

6-2 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント(2012年11月～2013年4月)

Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from November 2012 to April 2013)

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST.
防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

歪・傾斜・地下水の変化から短期的SSEの断層モデルを推定したイベントについて、その解析結果を報告する。

2012年11月中旬～12月中旬にかけて、豊後水道～四国西部～四国中部において活発な深部低周波微動活動が観測された(第1図)。11月16～17日(期間A)には産総研の多成分歪1観測点で、同月26～30日(期間B)にかけては産総研の多成分歪1観測点および防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)1観測点で、12月1～3日(期間C)にかけては産総研の多成分歪2観測点および防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点で、同月9～11日(期間D)にかけては産総研の多成分歪2観測点、地下水(圧)1観測点および防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)8観測点において変化が観測された(第2図)。それぞれの期間に対して断層面の推定を行った結果を第3～6図に示す。推定されたMwは、それぞれ、5.3, 5.4, 5.9, 6.0であった。なお、期間A, Bについては、観測点数が少ないこと、気象の影響を受けている等により任意性が高いため、Mwを推定することを目的として断層の位置とサイズを微動域周辺に限定してモデルを推定した。

四国西部では、約6ヶ月前の2012年5月26日午後～6月2日午前にかけて四国西部でMw5.5～5.7(3期間に分割)、約3.5ヶ月前の同年9月4日～5日にかけて豊後水道においてMw5.6の短期的SSEが発生したと推定されている(第3～6図)。

2012年11月21日～26日にかけて、産総研の多成分歪3観測点および気象庁の他成分歪2観測点において変化が観測された(第8図)。気象庁による読み取り期間(全期間)である21～26日(期間A)と、変化速度が高い22～23日(期間B)の2期間について、観測結果から断層面の推定を行った結果を第9～10図に示す。推定されたMwは、それぞれ5.6および5.5であった。観測点が、断層面からやや離れた位置にしか存在しないため、断層面の大きさに関しては任意性がやや高いと考えられる。全期間を通じて、深部低周波微動は14個しか検出されておらず、活動は低調であった(第7図)。

この領域付近では、2012年10月2～4日に三重県中部～伊勢湾にかけてM5.7、同年10月31～11月2日および同月3～5日に愛知県中部においてMw5.5および5.7の短期的SSE(ETS)が発生したと推定されている。今回の主なすべり領域は、両者のすべり領域の間にあると推定される(第9～10図)。

2012年12月13日には、三重県中部においてやや活発な深部低周波微動活動が観測されたが、産総研の歪観測点では有意な変化は観測されなかった。各地点におけるノイズレベルを基に、微動域周辺に

おけるプレート境界すべりの検知能力を計算した結果によると、3観測点以上による検知の場合の検知下限はMw5.4程度、1観測点以上による検知の場合の下限はMw5.3程度である。仮に短期的SSEが微動域で発生していたと仮定すると、その規模は大きくてもMw5.3程度であると推定される。

2012年12月17～18日頃にかけて、奈良県東部～三重県中部付近において、やや活発な深部低周波微動活動が観測され(第11図)、産総研の多成分歪2観測点において変化が観測された(第12図)。これらの観測結果から断層面の推定を行った結果を第13図に示す。推定されたMwは5.3であった。変化が観測されたのが2観測点のみであることから、断層面の位置および大きさに関して、任意性が高いと考えられる。

奈良県東部～三重県中部では、125日前の8月12～14日午前にかけてMw5.7の短期的SSEが発生したと推定されている。

2013年3月8～11日頃にかけて、奈良県南部において、やや活発な深部低周波微動活動が観測され(第14図)、産総研の多成分歪3観測点において変化が観測された(第15図)。これらの観測結果から断層面の推定を行った結果を第16図に示す。推定されたMwは5.5であった。断層面に対して観測点の位置が南～南東方向のみに偏っていることから、断層面の位置および大きさに関して、任意性が高いと考えられる。

奈良県南部では、130日前の2012年10月27～29日午前にかけてMw5.5の短期的SSEが発生したと推定されている(第16図)。なお、Itaba and Ando [2011]によると、同領域の平均的な活動間隔は 120 ± 20 日である。

2013年3月21日午後～22日頃にかけて、豊後水道において、やや活発な深部低周波微動活動が観測され(第17図)、産総研の多成分歪1観測点および防災科研のHi-net高感度加速度計(傾斜)1観測点において変化が観測された(第18図)。微動域に近接するHi-net1観測点を加えて、断層面の推定を行った結果を第19図に示す。推定されたMwは5.4であった。規模が小さく、解析に使用できる観測点数が少ないことから、モデルの任意性は高いと考えられる。

豊後水道では、124日前の2012年11月16-17日にかけてMw5.3の短期的SSEが発生したと推定されている(第19図)。

2013年4月7～10日頃にかけて、三重県中部において、活発な深部低周波微動活動が観測され(第20図)、産総研の多成分歪5観測点、地下水1観測点(2井戸)、傾斜2観測点、気象庁の多成分歪計2観測点、体積歪1観測点および防災科研のHi-net高感度加速度計(傾斜)4観測点において変化が観測されたほか、引き続き14日昼頃にかけて、産総研の多成分歪3観測点、気象庁の多成分歪2観測点において変化が観測された(第21図)。激しい降雨および気圧低下の影響を勘案した上で期間を3つに分けて断層面の推定を行った結果を第22～24図に示す。推定されたMwは6.0, 5.7, 5.4であった。期間C(4月10～14日午前)については、断層面近傍には観測点が無いことから、断層面の大きさに関して任意性が高いと考えられる。

期間AおよびBにおいて短期的SSEが発生した領域(三重県中部～伊勢湾)においては、185日前の2012年10月2～4日にMw5.7の短期的SSEが、期間Cの領域(愛知県西部)においては、135日前の同年11月21-26日にMw5.6の短期的SSEが発生したと推定されている(第22～24図)。

解析方法

短期的SSEの断層面推定には、それぞれの観測点の水平歪4成分・体積歪・傾斜2成分・地下水圧の記録を用いる。地下水圧は、O1およびM2分潮の振幅をBAYTAP-G [Tamura et al., 1991]により計算し、GOTIC2 [Matsumoto et al., 2001]により推定した地球個体潮汐および海洋荷重潮汐(O1およびM2分潮)との振幅比を用いて、体積歪に変換する。歪・傾斜・地下水ともに、観測波形からBAYTAP-Gにより、気圧応答成分、潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除く。また、イベント直前の期間を用いて1次トレンドも取り除く。微動活動も参考にして、数時間～半日単位で活動開始・終了時期を判断し、その期間の変化量を短期的SSEによる変化量とする。その際、歪についてはMatsumoto et al. [2010]の手法で理論潮汐歪を用いてキャリブレーションを行っている。

断層面の推定は、計算時間の短縮と、推定された結果の一意性を確認するために2段階で行う。断層面推定は板場ほか[2012]の手法を用いた。フィリピン海プレート境界面上[弘瀬ほか, 2007]に多数の断層面を仮定してグリッドサーチにより推定する。仮定した断層面上のすべりによって各観測点で期待される歪変化の計算にはOkada [1992]のプログラムを用いる。1段階目には、断層面のサイズは固定(幅・長さ共に20km)、断層面の位置(0.1°間隔)およびすべり量(1～100mmの間で1mm間隔)のみ可変として広範囲で計算を行う。1段階目の結果を示す図では、それぞれの断層面において最適なすべり量を与えたときの、観測値と計算値(期待値)との残差分布を示している。これにより、短期的SSEが生じている可能性が高い領域を絞り込むとともに、推定された結果の任意性を確認することが出来る。2段階目には、1段階目で絞り込んだ領域(=残差が小さい領域)付近で、位置及びすべり量に加えて、断層面の長さを10～80km、幅を10～50km、それぞれ1km間隔で可変として計算を行なう。その結果、観測値との残差が最小となる断層面が1つ計算されるが、計算に使用している観測点数が少ない場合や、断層面と観測点配置の関係によっては任意性が高くなるので注意が必要である。なお、異種観測値を統合して解析するため、観測点ごとに残差をノイズレベルによって規格化している。ノイズレベルは、気圧応答、潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除いた後(微動活動が活発な期間および周辺の日雨量50mmを超える時期を除く)の24時間階差の 2σ とした。

