

「低周波地震」を用いた地震波異方性の検出にむけて Detection of seismic anisotropy from low frequency earthquake

石瀬 素子^{1*}; 西田 究¹
ISHISE, Motoko^{1*}; NISHIDA, Kiwamu¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地震観測網の稠密化に伴い、通常の地震とは特徴が異なる様々な振動現象（スロー地震）が相次いで発見されてきている。そのひとつである深部低周波微動は、スロー地震のなかで最も発生頻度の高い現象であり、他のスロー地震と連動して時空間的に発展することが知られている（例えば、Rogers and Dragert, 2003）。また、これらスロー地震は西南日本のフィリピン海プレート境界の巨大地震の震源域と接するように発生しており、深部低周波微動のメカニズム解明は、一連のスロー地震活動の理解だけでなく、プレート境界地震の発生準備過程の研究にも重要な情報をもたらすと考えられる。そのため、深部低周波微動の発生メカニズムに関する研究は、その活動の発見以来（Obara, 2002）、すでに数多く報告されている。しかし、これらからは、共通して流体との関連性が示唆されているが（例えば、Katsumata and Kamaya, 2003; Shelly et al., 2006）、その詳細は未だ明らかではない。そこで、我々は、流体の特性に非常に敏感な性質である「地震波異方性」に注目し、その「時空間変化」という観点から、流体と深部低周波微動活動との関連性の解明を進めていくことを計画した。

その第一歩として、本研究では、西南日本のフィリピン海プレート境界付近で発生した「低周波地震」を対象とした異方性測定を実施したのでその暫定結果を報告する。ここでいう「低周波地震」とは、気象庁地震月報の情報に従っている。これは、深部低周波微動の微動波群に含まれる孤立的な位相に対応しており、S波として検測され震源決定に用いられている（西出・他, 2000）。従って、異方性の測定にはS波スプリッティング解析を用いる（例えば、Ando, 1983）。この手法では、分裂したふたつのS波のうち、速いS波の振動方向と両者の到達時間差で、異方性の方向と強さが記述される。これらのパラメータは、直交した水平動2成分の相互相関係数が高くなるような回転角と、時間軸方向の移動によって求められる。

ここでは、愛媛県と香川県の県境付近を震源とする微動活動から得られた異方性の特徴を記す。なお、以下の結果は、2-8Hzのバンドパスフィルターを適用して得られたものである。

異方性を決定する際の指標とした相互相関係数は、測定の確からしさともいえる。しかし、本研究で実施した解析の相関係数は通常の地震を対象とした場合に比べて有意に低く、現時点では、相関係数0.8を超えるイベントはない。このよう状況ではあるが、比較的相関の高いイベント間では互いに似た異方性が得られており、その方向は東西系で大きさは0.2-0.4秒程度であった。ただし、時空間変化の議論については、これまでの解析数が十分でないため、今後の課題とする。

さらに、もうひとつの課題として、S波スプリッティング法を用いた解析で得られる異方性の不確定性の問題がある。この方法で得られる異方性は、波線が通過した領域にある全ての異方性の影響がかけ合わさったものとなる。従って、本解析で得られた異方性には、少なくとも上部地殻や下部地殻の異方性が含まれている。そのため、異方性の変化の検出はできても、震源付近の異方性についての厳密な議論には、剥ぎ取り法（Oda, 2011）などを用いて浅部の異方性を補正し、震源付近の異方性を明らかにする必要がある。

キーワード: 低周波地震, 地震波異方性, 流体

Keywords: low frequency earthquake, seismic anisotropy, fluid

東濃十字アレー深部ボアホール地震観測網を用いた深部低周波地震の観測. 東海地域 2014 年 8-9 月の活動 Observation of the deep low-frequency earthquakes using deep borehole-seismograph network. Activity in Tokai area

鈴木 貞臣^{1*}; 大久保 慎人¹; 石井 紘¹; 浅井 康広¹
SUZUKI, Sadaomi^{1*}; OKUBO, Makoto¹; ISHII, Hiroshi¹; ASAI, Yasuhiro¹

¹ 東濃地震科学研究所

¹ TRIES

東濃地震科学研究所 (TRIES) は深部低周波地震 (以後 LFE と呼ぶ) を研究するため, 2009 年より愛知県豊田市に地震観測点を設置し観測を続けてきた. これら観測点に加えて, 産業技術総合研究所 (AIST) ボアホール観測点及び防災科学技術研究所 (NIED) の Hi-net 観測点 SMYH を組み合わせて 3D (立体) アレー (SMY 立体アレー) とした. この 3D アレーの 14 観測点のデータを使って東海地域で発生した LFE の波形について semblance 解析を行い, P 波と S 波を検出する方法を開発し, 震源決定を試みた (鈴木・他, 2012, 2013). これにより 3D アレーが LFE を研究するために有効であることが分かった. この成果を基に, 東海 LFE の震源域から北方に 30-40 km 離れた東濃十字アレー深部ボアホール観測網と超高密度地震観測網の観測点が, 地震観測用 3D アレー (「東濃十字アレー」と呼ぶ) として使えるのではないかと考え, その可能性を検討した. 東濃十字アレーは, 地殻活動総合観測用 (浅井&石井, 2012) の 1000m 級深度が 2 か所 (BYB, JRJ) と 500m 級深度が 3 か所 (TRI, HYS, TOS) のボアホール観測点を含む合計 17 の地震観測点で構成され, 立体アレーとして見なすことができる. 2014 年 8-9 月に東海 LFE が発生したので, この東濃十字アレーでこれらの LFE がどのように観測されたか調べた.

東濃十字アレーの全ての観測点に加速度計 (Akashi JEP-6B3) が配置され, それにより観測されたデータは東濃地震科学研究所のデータベースに記録されている. それらの記録を次のような手順で処理した. 1. 観測点によってサンプリング周波数が異なるので, 波形記録を全て 100Hz に揃えた. 2. ボアホール観測点の水平動記録の方位を N S と E W に揃えた. また, 上下動記録の極性を揃えた. 3. それぞれの加速度記録を積分して速度記録に変換し, さらに LFE 記録の主要周波数帯であるさらに 2-8Hz のバンドパスフィルターをかけた.

