 勝彦¹; 上野 友岳¹
TAKEDA, Tetsuya^{1*}; SHIOMI, Katsuhiko¹; UENO, Tomotake¹

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED, Japan

最近、内閣府により、南海トラフ沿いで発生する考慮すべき最大規模の地震の震源モデルが公開された。この震源モデルの深部境界は、非火山性低周波微動や深部超低周波地震、短期的スロースリップ (SSE) 等の低周波イベントの発生域に基づき設定されているが、これらの活動と南海トラフにおいて発生する巨大地震の関係は必ずしも明確ではない。低周波イベントの発生に関しては沈み込むプレートからの脱水が強く関与していると考えられており、低周波イベント発生域周辺のプレート境界では、プレート形状やその物性等の変化が予想される。本研究では、Episodic に低周波イベントが発生する四国西部を対象とし、低周波イベントとフィリピン海プレートおよび陸側モホ面の相対的位置関係や構造的な特徴の変化を詳細に調べるため、四国西部において人工地震探査を実施した。

探査測線は北北西—南南東方向に広がる活発な深部低周波微動クラスター上を通過するよう愛媛県伊予市から高知県黒潮町に至る約 80km の直線とした。人工震源として 300kg のダイナマイト震源を設け、微動クラスターの北端周辺の直上に配置した。人工地震を観測するための臨時観測点は、平均約 450m 間隔で 180 点展開した。探査は 2014 年 12 月 11 日未明に実施し、良好な探査データを得ることができた。

得られたレコードセクションからは反射波と考えられる多くの位相を確認することができ、特に強い振幅を持つ波群が往復走時 11-12 秒と 14 秒付近に確認できる。特に前者の波群は他の波群と比べ継続時間が長く、厚みを伴う反射面の存在が示唆される。過去の探査データおよびプレートモデルからこの反射波はプレート境界からのものと推測され、Shelly et al. (2006) で指摘された高圧の流体が存在する領域周辺から起因するものと考えられる。今後、解析を進め、プレート境界の正確な位置を把握し、プレート境界の物性変化について評価する予定である。

※本研究は、文部科学省委託「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の一環として行いました。本研究における地下構造探査の実施にあたり、周辺自治体を始めとする関係の皆様にご協力頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 人工地震構造探査, 南海トラフ, プレート境界
Keywords: Seismic survey, Nankai trough, Plate boundary

2種類の地震性ローディングによるSSE発生間隔変化 Recurrence interval modulation of slow slip events by two types of earthquake loading

三井 雄太^{1*}
MITSUI, Yuta^{1*}

¹ 静岡大学理学研究科
¹Institute of Geosciences, Shizuoka University

測地学的研究によって、これまでに多くの自発的スロースリップイベント (SSE) が主に沈み込み帯で観測されてきた。SSE の繰り返し間隔は断層の力学的状態を反映する。これには、隣接域で生じる大きな地震に関連する載荷の影響も含まれるだろう。そこで本研究では、SSE 繰り返し間隔の時間的变化に注目する。速度・状態依存摩擦則を用いた数値モデル実験により、地震に関連する載荷の効果を調べた。一つの結果として、既存のいくつかの研究でも指摘されたように、近隣の大地震の震源核生成過程が進行するにつれて、SSE 発生間隔の短縮が見られた。SSE 発生域と大地震の震源域の距離がほぼゼロのときのみ、大地震の発生に 10 年程度先行して、SSE 発生間隔の更なる急短縮が生じた。もう一つの結果として、0.1MPa 程度の外的な応力擾乱を系全体に加えたとき、同様の SSE 発生間隔の急短縮が生じることがわかった。さらに、応力擾乱後に SSE の発生間隔の揺らぎが起こり、次の大地震が発生するまで継続することもわかった。これら双方の効果が現在房総半島沖において進行しているのかもしれないが、現状では、両者を切り分けるのは難しい。

