

鉛直地震計アレイ観測網 (VA-net) で検出された紀伊水道における深部低周波微動 Non-volcanic low frequency tremors at Kii channel detected by vertical seismic array network (VA-net)

武田 直人^{1*}, 今西 和俊¹

TAKEDA, Naoto^{1*}, IMANISHI, Kazutoshi¹

¹産総研 活断層・地震研究センター

¹Geological Survey of Japan, AIST

産総研では2007年以降、西南日本において東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設を展開しており、現在14の観測点で地下水位、歪、地震波等のリアルタイム観測を行っている。我々はこれらの観測点に配備されている三深度の鉛直地震計アレイ (VA-net) を用いた深部低周波微動の高感度検出手法 (鉛直地震計アレイ検出法: Vertical Seismic Array Detection VSAD) を開発し、エンベロープ相関法では同定できないような微弱な微動活動も検出できることを明らかにした (Imanishi et al. 2011)。

西南日本の深部低周波微動は九州・豊後水道付近から長野県南部まで帯状に分布しているが、その分布は一様でなくところどころに広範囲のギャップがある (Obara, 2010)。武田他 (2011) は VSAD により深部低周波微動活動の代表的なギャップ領域であった伊勢湾付近での活動を検出することに成功した。今回は紀伊水道に面している徳島県阿南市にある観測点の鉛直地震計アレイを用い、ギャップ領域の一つである紀伊水道付近の微動活動の状況を VSAD により調査したので報告する。

阿南市で観測を開始した2008年9月以降の約3年半の解析結果から、この付近で1日以上継続するような明瞭な深部低周波微動活動は見つからなかった。しかし、数分間継続するような小さな活動は数多く検知された。VSADの結果のみでは観測点付近での活動としか特定できないが、VSADで微動を検知した時間帯の地震計記録には時折かろうじて位相が判別できる場合があり、付近にある他機関の観測点の地震計記録とともに読み取りを行い震源位置を求めたところ、それらは阿南市から北東よりに定まった。

今後、この周辺の低周波微動活動の時空間分布の詳細な状況を整理する予定である。

参考文献

Imanishi, K., N. Takeda, Y. Kuwahara, and N. Koizumi (2011), Enhanced detection capability of non-volcanic tremor using a 3-level vertical seismic array network, VA-net, in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L20305, doi:10.1029/2011GL049071.

Obara, K. (2010), Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan: Spatiotemporal characteristics and segmentation, *J. Geophys. Res.*, 115, B00A25, doi:10.1029/2008JB006048.

武田直人・今西和俊・小泉尚嗣 (2011), 鉛直地震計アレイ観測網 (V-net) のみで検出された深部低周波微動活動, 地球惑星科学連合2011年大会, SCG058-P03

謝辞: 本研究において、防災科研 Hi-net, 気象庁, 東京大学の連続地震波形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: 鉛直地震計アレイ, VA-net, 深部低周波微動, 紀伊水道

Keywords: vertical seismic array, VA-net, Non-volcanic low frequency tremor, Kii channel

立体アレーを用いた深部低周波地震 (LFE) の P 波と S 波の検出 (3) P- and S-wave detection of the low frequency earthquakes (LFE) using 3D array (3)

鈴木 貞臣^{1*}, 大久保 慎人¹, 今西 和俊², 北川 有一², 武田 直人²

SUZUKI, Sadaomi^{1*}, OKUBO, Makoto¹, IMANISHI, Kazutoshi², KITAGAWA, Yuichi², TAKEDA, Naoto²

¹ 東濃地震科学研究所, ² 産業技術総合研究所

¹TRIES, ²AIST

東濃地震科学研究所 (TRIES) は東海地震・東南海地震と深部低周波地震 (LFE) の活動との関係を調べるため、愛知県豊田市下山に小アレーと中アレーを 2010 年 3 月までに設置した。また産業技術総合研究所 (AIST) は同じ地域に 3 つの深度 (約 600m, 200m, 50m) に地震計を持つボアホールアレーを設置した。これらのアレーの観測点と防災科学技術研究所 (NIED) の Hi-net 観測点 SMYH を組み合わせて立体アレーとした。この立体アレーの 14 観測点のデータを使って、東海地域で発生した LFE の波形データを semblance 解析し、P 波と S 波の検出を試みた。均質な速度、 $V_p=4.5$ km/s, $V_s=2.2$ km/s を持つアレー内媒質中を平面波が伝搬するモデルを仮定し、それぞれの地震計に波が到着する時間差と station correction の和を lag trajectory として semblance 値を計算した。semblance 値は、アレーの基準位置に平面波が到着した時刻、波の到来方向 (back-azimuth)、入射角の 3 つをパラメータとして計算された。LFE を解析する前に、震源決定精度が良く、LFE 発生領域の近くで発生した普通地震の解析を行い、これにより、P 波、S 波それぞれの station correction を得た。

