

9-2 西南日本における短期的スロースリップイベント(2009年5月~2009年11月) Short-term slow slip event with non-volcanic tremors in southwest Japan (May - November, 2009)

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2009年5月から11月にかけて西南日本の深部低周波微動¹⁾に同期して発生した短期的スロースリップイベント^{2,3)}(SSE)について報告する。一部の活動については短期的SSEの断層面は推定できなかったものの、短期的SSEの発生を示唆する傾斜変化が見られたため、過去の短期的SSE活動との比較を試みた。

(1) 2009年5月 紀伊半島~愛知県

5月4日頃から紀伊半島東部から愛知県にかけての観測点において、深部低周波微動・超低周波地震⁴⁾(VLFE)と同期した短期的SSEによると思われる傾斜変化がとらえられた。しかし、微動活動の期間中に活発な降雨があり、気圧の変化も大きく傾斜記録は不安定だったため、SSE断層モデルの推定には至っていない。この領域では、今回の活動と類似した微動・VLFE活動が2006年1月にも観測されており、この時はSSE断層モデルが推定された(Obara and Sekine, 2009)⁵⁾。そこで、2006年1月の活動との傾斜記録の比較を行いSSE活動の推定を試みた。

第1図に深部低周波微動の活動期間中の傾斜記録を示す。第2図に示した観測点について、北東から南西に並べて示している。背景には2006年1月の活動の際の傾斜記録(第3図)を、傾斜変動のおよその開始時期でそろえて示している。

2006年1月の活動の際は、はじめ南西に位置するMGWHおよびURSHで西下りの傾斜変化が現れ、次いで北東に位置するHAZHおよびOKZHで東下りの変化が現れた。期間A-Eについて解析を行い、第2図に示したようなSSE断層モデルA-Eが推定されている。このことから、SSEすべり域の南西から北東への移動が推定されている⁵⁾。

今回の傾斜記録と比較すると、はじめ南西に位置するMGWHおよびURSHで傾斜変化が現れ、次いで北東に位置するHAZHおよびOKZHで変化が現れており、基本的な特徴はよく類似している。このことから、今回も2006年1月と同様にSSEすべり域の南西から北東への移動があったものと推測される。さらに、傾斜方向・傾斜変動量もほぼ同様であり、SSEのすべり量もほぼ同様だった可能性がある。

ただし、細かく見ると2006年1月はHAZHおよびOKZHで東下りの変動に次いで西下りの変動が見られるのに対して(第3図、期間Eに相当)、今回は東下りのみである。また、HAZHおよびOKZHにおける東下りの変動の現れる時期が2006年1月と比べてやや遅い(期間C, Dに相当)。これは、今回は領域DまででSSEすべり域の南西から北東への移動が停止し、またすべり域の移動速度がやや遅かったとすると傾斜記録の特徴を説明できる。微動・VLFE活動の移動も愛知県中部までで停止しており、移動速度も遅く¹⁾、微動活動とも調和的である。なお、今回の微動発生域の東隣(領域Eに相当)では2009年2月に微動・VLFEが発生しておりSSE断層モデルが推定されている((3)参照)。また、2006年1月ではMGWHで西下りの変動の前に東下りのわずかな変動が見られるが(期間Aに相当)、今回はこのような変動は見られない。この時期に降雨があり、その影響

も考えられるため詳細は不明である。

(2) 2009年5月 四国中部

5月23日から24日にかけて四国中部の観測点において、微動・VLFEと同期したSSEによる傾斜変化がとらえられた(第4図)。この2日間の傾斜変化量から推定したSSEの断層モデルを第5図に示す。SSEの断層モデルは、この期間に発生した微動およびVLFEの震央位置とほぼ調和的な位置に推定された。なお、四国中部でSSEの断層面が推定されたのは今回が初めてである(Sekine et al., in press⁷⁾参照)。ただし観測された傾斜変化は最大でも0.03 μ rad程度と非常に小さく、推定された断層パラメタの信頼性はあまり高くないと考えられる。

(3) 2009年8, 9月 愛知県

8月31日から9月2日にかけて愛知県のOKZH観測点において、微動・VLFEと同期した傾斜変化がとらえられた(第6図)。しかし、変動は微弱なため、これ以外の観測点では明瞭でなく、SSE断層モデルの推定には至っていない。そこで、ほぼ同じ領域で微動・VLFE・SSEの見られた2009年2月の活動の際の傾斜記録と比較した。2009年2月のSSEについても再解析を行った。それぞれの活動の際の微動・VLFEの分布、傾斜変動ベクトルを第7図に示す。OKZHで南南東～南下がりの変動が見られ、2009年2月のSSEの際の南西下がりの傾斜変動と類似している。これは、微動・VLFE活動域にSSEが起きたとするとほぼ説明できる傾斜変動パターンである。しかし、傾斜方向にはわずかな違いが見られ、SSE活動域はわずかに異なる可能性が示唆される。

(4) 2009年9, 10月 愛知県

9月30日から10月1日にかけて愛知県東部の観測点において、微動と同期した傾斜変化がとらえられた(第8図)。しかし、変動は微弱なためSSE断層モデルの推定には至っていない。そこで、ほぼ同じ領域で微動・VLFE・SSE活動のあった2007年9月の傾斜変動⁷⁾と比較を行った。それぞれの活動の際の微動・VLFEの分布、傾斜変動ベクトルを第9図に示す。

