

6-3 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5月～10月) Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from May to October 2012)

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。板場ほか[2012]では、多成分歪・体積歪・地下水・傾斜の統合解析による短期的SSE断層モデルの推定手法を開発した。今後、多成分歪計・体積歪系・地下水・傾斜計で有意な変化が観測されたイベントについては、統合解析の結果を報告する。断層モデル推定手法については、解析結果の後に示す。

2012年5月15日～16日午前にかけて、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1図)、同時期に産総研の多成分歪6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3観測点、体積歪1観測点および防災科学技術研究所(防災科研)のHi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点において変化が観測された(第2図)。また、17～22日にかけても、一部観測点で引き続き変化が観測された(第2図)。期間を3つにわけて断層面の推定を行った結果を第3～5図に示す。なお、MYMの水平歪3は、期間中にローカルな変位によると推定される異常な変化が認められるため、3成分のみを解析に使用した。3つの期間において推定されたMwはそれぞれ5.8, 5.7, 5.5であった。期間B, Cはすべり量が小さく、また、残差分布のコントラストが低く、モデルの任意性が高いと考えられる。

期間Aを含む領域では、31日前の2012年4月14～16日にかけてMw5.6の短期的SSEが発生したと推定されているが、微動・すべりの位置はあまり重なっていない(第3図)。また、2012年4月および5月(期間A)のすべり域では147日前の2011年12月19日～20日にMw5.5の短期的SSEが発生したと推定されている(第3図)。

2012年5月26日午後～6月2日午前にかけて、豊後水道～四国西部において活発な深部低周波微動活動が観測され(第6図)、同時期に産総研の多成分歪2観測点、地下水1観測点(2井戸)、防災科研Hi-netの高感度加速度計(傾斜)8観測点において変化が観測された(第7図)。微動の移動および歪・水位・傾斜の変曲点を参考に3つの期間に分けて断層面の推定を行った結果を第8～10図に示す。北東方向への微動の移動に対応して、すべり位置も移動していることが分かる。3つの期間において推定されたMwはそれぞれ5.7, 5.5, 5.6であった。

2012年6月8日午後～9日にかけて、奈良県南部において活発な深部低周波微動活動が観測され(第11図)、同時期に産総研の多成分歪3観測点、地下水1観測点において変化が観測された(第12図)。また、同13～14日午前にかけては奈良県東部で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観測点の一部成分で若干の変化が観測された(第12図)。2つの期間周辺について断層面の推定を行った結果を第13～14図に示す。なお、MYMの水平歪2は、期間Bの終盤以降にローカ

ルな変位によると推定される異常な変化が認められるため、同期間については同成分を除く3成分のみを解析に使用した。2つの期間において推定されたMwはそれぞれ5.7, 5.3であった。何れの期間も残差分布のコントラストが低く、モデルの任意性は高いと考えられる。奈良県南部では、221日前の2011年10月29～30日にかけてMw5.4の短期的SSEが発生したと推定されている。また、125日前の2012年1月30日～2月3日頃にかけて、小規模な微動活動が観測されているが、有意な歪変化は観測されていない。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。

2012年8月12日～14日午前にかけて、三重県中部～奈良県東部県境付近において活発な深部低周波微動活動が観測され(第15図)、同時期に産総研の多成分歪3観測点、傾斜2観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点において変化が観測された(第16図)。断層面の推定を行った結果を第17図に示す。推定されたMwは5.7であった。すべり面直上の観測点が少ないため、断層面の大きさに関しては任意性が高いと考えられる。

三重県中部では、89日前の5月15日～16日午前にかけて三重県中部～伊勢湾でMw5.8, 120日前の4月14日～16日にかけてMw5.6, 188日前の2月6日午後～11日にかけてMw5.7の短期的SSEが発生したと推定されている(第17図)。