キーワード: スロースリップイベント, 応力擾乱, 速度・状態依存摩擦則, 地震準備過程

Keywords: Slow slip events, Stress perturbation, Rate- and state-dependent friction law, Earthquake preparatory process

東北沖プレート境界物質の摩擦特性からみるスロー・スリップ・イベント Frictional properties of materials along the plate boundary of Tohoku subduction zone: implications for slow slip events

澤井 みち代^{1*}; Niemeijer Andre²; 廣瀬 丈洋³; Plumper Oliver²; Spiers Christopher²
SAWAI, Michiyo^{1*}; NIEMEIJER, Andre²; HIROSE, Takehiro³; PLUMPER, Oliver²; SPIERS, Christopher²

¹ 広島大学・院・理学研究科, ² ユトレヒト大学, ³ JAMSTEC・高知コア研究所
¹Hiroshima University, ²Utrecht University, ³Kochi / JAMSTEC

Episodic tremor and slip occurred just before the 2011 Tohoku-oki earthquake on a shallow portion (less than 20 km depth) in the Tohoku subduction zone (Ito et al., 2013). The area where slow slip occurred overlapped with the seismogenic zone. To understand such diverse slip behaviour around the Japan Trench, not only the major earthquakes but also the slow slip events, it is essential to reveal the frictional properties of rocks distributed at the Tohoku subduction zone. We thus conducted friction experiments using a rotary shear apparatus on powders of blueschist (probably distributed at hypocenters at major Tohoku earthquakes) and smectite-rich pelagic sediments (distributed along the shallow portion of the Tohoku plate boundary (Chester, et al 2013)). Simulated gouges were sheared at temperatures of 20-400°C, and effective normal stresses of 25-200 MPa and pore fluid pressures of 25-200 MPa. We conducted velocity-stepping sequences (0.1 to 100 micron/s) to determine the rate and state parameter (a-b) and investigated the effects of temperature, effective pressure and slip rate on slip stability.

Blueschist gouges show a friction coefficient of about 0.75 and positive (a-b) values which decrease to become negative with increasing temperature. At 200°C, the behavior is velocity weakening and shows negative (a-b) values with a background friction of ~0.75. At 300°C, friction is ~0.65 and the gouges show neutral to positive values of (a-b), showing larger (a-b) values than at 200 °C. (a-b) values slightly decrease at 400°C with a background friction of ~0.7. There is also effective normal stress dependence: even at temperature conditions where (a-b) tends to be positive, (a-b) values are negative at low effective pressure and increase to positive with increasing effective normal stress. This suggests that increasing pore pressure is a possible factor causing unstable slip, leading to slow slip events.

Smectite-rich pelagic sediments show that at low temperatures of 20 and 50°C, the simulated gouges exhibit negative values of (a-b) with a background friction coefficient of 0.38, except at the highest slip rate of 0.1 mm/s. However, the gouges show neutral to positive values of (a-b) at temperatures of >100°C with the same background friction coefficient as at lower temperatures. In addition, the value of parameter (a-b) depends significantly on slip rates: at temperatures of 20 and 50°C it increases from negative to neutral (or slightly positive at 20°C) with increasing slip rates to 0.1 mm/s, whereas it tends to decrease with increasing slip rate at temperatures higher than 100°C. The downdip temperature limit of the slow slip events at Japan Trench (Ito et al., 2013) seems to be in the range between 100 to 150°C. The transition in (a-b) value from neutral to positive, particularly at lower slip rates, occurs at the same temperature range. Hence, this could correspond to the observed downdip limit of the slow slip events.