東海地方で 2010 年 11 月 11 日から 30 日までに LFE が活動しが、それを立体アレーで観測することができた。観測されたデータの中から、気象庁によって震源が報告されている LFE を選び、上記 semblance 解析を行った。そして振幅が小さく微動状に続く LFE の波形の中から、対となる P 波と S 波の検出を試みた。現在解析されたのは比較的 M の大きい 2 つの LFE についてである。S 波については、2 つの LFE 両方とも水平動成分の semblance 値が極大値を持つ波群と対応していて、検出することができた。一方 P 波については、上下動の波形を使った semblance 値の分布より検出を試みた。その結果、2 つの内 1 つの LFE (LFE-A と呼ぶ) では P 波を検出できたが、他方については検出できなかった。LFE-A の対となる P 波と S 波到着時刻を使って、気象庁震源の震央は固定したまま、震源の深さを見積もると、28 km と浅くなった。この震源はこの辺りのプレート境界面付近に位置し、Hirose et al.(2008) の LFE の研究結果と調和する。

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

Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315, doi10.1029/2007JB005274, 2008.

キーワード: 深部低周波地震, 立体アレー, P 波と S 波, センブランス, プレート境界

Keywords: deep low-frequency earthquake, 3D array, P- and S-waves, semblance, plate boundary

四国西部における深部低周波微動マルチアレイ観測 (その2) Multiple Seismic Array Observations of Non-volcanic Deep Tremor in Western Shikoku (Part2)

武田 哲也^{1*}, 松澤 孝紀¹, 汐見 勝彦¹, 小原 一成²

TAKEDA, Tetsuya^{1*}, MATSUZAWA, Takanori¹, SHIOMI, Katsuhiko¹, OBARA, Kazushige²

¹ 防災科学技術研究所, ² 東京大学地震研究所

¹NIED, ²ERI, Univ. of Tokyo

深部低周波微動が短期的スロースリップイベント(以下、SSE)とともに活発化することは、西南日本や Cascadia では知られている。微動とスロースリップとの関係を解明するためには、微動活動の推移を正確に知ることが重要であるが、微動はスロースリップが発生している断層面上の複数の場所で同時発生することが多く、また、微動の地震波エネルギーは弱く上にP波およびS波の立ち上がり不明瞭であるため、通常の震源決定法の適用は困難である。そのため、個々の位相を無視し、エネルギーの時間変化に着目したエンベロープ相関法(Obara, 2002)やハイブリッド法(Maeda and Obara, 2009)により、微動の全体像を把握する手法が採られてきたが、最近では稠密地震計アレイを用いたアレイデータ解析手法(Ueno et al., 2010; Ghosh et al., 2010)等により、個々の位相エネルギーの到来方向の推定が行われてきた。特にこの手法は、複数の場所で同時に微動が発生しても捉えることが可能である。そこで四国西部においてアレイ観測を実施し、取得されたデータを用いてMUSIC法(Schmidt, 1986)により微動の到来方向の推定を行った。

アレイ観測は2011年1月より開始し、大小合わせて5つのアレイを展開した。その内の1つが、30個の観測点から構成される大アレイである。そのアレイ口径は2kmであり、平均観測点間隔は200mである。そして残りの4つは小アレイであり、9個の三成分地震計から構成され、そのアレイ口径は800mで、平均観測点間隔は150mである。大アレイは微動の帯の南側に配置し、小アレイはその大アレイを取り囲むように20-30km間隔で配置している。また、全ての観測点に固有周波数2Hzの三成分地震計を備え、200Hzサンプリングにて連続データを収録している。

2011年5月に、6ヶ月ぶりに四国西部でSSEが発生し、同時に微動活動も活発化した。アレイ観測点でも波形相関のよい微動波群の記録が得られた。アレイで収録されたデータを用いてMUSIC法で解析したところ、到来する地震波は、防災科学技術研究所の微動モニタリングシステム(Maeda and Obara, 2009; Obara et al., 2010、以下、微動システム)によって推定された微動源の方向に検出された。微動がプレート境界で発生していると仮定しスローネスを座標(緯度・経度)に変換して、微動システムの震央と比較したところ、概ねスペクトルのピークは震央と一致する(特に5/21の活発な時期)。しかし、微動システムで震央が推定されていない場合でも、スペクトルピークが集中する場合がみられた。この時間帯の地震波形を確認したところ、微動活動に起因する波形が認められた。これは位相情報までを扱うことによって、微動システムでは検出されなかった微動についても推定できるようになったと考えられる。一方、微動システムの方が震央位置の精度が高いことから、微動システムと併用することによって、1エピソードを通じた微動活動推移を詳細にモニタリングすることが可能となる。

この観測は、文部科学省委託研究「東海・東南海・南海地震運動性評価研究」および科学研究費助成事業基盤研究(A)「沈み込みプレート境界遷移領域におけるすべり特性の解明」によって実施されている。