ASUH, OKZHで、2007年9月のSSEによる傾斜変動と類似した変動パターンが見られるが、変動量は非常に小さい。これは、微動活動域に2007年9月より規模の小さなSSEが起きたとするとほぼ説明できる。一方、TDEHでは変動パターンに違いが見られ、SSEの活動域は2007年9月とはわずかに異なる可能性が示唆される。

(5) 2009年10月 紀伊半島東部

10月15日から22日にかけて紀伊半島東部の観測点において、微動・VLFEと同期したSSEによる明瞭な傾斜変化がとらえられた(第10図)。10月20日を境として傾斜変動パターンの変化が見られたため、この日の前後に分けて解析を行った(期間a, b)。それぞれの5, 3日間の傾斜変動量から推定されたSSEの断層モデルを第11図に示す。

SSEの断層モデルは、それぞれの期間に発生した微動・VLFEの震央位置とほぼ重なる。微動は奈良県中部付近から北東へ伝播したが¹⁾、これと同期してSSEの断層モデルも期間a→bで北に移動しており、微動・VLFE活動に対応したSSEすべり域の移動を示すと考えられる。このSSEすべり域の南西から北東への移動は、(1)で述べた2006年1月および2009年5月の活動と類似している。

..

2009年10月29日から11月9日にかけて四国西部・九州東部の観測点で微動・VLFEと同期した明瞭な傾斜変動が観測された(第12図)。11月2日および6日の前後で傾斜変動パターンに変化が見られたため、3つの期間(a~c)に分けて解析を行った。それぞれの期間に得られたSSEの断層モデルを第13図に示す。下記のような微動活動域の移動に同期したすべり域の移動が見られた。

(a) → (b) : 北東方向への拡大・モーメント解放率の増大

(b) → (c) : 西方向への移動

この領域での活動は2009年4月⁸⁾以来6ヵ月ぶりである。

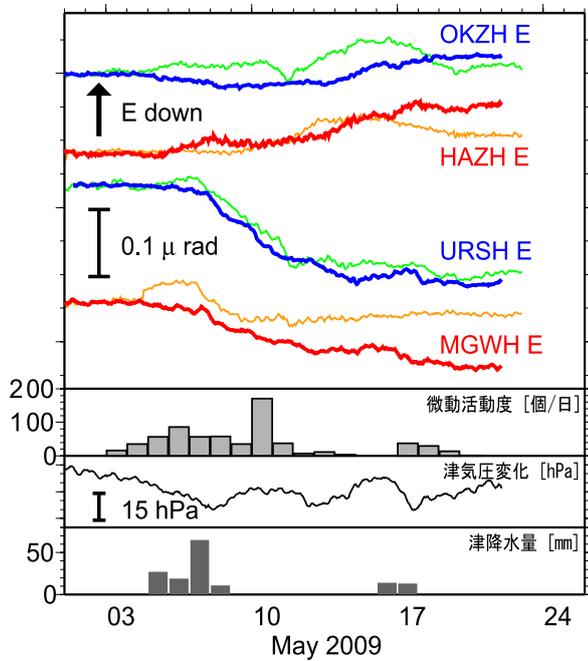
謝辞

気象庁のホームページで公開されている気象台等の気象観測データを使用させていただきました。記して感謝いたします。

(木村尚紀・木村武志・関根秀太郎・廣瀬仁・小原一成)
Hisanori Kimura, Takeshi Kimura, Shutaro Sekine,
Hitoshi Hirose, and Kazushige Obara