稠密地震計アレイを用いた深部低周波微動高速移動の詳細な観測 Precise observation of migration of non-volcanic low frequency tremors by using dense seismic array

武田 直人^{1*}; 今西 和俊¹; 内出 崇彦¹; 松本 則夫¹
TAKEDA, Naoto^{1*}; IMANISHI, Kazutoshi¹; UCHIDE, Takahiko¹; MATSUMOTO, Norio¹

¹産総研
¹GSJ, AIST

世界各地の沈み込み帯などで観測されている深部低周波微動は数日規模のゆっくりとした動きから50km/hを超える高速移動等、いくつかの移動パターンが報告されている。これらの移動はその速度と移動方向がそれぞれのパターンによって異なっている。50km/hを超える高速移動はおおむね沈み込むプレート方向に平行であることが報告されている [例えば Ghosh et al. G3 2010, Ide JGR 2012]。産総研ではこの高速移動を含めた深部低周波微動の発生機構を調査するために、2011年3月から三重県松阪市で稠密地震計アレイ観測を行っている。アレイの周辺では3ヵ月~6ヵ月間隔で活発な深部低周波微動活動が起きており、これまで十数回の大規模な微動活動時のアレイ記録が取得することができた。今回は高速移動の詳細な時間発展の様子を知るために、このアレイ記録を用いて Ghosh et al. [G3 2010]と同様の手法で深部低周波微動の震源位置を求めた。

稠密地震計アレイを用いた微動検出感度はエンベロープ相関法よりも高いが、エンベロープ相関法と同様に活動が活発な際に検出能力が低下する場合がある [武田他 JpGU 2014]。また、震源位置決定精度はアレイと震源間の速度構造や距離の影響を受けやすい。

我々のアレイ観測で見たアレイ周辺(半径25km以内)での微動の高速移動は、3年程の観測期間全体ではおおむね同方向を向いている。その方向はプレートの沈み込み方向と若干のずれがあるが、これはアレイ解析の位置決定精度に起因している可能性があり、先行研究の結果を否定するものではない。一方、十数回の大規模な微動活動毎にこの高速移動方向を整理すると、必ずしも全て同じではなく、イベントによっては大きく異なる場合があった。また、同一イベントに於いて高速移動の方向が時間とともに変わる場合も観測された。

今回の解析では、イベント内での詳細な高速移動方向の抽出に Ghosh et al. [G3 2010]の手法を用いており、アレイの半径25km以内の微動を発生期間全体もしくはいくつかの期間に分けて、その期間内の微動をまとめて処理している。今回観測された高速移動方向の変化は、微動発生場所に固有の場合も考えられるため、詳細な微動発生域とその高速移動の関係を明らかにするのは課題の一つである。また、高速移動方向の抽出方法に関しても検討の余地があると考えられる。

キーワード: 深部低周波微動, 稠密アレイ観測, 紀伊半島
Keywords: non-volcanic low frequency tremor, seismic array, Kii Peninsula

日奈久断層帯下部で定常的に発生する非火山性微動の活動特性 Activities about non-volcanic tremor beneath the Yatsushiro fault zone

宮崎 真大^{1*}; 松本 聡²; 清水 洋²
MIYAZAKI, Masahiro^{1*}; MATSUMOTO, Satoshi²; SHIMIZU, Hiroshi²

¹ 九大・理, ² 九大・地震火山センター
¹Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ., ²SEVO, Kyushu Univ.

日奈久断層帯において、遠地地震の表面波がもたらした動的応力により非火山性微動が誘発されていることが明らかになっている (Chao and Obara, 2012, 地震学会秋季大会)。微動は断層帯の深部延長部で発生し、地震波トモグラフィー (Matsubara and Obara, 2011) との比較では、震源域の深部に P 波速度の低速度域、地震発生層に対応する浅部に高速度域という速度構造の変化があることが明らかになっている (Miyazaki et al., 2015, submitted)。解像度が十分ではないものの、このことは、誘発された微動が脆性領域と延性領域の遷移している場所で起きている可能性がある。