深部低周波微動の検出・震源決定には、エンベロープ相関法を用いている。

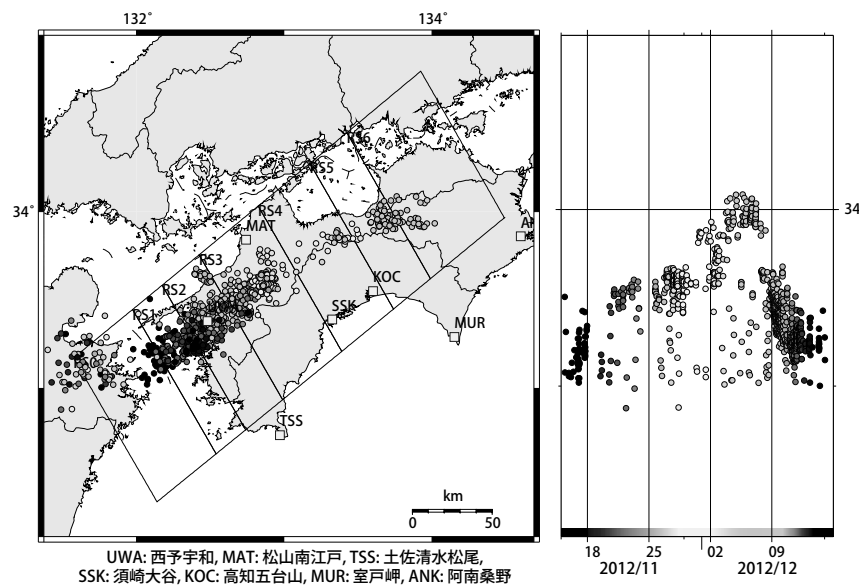
(板場智史・北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦)

謝辞

短期的SSEの断層モデル推定には、気象庁、静岡県の多成分歪計および体積歪計の記録を使用しました。気象庁の歪計データを解析する際には、気象庁によるキャリブレーション係数を使用しました。微動の解析には、気象庁、東京大学、京都大学、名古屋大学、高知大学、九州大学の地震波形記録を使用しました。低周波地震の震央位置表示には、気象庁の一元化カタログを使用しました。ここに記して感謝します。

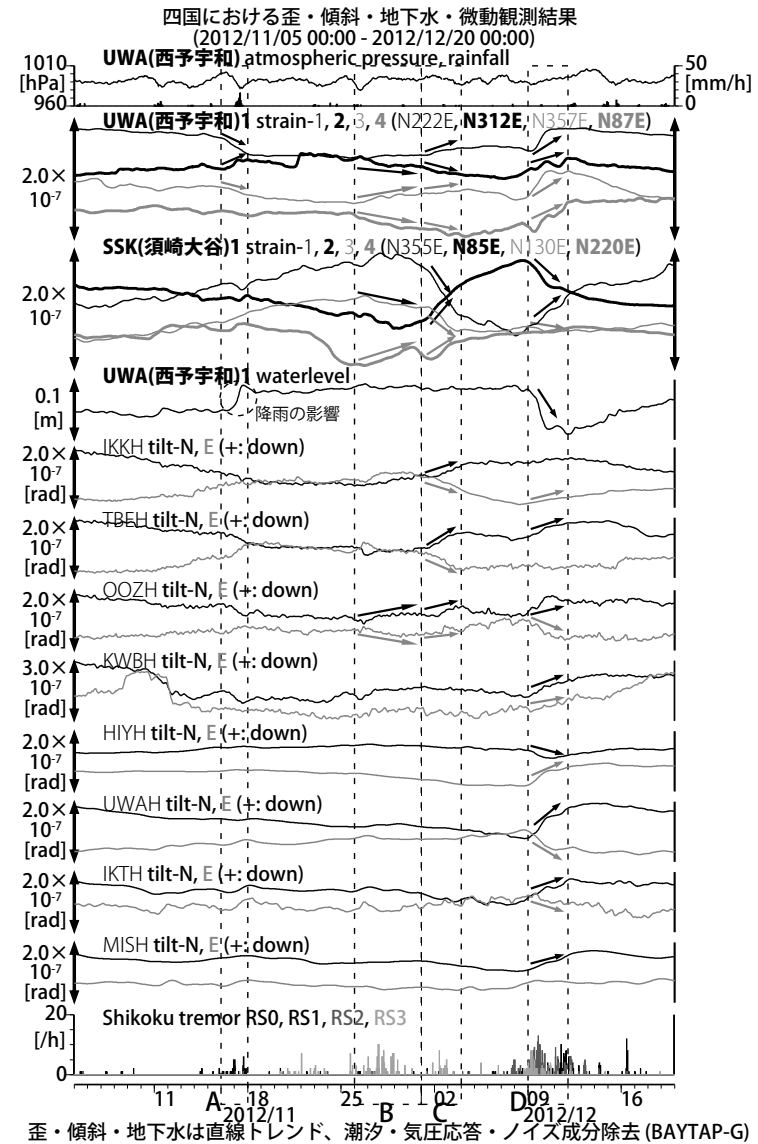
参考文献

- 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭 (2007), Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震*, **60**, 1-20.
- 板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 松澤孝紀, 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, *日本地球惑星連合2012年大会*, 千葉, 5月, 2012.
- Itaba, S., and R. Ando, A slow slip event triggered by teleseismic surface waves, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L21306, doi:10.1029/2011GL049593, 2011.
- Matsumoto, K., T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect, *J. Geod. Soc. Japan*, **47**, 243-248, 2001.
- Matsumoto, N., O. Kamigaichi, Y. Kitagawa, S. Itaba, and N. Koizumi (2010), In-situ Calibration of Borehole Strainmeter Using Green's Functions for Surface Point Load at a Depth of Deployment, *Eos, Trans. AGU*, Abstract G11A-0626.
- Okada, Y. (1992), Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro (1991), A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.



第1図 2012/11/15 0:00 - 12/10 0:00 における四国地方の深部低周波微動の時空間分布図。
エンベロープ相関法により決定。

Fig.1 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 November 15 to 0:00 December 10, 2012.

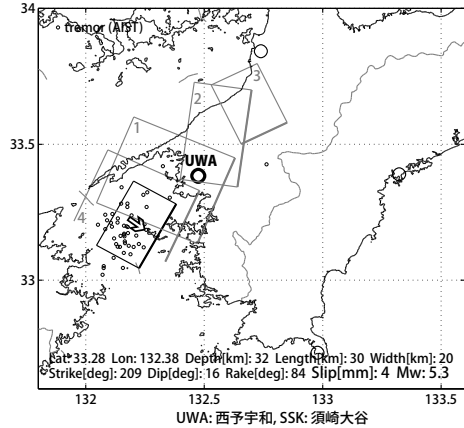
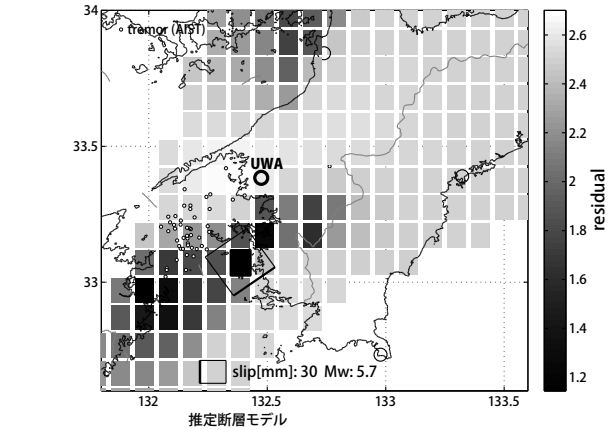


第2図 四国地方における歪・地下水・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数
(2012/11/5 0:00 - 2012/12/20 0:00).

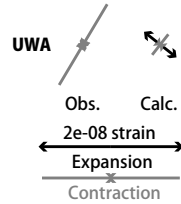
Fig.2 Observed strain changes, groundwater and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 November 5 to 0:00 December 20, 2012.