気象庁により報告された LFE 震源の中から, マグニチュードが最大 ($M=0.6$) である LFE のうちの 1 つである LFE108 (震源時: 2014/9/1, 15h26m40.77s) を選び出し, その UD 成分と E W 成分の波形を調べた. その結果, U D 成分からは LFE108 の P 波と思われる波群が, 明瞭ではないが検出された. また E W 成分からはその S 波と思われる波群が検出された. 解析前の予想では, グランドノイズが小さい深井戸観測点の方が浅い観測点に比べて「LFE のシグナルを明瞭に記録している」と思っていたが, 予想に反して両者に著しい違いがないことが分かった. その理由は, 個々の LFE のシグナルを不明瞭にしている主要原因は, グランドノイズの大小ではなく, LFE がイベントとして連続的に多数発生しているため, P 波, S 波, コーダ波が互いに重なりあっていることによるものと思われる.

謝辞: 解析には気象庁一元化データと防災科学技術研究所の Hi-Net データを使用した.

参考文献

浅井康広・石井 紘, 2012, 陶史の森/日吉地殻活動総合観測点の整備と新デジタル式地殻活動総合観測装置について, 東濃地震科学研究所報告 No.29 (H23 年度), pp9-18.

鈴木貞臣・大久保慎人・今西和俊・北川有一・武田直人, 2012, 立体アレーによる深部低周波地震 (LFE) の semblance 解析, 東濃地震科学研究所報告 No.29 (H23 年度), pp69-79.

鈴木貞臣・大久保慎人・今西和俊・北川有一・武田直人, 2013, 立体アレーを用いた深部低周波地震 (LFE) の P 波・S 波の検出とその震源決定への応用 (2), 日本地震学会講演予稿集, 2013 年度秋季大会, p152.

キーワード: 深部低周波地震, 深部ボアホール地震観測網, アレー観測, センブランス解析

Keywords: deep low-frequency earthquakes, deep borehole-seismograph network, array observation, semblance analysis

Matched Filter 法を用いた西南日本の深部低周波地震の自動検出 Automatic detection of low-frequency earthquakes in Southwest Japan using matched-filter technique

森脇 健^{1*}

MORIWAKI, Ken^{1*}

¹ 気象庁地震火山部

¹ Japan Meteorological Agency

気象庁では一般地震より低周波成分が卓越する孤立的な位相を S 相として検出、震源決定を行い深部低周波地震として気象庁地震カタログに掲載している [西出・他 (2000)]。気象庁地震カタログには、1999 年 9 月～2014 年 7 月の間に西南日本の南海トラフ沿いの深部低周波地震が約 24000 個ある。最近の研究 [Shelly et al., 2007] は、南海トラフの深部低周波微動はプレート境界のすべりにより発生する深部低周波地震の集合体であると主張している。それゆえに深部低周波地震活動を監視することはプレート境界の状態を推定する上で重要であると考えられる。しかし、深部低周波地震は一般地震のようなパルス的な相の立ち上がりがないために振幅比により検知することが難しく、震源決定にも時間がかかる。

そこで自動的、効率的に深部低周波地震の検出と震源決定を行うために matched-filter 法を西南日本の深部低周波地震活動に適用した。matched-filter 法で用いるテンプレートには気象庁地震カタログに掲載されている 1263 個の震源データを利用した。解析の際には、最初にテンプレート及び連続波形データに対し、2-8Hz のバンドパスフィルタと 100 から 20Hz へのデシメーション処理を施し、テンプレートの S 相の理論到達時の 1.5 秒前から 4 秒間の波形と連続波形データ間との相関係数を 0.05 秒刻みで連続的に計算した。その後、各時間ステップ、テンプレートごとに解析で用いた全観測点（全チャンネル）の相関係数を足し合わせて、相関係数の和がある閾値を超えた場合に低周波地震のイベントが検知されたとした。最終的には検知したイベントのより詳細な震源を得るためにグリッドサーチを行った。解析の結果として、2014 年 7 月以降の期間で気象庁の地震カタログよりも多くの低周波地震のイベントが検知された。

キーワード: 深部低周波地震, matched-filter 法

Keywords: low-frequency earthquakes, matched-filter technique

輻射エネルギーと継続時間の解析による深部低周波微動活動の空間的不均質性 Spatial inhomogeneity of deep low-frequency tremor activity evaluated from seismic radiation energy and duration

案浦 理^{1*}; 小原 一成¹; 前田 拓人¹
ANNOURA, Satoshi^{1*}; OBARA, Kazushige¹; MAEDA, Takuto¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

西南日本や Cascadia 等の沈み込み帯で発生する深部低周波微動は、深部超低周波地震 (VLF) やスロースリップイベントと同期して活動するプレート境界におけるひずみの解放現象であることが知られている。これらの現象は、プレート境界固着域の深部隣接側の領域で発生することから、巨大地震発生と何らかの関係を有すると考えられており、その活動特性の解明は重要である。これまで、微動活動の全体像を把握するため、微動発生数の時空間分布に関する研究が盛んに行われてきた。しかし、微動の振幅が大きく活動度の高い時間帯には、波形が複雑になるため、相関解析等に基づく個々の微動の検出は困難となる。一方、観測速度波形の 2 乗振幅を通じて評価される微動源からの輻射エネルギーについては、個々の波形が複雑であってもエネルギー総量は安定して求められる可能性がある。

そこで本研究では、ひとまとまりの微動活動をまず抽出した後に、そこからの輻射エネルギーと輻射源セントロイドを決定する新しい解析手法を開発した。この手法によって特に活発な時間帯における微動検出の取り逃がしを減らすことができ、微動の輻射エネルギーや継続時間といった観点からの定量的な評価が可能となった。この手法を、西南日本全域で発生した 2004 年 4 月から 2014 年 9 月までの微動活動に適用し、微動活動特性について解析を行った。

微動輻射エネルギー総量の空間分布から、西南日本の中では四国西部で非常に大きなエネルギーが輻射されていることが明らかになった。このことは、先行研究では取り逃がしていた部分も含め、活発な微動活動を適切に評価できたことを示している。同時に推定された微動エネルギー輻射の累積継続時間と輻射エネルギーレートの空間分布の特徴から、微動発生域は 2 種類の領域に大別できることが明らかになった。ひとつは、四国西部や東海地方西部のように、エネルギーレートが高く、かつ累積継続時間も長い領域であり、もうひとつは、四国中西部や紀伊半島中部のように、エネルギーレートが低く、かつ累積継続時間も短い領域である。一方、四国西部の一部の地域では、エネルギーレートは低いものの累積継続時間が長く、上記 2 種類どちらにも属さないような性質を示した。さらに、本研究で得られた微動活動の空間分布と、規模の大きな VLF の震央分布と比較したところ、微動のエネルギーレートが高く、かつ累積継続時間の長い領域に VLF の震央が集中していることが分かった。

