9-4 2014 年豊後水道長期的スロースリップイベントの発生と今後について Occurrence of 2014 Bungo channel long-term slow slip event

東京大学地震研究所·防災科学技術研究所 Earthquake Research Institute, The University of Tokyo and National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

豊後水道では、これまで約6~7年周期で長期的スロースリップイベント (SSE) が発生してきた 10 (第1図). 2003 年及び 2010 年の長期的 SSE による地殻変動が特に大きい期間には、SSE 域のダウンディップ側で深部低周波微動が継続的に発生したが、その活動は微動域の中では浅部側、つまり SSE 域の隣接部に限定される 20 . 長期的 SSE 発生期間以外の通常期は、浅部側と深部側の微動発生数密度(単位面積当たりの微動発生数)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、浅部側の微動のみが通常レベルに追加される形で活発化することになるため、浅部側の微動活動は長期的 SSE の活動指標とみなすことができる。

その浅部側微動活動が 2014 年初め以降,通常のレートよりも活発化し始め 3)(第1図の 3),GNSS でも 2014 年半ばから変化が見られた(第1図の 4)(第1図の 4)(第1図の 4)では過去にも確認されており,2006 年後半には微動活動と GNSS に僅かな変化が生じた 4)(第1図の 4)(第1図の 4)。これは,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(第1図の 4 0、2010 年の SSE 加速に繋がったようにも見える.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.現在継続している現象が 2006 年の現象と同じであれば,6~7年周期の大規模な長期的 SSE の間に生じる小規模な SSE として,このまま終息に向かうであろう.一方,2009 年の現象と同じである場合には,この後 1年以内に,2010 年来の長期的 SSE に発達する可能性がある.

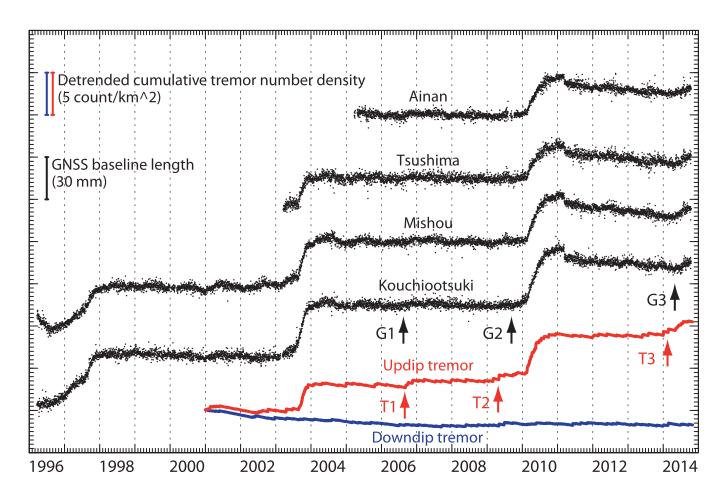
後者の場合には、前回の 2010 年長期的 SSE から 4~5 年しか経過しておらず、発生間隔が狭まったことになる。GNSS の基線長経年変化(第1図)を見ると、四国南西部の GNSS 観測点では 2010 年長期的 SSE 前後の通常期における経年変化に違いが見られ、2009 年以前の通常期に比べ、それ以降は年間最大 3 mm 程度の短縮が継続している。そのため、タイムプレディクタブルモデルに従って長期的 SSE が発生したようにも見える。2009 年以前に対する 2011 年以降の相対的な GNSS 変位速度ベクトルの空間分布(第2図 d)は、四国南西部から九州全域で北西に向かう移動を示し、そのパターンは 2011 年東北地方太平洋沖地震によるコサイスミックな地殻変動パターンとほぼ一致することから、これらの変動は東北地震による余効変動によるものと解釈される。東北地震による地震時応力変化は、四国南西部のフィリピン海プレート境界面に相当する深さ 30km でプレート沈み込み方向に圧縮を示しており(第2図 f)、その後の余効変動でも同様の傾向を示すと考えられることから、東北地震の影響が長期的 SSE の発生を促進した可能性がある。

(小原一成・高木涼太・松澤孝紀)