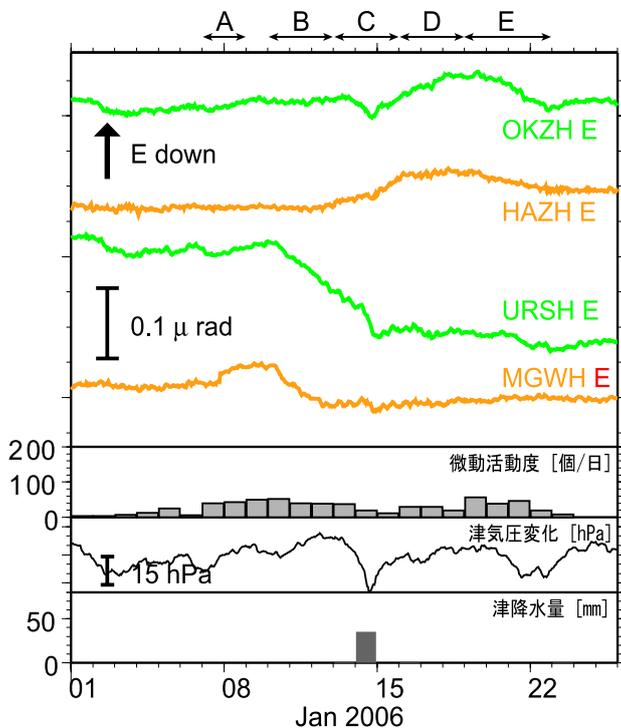
参考文献

- 1) 小原一成, 西南日本における深部低周波微動活動(2009年5月-11月), 本会報, 2010.
- 2) Obara, K., H. Hirose, F. Yamamizu, and K. Kasahara, Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 31 (23), doi:10.1029/2004GL020848, 2004.
- 3) Hirose, H. and K. Obara, Repeating short- and long-term slow slip events with deep tremor activity around the Bungo channel region, southwest Japan, *Earth Planets Space*, 57 (10), 961-972, 2005.
- 4) Ito, Y., K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine, and H. Hirose, Slow Earthquakes Coincident with Episodic Tremors and Slow Slip Events, *Science*, 315, 503-506, 2007.
- 5) Obara, K. and S. Sekine, Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan, *Earth Planets Space*, 61, 853-862, 2009.
- 6) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516, 1991.
- 7) Sekine, S. et al., Along-strike variations in short-term slow slip events in the southwest Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, in press.
- 8) 木村尚紀ほか, 西南日本における短期的スロースリップイベント(2008年11月-2009年4月), 連絡会報, 82, 392-397, 2009.



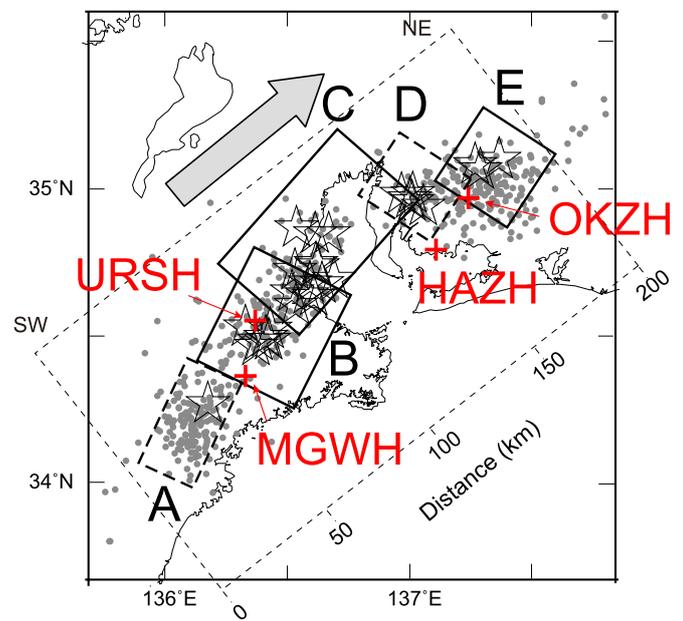
第1図 2009年5月1日から25日までの紀伊半島から愛知県にかけての観測点での傾斜時系列。観測点位置は第2図に示した。上方方向が東下がりである。BAYTAP-G[®]により気圧応答・潮汐成分を除去し、さらにリニアトレンドを補正した記録を示している。同地域の微動活動度、津での気圧変化および雨量をあわせて表示した。背景に2006年1月の活動の際の傾斜記録(第3図)を、開始時期をそろえて示した(緑・橙線)。

Fig. 1 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in the eastern Kii Peninsula and Aichi prefecture from May 1 to 25, 2009. 'N' and 'E' followed by a station code with four characters denote the northward and eastward ground down components, respectively. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Tsu meteorological observatory. Station locations are shown in Fig.2. The records are plotted after removing tidal components and atmospheric pressure response estimated by BAYTAP-G[®] and linear trend. Tiltmeter records in January 2006 (Fig. 3) are shown by thin green and orange lines.



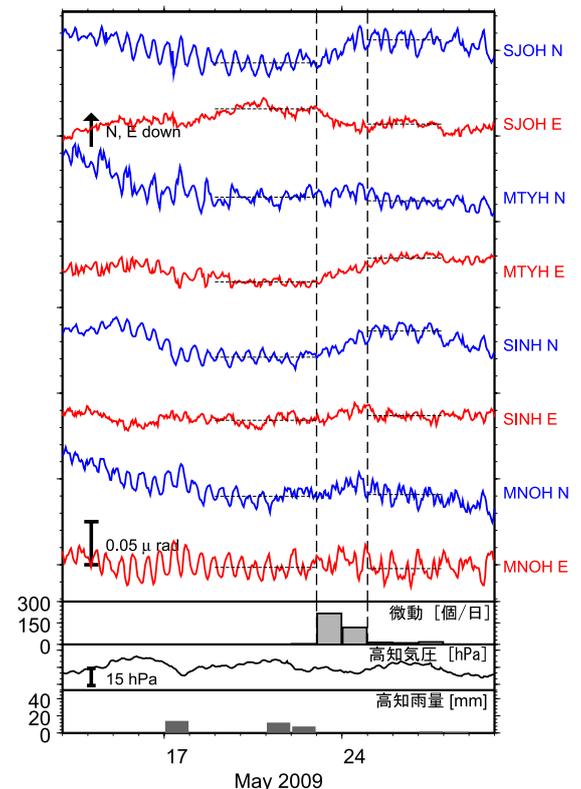
第3図 2006年1月1日から25日までの紀伊半島東部の観測点での傾斜時系列。図示方法は第1図と同様。観測点位置は第2図に示した。エピソードA-Eの期間を図上部に示した。同地域の微動活動度、津での気圧変化および雨量をあわせて表示した。

Fig. 3 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in the eastern Kii Peninsula from Jan 1 to 25, 2006. Plotting method is the same as Fig. 1. Station locations are shown in Fig.2. Periods of episodes A to E are shown at top. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Tsu meteorological observatory.