キーワード: 低周波微動, マルチアレイ

Keywords: Low frequency tremor, Multiple seismic array

西日本における深部微動のすべり分布の推定 Resolving slip evolution of deep tremor in western Japan

太田 和晃^{1*}, 井出 哲¹
OHTA, Kazuaki^{1*}, IDE, Satoshi¹

¹ 東大・理・地惑
¹EPS, Univ. of Tokyo

世界各地の沈み込み帯で発生している深部微動は、プレート境界面上のせん断すべりである低周波地震の群発活動であると考えられている。西日本においては、高精度の震源決定により、低周波地震の震源がプレート境界面を示唆する非常に薄い面状の領域に分布することもわかってきた (Ohta and Ide, 2011)。したがって、既知の低周波地震をテンプレートとして用いた Matched Filter 解析 (Shelly et al., 2006) によって示されているように、低周波地震の震源からプレート境界面上の各瞬間における微動源の位置とその移動パターンが推測可能である。しかし、微動が本当に低周波地震と同じ場所で発生するかは未だ明らかではない。微動の振る舞いは非常に多様であり、地域によっても異なる (Ide, 2010) ことから、空間的な制約がある既知の低周波地震を用いた従来の手法では検出されない微動の活動もあるかもしれない。また、従来の手法では、低周波地震の震源移動の様子から離散的な微動の描像は得られるものの、それらは微動のすべり過程全体を説明するには十分でない。微動やその他のゆっくり地震の背景にある物理過程を理解するためには、これらのより詳細なすべり過程を調べることが不可欠であろう。

本研究では、既知の低周波地震の空間的な制約を排して微動の詳細な時空間のすべり分布を調べることを試みた。まずは、精密に震源決定された低周波地震の震源分布から、対象領域のプレート境界の位置を推定し、これらの低周波地震の波形をスタックして断層面状の各グリッドを震源とする”合成テンプレート波形”を作成した。そして、この合成テンプレート波形を用いて微動の活動を含む連続波形に Matched Filter 解析を適用することで微動の破壊伝播の粗い描像を得た。さらに、この波形を経験的グリーン関数として用い、非線形断層すべりインバージョン解析によってすべり過程を詳細に調べた。

四国西部の Hi-net 観測点で観測された 2008 年 3 月 18 日 23:00-24:00 の 3600 秒の速度波形に手法を適用し、およそ 1200 秒の微動シーケンスの描像を得た。微動のすべりは断層面状を南から北へ伝播し、主な破壊の場所と継続時間から、次の 3 つのステージに分けられる:(1)80 秒 (断層南)、(2)数 100 秒 (断層中央)、(3)60 秒 (断層北)。平均の伝播速度は凡そ 10-50 m/s であり、(1)と(3)のステージは超低周波地震としても検出可能かもしれない。こうしたちがいはプレート境界面の不均質性を反映していると考えられる。

キーワード: 深部微動, スロー地震, 沈み込み帯, 南海トラフ, すべり分布
Keywords: deep tremor, slow earthquake, subduction zone, Nankai Trough, slip distribution

2011年東北地方太平洋沖地震により誘発された東南海付加体の低周波微動 Triggered low frequency tremors in Tonankai accretionary prism, by the 2011 Tohoku-Oki earthquake

藤 亜希子^{1*}, 尾鼻 浩一郎¹, 高橋 成実¹, 深尾 良夫¹

TO, Akiko^{1*}, OBANA, Koichiro¹, TAKAHASHI, Narumi¹, FUKAO, Yoshio¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology

There have been many reports of triggered tremors and micro-earthquakes, by the 2011 Tohoku-Oki earthquake, most of which are based on land observations. Here, we report that numerous low frequency tremors are recorded by broadband ocean-bottom seismographs of DONET, a network of cabled observatory systems deployed in the Tonankai accretionary prism of the Nankai trough. Ten stations were in operation at the time of the earthquake. The tremors are observed at five of the stations, which are located on the landward slope of the Nankai trough. On the other hand, the signals are weak at stations near the coast, which are placed on the Kumano Forarc basin.

The tremors are dominant in a frequency range of 1-10Hz. Their duration ranges from tens of seconds to a few minutes. More than 20 events per hour can be detected in the first few days after the earthquake. The activity continues about one month with a decrease in the frequency of occurrence.

An intriguing feature of the observed tremors is that some of them are associated with a very low frequency (VLF) component, most clearly visible between 0.02 and 0.05 Hz. We found 74 such events within 5 days after the great earthquake. The VLF signals of the 72 events are observed at stations located above the shallowest part of the splay fault, and the remaining at a station above the up-dip toe of the main thrust. The instrument-corrected seafloor displacement corresponds to a subsidence of up to 0.04 mm with a rise time of 10-20 s. For each event, the VLF signal is detected only at one station in contrast to the high frequency signal (1-10Hz), which can be observed at more than a few stations. The disappearance of the large VLF signal at neighboring stations located only ~20km away indicates that the station which recorded this signal is well within the near field of the source.

In the presentation, we discuss the spacial and temporal variation of the triggered low frequency tremors during one month after the great earthquake.

キーワード: 低周波微動, 海底地震計, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: low frequency tremor, Ocean bottom seismometer, 2011 Tohoku-Oki earthquake

西南日本における超低周波地震の新しい検出法

A new detection method for very low-frequency earthquakes in southwest Japan

仁里 太郎^{1*}, 須田 直樹¹
NIZATO, Taro^{1*}, SUDA, Naoki¹

¹ 広島大・院理

¹Hiroshima Univ.