微動のエネルギーレートは、その値が高いほど微動のサイズは大きいものと解釈される。また、エネルギーレートは継続時間と相関するという観測結果から、微動発生域は、サイズが大きく継続時間の長い微動が発生する領域と、サイズが小さく継続時間の短い微動が発生する領域に大別できることが示唆される。一方、四国西部の一部地域は、微動のサイズは小さいものの継続

時間の長い微動が発生する領域であると解釈され、微動サイズと継続時間は必ずしも比例関係があるとは限らず、微動の発生様式には空間的不均質性があることが明らかになった。

キーワード: 微動, エネルギーレート, 継続時間

Keywords: tremor, energy rate, duration

深部低周波微動活動から見た2014年豊後水道スロースリップイベントについて 2014 Bungo channel slow slip event inferred from deep low-frequency tremor activity

小原 一成^{1*}; 高木 涼太¹; 前田 拓人¹; 松澤 孝紀²; 田中 佐千子²; 廣瀬 仁³
OBARA, Kazushige^{1*}; TAKAGI, Ryota¹; MAEDA, Takuto¹; MATSUZAWA, Takanori²; TANAKA, Sachiko²;
HIROSE, Hitoshi³

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 神戸大学

¹ERI, UTokyo, ²NIED, ³Kobe Univ.

西南日本では、フィリピン海プレートの沈み込みに伴って深部低周波微動と短期的スロースリップイベント (SSE) が同時に発生することが知られており、通常はそれぞれのセグメントで数カ月というほぼ一定の間隔で自然発生的に生じ数日間継続する。ところが、豊後水道ではこの微動域の updip 側において 6~7 年間隔で長期的 SSE が発生し、特にそのすべりレートが大きい期間中は、SSE 域に隣接する領域、つまり微動域の updip 側に限って微動活動が数か月間活発化する。これまで、このような長期的 SSE によってトリガーされる微動活動は 2003 年と 2010 年に観測されており、その周期性から次は 2016 年ごろと予想されていたが、2014 年に長期的 SSE の発生を示唆する微動の活発化が見られ、その後、国土地理院の GNSS 観測によって、長期的 SSE の発生が報告された (国土地理院, 2014)。本講演では、これまでの観測履歴に基づき、豊後水道におけるスロー地震活動の推移について議論する。

豊後水道付近の微動活動は、長期的 SSE の影響を受ける updip 側と、その影響をほとんど受けない downdip 側に分かれる。両側の微動発生数密度 (単位面積当たりの微動発生個数) は、長期的 SSE 発生期間以外の通常期ではほぼ等しいレートで推移し、通常期の微動活動は深さ方向によらず一定であることを意味している。長期的 SSE が発生した際は、updip 側の微動のみが通常レートに追加される形で活発化することになるため、通常レートから外れる微動活動は長期的 SSE の活動指標とみなすことができる。その updip 側微動活動が 2014 年初め以降、通常レートよりも活発化し始め、GNSS でも 2014 年半ばから変化が見られた。同様の変化は過去に 2 度観測されている。2006 年後半には微動活動と GNSS に僅かな変化が生じ (国土地理院, 2010)、ごく小規模な長期的 SSE が発生したことを示唆する。また 2009 年は微動活動が僅かに増加した後に GNSS にも緩やかな変化が現れ、2010 年の SSE 加速に繋がった、つまり、2009 年に始まった微動活動の増加は、2010 年長期的 SSE に対する先行過程とみなすことができる。もし、2014 年に生じた微動の活発化が 2006 年の現象と同じであれば、6~7 年周期の長期的 SSE の間に生じる小規模な SSE として、既に終息したのかもしれない。一方、2009 年の現象と同じであるとする、間もなく 2010 年と同規模の長期的 SSE に発展する可能性がある。

ところで、四国西部の微動活動の長期トレンドを良く観察すると、豊後水道から 50km 以内の内陸域では 2003 年や 2010 年の長期的 SSE の後に僅かに微動活動が増加する傾向にある。このような 7 年周期のトレンドの変化は updip 側の微動についてのみ存在し、downdip 側には見られない。さらに、このトレンドの変化は豊後水道から東に非常に遅い速度で移動しているようにも見える。この現象は、豊後水道の長期的 SSE 後に続いて小規模な SSE が生じ、巨大地震震源域と微動域との間の領域を東に移動したことを示唆するものかもしれない。

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

日向灘における海底地震計・圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング

Long-term ocean bottom monitoring for slow earthquakes on the shallow plate interface in the Hyuga-nada region

山下 裕亮^{1*}; 篠原 雅尚¹; 山田 知朗¹; 中東 和夫²; 塩原 肇¹; 望月 公廣¹; 前田 拓人¹; 小原 一成¹
YAMASHITA, Yusuke^{1*}; SHINOHARA, Masanao¹; YAMADA, Tomoaki¹; NAKAHIGASHI, Kazuo²;
SHIOBARA, Hajime¹; MOCHIZUKI, Kimihiro¹; MAEDA, Takuto¹; OBARA, Kazushige¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 神戸大学大学院理学研究科

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Graduate School of Science, Kobe University