2012年8月16日～18日(期間A)にかけて長野県南部で、19日～25日(期間B)にかけては愛知県北東部において活発な深部低周波微動活動が観測され(第18図)、期間Aでは産総研の多成分歪1観測点、気象庁の多成分歪6観測点で、期間Bでは産総研の多成分歪2観測点、気象庁の多成分歪7観測点において変化が観測された(第19図)。2つの期間について断層面の推定を行った結果を第20～21図に示す。なお、気象庁掛川富部観測点の水平歪1は、期間中にローカルな変位によると推定される異常な変化が、気象庁浜松春野観測点の水平歪1はノイズレベルが高いため、動成分を除く3成分のみを解析に使用した。2つの期間において推定されたMwはそれぞれ5.8, 5.9であった。期間Aに関しては、直前の降雨の影響が残っているため、誤差が大きいと考えられる。

長野県南部～愛知県北東部県境付近で活発な深部低周波微動活動が観測されたのは2010年11月以来である。

2012年9月4日～5日にかけて、豊後水道において活発な深部低周波微動活動が観測され(第22図)、産総研の多成分歪1観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点において変化が観測された(第23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24図に示す。推定されたMwは5.6であった。

この領域及び断層面に隣接する四国西部では、94日前の2012年5月26日～6月2日午前にかけて、Mw5.5～Mw5.7(3期間に分割)の短期的SSEが発生したと推定されている。

2012年10月2日頃～4日午前にかけて、三重県中部付近において活発な深部低周波微動活動が観測され(第25図)、産総研の多成分歪3観測点および傾斜1観測点、気象庁の多成分歪計2観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点において変化が観測された(第26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27図に示す。9月30日頃に降った大雨の影響をなるべく避けるため、解析の開始日を、10月2日とした。終了日は、微動を参考に4日12時までとした。推定されたMwは5.7であった。大雨の影響も含まれ、断層面の位置および大きさに関しては任意性が高いと考えられる。

断層面に隣接する奈良県東部～三重県中部付近では、48日前の8月12日～14日午前にかけて、短期的SSEが発生したと推定されている(第27図)。

三重県中部では、138日前の5月15日～16日午前にかけて三重県中部～伊勢湾でMw5.8の短期的SSEが発生したと推定されている。

2012年10月27日～29日午前にかけて、奈良県南部において活発な深部低周波微動活動が観測され(第28図)、同時期に産総研の多成分歪1観測点において変化が観測された(第29図)。Mwを把握することを目的に観測結果から断層面の推定を行った結果を第30図に示す。推定されたMwは5.5であった。最終解については、断層の位置・大きさを微動域に限定している。

奈良県南部では、140日前の2012年6月8日午後～9日にかけてMw5.6の短期的SSEが発生したと推定されている。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。

2012年10月31日～11月5日にかけて、愛知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31図)、産総研の多成分歪2観測点、気象庁の多成分歪計5観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)5観測点において変化が観測された(第32図)。微動の時空間分布および歪・傾斜変化から期間を期間A(10月31日～11月2日)と期間B(11月3日～5日)の2つに分けて、断層面の推定を行った結果を第33～34図に示す。推定されたMwは期間Aで5.5、期間BでMw5.7であった。断層面に隣接する長野県南部～愛知県北東部では、63日前の2012年8月16日～25日にかけて、Mw5.8およびMw5.9の短期的SSEが発生したと推定されている(第33～34図)。

愛知県中部では、217日前の3月23日午後～28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。この領域における2008年5月以降の7回(今回を除く)の活動の発生間隔は198～266日間である。

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・地下水圧・傾斜2成分の記録を用いる。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・地下水・傾斜ともに、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。

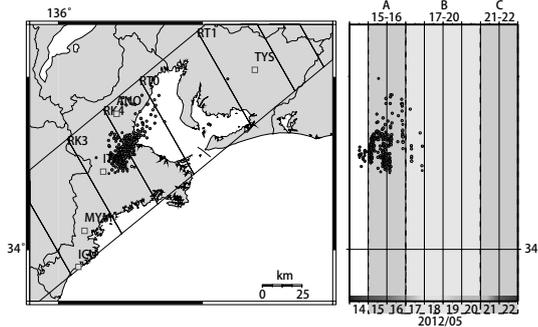
謝辞

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。

(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)