Kazushige Obara, Ryota Takagi, and Takanori Matsuzawa

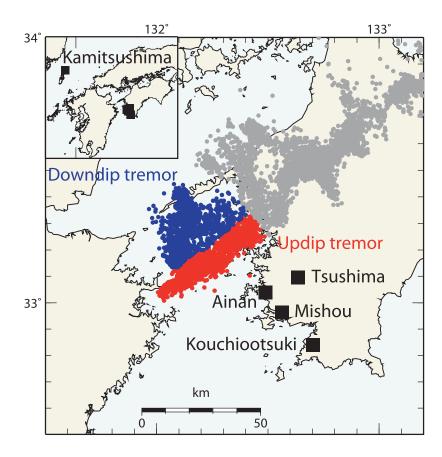
参考文献

- 1) Hirose, H., Hirahara, K., Kimata, F., Fujii, N., Miyazaki, S., 1999, A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuganada earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan. Geophys. Res. Lett. 26, 3237–3240.
- 2) Obara, K., Tanaka, S., Maeda, T., Matsuzawa, T., 2010, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2010GL043679.
- 3) 防災科学技術研究所, 西南日本における深部低周波微動活動 (2014 年 5 月~ 2014 年 10 月), 連絡会報, 本号.
- 4) 国土地理院, 2011, 中国・四国地方の地殻変動, 連絡会報, 85, 318-332.
- 5) Miura, S., T. Sato, A. Hasegawa, Y. Suwa, K. Tachibana, and S. Yui, 2004, Strain concentration zone along the volcanic front derived by GPS observations in NE Japan arc, Earth Planets Space, 56, 1347–1355.
- 6) Nishimura, T., H. Munekane, and H. Yarai, 2011, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET, Earth Planets Space, 63, 631–636, doi:10.5047/eps.2011.06.025.
- 7) Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 82, 1018–1040.



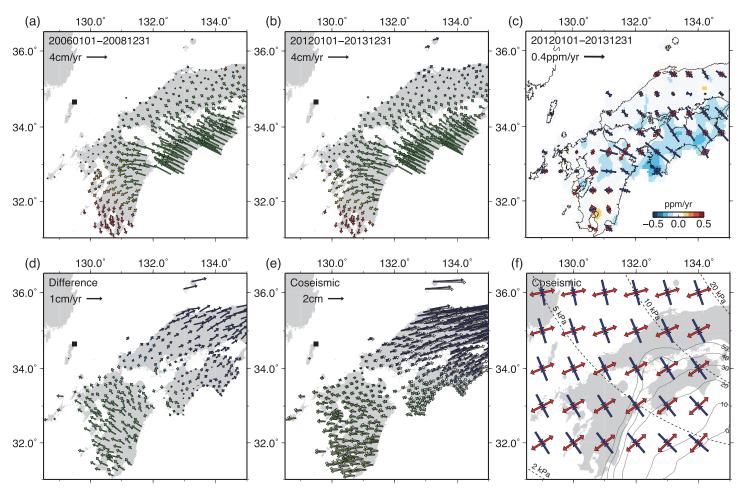
第1図 (a)1996年3月21日から2014年10月18日までのGNSS基線長変化(基準点:国土地理院GEONET上対馬観測点) (黒点)及び2001年1月1日から2014年11月11日までの深部低周波微動発生数密度変化(赤線及び青線)。GNSS基線長変化はGEONETのF3解を使用し、直線フィッティングにより推定した2006年1月1日から2008年12月31日までのトレンドを差し引いてある。また、国土地理院が算出した時系列のオフセット補正量を用いて、アンテナ交換など人為的な要因によるオフセットを補正した。深部低周波微動活動については、浅部(赤)と深部(青)の領域に分け、微動発生数密度(単位面積当たりの微動発生数)の積算時系列から、2006年1月1日以降の深部側微動数密度積算変化に対する直線フィッティングでトレンドを差し引いたものである。長期的SSE発生期以外の通常期では、深部側と浅部側でほぼ水平になっていることから、いずれの領域でも微動の発生密度はほぼ一定であることを示している。G1~G3、T1~T3は顕著な長期的SSE発生期以外にGNSS、及び微動活動に変化が生じた時期を示す。