九州東方の日向灘では、スロー地震の1つである浅部超低周波地震 (VLFE) の発生が知られており、特に活発な活動領域の1つであることが陸上観測から明らかになっている [Obara and Ito, 2005; Asano *et al.*, 2008]. 最近では、2013年に海底地震計による直上観測により、VLFE とほぼ同じ領域で発生する浅部低周波微動が捉えられ、プレート境界深部で発生する深部低周波微動とよく似たマイグレーション特性 [例えば, Obara, 2010] を持つことが初めて明らかにされた [Yamashita *et al.*, in revision]. 2013年の微動活動は、VLFE 活動とその時間変化が良く一致しており、プレート境界深部の ETS エピソード中に見られる微動と VLFE の同期現象によく似ていることから、プレート境界浅部においても短期的な SSE が発生していることが強く示唆される。しかしながら、海溝軸に近い領域での短期的 SSE は陸上・海底のどちらでもこれまで直接観測されていない。プレート境界浅部での低周波微動・VLFE・短期的 SSE の同時観測によってこれらのスロー地震の関係を明らかにすることは、津波を伴う海溝型巨大地震、特に発生が予想される南海トラフ沿いの巨大地震のポテンシャル評価にとって重要である。このような背景のもと、文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」における広帯域海底地震観測として、日向灘におけるスロー地震の長期海底モニタリングを2014年3月より開始した。第1期目の観測網は2013年の低周波微動活動をもとに構築しており、長期観測型短周期海底地震計7台と圧力計を搭載した広帯域海底地震計3台の計10台で構成されている。2015年1月に最初の機器入れ替えを行い、1期目の海底観測機器を回収し、全10観測点において良好な波形記録を取得することができた。今期間中、2014年6月1~3日に観測網内で浅部低周波微動と VLFE の活動があり、海底地震観測データの解析から浅部低周波微動活動は2013年の活動領域の北西端付近で発生していたことが明らかになった。しかしながら、今回の活動では2013年の微動活動で見られた明瞭なマイグレーションが予備的な解析においては確認できず、圧力計で捉えられるような SSE が発生していたかどうかは今のところ明らかでない。第2期目の観測では、2014年中頃からの豊後水道 SSE の発生をふまえ、足摺沖まで観測網を広げて観測を行っている。豊後水道での SSE が本格的に進行すれば、2003年と2010年に見られた深部 SSE と浅部 VLFE の同期発生現象 [Hirose *et al.*, 2010] が再び起こる可能性が高く、プレート境界浅部における SSE を含めた活動の時空間変化を詳細に捉えられると期待される。

キーワード: 浅部スロー地震, 日向灘, 長期海底モニタリング

Keywords: shallow slow earthquake, Hyuga-nada, long-term ocean bottom monitoring

2011年東北沖地震後に発生した熊野灘沖の浅部超低周波地震 Very low frequency earthquakes in the shallow Nankai accretionary prism, following the 2011 Tohoku-Oki earthquake

藤 亜希子^{1*}; 尾鼻 浩一郎¹; 杉岡 裕子¹; 荒木 英一郎¹; 高橋 成実¹; 深尾 良夫¹

TO, Akiko^{1*}; OBANA, Koichiro¹; SUGIOKA, Hiroko¹; ARAKI, Eiichiro¹; TAKAHASHI, Narumi¹; FUKAO, Yoshio¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

A large number of shallow low frequency events were recorded after the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake by the cabled network of broadband ocean bottom seismometers (DONET) deployed in the eastern part of the Nankai trough. This low frequency event activity was intense for the first few days after the great earthquake and gradually decreased. Signals of the events are most clearly visible at the frequency range around 2-8 Hz. Some of the events are accompanied by a very long frequency (VLF) signal, which is clearly observed at around 0.02-0.05 Hz. The magnitude and source duration estimated by waveform analysis for one of the largest very low frequency earthquakes (VLFs) was 3.0 ~3.5 and 17 s. This source duration is extremely long compared to ordinary earthquakes of comparable magnitude. These newly detected VLFs are likely to be normal fault earthquakes located at shallow depths within the accretionary prism, in contrast to the previously reported VLFs that were explained by a low angle thrusting along the decollement zone. On the other hand, the low frequency events with no clear VLF signal were previously regarded as being low frequency tremors (LFTs). We show that events with and without the VLF signal likely represent the same phenomenon, and the VLF signal is only observed when a large magnitude event occurs near the station. The waveforms of VLFs are characterized by the coexistence of long source duration and high-frequency radiation of signals, and such features were previously explained by the co-occurrence of shear failure and hydrofractures under the influence of fluid brought into the decollement zone. Our result indicates that the stress state and the mechanical environment, which promote the occurrence of VLFs, exist not only along the decollement zone but also in the shallower part of the accretionary prism.

キーワード: 低周波微動, 超低周波地震, 南海トラフ, 付加体

Keywords: Low frequency tremor, Very low frequency earthquake, Nankai trough, accretionary prism

南部琉球弧で発生した超低周波地震に伴う低周波地震活動 Low frequency earthquakes associated with a very low frequency earthquake in southern Ryukyu arc

高橋 努^{1*}; 石原 靖¹; 三浦 誠一¹; 小平 秀一¹; 金田 義行²

TAKAHASHI, Tsutomu^{1*}; ISHIHARA, Yasushi¹; MIURA, Seiichi¹; KODAIRA, Shuichi¹; KANEDA, Yoshiyuki²

¹ 海洋研究開発機構, ² 名古屋大学

¹JAMSTEC, ²Nagoya University

琉球弧はユーラシアプレートの南東部に位置する島弧で、琉球海溝においてフィリピン海プレートが北西方向に沈み込んでいる。この地域では多数の超低周波地震 (Ando et al. 2012) やスロースリップ (Heki and Kataoka, 2008) の発生が報告されている。(独) 海洋研究開発機構では文部科学省の受託研究「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、琉球弧南部の宮古・八重山諸島周辺の震源分布や地下構造、低周波地震活動などを解明するため、島嶼部の臨時観測点と海底地震計による自然地震観測を実施した。島嶼部では広帯域地震計や短周期地震計を用いて6観測点(宮古島・多良間島・石垣島・西表島・黒島・波照間島)を設置し、短周期海底地震計は南部琉球弧前弧側および沖縄トラフ南縁に30台設置した。この観測期間中に八重山諸島付近で一つの超低周波地震が発生し、島嶼部の広帯域地震計により明瞭なシグナルが得られた。またこの超低周波地震の発生時に、海底地震計では異なるスペクトルをもつ2種類の低周波地震(以下、Events-A, B)が観測された。Events-Aは、超低周波地震の発生直後に約20分間繰り返し発生し、卓越周波数が5Hz以下で継続時間が60sec前後という特徴を示した。一方Events-Bは超低周波地震発生から約3時間繰り返し発生し、多くのイベントは継続時間が100sec以上であった。Events-Bの卓越周波数は2~3Hz付近で、高周波数成分(>5Hz)の励起はEvents-Aより小さい傾向が見られた。Events-Bの地震波形は立ち上がり不明瞭で、P波やS波の到達時刻の解析による震源決定は困難であるが、振幅分布などからEvents-Aよりも北側に分布すると考えられる。またEvents-Aの幾つかの地震は震央付近の海底地震計でP波が観測され、周囲の観測点のS波到達時刻と合わせて震源決定を行った結果、石垣島南方のForarc basin 南縁付近の深さ15~20km付近で発生したことが分かった。構造探査の結果(Hsu et al. 2013; Arai et al. 2015, JpGU)から、これらの震源はプレート境界付近に位置していると考えられる。今後エンベロープ相関や振幅を考慮した解析を行い、これらの低周波地震の震源分布や超低周波地震との関係について詳しく調べる計画である。