西南日本で発生する深部超低周波地震については、これまでの研究により断層面の走向・傾斜が沈み込むフィリピン海プレート境界面のジオメトリーとよく一致することや、すべりの方向がプレート運動方向と調和的であることが明らかになっている (Ito et al. 2007, 2009; Takeo et al. 2010)。超低周波地震の誘発源である短期的スロースリップイベントや、同時発生している非火山性微動との関係を詳細に調べることは、スロー地震の震源域であるプレート境界遷移域の摩擦の性質を調べる上で重要である。しかし、通常のモーメントテンソル解析の手法を適用する従来の方法では、多数のパラメータを同時決定する必要があるため、多くの小イベントを検出し損ねている可能性がある。本研究では、先行研究の成果を踏まえて、超低周波地震はプレート境界面における逆断層型すべりであると仮定して検出する方法を考案した。この方法では、検出の際に決定すべきパラメータ数が既存の方法よりも大幅に少なくなるので、S/Nの低い波形記録からの小イベントの検出が期待できる。

本検出法の概略を説明する。プレート境界面上に格子点を設定し、この格子点における点震源による各観測点での理論波形をあらかじめ計算しておく。格子点における断層パラメータは、既存のプレート境界面形状モデルとプレート運動モデルから決まるものである。また、時間軸上にも格子点を設定し、そこを開始時刻とする適当な長さの時間窓を考える。すべての時空間格子点について、時間窓内の観測波形と理論波形の相互相関を計算する。観測点ごとの相互相関の重み付きの和が、ある基準を満たしたとき、その時空間格子点またはその近傍で超低周波地震が起こったとする。

本検出法で重要な点は、各格子点に与える断層パラメータである。プレート境界面形状モデルには Hirose et al. (2008) を、プレート運動モデルには Sella et al. (2002) を使用した。走向・傾斜は、プレート境界面の局所平面の法線ベクトルから決定した。すべり角は、地表でのプレート運動ベクトルを次のように深部まで延長することで求めた：海溝軸でのベクトル(10万年分の変位)を、そこでの緯度・経度より求められるプレート境界面の局所平面の走向軸まわりに傾斜角だけ回転させる。回転後のベクトルの終点の緯度・経度におけるプレート境界面上の点を次の始点として、ベクトルを同様に回転させるという手順を繰り返す。すべり角は、このようにして得られる深部でのプレート運動ベクトルの逆ベクトルから求められる。グリッド上での値は、プレート境界面上の多数の点での値を内挿して求める。以上のようにして得られる想定メカニズム解の妥当性を検証するため、Ito et al. (2007) で得られた超低周波地震のモーメントテンソル解と比較した。モーメントテンソルの類似度の指標である moment-tensor difference function (Pasyanos et al., 1996) を計算したところ、両者はよく一致しており、本検出法の前提条件が満たされていることが示された。

次に、数値実験として Ito et al. (2007) によって得られたモーメントテンソル解を使用して計算した理論波形に合成ノイズを加えた「想定観測波形」を作成して本検出法で解析した。グリーン関数の計算には Saikia (1994) による波数積分法のプログラムを使用し、地震波速度構造として 鶴川ほか (1984) および Fukao (1977) のモデルを用いた。グリッド間隔は緯度経度方向にそれぞれ 10km とした。その結果、ほとんどの場合で Ito et al. (2007) の震源に最も近い格子点において重み付き相互相関和の最大値が得られ、本検出法が超低周波地震に適用できることが分かった。発表では、実際の観測波形への適用結果も示す。

キーワード: 超低周波地震, スロー地震, グリッド MT, 自動検出

Keywords: very low-frequency earthquake, slow earthquake, grid MT method, automatic detection

Distinguish between very low frequency earthquakes and landslides signal. Distinguish between very low frequency earthquakes and landslides signal.

Tu Yoko^{1*}, 安藤 雅孝¹, Lin Cheng-Horng¹, 熊谷 博之²

TU, Yoko^{1*}, ANDO, Masataka¹, LIN, Cheng-Horng¹, KUMAGAI, Hiroyuki²

¹ 中央研究院地球科学研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Inst.Earth Science, Academia sinica, ²National Research Institute for Earth sc.