A: 2012/11/16-17

断層サイズを固定した場合の断層モデル、残差分布



多成分歪計 主歪比較

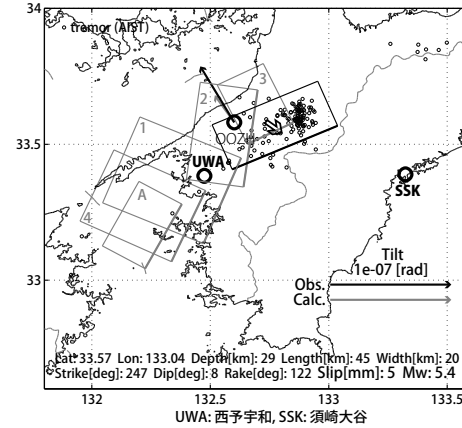
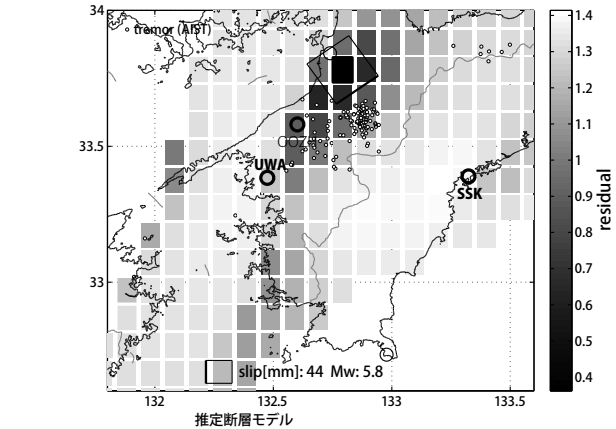


第3図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年5月26日午後-28日、2: 同29-30日、3: 同31日-6月2日午前、4: 9月4-5日。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の観測点名を示す。

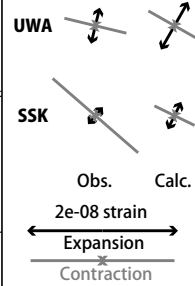
Fig.3 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated strain changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From May 26 (afternoon) to 28, 2012. 2: From 29 to 30. 3: From 31 to June 2 (forenoon). 4: From September 4 to 5. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold types show the code (name) of observation sites of AIST.

B: 2012/11/26-30

断層サイズを固定した場合の断層モデル、残差分布



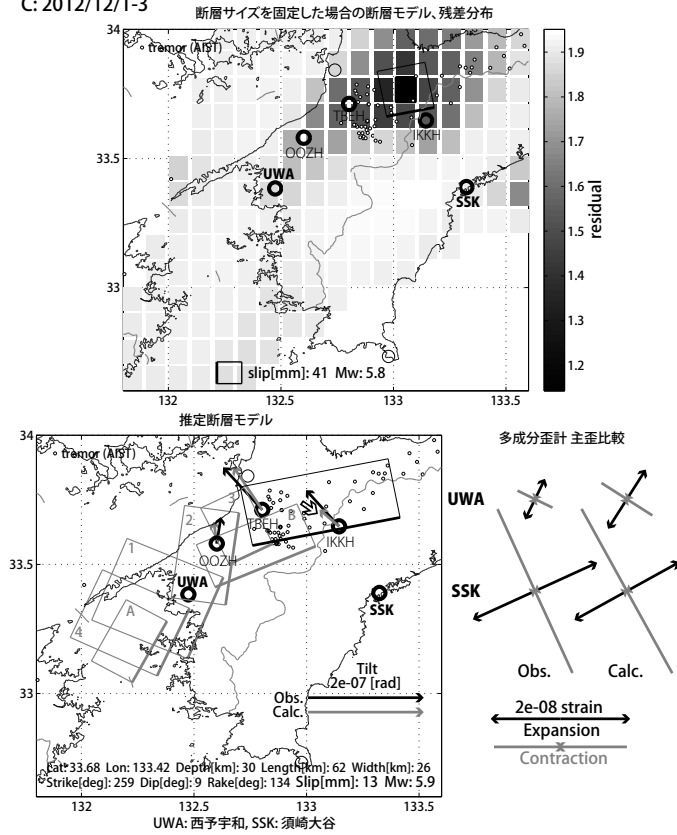
多成分歪計 主歪比較



第4図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年5月26日午後-28日、2: 同29-30日、3: 同31日-6月2日午前、4: 9月4-5日、A: 11月16-17日。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を示す。

Fig.4 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From May 26 (afternoon) to 28, 2012. 2: From 29 to 30. 3: From 31 to June 2 (forenoon). 4: From September 4 to 5. A: From November 16 to 17. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.

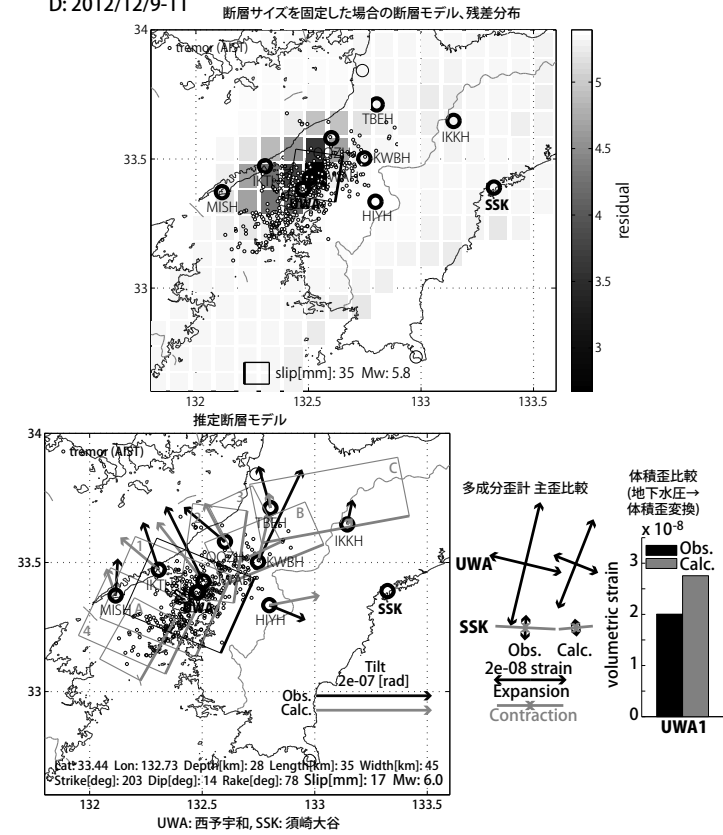
C: 2012/12/1-3



第5図 [上段] プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年5月26日午後-28日, 2: 同29-30日, 3: 同31日-6月2日午前, 4: 9月4-5日, A: 11月16-17日, B: 同26-30日。[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を示す。

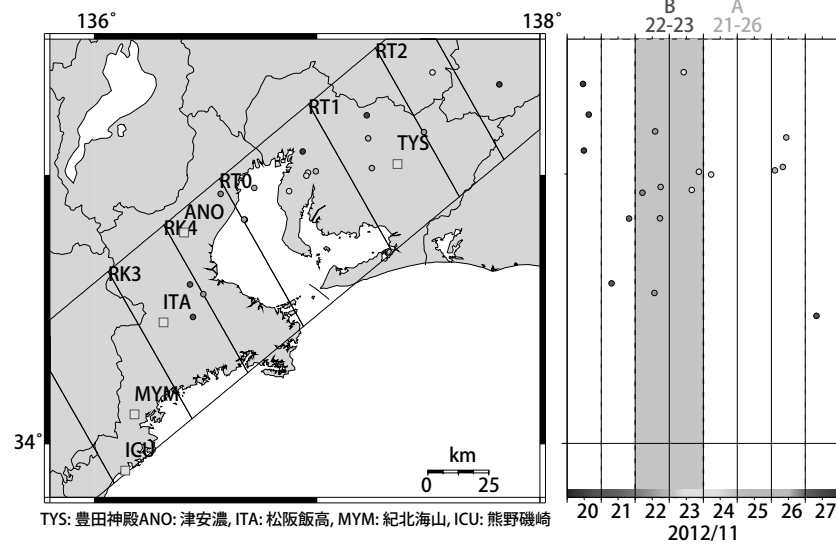
Fig.5 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From May 26 (afternoon) to 28, 2012. 2: From 29 to 30. 3: From 31 to June 2 (forenoon). 4: From September 4 to 5. A: From November 16 to 17. B: From 26 to 30. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.