キーワード: 低周波地震, 琉球弧

Keywords: Low frequency earthquake, Ryukyu arc

浅部超低周波地震の検出および位置決定方法の再検討 Development on a method for automatically detection and location of very low frequency earthquakes in Japan

浅野 陽一^{1*}

ASANO, Youichi^{1*}

¹ 防災科学技術研究所

¹ NIED

防災科学技術研究所では、高感度地震観測網 Hi-net に併設された高感度加速度計記録のアレイ解析によって、ほぼ自動での浅部超低周波地震の検出と位置決定を行なってきた [たとえば, Asano et al. (2008), 防災科学技術研究所 (2014)]. また、近年では既知の浅部超低周波地震をテンプレートとする波形相関解析によって、より精度が高い位置の推定も可能となった。後者では、距離が2イベント間での波形相関を評価するため、前者の観測点アレイのように密な観測網は要求されない。しかしながら、この解析法もまたアレイ解析の一種であることから、南西諸島における広帯域地震観測網 F-net のように観測点カバリッジが悪い場合には、空間的なエイリアシングによる誤検出や誤推定が起りやすい [浅野・他 (2014)]. そこで、本稿ではその状況より詳細に調べ、検出および位置決定法の改良策を検討する。

本研究では、八重山諸島で超低周波地震活動があった2014年11月29日のF-net記録を浅野・他(2014)の方法で解析した。まず、バンドパスフィルター(通過帯域0.02から0.05 Hz)による処理の後に、連続記録波形と既知イベント(通常地震17個、超低周波地震6個)のトリガ記録波形との相互相関関数を観測点ごとに評価する。そして、複数観測点における平均相互相関が高いイベントを検出するとともに、相互相関関数の観測点間での位相差から未知イベントの位置をグリッドサーチで推定する。発生時刻が180秒以内の複数のグリッドで平均相関係数が閾値を超えた場合には、同一イベントとみなして平均相関係数が最大となるグリッドを検出し、このイベントに対する最適な発生時刻・位置を推定した。また、異なる既知イベントから近接した時間帯に重複してイベントが検出された場合には、既知イベントから100 km以内に検出されたイベントの中から、平均相関係数が最大のものを選んだ。さらに浅野・他(2014)では、誤検出や誤推定を減らすために、相関係数を評価する時間窓とその直前の時間窓における波群の振幅比をS/N比と定義して、複数の観測点における平均S/N比が小さいイベントを除去した。この条件によって、観測点間での波群の到達時刻順が既知イベントと大きく異なるものは排除されることが期待される。

解析の結果、2014年11月29日の12時から18時頃にかけて、複数の超低周波地震を検出した。それらの多くは石垣島の沖で発生したイベントと推定され、目視確認による波群の到達時刻順と矛盾しない。しかしながら、ほぼ同じ時間帯に沖縄本島と宮古島との間に位置決定されるイベントもあった。これらは、同じ波群に対して異なる既知イベントとの相関解析から検出されたイベントである。観測点が少ない南西諸島では4から5観測点での解析となり、検出しようとするイベントからやや離れた既知イベントについても平均相関係数が高い値をとりやすいことが原因と考えられる。さらに、座間味観測点と石垣観測点の間(約350km)には観測点が全くないため、波群の到達時刻順もこの2点が入れ替わる程度の差異である。そのため、平均S/N比もほぼ同様の値となり、結果として誤検出されたイベントを排除できなかったことが分かった。

以上のことから、誤検出、誤決定を減らすには、平均相関係数を評価関数として位置決定したイベントの中から平均S/N比が低いイベントを除去する方法では不十分であり、波群の到達時刻順の情報を位置決定の評価関数に取り入れることが有効と考えられる。

キーワード: 超低周波地震, 自動検出, 位置決定

Keywords: very low frequency earthquake, automatic detection, automatic location

Detection and mechanism determination of VLF earthquakes in the Guerrero subduction zone

Detection and mechanism determination of VLF earthquakes in the Guerrero subduction zone

MAURY, Julie^{1*} ; IDE, Satoshi¹
MAURY, Julie^{1*} ; IDE, Satoshi¹

¹Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo

¹Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo

Very Low Frequency (VLF) earthquakes have been observed with tremors in a few subduction zones suggesting a common source for the two phenomena. However to investigate more precisely the relation between these phenomena, VLF signal should be looked for in other subduction zones where tectonic tremor occurs. The Guerrero subduction zone is such an area where tremors have been consistently detected. Following the method of Ide and Yabe [2014], by stacking signals in the VLF band between 0.02-0.05 Hz at the time of occurrence of tremors, we confirm that VLF earthquakes are also observed.

MASE experiment data from 2005 to 2007 are used to determine the location of tremors and VLF earthquakes. They are found in two places tremors are detected, the southern transient cluster and the northern, more persistent, cluster. Both are located near the flat part of the subduction interface. This seems to confirm that VLF earthquakes are produced by shear failure near this interface. The VLF signals are then inverted to estimate the moment tensor of these events. Due to the linear geometry of the MASE experiment the mechanism is not well constrained but one of the nodal plane is generally nearly horizontal in accordance with the distinctive geometry of the subduction and the slip direction is globally coherent with the convergence direction. Moreover, the plunge of the P and T axis are well constrained with values of about 40° adding a constraint on the principal stress directions.