外部からの応力擾乱がない場合でも断層の深部において非火山性微動が発生しているかを知ることは、地震発生過程を理解するうえで重要である。誘発微動波形をテンプレートとして、Matched Filter 法 (Gibbons and Ringdal, 2006) により定常的な活動の検出を行った結果、そのほとんどが、ノイズレベルと同等の振幅を持ち、相関係数の総和の値も閾値をやや上回る程度のものであった (宮崎他, 2014, 地震学会秋季大会)。そこで、Shelly et al. (2006) で行われた検知能力のテストと同様の方法で、連続波形記録に対し振幅のスケールを変化させたテンプレートを混入させ、どの程度の相関係数の総和が得られるか計算した。その結果、テンプレートのスケールをノイズレベルと同等の大きさにした場合、実際のデータに適用したものとほぼ同じ値を示すことが確認できた。したがって、日奈久断層下部で定常的に発生する非火山性微動の 1 つ 1 つの規模は、非常に微小であったことが示唆される。

キーワード: 非火山性微動, 八代海, 日奈久断層, 活断層
Keywords: non-volcanic tremor, Yatsushiro, Hinagu, active fault

MT法連続観測により示された四国西部における地殻比抵抗変化 Temporal variation of crustal resistivity in western Shikoku revealed by continuous MT observations

山下 太¹; 本蔵 義守^{1*}
YAMASHITA, Futoshi¹; HONKURA, Yoshimori^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

フィリピン海プレートの沈み込み帯に属する四国西部においては、深部低周波微動 (Obara, 2002, Science) をはじめ、深部超低周波地震 (Ito *et al.*, 2007, Science), 短期的スロースリップイベント (Obara *et al.*, 2004, GRL) および長期的スロースリップイベント (Hirose *et al.*, 1999, GRL) 等のさまざまなスロー地震が観測されている。一方、MT法探査により、当該地域の地殻深部には特徴的な低比抵抗構造が存在することが明らかとなっている (Yamashita and Obara, 2009, AGU fall meeting)。この低比抵抗構造はプレート沈み込みにともなう脱水によって生じた流体に由来すると考えられるため、スロー地震活動との関連性を調べる目的でMT法連続観測が実施されている。本稿では、詳細なデータ解析により有意と考えられる地殻比抵抗変化の検出に成功したため、その結果について報告する。連続観測は2008年9月から2010年3月までは愛媛県西予市城川町窪野 (KBN) および野村町惣川 (SGW)、2010年4月以降はKBNおよび北宇和郡鬼北町生田 (IKT) でおこなわれている。ノイズによる影響を軽減し信頼性の高い結果を得るため、データ解析はHonkura *et al.* (2013, Nature Communications) の手法を踏襲し、電場と磁場のコヒーレンシーがしきい値を超えたデータのみを使用している。これらのデータを用いて見かけ比抵抗と位相の日平均値を計算し、さらにMT法の原理に基づいて生じる本質的なばらつきの影響を抑えるため31点移動平均をおこなった。見かけ比抵抗には気温変化に起因する年周変化も見られたため、MT法観測点に近い気象庁観測点 (久万) における気温データを用いて補正をおこなった。なお、解析した周波数は0.00055~0.141 Hzの9周波数である。解析の結果、次の3つの条件を満たす時間変化を複数回、検出することに成功した。(1) 見かけ比抵抗と位相が同じタイミングかつ逆位相で変化する。(2) (1)の変化が複数の周波数帯に渡って同様に見られる。(3) 2つの観測点で同時期に同様の変化が見られる。以上のことから、これらの変化は地殻内で生じた比抵抗構造変化に起因するものと考えられる。そこでYamashita and Obara (2009) が示した2次元構造を参考にして1次元構造モデルを作成し、フォワード計算をおこなって観測結果の1例と比較したところ、深さ20~25 kmにおける比抵抗変化で観測結果を概ね説明可能であることを確認した。今後は2次元比抵抗構造を基に、観測された比抵抗の時間変化がどのような構造変化によって説明できるかの詳細な検討をおこなうとともに、スロー地震活動との関連性を調べていく予定である。

キーワード: 地殻比抵抗, MT法, スロー地震, 沈み込み帯

Keywords: Crustal resistivity, Magneto-telluric method, Slow earthquake, Subduction zone