D: 2012/12/9-11

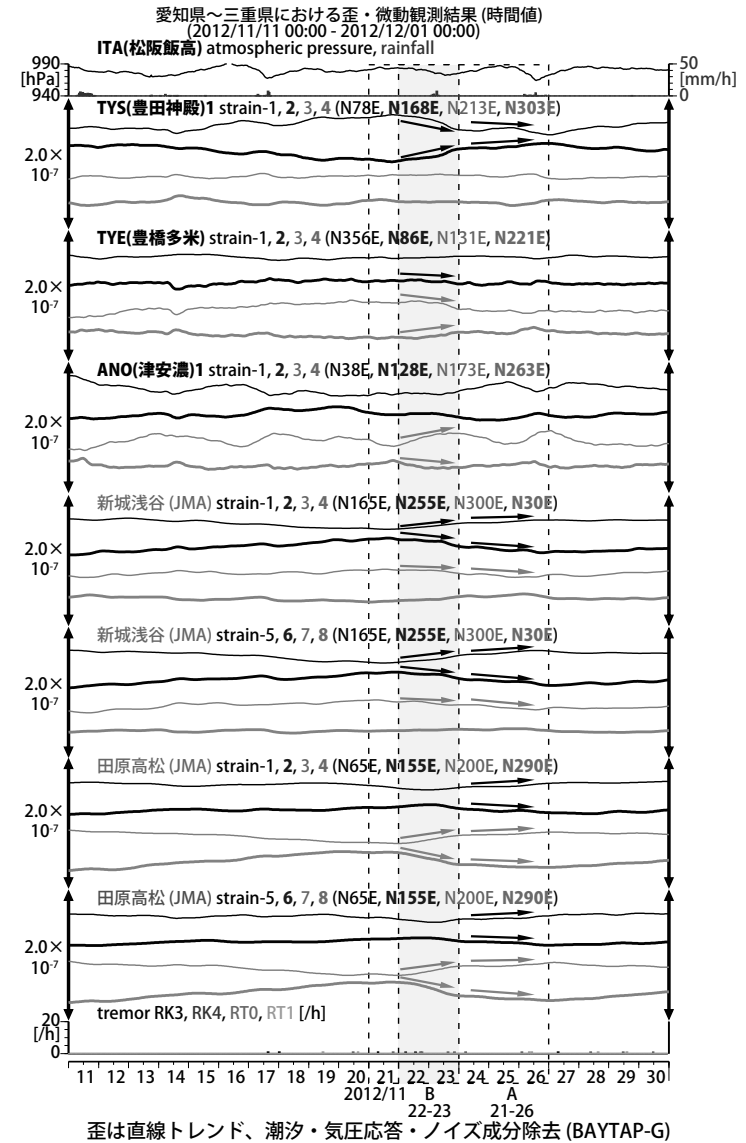


第6図 [上段] プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および地下水(体積歪に換算)の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年5月26日午後-28日, 2: 同29-30日, 3: 同31日-6月2日午前, 4: 9月4-5日, A: 11月16-17日, B: 同26-30日, C: 12月1-3日。[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を示す。

Fig.6 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain, tilt and groundwater changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain and groundwater (convert to volumetric strain) changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From May 26 (afternoon) to 28, 2012. 2: From 29 to 30. 3: From 31 to June 2 (forenoon). 4: From September 4 to 5. A: From November 16 to 17. B: From 26 to 30. C: From December 1 to 3. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.

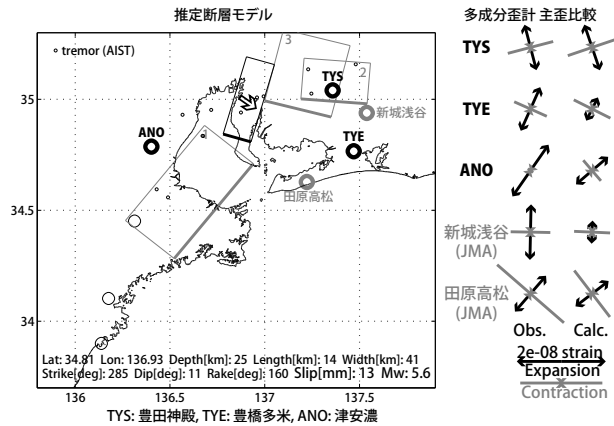
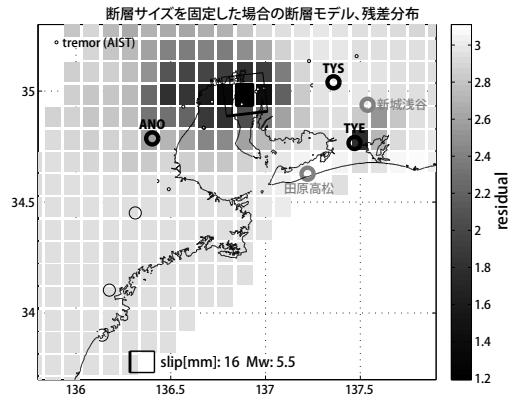


第7図 2011/11/20 0:00 - 11/27 0:00 における愛知・三重県の深部低周波微動の時空間分布図。
エンベロープ相関法により決定。
Fig.7 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in Aichi and Mie
Prefecture from 0:00 November 20 to 0:00 November 27, 2012.



第8図 愛知・三重県における歪観測結果および深部低周波微動発生個数
(2012/11/11 0:00 - 2012/12/1 0:00).
Fig.8 Observed strain changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors
in Aichi and Mie Prefecture from 0:00 November 11 to 0:00 December 1, 2012.

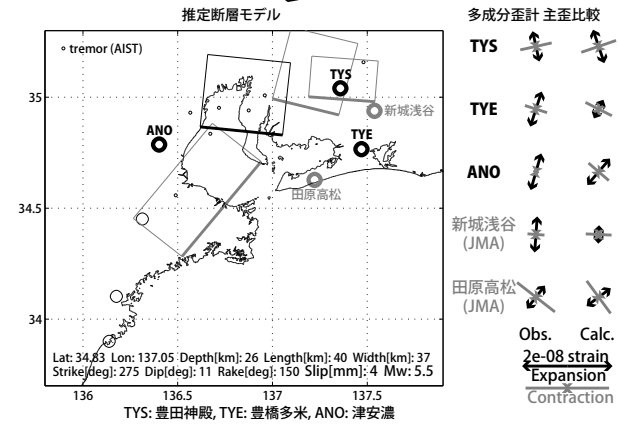
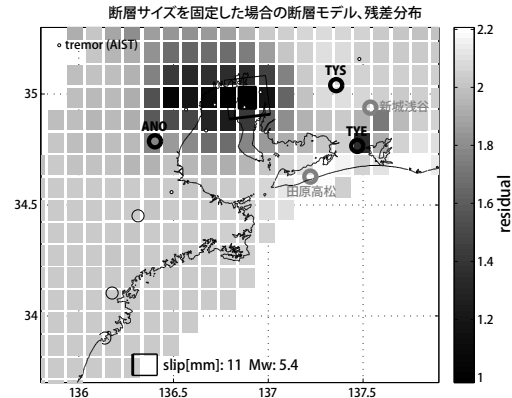
A: 11/21-26



第9図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月2-4日午前、2: 同10月31日-11月2日、3: 同3-5日。
[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。
黒色太字は産総研の、灰色は気象庁の観測点名を示す。

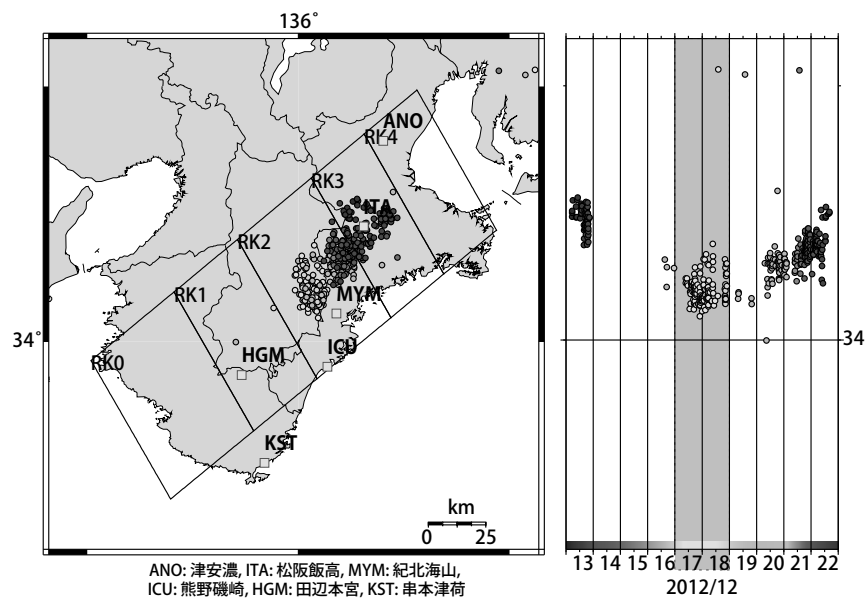
Fig.9 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 2 to 4 (forenoon), 2012. 2: From 31 to November 2. 3: From 3 to 5. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and gray types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.