カスケディア沈み込み帯におけるスロースリップイベントの広帯域震源スペクトル Broadband source spectrum of a slow slip event in the Cascadia subduction zone

竹尾 明子^{1*}; Houston Heidi²; Creager Kenneth²
TAKEO, Akiko^{1*}; HOUSTON, Heidi²; CREAGER, Kenneth²

¹ 北海道大学理学院, ² ワシントン大学

¹Hokkaido University, ²University of Washington

Slow earthquakes have been discovered in various time scales: non-volcanic tremor at high frequency range of 1-10 Hz, very low frequency earthquake (VLFE) at intermediate range of 10-100 s, and slow slip event (SSE) at geodetic time-scale longer than one day. Since these phenomena occur simultaneously, tremor and VLFEs can be regarded as the high frequency components of SSE. Based on this idea and to discuss the source time function of a SSE for the first time, we estimated source spectrum of Mw 6.8 episodic tremor and slip (ETS) event in the Cascadia subduction zone in 2010 from tremor band to the VLFE band. The source spectrum in the tremor band can be simply obtained by correcting the effect of attenuation and geometric spreading. The source spectrum in the VLFE band is more complicated because the signal-to-noise ratio is about one. We first improved the signal-to-noise ratio by stacking waveforms at a period range of 20-50 s with an assumption that the VLFEs coincide with peaks of tremor amplitudes. We then obtained source spectrum at 30-100 s by dividing the spectrum of stacked waveforms by the spectrum of synthetic waveforms corresponding to the obtained focal mechanism. The obtained source spectrum is proportional to inverse of frequency in both tremor and VLFE bands. In addition, the spectrum in both bands could be roughly fit by a synthetic source spectrum corresponding to a boxcar shaped source time function whose duration is about ten hours and the total moment release is Mw 6.8. The apparent duration of ten hours is shorter than the observed duration of the ETS, one month. This result indicates that the moment release during the one-month ETS consisted of slip pulses with typical durations shorter than a day.

Keywords: very low frequency earthquake, tremor, slow slip event, Cascadia

GPS と傾斜計を用いたスロースリップ検出の基礎的研究 Basic study on detecting short-term SSE by using GPS and tiltmeter data

青木 夏海^{1*}; 葛葉 泰久²; 木村 武志³
AOKI, Natsumi^{1*}; KUZUHA, Yasuhisa²; KIMURA, Takeshi³

¹ 三重大学生物資源学部, ² 三重大学生物資源学研究科, ³ 防災科学技術研究所

¹ Faculty of Bioresources, Mie University, ² Graduate School of Bioresources, Mie University, ³ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

多くの研究で, 短期的スロースリップイベントの検出がなされている. 本研究では, GPS 位置座標のデータ, 傾斜計のデータの両方を用いて短期的 SSE の可能性のあるイベントを検出することを試みた. GPS のデータにおいては, Nishimura(2013) を参考にし, 赤池の情報量基準を用いて SSE の可能性のある位置座標の変位を検出した. 手法はほぼ Nishimura(2013) と同じであるが, 一定の大きさの空間内に同時にシグナルが見えるとき短期的 SSE とみなす等, 若干手法が違う. 傾斜計のデータにおいては, Kimura et al. (2011) を参考にしたが, これも若干異なる. つまり, 観測データがどの程度ランダムウォークの卓越したものとなっているかを調べたら, ほぼすべてのデータが Bm (ブラウンモーション) であることが分かったため, Bm の歩幅が有意に大きい範囲にある, つまり異常な傾きの変化を示したイベントを SSE の可能性のあるイベントとして抽出した. これも, GPS データの解析と同じく, 近隣地域で, 同じ時間に異常な変化が見られた場合, SSE の可能性が高いと判断し, そのような時間と場所を検出した. 最後に, GPS データにより検出された短期的 SSE と, 傾斜計データにより検出されたそれを比較した. 結果的に, どちらか一方のみで検出されたイベントがとても多く, 両データから検出されたイベントは少なかった. また, 傾斜計のデータから検出されたイベントには, 近地での地震, 遠地での大地震, 台風や豪雨の影響が含まれることが疑われるものが多く混在していた. そのような誤検出が含まれている可能性があるため, GPS データ, 傾斜計データから検出された日について, その信憑性を検討した. 結果は発表時に示す.

謝辞

国土地理院の電子基準点日々の座標値, 及び, 防災科学技術研究所の傾斜計データを使用させて頂いた.

参考文献

Takeshi Kimura, Kazushige Obara, Hisanori Kimura, and Hitoshi Hirose, Automated detection of slow slip events within the Nankai subduction zone, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.38, L01311, doi:10.1029/2010GL045899, 2011.

Takuya Nishimura, Takanori Matsuzawa, and Kazushige Obara, Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH, VOL.118, 3112-3125, doi:10.1002/jgrb.50222, 2013.

キーワード: スロースリップ, GPS, 傾斜計, AIC

Keywords: SSE, GPS, Tiltmeter, AIC

地震活動データと統計モデルに基づく日本周辺でのゆっくり変形検出の試み A test for detecting slow deformation around Japan based on seismicity data and statistical model

片岡 純¹; 三井 雄太^{2*}

KATAOKA, Jun¹; MITSUI, Yuta^{2*}

¹ 静岡大学理学部, ² 静岡大学理学研究科

¹Faculty of Science, Shizuoka University, ²Institute of Geosciences, Shizuoka University

スロースリップは、GPS など測地学的手法に基づく観測によって主に検出されてきた。しかし、震源域の近傍に観測点がない地域や、稠密な GPS 観測が始まる以前については、検出が困難である。したがって本研究では、気象庁の地震カタログデータに統計モデルの一種である ETAS モデルを適用することで、日本周辺におけるスロースリップの検出を試みる。具体的には、余震の影響を取り除いた定常地震活動度というパラメータの値の増大に注目する。既知のスロースリップ発生期間におけるパラメータ推定の結果、数日から数週間に渡って発生するスロースリップイベントに関しては検出可能であることがわかった。さらに、伊豆・小笠原海溝北部、喜界島周辺でのスロースリップイベント、および 2011 年直後に富士山周辺でのマグマの貫入によるゆっくり変形を示唆する結果を得た。また、奥尻島周辺、喜界島周辺、種子島周辺、東北沖では、大地震後のアフタースリップの減衰、あるいは地震活動の静穏化を検出できた可能性がある。