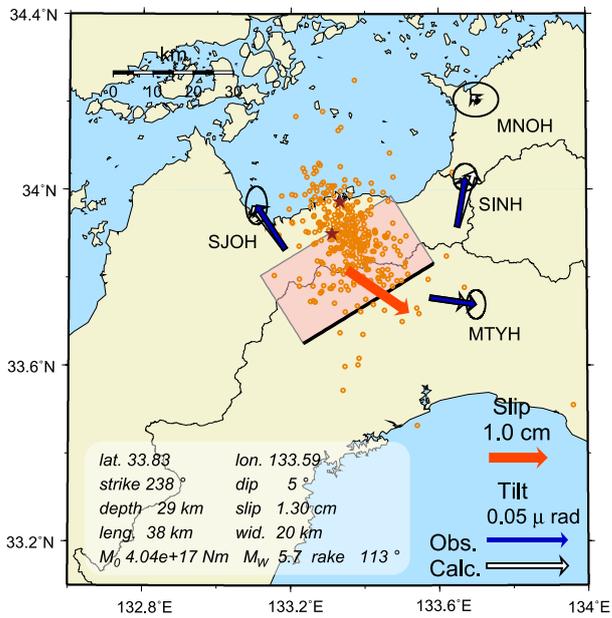
第2図 2006年1月の深部低周波微動(灰色点), 超低周波地震(VLFE)(星印), および短期的スロースリップイベント(SSE)の震央分布。Obara and Sekine (2009)⁵⁾の図を元に編集。+印は観測点位置を示す。

Fig. 2 Epicentral distributions of low-frequency tremors (gray dots), VLF events (stars), and short-term slow-slip events in January 2006 for periods A-E, modified after Obara and Sekine (2009)⁵⁾. Crosses denote observation stations.



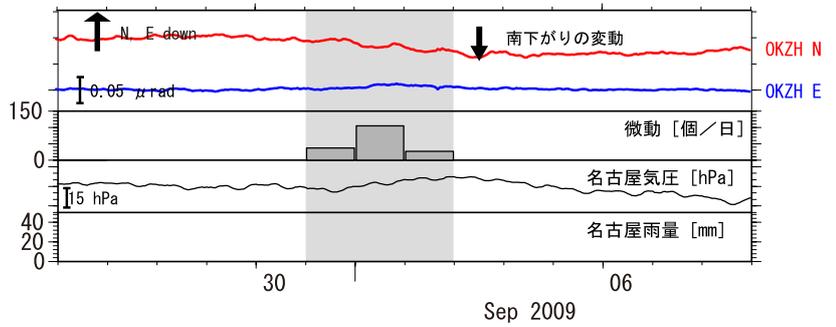
第4図 2009年5月13日から29日までの四国中部における傾斜時系列。図示方法は第1図と同様。観測点位置は第5図に示した。同地域の微動活動度、高知での気圧変化および雨量をあわせて表示した。

Fig. 4 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in the central Shikoku Island from May 13 to 29, 2009. Plotting method is the same as Fig. 1. Station locations are shown in Fig.5. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Kochi meteorological observatory.



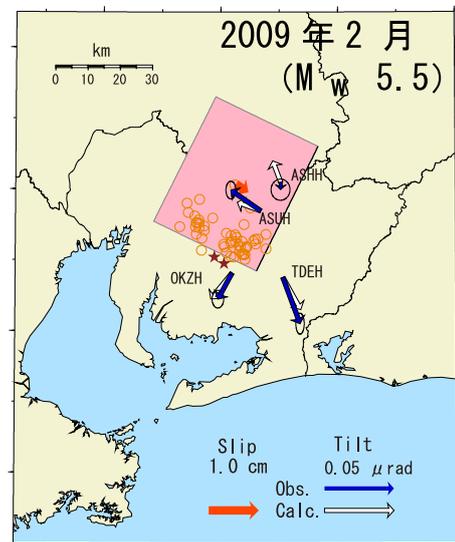
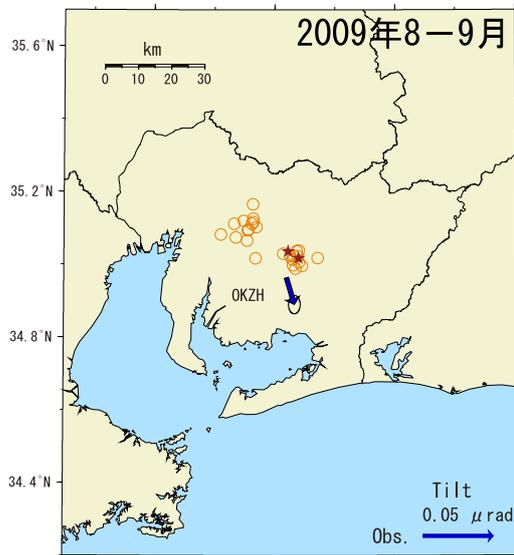
第5図 2009年5月四国中部 SSE の断層モデル。5月23日から24日の期間に観測された傾斜変化ベクトル(青矢印)・このデータから推定された SSE の断層モデル(赤矩形・矢印)・モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)を示す。同じ期間の微動の震央を橙点で、また VLFE の震央を星印で示した。

Fig. 5 Observed tilt change vectors from May 23 to 24, 2009 (blue arrows), the estimated fault slip (a red arrow) and rectangular fault location and geometry (a pink rectangle) based on the tilt change vectors, and the calculated tilt changes due to the fault model (open arrows) for the May 2009 SSE in the central Shikoku Island. Orange dots and stars show epicenters of the tremor activity and VLFEs occurred in this time period, respectively.