Almost every year, large typhoons strike Taiwan, which bring a huge rainfall sometimes up to 4000 mm in a few days. Such enormous rainfalls induces large landslides and submarine slumps in and around Taiwan. A series of landslides and submarine slumps due to the Typhoon Morako were identified and located by Lin et al. (2010) using band-pass filtered (0.02-0.05Hz) seismograms recorded at broadband stations of the BATS. This technique can be applicable to a real-time monitoring of landslides and submarine slumps. However, east of Taiwan and south of Ishigaki and Yonaguni islands near the trench axis of the Ryukyu subduction zone, a number of very low frequency earthquakes (VLFs) occur at shallow depths (Ando et al., 2012) where 600-700 VLFs occur every year and recorded at broadband even at the BATS stations. Although VLFs have not been found beneath Taiwan, there is a possibility that VLFs occur there from the point of view of tectonic situations. Nevertheless, the bandpass filtered (0.02-0.05 Hz) waveforms of the landslides and VLFs are quite similar; both contain a spectral peak between 0.03 and 0.08 Hz. It is very hard to distinguish the two different phenomena on the seismograms alone. To distinguish landslide events from VLFs and ordinary earthquakes, we take a method to identify landslides as follows: 1) Applying a bandpass filter (0.02 -0.05Hz) to raw broadband seismograms. 2) Picking up low frequency events from the filtered seismograms, 3) Removing ordinary earthquakes using an identification technique of P and S waves and surface waves, and hypocenter catalogues unless it is a real-time determination. 4) Locating the events with an inversion technique. 5) If the location of the event is at shallow depths beneath Taiwan or in submarine valleys, and if heavy rain-fall happened over the days, we assume the events a landslide. Our experiment with this method is still preliminary and further studies are required.

キーワード: VLFs, landslides, broadband seismic system

Keywords: VLFs, landslides, broadband seismic system

フィリピン海スラブの走向方向に変化する短期的スロースリップイベントと深部低周波微動・超低周波地震活動の関係 Along-strike variations in relationship among slow slip events, low-frequency tremor and very low-frequency earthquakes

木村 武志^{1*}, 廣瀬 仁², 松澤 孝紀¹, 木村 尚紀¹, 田中 佐千子¹, 小原 一成³

KIMURA, Takeshi^{1*}, HIROSE, Hitoshi², MATSUZAWA, Takanori¹, KIMURA, Hisanori¹, TANAKA, Sachiko¹, OBARA, Kazushige³

¹ 防災科学技術研究所, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 東京大学地震研究所

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

西南日本のプレート沈み込み帯深部では、深部低周波微動 [Obara, 2002], 短期的スロースリップイベント (SSE) [Obara et al., 2004], 超低周波地震 [Ito et al., 2007] といった異なる時定数を持つ「スロー地震」が同期して発生していることが、防災科研 Hi-net 等の観測網により分かってきた。本発表では、2011 年 12 月 23 日から 2012 年 1 月 10 日頃にかけて豊後水道から四国中部で発生した短期的 SSE のすべり過程とそれに伴う微動・超低周波地震活動について比較・検討を行う。なお、矩形断層における一様すべりを仮定した予備的な解析によると、この短期的 SSE の規模は Mw 6.2 であり、この領域で発生する短期的 SSE としては最大級のものである。また、2001 年以降愛媛県西部では約半年毎に発生しているが、豊後水道から四国中部に及ぶ広範囲の領域で微動活動・短期的 SSE が捉えられたのは初めてである。

この短期的 SSE の詳細なすべり過程を推定するために、Hi-net 併設の高感度加速度計 (傾斜計) による傾斜変動データを用いた時間発展インバージョン解析 [Segall & Matthews, 1997; Hirose & Obara, 2010] を行った。この解析には Hi-net の 16 観測点の 1 時間サンプル傾斜データから、BAYTAP-G [Tamura et al., 1991] により潮汐・気圧応答成分を除去したものを使用した。断層モデルは、Shiomi et al. [2008] を参考に設定したフィリピン海プレート境界面に沿って 17 × 7 の小断層 (サイズ: 10 km × 10 km) に区分した。

推定された短期的 SSE の積算すべり分布には、愛媛県西部と中部にそれぞれすべり量の大きい領域が見られた。一方で両者の間の領域はすべり量が小さく、ギャップ領域となっている。愛媛県西部のすべり域は、この領域で過去に発生した短期的 SSE の際に繰り返し大きくすべった領域 [Hirose & Obara, 2010] と一致する。とくに大きなすべりが見られた 1 月 3 日以降についてすべりの進展と微動活動 [Maeda & Obara, 2010; Obara et al., 2011] を比較すると、すべりは愛媛県西部で発展し、数日後にギャップ領域を越えて愛媛県中部にジャンプしているように見えるが、微動活動は愛媛県西部から愛媛県中部までほぼ連続的に移動している。つまり、愛媛県西部・中部のすべりの大きい領域では、すべりの発生と微動活動の活発化の期間がよく対応しているのに対して、ギャップ領域では微動が活発に発生している期間であっても大きなすべりが見られなかった。また愛媛県西部のすべりの大きい領域では、超低周波地震がすべりと同期して発生し、愛媛県中部のすべり域でもすべりの進行中に 1 イベント発生している。一方でギャップ領域では微動活動の活発な期間でも超低周波地震は検出されていない。

この様に 2011 年 12 月?2012 年 1 月のエピソードでは、短期的 SSE によるすべりと微動・超低周波地震活動の関係が、フィリピン海スラブの走向方向に変化している可能性がある。この領域での過去の微動・短期的 SSE の活動を見ると、上述のギャップ領域をまたいで活動域が広がるエピソードはほとんどない。また、愛媛県西部のすべり域ではこれまでに超低周波地震が比較的活発に発生している一方、中部のすべり域では今回のエピソードを含めて 2 イベント、間のギャップ領域では全く検出されていない。これらのことから、今回のエピソードで見られた短期的 SSE のすべり分布と微動・超低周波地震の活動の差異は、この領域のプレート境界域に本来存在するすべり特性の空間的な不均質性を反映している可能性がある。