ニュージーランド北島沖合ヒクラング沈み込み帯における地震活動および地震波速度構造 Seismic activity and velocity structure in the Hikurangi subduction zone offshore the North Island of New Zealand

靄島 大資¹; 望月 公廣^{1*}; Henrys Stuart²; 塩原 肇¹; 山田 知朗¹; 篠原 雅尚¹; Fry Bill²; Bannister Stephen²

HAIJIMA, Daisuke¹; MOCHIZUKI, Kimihiro^{1*}; HENRYNS, Stuart²; SHIOBARA, Hajime¹; YAMADA, Tomoaki¹; SHINOHARA, Masanao¹; FRY, Bill²; BANNISTER, Stephen²

¹ 東京大学地震研究所, ²GNS Science

¹Earthquake Res. Inst., Univ. of Tokyo, ²GNS Science

ニュージーランド北島沖合のヒクラング沈み込み帯では通常の海洋性地殻のおよそ1.5倍である12kmもの厚い地殻を持つヒクラング海台がオーストラリアプレートの下に沈み込んでいる。プレート境界面の深さが浅いため、反射法地震探査によりプレート境界の構造が詳細に求められており、沈み込む海山や、反射強度の強い領域(HRZ: High-amplitude Reflectivity Zone)などの不均質構造の存在が明らかになっている[Bell et al., 2010など]。北島では2000年頃から沿岸のGPS観測網が整備され、この沈み込み帯におけるプレート間のカップリング係数が推定された。ヒクラング沈み込み帯北部(南緯40°以北)では固着域が狭く、下限が深さ10km程度と浅い。固着域のほぼ全域が海底下となるが、海底地震観測はこれまで行われてこなかったため、海域での地震活動や震源分布については良く分かっていない。固着域の下限付近ではスロースリップイベント(SSE)が観測されており、他の沈み込み帯と比べて非常に浅いところで起こることが特徴的である。これらのイベントには微動や群発地震が伴うことが知られている[Kim et al., 2010; Delahaye et al., 2009]。

海域下の地震やSSEに伴う低周波イベントを調査するため、ヒクラング沈み込み帯で初めての海底地震観測が行われた。2012年4月に4台の海底地震計が設置され、約一年後に回収された。北側2台は広帯域地震計で南側の2台は1Hz地震計である。広帯域地震計のうちひとつがレコーダーの不具合により記録が断続的になってしまっているが、他の3点では良好なデータが得られた。観測期間終盤の2013年2月中旬から観測網の南でSSEが発生した。まずSTA/LTAアルゴリズムによってイベント波形を抽出し、手動検出により震源を求めた。そのイベントをテンプレートとして用いてマッチドフィルター法を適用することでさらにイベント数を増やすことに成功した。これらのイベントはP波、S波それぞれ相互相関を取ることでより相対走時差を求め、絶対走時と相対走時を用いた震源再決定および構造決定手法(TOMODD[Zhang and Thurber, 2003])を用いて震源が決定された。初動極性からメカニズム解も求めた。陸の観測点だけでは捉えられない、イベントを多く捉えることができた。プレート境界近傍のイベントに注目すると、固着域や沈み込む海山、HRZでのイベントはほとんど見られず、HRZの縁辺で地震活動が活発な領域が見られた。速度構造解析ではおおむね先行研究と同様の結果が得られたが、今まで解像できなかった領域の構造も求めることができた。また、SSEに伴いすべり域北限付近で活発化した地震活動を捉えることができた。過去のSSEでもそれに伴ってすべり域の縁辺で地震活動が活発化した事例が数例確認できる。これらはいずれも局所的な活動で、定常的に地震活動が活発な地域と一致する。これらの地域にはプレート境界の不均質に起因する小規模な固着域が存在する可能性がある。

キーワード: 地震活動, スロースリップ, プレート境界, 構造

Keywords: seismicity, slow slip, plate interface, structure