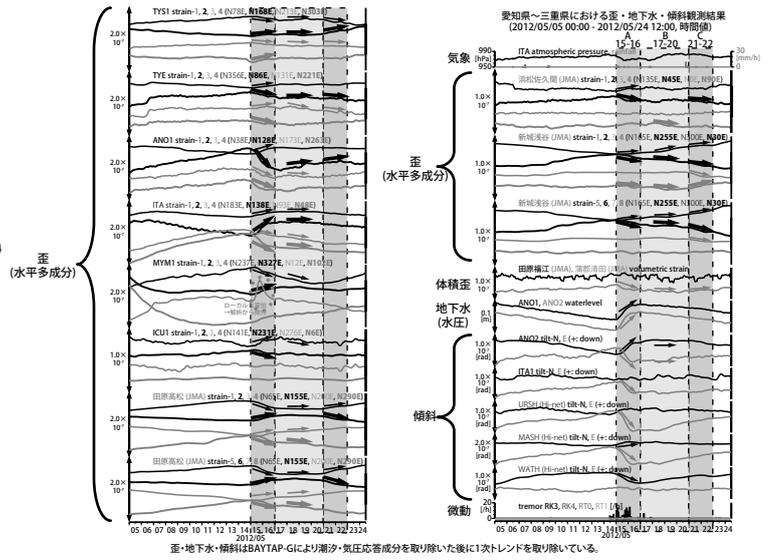
参考文献

- 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 2012/5/14 0:00 - 5/23 0:00 における愛知県〜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。

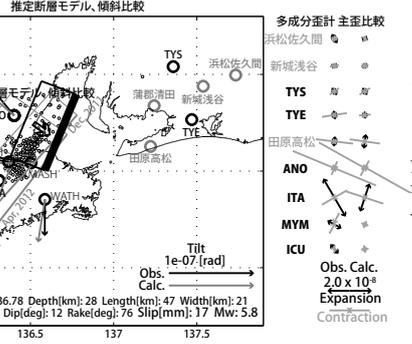
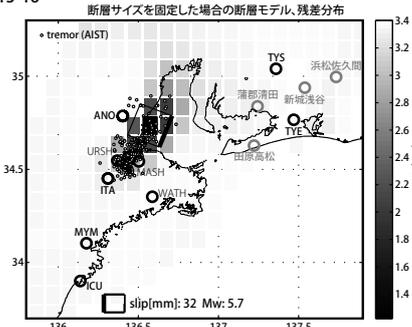
Fig.1 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in Aichi and Mie Prefecture from 0:00 May 14 to 0:00 May 23, 2011.



第2図 愛知県〜三重県における歪・地下水・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2012/5/5 0:00 - 2012/5/24 12:00)

Fig.2 Observed strains, groundwater and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in Aichi and Mie Prefecture from 0:00 May 5 to 12:00 May 24, 2011.

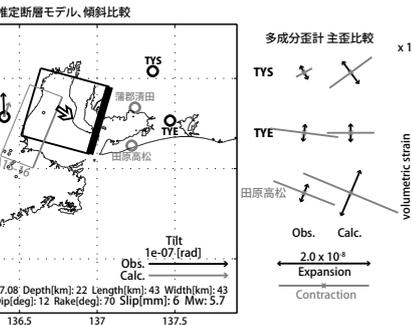
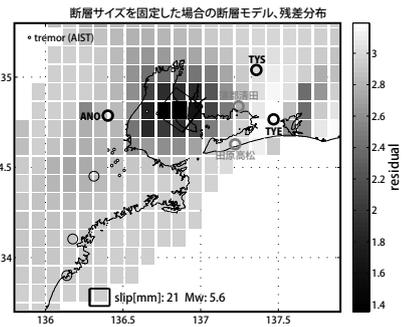
A: 2012/5/15-16