B: 11/22-23



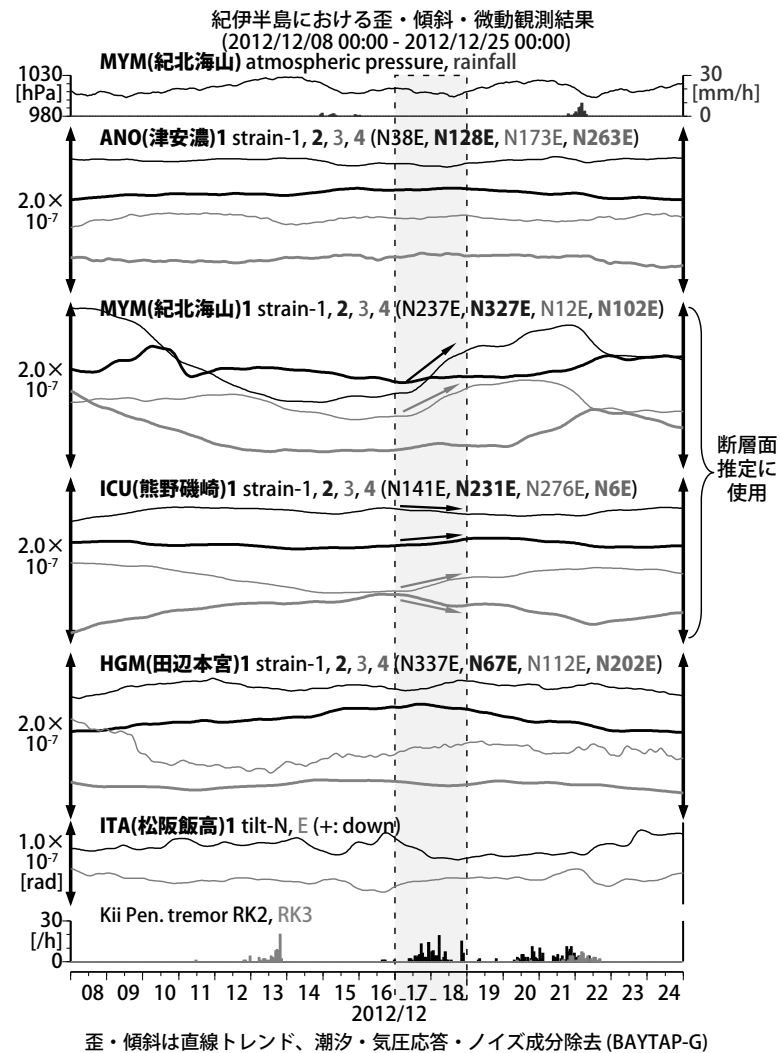
第10図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月2-4日午前、2: 同10月31日-11月2日、3: 同3-5日。
[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。
黒色太字は産総研の、灰色は気象庁の観測点名を示す。

Fig.10 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 2 to 4 (forenoon), 2012. 2: From 31 to November 2. 3: From 3 to 5. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and gray types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.



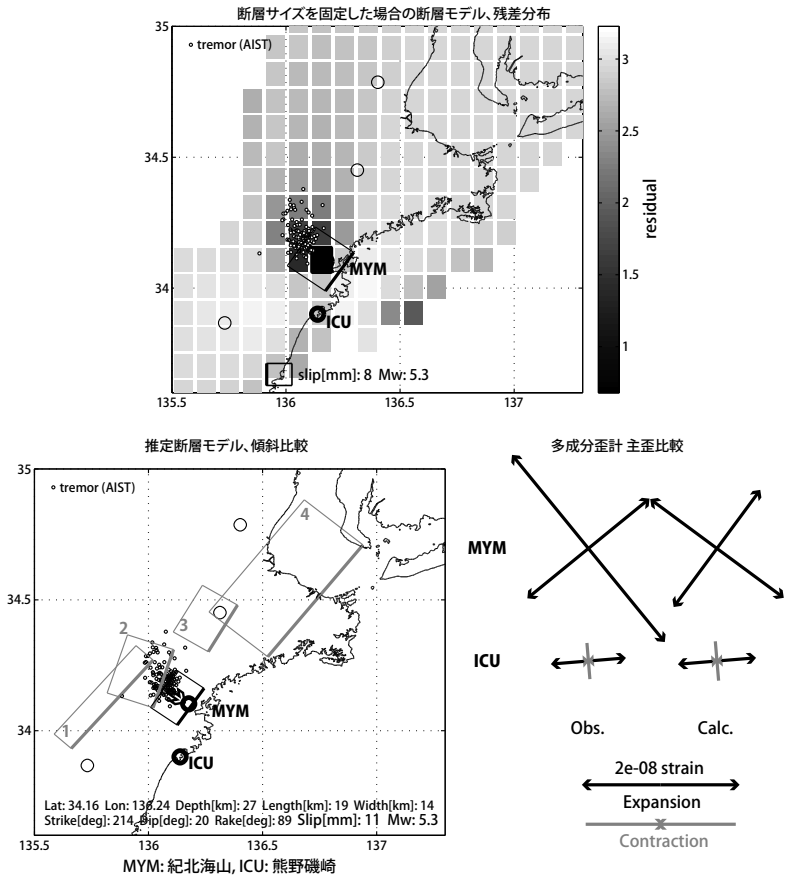
第 11 図 2012/12/13 0:00 - 12/23 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。
 エンベロープ相関法により決定。

Fig.11 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula
 from 0:00 December 13 to 0:00 December 23, 2012.



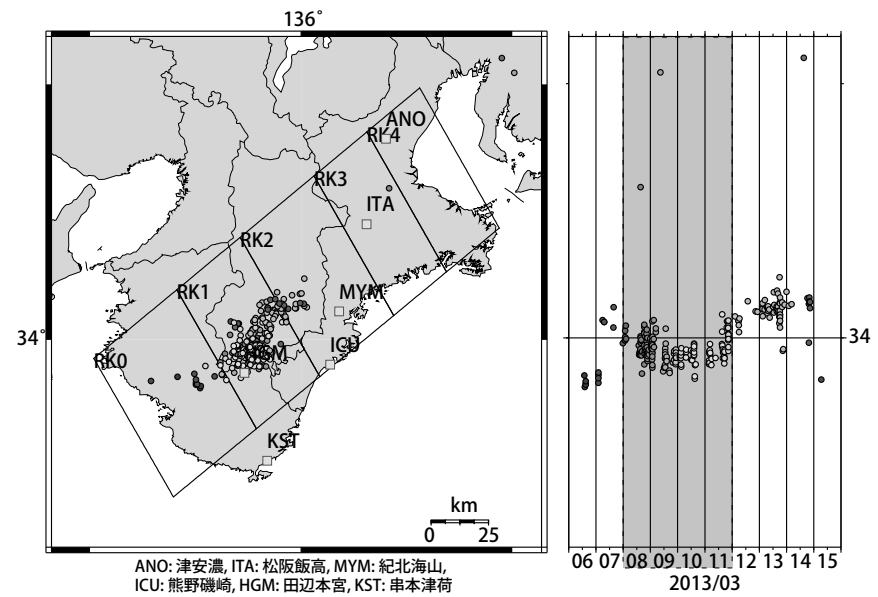
第 12 図 紀伊半島における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数
 (2012/12/8 0:00 - 2012/12/25 0:00).

Fig.12 Observed strain changes and tilts at the observation sites and number of deep low frequency
 tremors in the Kii Peninsula from 0:00 December 8 to 0:00 December 25, 2012.