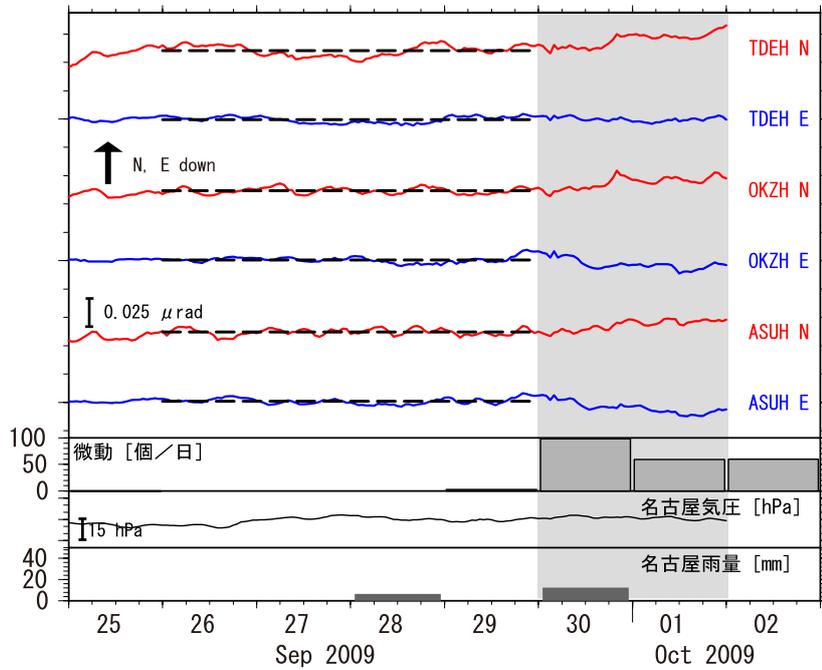
第6図 2009年8月26日から9月8日までの愛知県における傾斜時系列。図示方法は第1図と同様。同地域の微動活動度、名古屋での気圧変化および雨量をあわせて表示した。

Fig. 6 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in Aichi prefecture from August 26 to September 8, 2009. Plotting method is the same as Fig. 1. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Nagoya meteorological observatory.



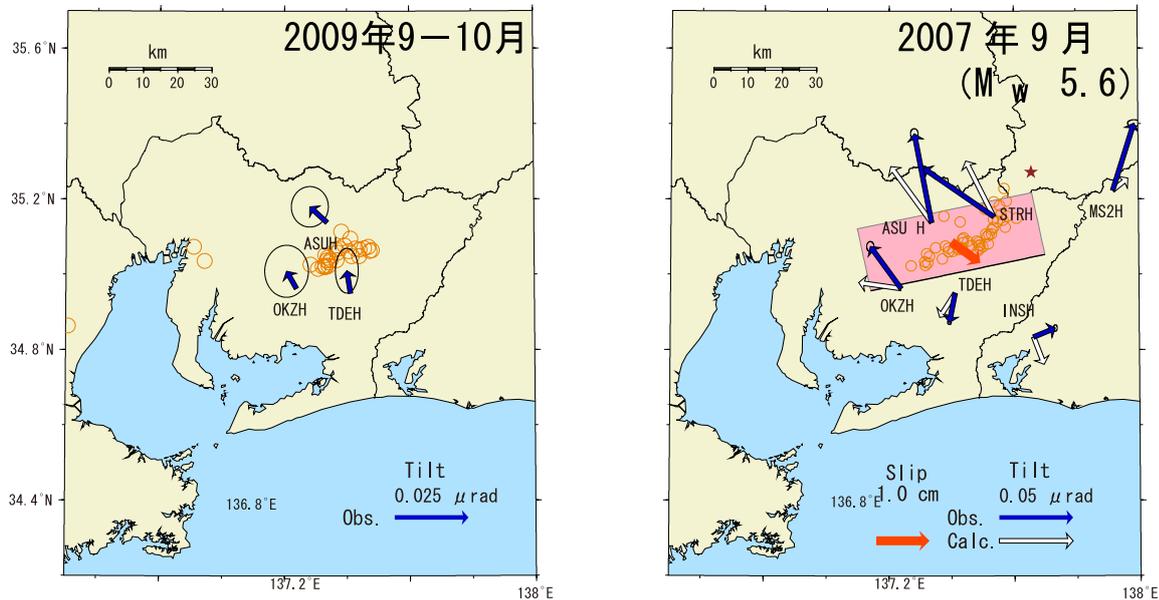
第7図 2009年8-9月の愛知県微動・VLFE活動に伴う傾斜変動(左図)。8月31日から9月2日の期間の傾斜変化ベクトルを示す(青矢印)。同じ期間の1時間ごとの微動エネルギーの重心位置の震央を橙丸で、また VLFE の震央を星印で示した。2009年2月の SSE 断層モデル再解析結果をあわせて示す(右図)。

Fig. 7 (Left) Observed tilt change vectors from August 31 to September 2, 2009 (blue arrow), in association with low frequency tremor and VLF earthquake activity in Aichi prefecture. Orange circles and stars show centroids of energy released by tremors per hour and epicenters of the VLFEs, which occurred in this time period, respectively. (right) The same as left panel, but with re-analyzed fault model for February 2009 SSE (a pink rectangle and a red arrow).