キーワード: 沈み込み帯, スロー地震, 短期的スロースリップイベント, 深部低周波微動, 深部超低周波地震, 傾斜変動

Keywords: subduction zone, slow earthquake, short-term slow slip event, deep low-frequency tremor, deep very low-frequency earthquake, tilt change

歪・傾斜・地下水統合解析による短期的スロースリップイベントのモニタリング Short-term slow slip event monitoring by joint analysis of crustal strain, tilt and ground-water changes

板場 智史^{1*}, 松本 則夫¹, 北川 有-¹, 小泉 尚嗣¹, 松澤 孝紀²

ITABA, Satoshi^{1*}, MATSUMOTO, Norio¹, KITAGAWA, Yuichi¹, KOIZUMI, Naoji¹, MATSUZAWA, Takanori²

¹産総研 活断層・地震研究センター, ²防災科学技術研究所

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²NIED

産業技術総合研究所(産総研)は防災科学技術研究所(防災科研)との間で、産総研が四国・紀伊半島・東海地方に展開する地下水等総合観測施設網で取得される歪等の観測データと、防災科研の高感度地震観測網 Hi-net に併設されている高感度加速度計で取得される傾斜等の観測データの交換を2011年より開始し、歪・傾斜データの統合解析による短期的スロースリップイベント(SSE)の断層モデルの推定を行っている[板場ほか, 2011]。これによると、四国~東海の広い範囲で Mw5.5 程度以上の短期的 SSE を検知することができる。

産総研の歪観測網は、上述の通り四国・紀伊半島・東海地方をカバーしているが、愛知県~静岡県の観測点密度は低い。一方、気象庁は、東海地震予知業務の一環として、同地域に多くの歪観測点を有している。また、近年、産総研の地下水観測網においても、短期的 SSE によると考えられる地下水変化が観測されている(北川ほか, 2011)。そこで、上述の歪・傾斜統合解析に、気象庁のポアホール多成分歪計および体積歪計と、産総研の地下水観測結果を加えた統合解析手法を開発した。

本講演では、この統合解析手法のほか、統合解析による短期的 SSE の検知能力、解析結果の例を紹介する。

キーワード: 短期的スロースリップイベント, 深部低周波微動, 歪, 傾斜, 地下水, 地殻変動

Keywords: short-term slow slip event, tremor, strain, tilt, groundwater, crustal movement

GEONETを用いた西南日本のスロースリップイベントのモニタリング Monitoring of small short-term SSEs in southwest Japan based on GEONET data

藤田 明男^{1*}, 里村 幹夫², 生田 領野², 島田 誠一³, 加藤 照之⁴

FUJITA, Akio^{1*}, SATOMURA, Mikio², IKUTA, Ryoya², SHIMADA, Seiichi³, KATO, Teruyuki⁴

¹ 静岡大学大学院理学研究科, ² 静岡大学理学部地球科学科, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 東京大学地震研究所

¹Graduate School of Science, Shizuoka University, ²Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University,

³National Research Institute for Earthsience and Disaster Prevension, ⁴Earthquake Prediction Research Center, Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

西南日本では、南海トラフに沿ったプレート沈み込み帯で、深部低周波微動やそれに伴ったスロースリップイベントが発生していることが確認されている (Obara 2010 他)。このスロースリップイベントのうち、特に東海地域で発生している短期的なスロースリップは、規模が非常に小さくGPSによる検出は困難であるとされていた。本研究は、東海地域を含む西南日本でスロースリップに類する現象をGPS測地データを用いた断層インバージョンによりモニタリングする試みである。

我々は国土地理院GEONETの三次元座標値(F3解)を使用し、西南日本における1996年~2011年の16年間のプレート境界のスリップの検出を以下の手順で行った。

1. GPS時系列データに含まれている地震やアンテナ交換などによるオフセットを取り除く。
2. 各観測点に共通な誤差を取り除くために、時系列全体に主成分分析を行い、第一主成分を共通誤差として取り除く。
3. 7日間のギャップを挟んだ、その前後10日間の平均の位置の差をとる。
4. 上述の処理を行ったデータに対して、Yabuki and Matsuura.(1992)の断層インバージョンを行う。

インバージョンを行う際、制約条件として断層面上で十分な分解能がないところはすべり量が小さくなるとした。すべり方向はフィリピン海プレートの沈み込み方向とその逆方向に固定した。また今回新しく、すべり量をバックスリップ方向にはフィリピン海プレートの沈み込み速度を超えない、深部ではどちらの方向にもすべり量が0になるという条件を加えた。

今回加えた条件により、2011年本大会で報告した深部に見られたフォワードスリップや非現実的な大きなバックスリップが結果に生じてしまう問題が低減され、スロースリップと思われる変動のみが、より顕著に現れるようになった。本発表ではこの結果を精査し、防災科学研究所により報告されている歪計を用いて検出されたスロースリップに対する検出率を検討する。