Fig. 1 (a)Time series of GNSS baseline length change and tremor activity. The baseline is measured between stations in southwest Shikoku and Kamitsushima (GSI GEONET) for the period from March 21, 1996 to October 18, 2014. F3 solution of GNSS data is plotted by removing a linear trend estimated for three years from January 1, 2006 for each station pairs. The tremor activity is divided into downdip (blue) and updip (red) parts of the tremor zone. The tremor number density which is the number of tremor per 1 km square is accumulated with time in each group, then subtracted by the linear trend of the downdip tremor for the period from January 1, 2006 to the present. Flat trend of updip tremor during inter-SSE period indicates that the tremor rate is constant at both of updip and downdip parts during ordinary period. Arrows attached with G1~3, and T1~3 indicate minor change in GNSS data and tremor activity, respectively.



第1図 (b)基線長変化に用いた国土地理院GEONET観測点配置 (■) と深部低周波微動分布. 豊後 水道周辺の浅部側 (赤) 及び深部側 (青) の領域で発生した微動の発生数密度変化の時系 列を第1図(a)に示す.

Fig. 1 (b)Distribution GSI DEONET stations used in this analysis and deep low frequency tremor. The tremor activity divided into downdip (blue) and updip (red) parts corresponds to the time series plotted in Fig.1(a).



第2図 (a) 直線フィッティングにより推定した2006年1月1日から2008年12月31日までの変位速度。基準点(■)は、GEONET上対馬観測点、矢印の長さは変位速度の大きさ、色は方位角を表す。

(b) 2012年1月1日から2013年12月31日までの変位速度.

⁽c) 2012年1月1日から2013年12月31日までの変位速度(b)から計算した水平ひずみ速度. Miura et al. [2004] 5)と同様に、GMTのblockmean, surfaceコマンドを用いて等間隔グリッド上の変位速度を補間し、空間微分をとることでひずみ場を計算した、背景色は、面積ひずみを表す、矢印は主ひずみの方向と大きさを表す。青矢印は縮み、赤矢印は伸びを示す。

た。 育東巴は、 曲板のすみを表す。 天中は主いすみの万両と入ささを表す。 青天中は神のをかす。 (d) 2012年1月1日から2013年12月31日までの変位速度(b)と2006年1月1日から2008年12月31日までの変位速度(a)の差。 (e) 2011年東北地方太平洋冲地震による変位。2011年2月27日から2011年3月8日までの平均値と2011年3月12日から2011年3月21日までの平均値の差から推定した。 白矢印は,Nishimura et al. [2011] 6)の断層モデル(本震と前震と2つの余震)から

Okada [1992]7)の式を用いて計算した変位.
(f) Nishimura et al. [2011] 6) の断層モデルから計算した深さ30 kmにおける地震時応力(ひずみ)変化の主軸方向。赤矢印は最大主応力の方向。青矢印は最小主応力の方向を示す。黒点線は、最大主応力と最小主応力の差。剛性率は30 GPaと仮定。灰色線は、フィリピン海ブレート上面の深さを示す。

Figure 2. (a) Crustal velocity field from the begging of 2006 to the end of 2008 relative to Kamitsushima (black rectangle) estimated from the linear fitting for GEONET F3 daily coordinate data. Color of the arrows also shows the orientation of the velocity field. (b) Same as (a), but the time period is from the begging of 2012 to the end of 2013.

⁽c) Horizontal strain field obtained from the velocity field (b). Strain field is calculated by the method of Miura et al. [2004] 5).

⁽d) Difference in crustal velocity fields between 2006–2008 (a) and 2012–2013 (b).

⁽e) Coseismic displacement induced by the 2011 Tohoku-oki earthquake. Colored arrows show observed horizontal displacement, and white arrows show horizontal displacement calculated from the fault model by Nishimura et al. [2011] 6) based on the equation of Okada [1992] 7).

⁽f) Principal axes of coseismic stress change at a depth of 30 km calculated from the fault model by Nishimura et al. [2011] 6). Red and blue arrows show the orientation of the maximum (s1) and minimum (s3) principal stress, respectively. Black dotted contour shows the differential stress (s1-s3) with an assumption of shear modulus of 30 GPa. Gray contour shows the depth of the upper interface of the subducting Philippine Sea plate.