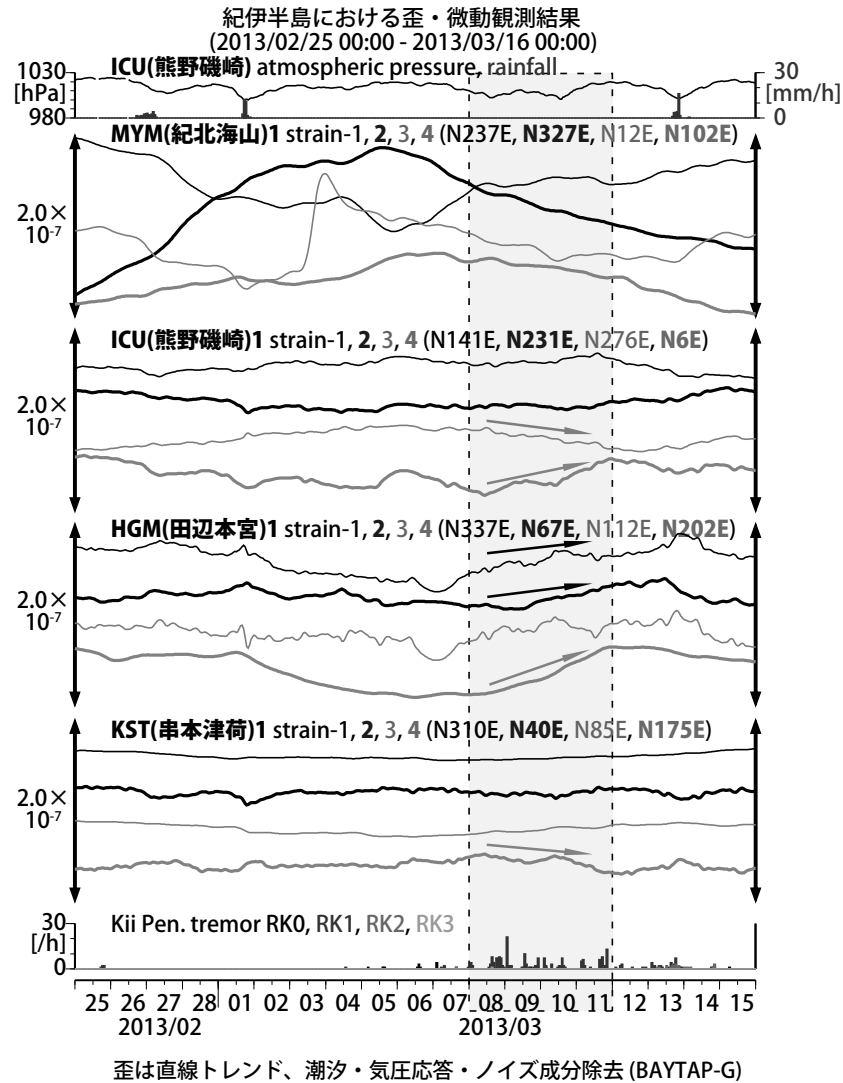
第 13 図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。1: 2012 年 6 月 8-11 日, 2: 同 12-14 日, 3: 8 月 12-14 日午前, 4: 10 月 2-4 日午前。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の観測点名を示す。

Fig.13 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From June 8 to 11, 2012. 2: From 12 to 14. 3: From August 12 to 14 (forenoon). 4: From October 2 to 4 (forenoon). [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold types show the code (name) of observation sites of AIST.



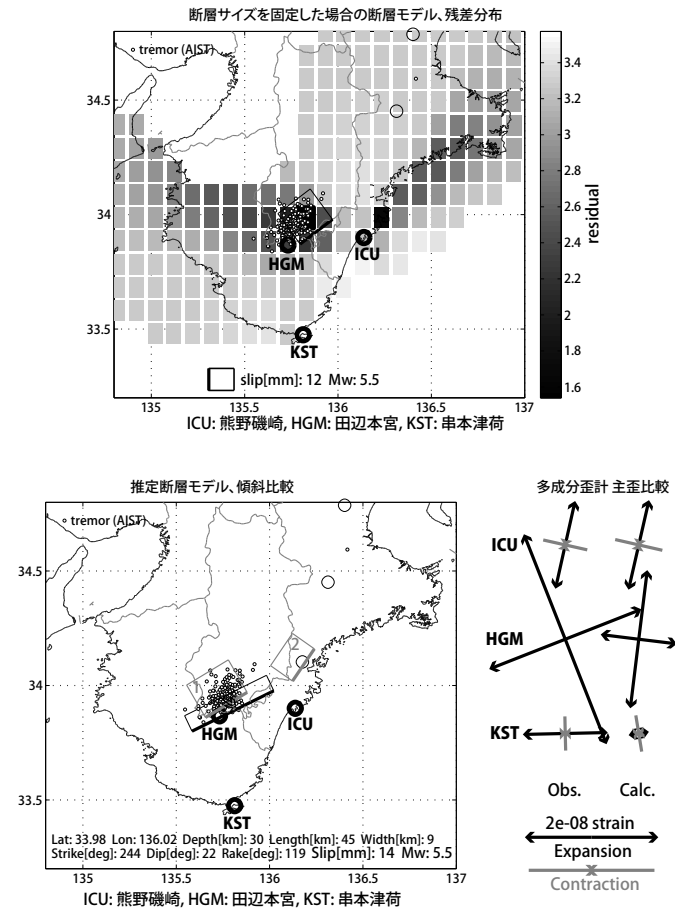
第 14 図 2013/3/6 0:00 - 3/16 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

Fig.14 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 0:00 March 6 to 0:00 March 16, 2013.



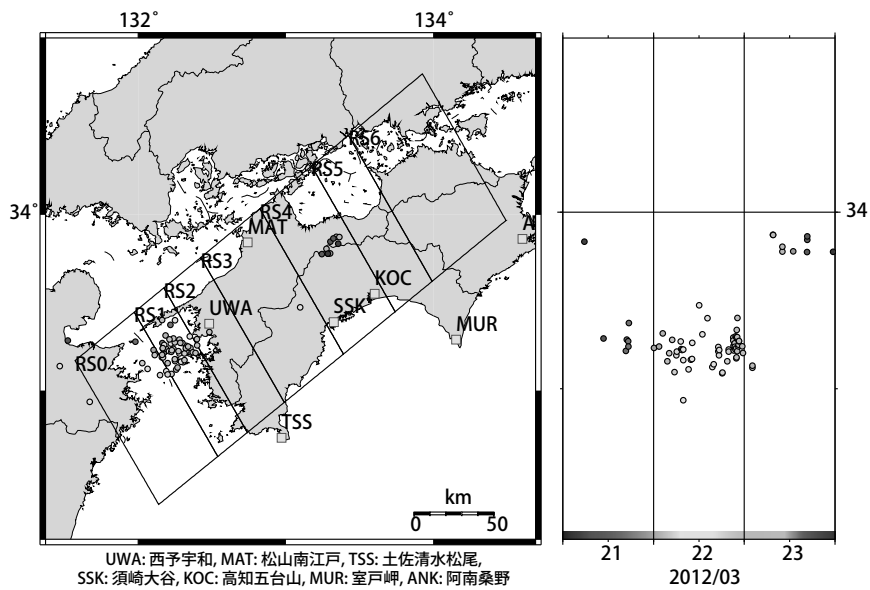
第15図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2013/2/25 0:00 - 2013/3/16 0:00).

Fig.15 Observed strain changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 February 25 to 0:00 March 16, 2013.