今回、解析を行うにあたり国土地理院GEONETのF3解、気象庁の一元化震源データを使用させていただきました。ここに記して感謝いたします。

キーワード: スロースリップ, 深部低周波微動, GPS, インバージョン

Keywords: slow slip, deep low-frequency tremor, GPS, inversion

四国東部から紀伊水道にかけて発生した長期的スロースリップ Long-term slow slip events around eastern Shikoku and Kii Channel

小林 昭夫^{1*}, 矢来 博司²

KOBAYASHI, Akio^{1*}, YARAI, Hiroshi²

¹ 気象庁気象研究所, ² 国土地理院

¹Meteorological Research Institute, ²Geospatial Information Authority of Japan

日本では近年の稠密な GPS 観測網 GEONET [国土地理院測地観測センター (2004)] の展開により、様々な時定数を持つプレート境界でのすべり現象が発見されている。そのうち南海トラフ沿いでは、数か月から数年の継続時間を持つ長期的スロースリップイベント (SSE) が、東海地域で 2001 ~ 2005 年に [Ozawa et al. (2002)、国土地理院 (2007)]、豊後水道付近で 1996 ~ 1997 年 [Hirose et al. (1999)]、2003 年 [Ozawa et al. (2004)]、2009 ~ 2010 年 [国土地理院 (2010)] に発生したことが観測された。この他に小規模な長期的 SSE が 2005 年に四国西部 [小林 (2010)] や 2005 ~ 2010 年にかけて四国中部 [気象研究所 (印刷中)] でも発生していたことが報告されている。

同じ南海トラフの沈み込み帯においても、長期的 SSE の発生する領域が限られていたり、発生間隔、発生規模が異なっていたりすることが明らかになってきている。長期的 SSE の過去および現在の発生を把握することは、プレート境界面の領域による状態の違いに関する情報を提供する。ここでは、新たに GPS の解析から明らかになった四国東部から紀伊水道における長期的 SSE について報告する。

データは、国土地理院 GEONET の GPS 日座標値 (F3 解) を用いた。非定常な地殻変動を見るため、プレートの沈み込みなどに伴う定常的な成分を除去する。中国・近畿地域で豊後水道付近を除いて目立った地殻変動を生じる地震や長期的 SSE などがなかった、2006 年 1 月から 2009 年 12 月の 4 年間のデータから直線トレンド係数を求め、全期間からその係数を用いて定常成分を差し引いた。年周変化については補正をしていない。また、GEONET 観測点のアンテナ交換などに伴う人為的要因によるオフセット [岩下・他 (2009)] は、国土地理院ホームページで公開されているデータセット [国土地理院 corr30.dat] を用いて補正した。2001 年 4 月から 2 年間の非定常変位を見ると、四国北西部から中国地方の多くの観測点の水平変位は小さく、これらの地域の観測点はこの 2 年間に定常的な変動をしていたことを示している。一方、四国東部の観測点には南東向きの 1 cm 弱の水平変位が見られる。水平変位の見られた観測点の座標時系列と、周辺の観測点との基線長変化を見ると、2001 ~ 2004 年にかけて定常とは異なる南東向きの変化が見られる。これらの変位は不適当な直線トレンドや、オフセットの除去によるものではない。さらに基線長には 1996 年にも伸びの変化が見られるが、伸びの開始時期はデータの存在する 1996 年 3 月より前である。同様の変化は複数の基線長にも見られ、特定観測点の設置後の不安定とは考えにくい。一部の GPS 観測点では 1996 年 3 月以前の観測値があるものの、F3 解と同じ条件の解析はされていない。この追加解析をすることで、1996 年の変化の時期や変位量を明らかにする必要がある。

2001 ~ 2004 年の非定常変位がプレート境界上のすべりによるものとして、すべり分布をインバージョンにより求めたところ、四国東部から紀伊水道にかけてのすべりが推定された。南海トラフ沿いに深部低周波微動 [Obara (2002)] が分布する中で、この領域には微動の活発な発生が観測されていない。紀伊半島側の観測点における非定常変位について更に精査する必要があるが、深部低周波微動の活発な発生の見られない領域でも長期的 SSE が見られることは、プレート境界の状態推定について重要な情報を提供する。

本調査には国土地理院 GEONET の座標値を使用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 長期的スロースリップ, GPS, 地殻変動, 四国東部, 紀伊水道

Keywords: long-term slow slip, GPS, crustal deformation, eastern Shikoku, Kii Channel

豊後水道スロースリップ震源域近傍で得られた横坑内伸縮計記録の検討 Strain data obtained in a vault near the Bungo Channel, above an epicenter area of long term slow slip events

山崎 健一^{1*}, 寺石 眞弘¹, 小松 信太郎¹

YAMAZAKI, Ken'ichi^{1*}, TERAISHI, Masahiro¹, KOMATSU, Shintaro¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