キーワード: スロースリップ, ETAS モデル, 地震活動, 定常地震活動度

Keywords: slow slip, ETAS model, earthquake activity, background seismicity rate

EnKFを用いたスロースリップ断層面上の摩擦パラメータの推定 Estimation of frictional parameters on the SSE fault through Ensemble Kalman Filter

奥田 亮介^{1*}; 平原 和朗¹; 宮崎 真一¹; 加納 将行²; 大谷 真紀子¹

OKUDA, Ryosuke^{1*}; HIRAHARA, Kazuro¹; MIYAZAKI, Shinichi¹; KANO, Masayuki²; OHTANI, Makiko¹

¹ 京都大学理学研究科, ² 東京大学地震研究所

¹ Graduate School of Science, Kyoto University, ² Earthquake Research Institute, University of Tokyo

海溝型地震震源域の下部プレート境界上で発生する、スロースリップイベント (SSE) の活動は、海溝型大地震発生の前に変動する可能性が指摘されており (Peng and Gomberg, 2010)、SSE を引き起こすプレート境界面の摩擦特性を知ること、海溝型大地震の発生を知る上で重要な鍵を握る。我々の最終目標は、GPS によって得られた SSE 発生時の地表での変位データに対して、データ同化の手法の一つであるアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) を用いることにより SSE の原因となる断層面上の摩擦パラメータを推定し、海溝型地震の発生の予測に役立てることにある。本研究では、シミュレーション計算によって得られた SSE 発生時の断層面上のすべり速度に誤差を加えた疑似データを作成し、EnKF を用いて数値実験を行い、断層面の摩擦パラメータの推定およびその推定誤差について検証を行う。

今回対象とした SSE は琉球弧南西部に位置する八重山諸島沖で繰り返し起きている SSE (以下八重山 SSE とする) である。Heki and Kataoka (2008) によると、この SSE には以下のような特徴がある。1) SSE の発生に影響を与える大きな地震が観測期間中に近傍であまり起きていない、2) SSE は深さ 20-40km で発生している、3) 平均発生間隔は 6.3 ヶ月、4) その発生間隔の標準偏差は 1.2 ヶ月、5) 12.5cm/yr と推定される非常に速い収束速度に対して SSE により解放されるすべり速度は 11.0cm/yr。

まず、上記の八重山 SSE の特徴を再現するモデル構築を行う。断層モデルとして均質半無限弾性体中の深さ 20-40km のプレート境界上に傾斜断層を設定した。断層面上の摩擦力は速度状態依存構成則に従うものとし、また発展則にはスローネス則 (Dietrich, 1979) を用い、準動的計算ですべり速度の時空間発展を求めた。本研究では Kato (2003) に従い、摩擦パラメータ A , B , L に対して、 $A - B < 0$ (速度弱化) かつ摩擦パラメータによって決まる臨界半径 (nucleation radius) (Chen and Lapusta, 2009) に対する断層のアスペリティの半径の比が 1 より少し小さい領域を作ることにより、半径約 30km の円形の一つのアスペリティに対して $V_{pl}=12.5\text{cm/yr}$, $A=50\text{kPa}$, $B=57.5\text{kPa}$, $L=2.5\text{mm}$ と設定することで、平均発生間隔約 6 ヶ月の SSE を再現する物理モデルを作成した。

本研究では、このモデルを用いて EnKF を用いた断層面上の摩擦パラメータの推定についての数値実験を行う。EnKF は物理モデルの計算によって得られた値を各タイムステップで観測値、それらの分散共分散行列を用いて統計的に修正することで最適な解を推定する手法である。この分散共分散行列は初期値に乱数を与えて作った大量のアンサンブルメンバーを計算することで得られる。今回の実験を行うために、まず、上記のモデルとパラメータを用いて計算した断層面上の速度に乱数を加えて、観測値の模擬データを作成した。この時用いたパラメータと計算された速度は実験において真値であると考え、そして、この観測値と真値から少しずらした初期値を用いて EnKF による摩擦パラメータの推定を行い、その結果を真値と推定値の比較を通して検証する。本講演ではその検証結果を話す。

キーワード: スロースリップ, アンサンブルカルマンフィルタ

Keywords: slow slip events, Ensemble Kalman Filter

ヒクランギ沈み込み帯における多様なスロースリップイベントのモデル化 Modeling various slow slip events along the Hikurangi subduction zone

芝崎 文一郎^{1*}; 松澤 孝紀²

SHIBAZAKI, Bunichiro^{1*}; MATSUZAWA, Takanori²

¹ 建築研究所国際地震工学センター, ² 防災科学技術研究所

¹International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Recent high-resolution seismic and geodetic observations have revealed the occurrence of slow slip events (SSEs) along various subduction plate interfaces. Long-term SSEs with a duration of 1.5 years (e.g., Manawatu SSEs) occur at the deeper portion (25–60 km) of the Hikurangi subduction zone, and shallow (5–15 km) SSEs with a duration of 1–3 weeks occur along the northern and central parts of the subduction zone. Wallace et al. (2012) reported a sequence of simultaneous short-term and long-term SSEs at the Hikurangi subduction zone during 2010–2011.

We modeled short-term and long-term SSEs along the Hikurangi subduction zone using a rate- and state-dependent friction law and considered realistic configurations of the plate interface. We set the coupling region where $a-b$ is negative based on the study of interseismic coupling by Wallace et al. (2009). By setting the effective stress and the critical displacement of shallow short-term SSEs to approximately 1.5 MPa and 2.4 mm, respectively, we could reproduce SSEs with a duration of 1–3 weeks and recurrence interval of 3 years. Additionally, by setting the effective stress and the critical displacement of the Manawatu long-term SSEs to approximately 3.0 MPa and 7.2 mm, respectively, we were able to reproduce SSEs with a duration of 0.5 years and recurrence interval of 5 years. The effective stress of the Manawatu SSE zone is two times larger than that of the short-term SSE zones. However, the ratio of the effective stress to the critical displacement of the Manawatu SSE zone is smaller than that of the short-term SSE zones. We could also reproduce a sequence of simultaneous short-term SSEs and a long-term Manawatu SSE as observed by Wallace et al. (2009). The occurrence of the various slow slip events suggests heterogeneous distributions of constitutive law parameters along the Hikurangi subduction zone.