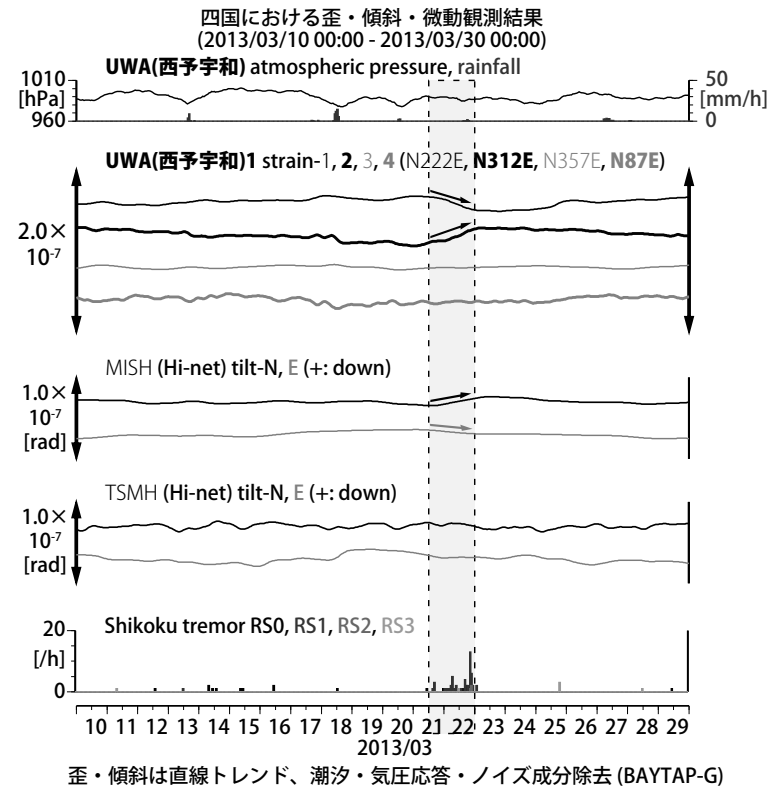


第16図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月27-29日午前(微動域に限定した断層面推定), 2: 同年12月17-18日。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の観測点名を示す。

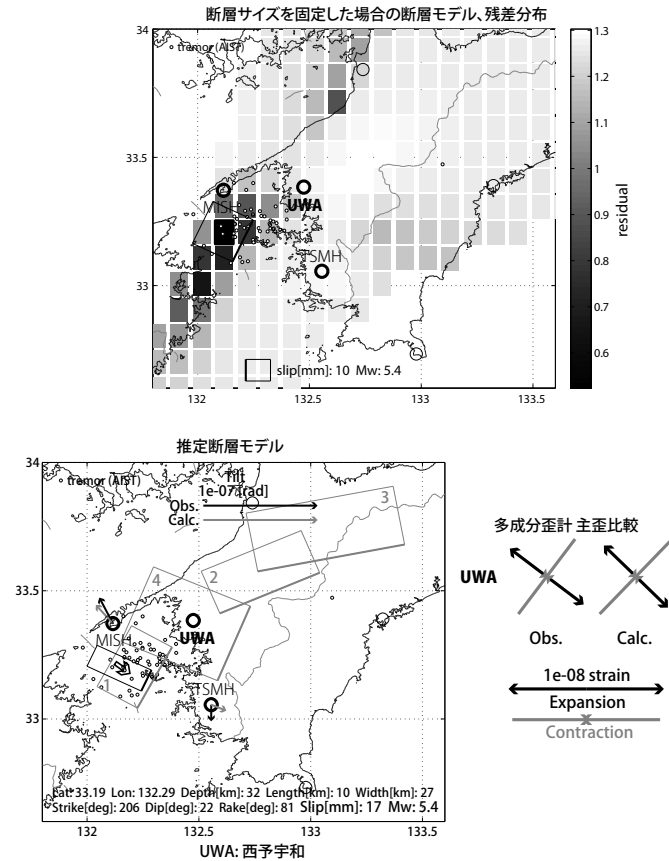
Fig.16 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 27 to 29 (forenoon), 2012. 2: From December 17 to 18. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIIST. Black bold types show the code (name) of observation sites of AIIST.



第17図 2013/3/21 0:00 - 3/24 0:00 における四国地方の深部低周波微動の時空間分布図。
エンベロープ相関法により決定。
Fig.17 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Shikoku district
from 0:00 March 21 to 0:00 March 14, 2013.

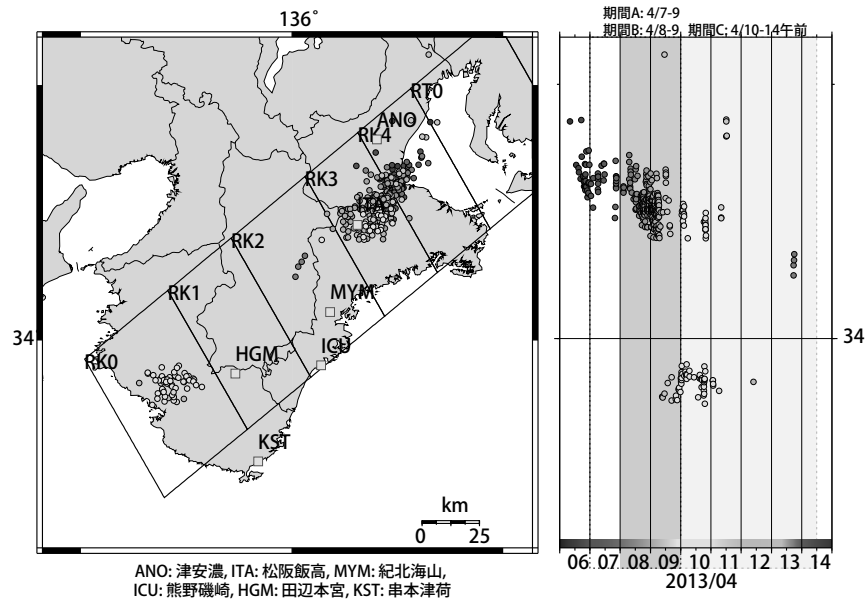


第18図 四国地方における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数
(2013/3/10 0:00 - 3/30 0:00)
Fig.18 Observed strain and tilt changes at the observation sites and number of deep low frequency
tremors in the Shikoku district from 0:00 March 10 to 0:00 March 30, 2013.



第 19 図 [上段] プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量, Mw を下部に示している。[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。1: 2012 年 11 月 16-17 日, 2: 同 26-30 日, 3: 12 月 1-3 日, 4: 同 9-11 日。
[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を示す。

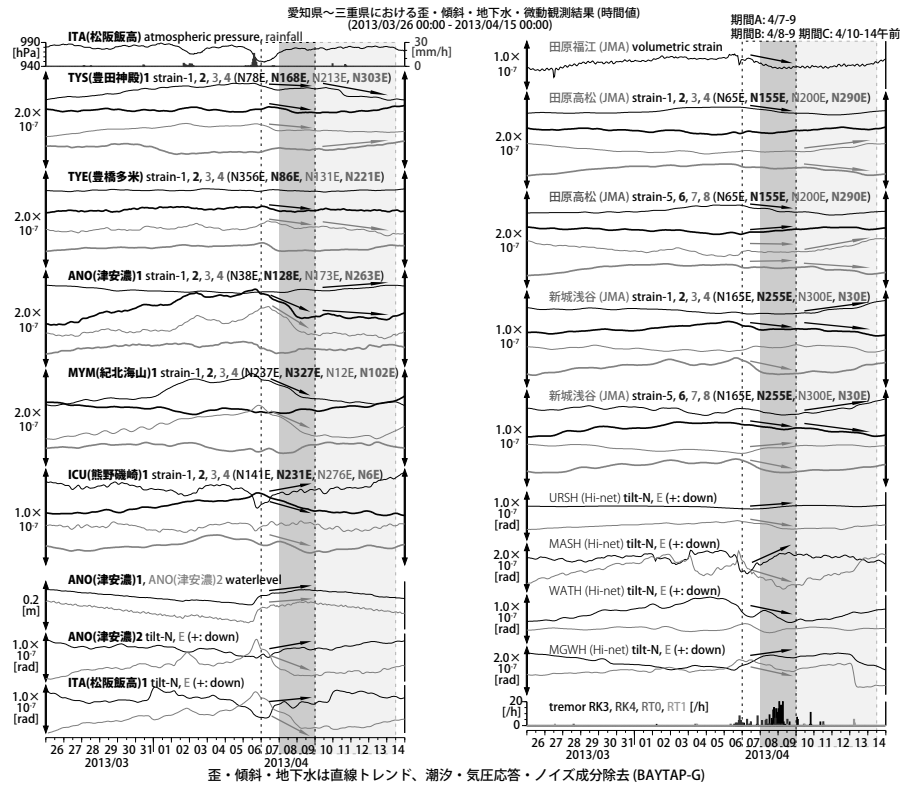
Fig.19 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From November 16 to 17, 2012. 2: From 26 to 30. 3: From December 1 to 3. 4: From 9 to 11. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



第 20 図 2013/4/6 0:00 - 4/13 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