GEONET 展開以前の SSE を調べるために参照できるデータの一つは、横穴内に設置された伸縮計・傾斜計により得られた地殻変動連続観測記録である。京都大学防災研究所は、豊後水道に面した高知県宿毛市の観測点 (SKM) において、1980 年台後半から地殻変動連続観測を実施している。宿毛観測点の伸縮計記録の中には、GPS 時系列から示唆されるのとほぼ同じ時期に特徴的な伸縮変化が見られるとともに、1990 - 1991 年頃にも同様の伸縮変化が見られると報告されている (寺石ほか、2007、測地学会講演要旨)。しかし、宿毛観測点の観測坑は地表からの距離が小さく、坑内には無視できない大きさ (2 程度) の気温変化が生じている。先行研究では気温変化の補正は十分には行われていないので、今回改めて気温変化を踏まえた伸縮計記録の再検討を行った。

気温による伸縮計記録への影響は十分な精度で線形であると考えられるので、伸縮計の温度記録があれば補正は可能である。しかし、宿毛では 1990 年代後半まで坑内温度の計測が行われていなかったため、1990 年前後の伸縮計記録を調べる際に坑内温度記録は利用できない。また、地表および入口から伸縮計までの距離が短いため、伸縮計の基準棒上でも温度は一樣とは考えられない。そのため、たとえ坑内温度が計測されていても補正は難しい。そこで今回は、観測点近傍の気象庁の気温データを参照した。外気温が地下に伝搬する際には位相遅れを伴いつつ減衰するはずなので、第一近似として移動平均をとることにより外気温の伸縮計への影響が再現できると考え、外気温の 12 カ月移動平均と伸縮計記録の比較を行った。

先行研究で伸縮計記録に SSE が捉えられていると報告されている時期には、外気温移動平均値の時系列にも同様の変化が認められた。このことは、伸縮計が記録していた変化は実際には気温変化によって生じた見かけのものであった可能性が高いことを意味する。

キーワード: 伸縮計, 横穴, スロー地震, 豊後水道, 気温変化

Keywords: extensometer, vault, slow slip event, Bungo Channel, changes in temperature

房総沖スロースリップのモデル化と東北地方太平洋沖地震がスロースリップに与えた影響

Modeling of the Boso slow slips and effects of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on the slow slips

山 隆史^{1*}, 芝崎 文一郎², 佐藤 利典¹, 橋間 昭徳¹, 廣瀬 仁³

YAMAZAKI, Takafumi^{1*}, SHIBAZAKI, Bunichiro², SATO, Toshinori¹, HASHIMA, Akinori¹, HIROSE, Hitoshi³

¹ 千葉大・理, ² 建築研, ³ 神戸大学大学院理学研究科

¹Chiba Univ, ²BRI, ³Graduate School of Science, Kobe University

1. はじめに

房総半島沖では5~6年間隔でスロースリップイベント(SSE)が発生することが知られている(Ozawa et al. 2003, Sagiya 2004)。房総沖 SSE の特徴は深さ約 10~20km の地震発生領域で発生する点である。本研究では、すべり速度・状態依存摩擦則 (aging law) を用いた房総沖 SSE のモデル化を行い、観測された房総沖 SSE の特徴を再現できる摩擦構成則のパラメータの値を調べた。このようなパラメータスタディーは、房総沖 SSE が地震発生領域で発生する原因を特定するためや、また SSE が発生する領域の物質や状態を知るための手がかりを得るために重要である。また、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震が房総沖 SSE に与えた影響についても研究を進めた。

2. 方法

シミュレーションでは、Hirose et al. (2008) の逆解析により得られたすべり領域を基に房総沖 SSE の領域を設定した。房総沖 SSE は自発的に発生するイベントと考えられるので、SSE 発生領域内ではすべり速度弱化 (a-b が負) の性質を考慮し、発生領域外ではすべり速度強化 (a-b が正) とした。有効圧は深さとともに増加するものとし、SSE の発生領域では 5~7MPa とした。SSE 発生領域内のみ a-b、Dc についてそれぞれ異なった様々なパラメータを与えシミュレーションを行った。また、東北地方太平洋沖地震の影響は、地震時のすべりによる房総沖 SSE 領域でのプレート境界面に対する剪断及び法線応力変化をモデルに組み込んだ。

3. 結果

パラメータスタディーにより SSE が発生するパラメータの組み合わせは限られることが判明した。有効圧が 5~7MPa、a-b = -0.004、Dc = 1.0cm で、観測されている房総沖 SSE の発生間隔や継続時間、Mw を良く再現できることがわかった。また、東北地方太平洋沖地震による応力変化を加えてシミュレーションを行ったところ、応力変化がない場合にくらべて発生間隔が約半年短くなった。この結果は 1 つ前のイベントの発生間隔が 58 カ月 (2002 年と 2007 年) だったものが今回 50 カ月 (2007 年と 2011 年) と短くなったことを説明できる可能性がある。

キーワード: スロースリップ, パラメータスタディ, 2011 東北地方太平洋地震

Keywords: slow slip, parameter study, 2011 Tohoku Earthquake