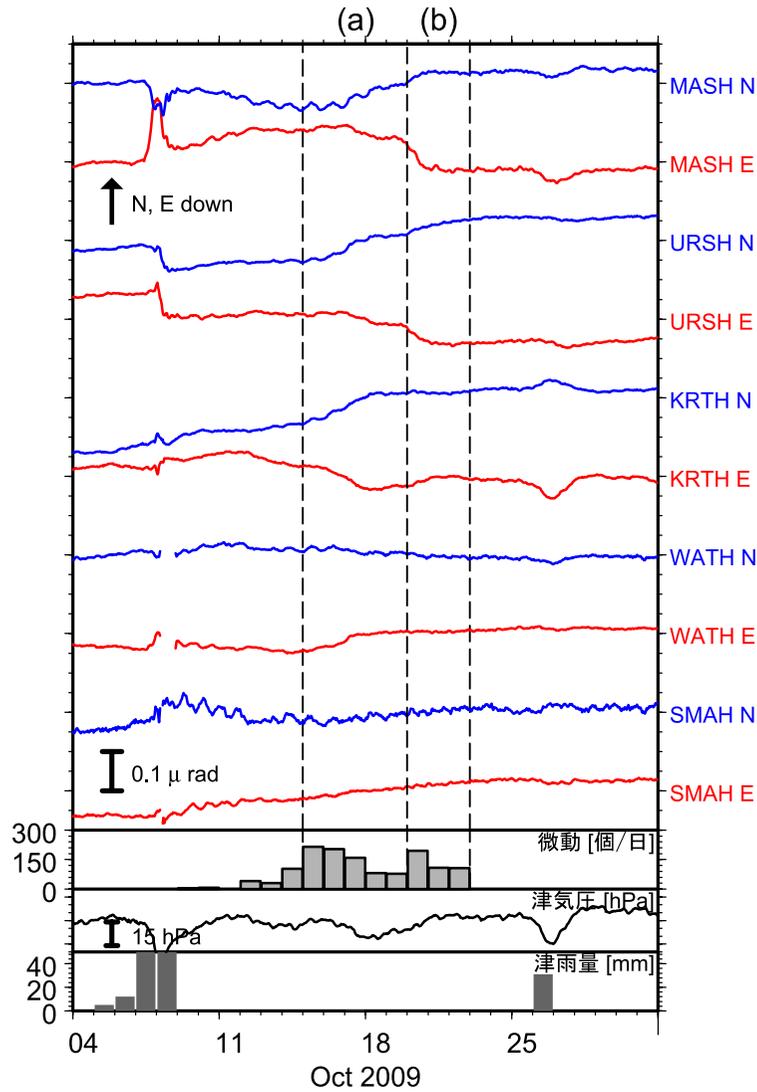
第 8 図 2009 年 9 月 25 日から 10 月 2 日までの愛知県における傾斜時系列. 図示方法は第 1 図と同様. 同地域の微動活動度, 名古屋での気圧変化および雨量をあわせて表示した.

Fig. 8 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in Aichi prefecture from September 25 to October 2, 2009. Plotting method is the same as Fig. 1. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Nagoya meteorological observatory.