キーワード: モデル化, スロースリップイベント, ヒクランギ沈み込み帯, すべり速度・状態依存則, 浅部短期的スロースリップイベント, Manawatu 長期的スロースリップイベント

Keywords: modeling, slow slip events, Hikurangi subduction zone, a rate- and state-dependent friction law, shallow short-term SSEs, Manawatu long-term SSEs

沈み込む海嶺列における地震発生サイクル：SSE の発生 Earthquake cycles on the bumpy plate interface assuming subducting ridge chain : generation of SSE

大谷 真紀子^{1*}; 平原 和朗¹
OHTANI, Makiko^{1*}; HIRAHARA, Kazuro¹

¹ 京大・理

¹ Sci., Kyoto University

近年の地震・地殻変動観測網の発達により、沈み込み帯では様々な時空間スケールのすべり現象が発生していることが分かってきた。これらのすべり現象はプレート境界面上に密に分布し、互いに相互作用すると考えられる。そこで、次の巨大地震の発生予測を目指して、巨大地震とその他のすべり現象との相互作用の検証が、地震発生サイクルシミュレーション (ECS; Earthquake Cycle Simulation) を用いて現在行われはじめている (Ariyoshi et al., 2014; Matsuzawa et al., 2013)。

実際の巨大地震発生領域を考える際には、断層面形状がその場の環境が応力の蓄積等に影響を及ぼす。しかしながら、これまで行われてきた計算では比較的大きな波長の断層面形状のみしか考慮されていない (Hirose and Maeda, 2013)。本研究では、より小さなスケールの断層面形状の例として、南海トラフ東端に見られる沈み込む海嶺列に注目する。この領域では南方から海溝まで海嶺列が連なっているのが海底地形データから分かる (Hirose and Maeda, 2013)。東海沖で調べられた地震波速度構造では、これら海嶺列が海洋プレートと共に沈み込む様子が見られている (Kodaira et al., 2004)。また、浜名湖直下のプレート境界では長期的スロースリップが観測されている (東海 SSE)。本研究では海嶺列を地形的高まりとして表現し、これらが地震発生サイクルにどのような影響を及ぼすかを検証する。

ECS では計算量の比較的小さい境界要素法準動的スキームがよく用いられる。この枠組み内では通常プレート境界面上の剪断応力変化のみしか考慮されない。全無限弾性体中の平坦な断層面においては、断層すべりによって垂直応力が変化しないからである。しかしながら、地表が存在する場合または断層面が平坦でない場合にはすべりによる垂直応力変化が生じる。そこで、本研究では、断層面上のすべりによる静的垂直応力変化を考慮した準動的 ECS を導入し、断層面形状の効果を検証する。

断層面として、角度 15 度、速度 3.25 cm/year で定常的に沈み込む、走行・沈み込み方向に 200 km×240 km の平坦なプレート境界面を設定する。また、この平坦な面を基準としそこから高さ 5 km 波長 50 km の突起が三個連なった形状のプレート境界面を考え、両断層面における地震発生サイクルの比較を行う。断層面上の摩擦として、垂直応力変化を考慮した速度状態依存摩擦則 (Linker and Dieterich, 1992) を仮定する。初期剪断応力・垂直応力を一様とし、深さ 40 km 以浅の領域を地震発生領域として一様な摩擦パラメータ A, B, L を設定した。

$A - B = -0.2$ MPa, $L = 0.2$ m に設定したとき、臨界角形成サイズはおおよそ 60 km であり、平坦な断層面では通常地震が繰り返し発生した。一方、凸凹な断層面では、地震性のすべりと、断層面上で凹部を中心としたスロースリップがその地震間に発生した。地震間において、断層面上の垂直応力の初期値からの差は、連なる凸・凹部でそれぞれ増加・減少し、縞構造を示す。垂直応力の増加・減少はその地点の $|A - B|$ を増加・減少させ、働く摩擦力を変化させる。凹部では破壊が始まりやすくなるが、凸部では破壊がしにくくなり、これが地震間のスロースリップ発生の原因となったと考えられる。一方で、浜名湖下で観測される東海 SSE は海嶺列の凹部分に位置する。長期的スロースリップは豊富な流体による高間隙流体圧により説明されることが多いが、本研究は、これに加え断層面形状が東海 SSE の発生に影響を及ぼしている可能性を示している。

キーワード: 地震発生サイクルシミュレーション, 垂直応力, 海嶺列, 東海 SSE

Keywords: earthquake cycle simulation, normal stress, ridge chain, Tokai SSE

潮汐に影響を受けるスロー地震のシミュレーション Simulation of slow earthquakes affected by tide

栗原 亮^{1*}; 安藤 亮輔²; 矢部 優²; 田中 愛幸¹; 小原 一成¹
KURIHARA, Ryo^{1*}; ANDO, Ryosuke²; YABE, Suguru²; TANAKA, Yoshiyuki¹; OBARA, Kazushige¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Graduate School of Science, University of Tokyo

南海トラフなどのプレート沈み込み帯の深部で発生するスロー地震は、巨大地震の発生とも関連があるとされ、このメカニズムを調べるのは重要である。また、Tanaka[2012]で大地震前に潮汐との地震活動の相関性が指摘されているように、潮汐と大地震の関連も注目されている。本研究では、スロー地震に対する潮汐の影響について、シミュレーションにより考察した。

まずはプレート沈み込み帯を再現するために2次元弾性体の半無限モデルを構築した。断層面の浅い領域を「固着域」として滑りにより摩擦強度が低下するすべり変位依存の構成法則に速度強化の粘性項を加えた強度になっている領域と、深い領域を「滑り域」として速度強化の摩擦則に従い常時滑っている状態の領域を設定した。加える潮汐は単純な正弦波の潮汐を使うケース、四国西部におけるフィリピン海プレートの境界面上での現実的な値を計算することで時空間によって振幅が変化する潮汐を加えるケースを用意し、その両者についてシミュレーションを行った。また、準動的な境界要素法を使用した。

以上の条件でシミュレーションを行った結果、潮汐によってスロー地震の発生間隔や伝播速度が変化すること、スロー地震の発生前に応力の蓄積された箇所でのみ事前に滑りが始まる”プレスリップ”が確認でき、それらは潮汐により変化することが確認された。スロー地震が停止するときの潮汐の状態が、その後の応力蓄積に影響を及ぼすようであることがわかった。

キーワード: スロー地震, 潮汐, 震源移動

Keywords: slow earthquake, tide, source migration