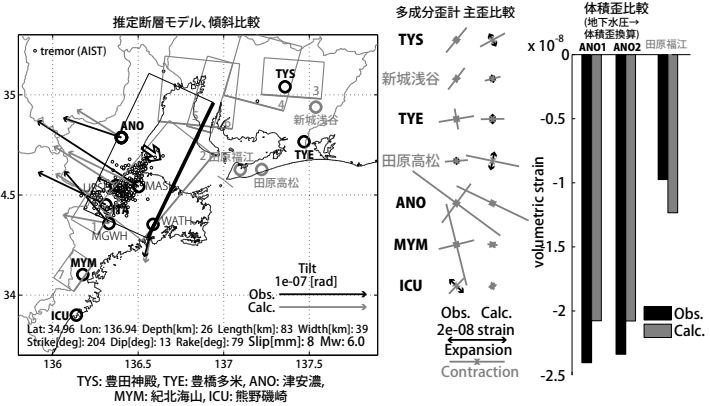
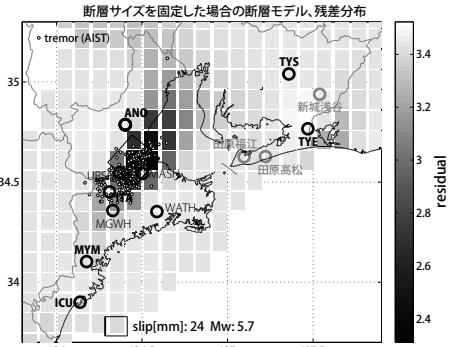
Fig.20 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 April 6 to 0:00 April 13, 2013.

A: 2013/4/7-9



第21図 愛知・三重県における歪・傾斜・地下水観測結果および深部低周波微動発生個数 (2013/3/26 00:00 - 4/15 00:00)

Fig.21 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 March 26 to 0:00 April 15, 2013.



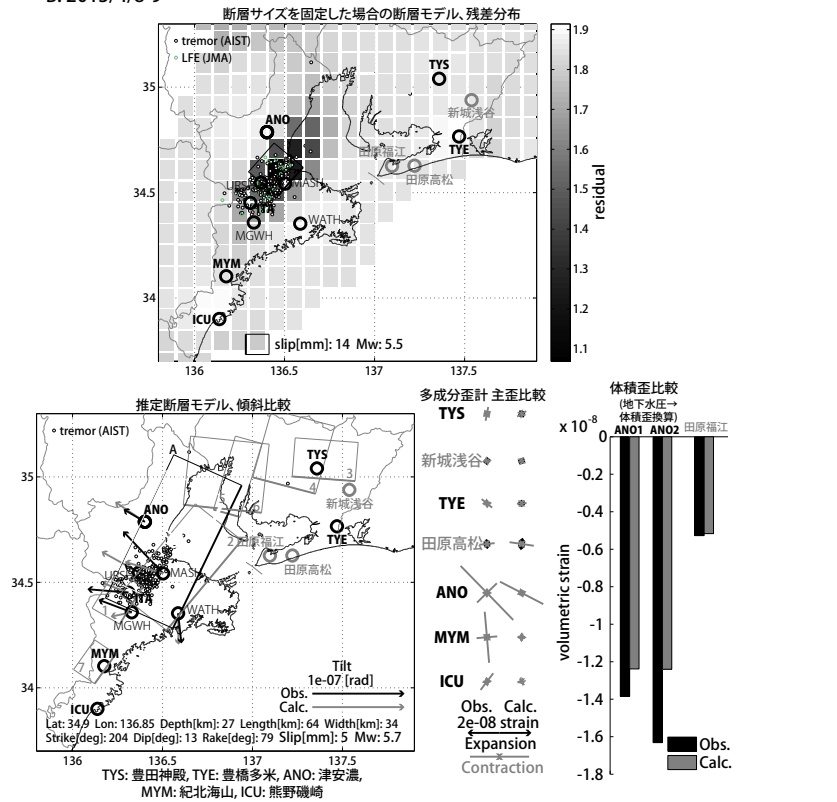
第22図 [上段] プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。

[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および地下水(体積歪に換算)の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。

1: 2012年8月12-14日午前, 2: 同年10月2-4日, 3: 同月31日-11月2日, 4: 同月3-5日, 5: 同月21-26日, 6: 同月22-23日, 7: 同年12月17-18日。[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の、灰色は気象庁の観測点名を示す。観測点を示す。

Fig.22 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain, tilt and groundwater changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain and groundwater (convert to volumetric strain) changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From August 12 to 14, 2012. 2: From October 2 to 4. 3: From 31 to November 2. 4: From 3 to 5. 5: From 21 to 26. 6: From 22 to 23. 7: From December 17 to 18. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold, black thin and gray types show the code (name) of observation sites of AIST, NIED Hi-net and JMA, respectively.

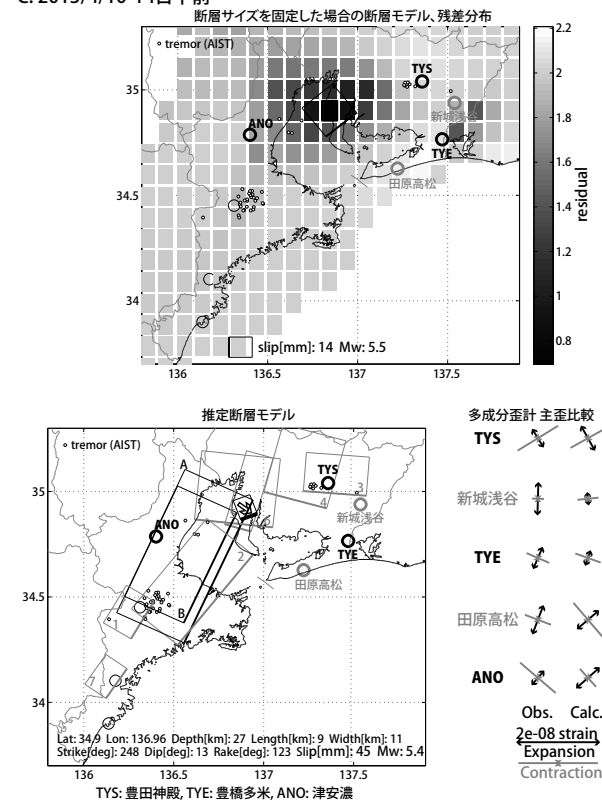
B: 2013/4/8-9



第 23 図 [上段] プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および地下水(体積歪に換算)の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。1: 2012 年 8 月 12-14 日午前, 2: 同年 10 月 2-4 日, 3: 同月 31 日-11 月 2 日, 4: 同月 3-5 日, 5: 同月 21-26 日, 6: 同月 22-23 日, 7: 同年 12 月 17-18 日。[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の、灰色は気象庁の観測点名を示す。観測点を示す。

Fig.23 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain, tilt and groundwater changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain and groundwater (convert to volumetric strain) changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From August 12 to 14, 2012. 2: From October 2 to 4. 3: From 31 to November 2. 4: From 3 to 5. 5: From 21 to 26. 6: From 22 to 23. 7: From December 17 to 18. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold, black thin and gray types show the code (name) of observation sites of AIST, NIED Hi-net and JMA, respectively.

C: 2013/4/10-14日午前



第 24 図 [上段] プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。[下段] 断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および地下水(体積歪に換算)の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。1: 2012 年 8 月 12-14 日午前, 2: 同年 10 月 2-4 日, 3: 同月 31 日-11 月 2 日, 4: 同月 3-5 日, 5: 同月 21-26 日, 6: 同月 22-23 日, 7: 同年 12 月 17-18 日, A: 2013 年 4 月 7-9 日, B: 同月 8-9 日。[共通] 小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の、黒色細字は防災科研 Hi-net の、灰色は気象庁の観測点名を示す。観測点を示す。

Fig.24 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain, tilt and groundwater changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal strain and groundwater (convert to volumetric strain) changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From August 12 to 14, 2012. 2: From October 2 to 4. 3: From 31 to November 2. 4: From 3 to 5. 5: From 21 to 26. 6: From 22 to 23. 7: From December 17 to 18. A: From April 7 to 9, 2013. B: From 8 to 9. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold, black thin and gray types show the code (name) of observation sites of AIST, NIED Hi-net and JMA, respectively.