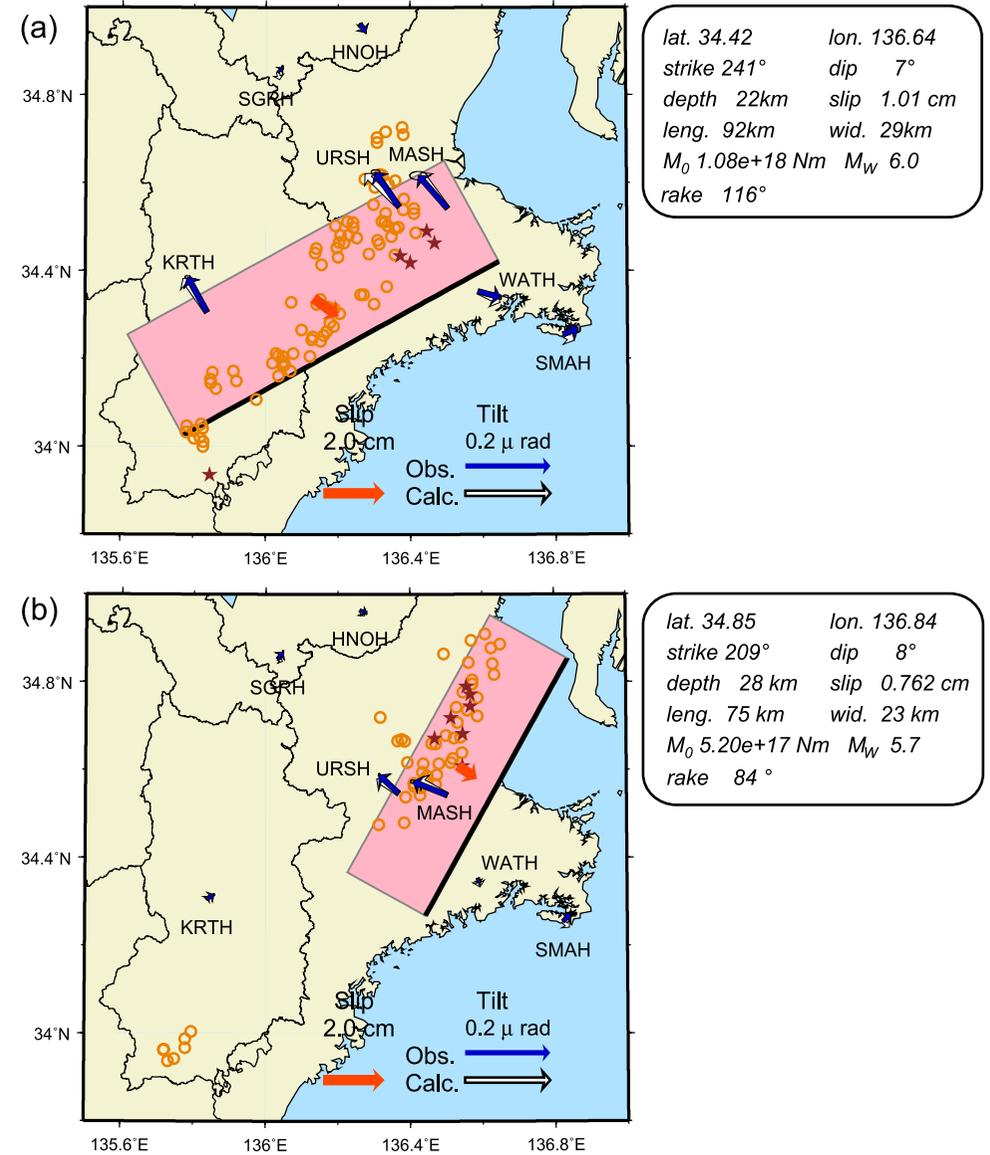
第 9 図 2009 年 9-10 月の愛知県微動・VLF 活動に伴う傾斜変動(左図). 9 月 30 日から 10 月 1 日の期間の傾斜変化ベクトルを示す(青矢印). 図示方法は第 7 図と同じ. 2007 年 9 月の SSE 断層モデルを合わせて示す(右図).

Fig. 9 (Left) Observed tilt change vectors from September 30 to October 1, 2009 (blue arrow), in association with low frequency tremor and VLF earthquake activity in Aichi prefecture. Plotting method is the same as Fig. 7. (right) Fault model for September 2007 SSE⁷⁾.



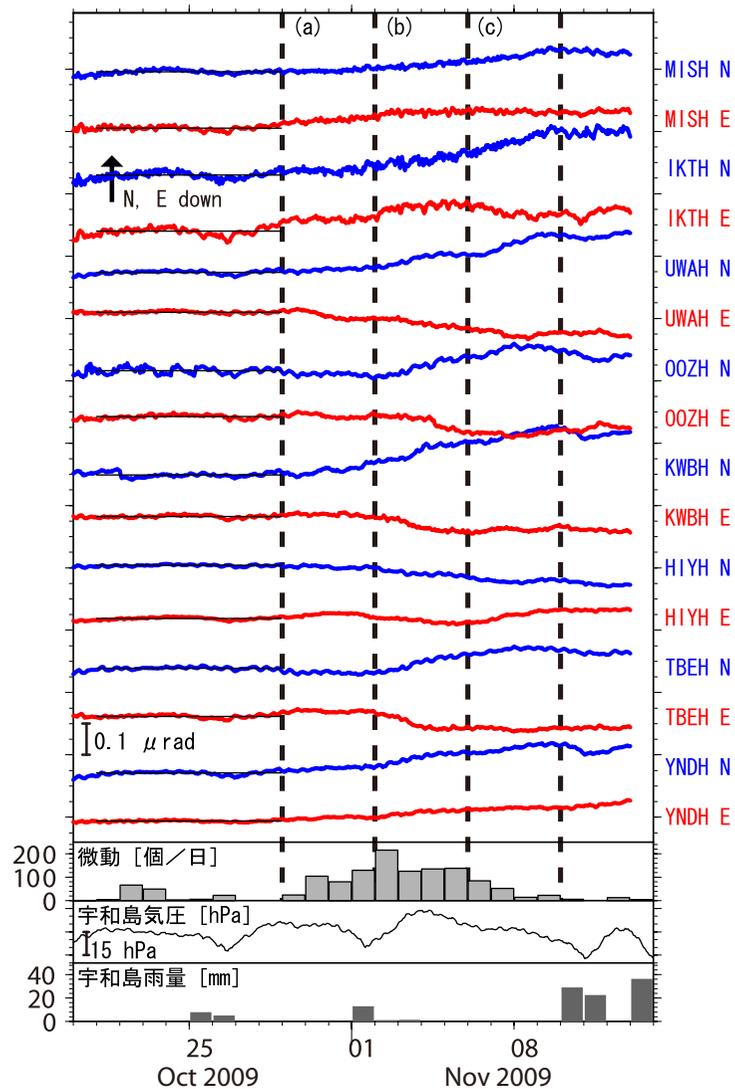
第10図 2009年10月4日から31日までの紀伊半島東部における傾斜時系列。図示方法は第1図と同様。期間(a)および(b)の傾斜変化ベクトルを第11図に示す。同地域の微動活動度、津での気圧変化および雨量をあわせて表示した。

Fig. 10 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in the eastern Kii Peninsula from October 4 to 31, 2009. Plotting method is the same as Fig. 1. Observed tilt change vectors for periods (a) and (b) are shown in Fig. 11. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Tsu meteorological observatory.



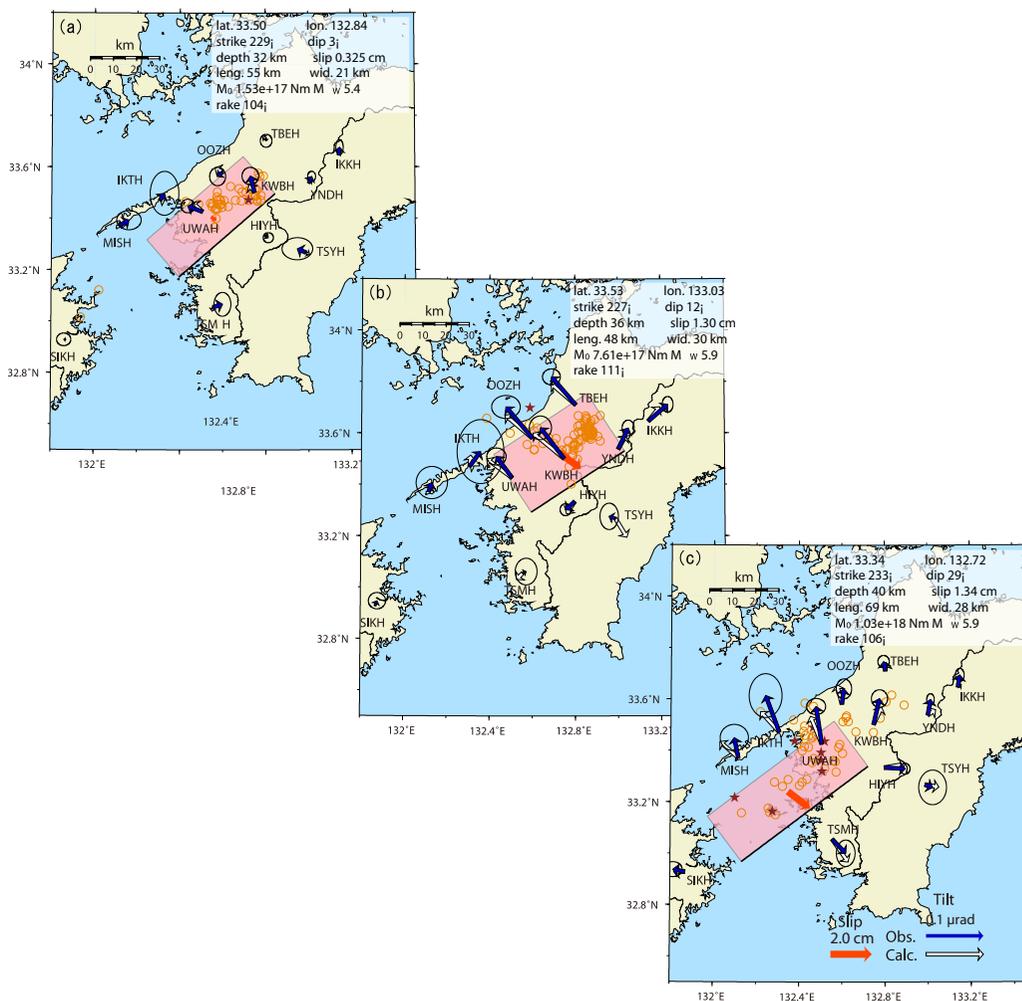
第11図 2009年10月紀伊半島東部のSSEの断層モデル。期間(a)・(b)(第10図)に観測された傾斜変化ベクトルを青矢印で示す。その他の図示方法は第7図と同じ。

Fig. 11 Fault models for October 2009 SSE in the eastern Kii Peninsula. Observed tilt change vectors for periods (a) and (b) in Fig. 10 are shown by blue arrows. Other nomenclatures are the same as Fig. 7.



第 12 図 2009 年 10 月 20 日から 11 月 13 日までの四国西部および九州東部における傾斜時系列。図示方法は第 1 図と同様。期間(a) - (c) の傾斜変化ベクトルを第 13 図に示す。同地域の微動活動度、宇和島での気圧変化および雨量をあわせて表示した。

Fig. 12 Time series of tiltmeter records, daily tremor counts of this episode, atmospheric pressure and precipitation in the western Shikoku Island and the eastern Kyushu from October 20 to November 13, 2009. Plotting method is the same as Fig. 1. Observed tilt change vectors for periods (a) to (c) are shown in Fig. 13. The atmospheric pressure and precipitation were observed at JMA Uwajima meteorological observatory.



第 13 図 2009 年 10 - 11 月四国西部の SSE の断層モデル。期間(a) - (c) (第 12 図)に観測された傾斜変化ベクトルを青矢印で示した。その他の図示方法は第 7 図と同じ。

Fig. 13 Fault models for October - November 2009 SSE in the western Shikoku Island. Observed tilt change vectors for periods (a) to (c) in Fig. 12 are shown by blue arrows. Other nomenclatures are the same as Fig. 7.