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・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。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が狭くコントラストも高いため、任意性が低いと考えられる。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。灰色の矩形は、2012年2月の奈良県東部〜三重県中部、2011年12月の三重県中部、2012年4月に今回のイベントよりやや南東側で発生した短期的SSEの推定断層モデルを示す。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、体積歪 (地下水圧は体積歪変換) の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。[共通] 小さい青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、灰色は気象庁の観測点名を示す。

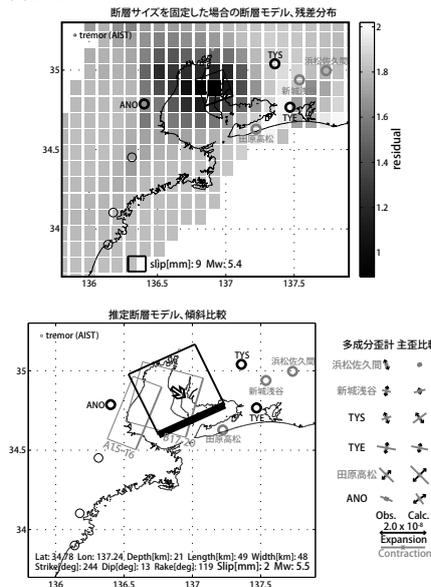
Fig.3 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). Gray rectangles show estimated fault model of December 2011 and April 2012. The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal and volumetric strain changes are shown right, respectively. [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: 2012/5/17-20



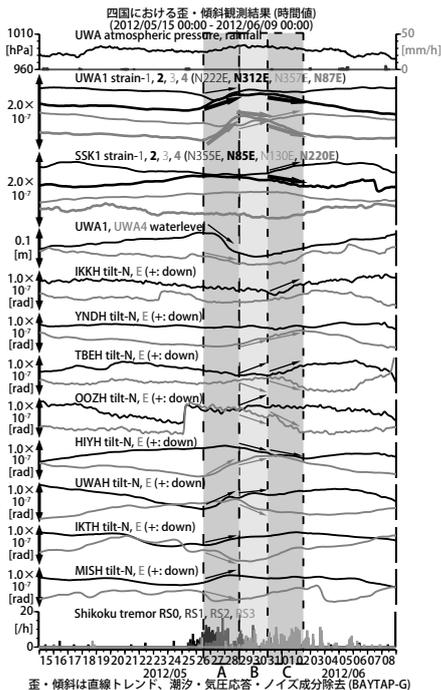
第4図 [上段] プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定 (20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量, Mw を下部に示している。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が広くコントラストも低いため、任意性が高いと考えられる。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および、体積歪 (地下水圧は体積歪変換) の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形はA(5/15-16)の断層モデルを示す。[共通] 小さい黒色丸印は産総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、灰色は気象庁の観測点名を示す。

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). Gray rectangles show estimated fault model of A (5/15-16) of the fault model. The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal and volumetric strain changes are shown right, respectively. [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.

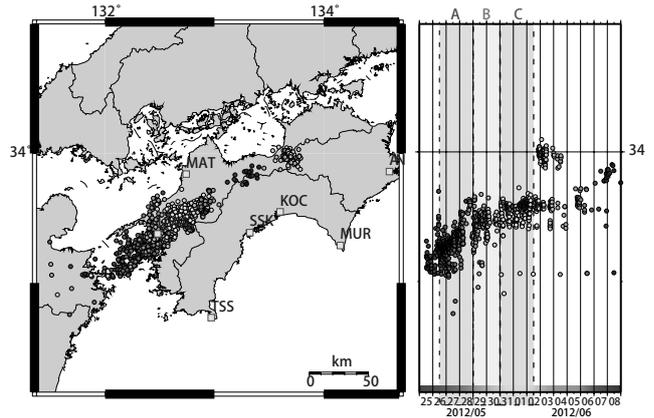


第5図: [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。残差の小さい領域(色の濃い領域)が広くコントラストも低いため、任意性が高いと考えられる。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および、体積歪(地下水圧は体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形はA(5/15-16)およびB(5/17-20)の断層モデルを示す。[共通]小さい黒色丸印は産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、灰色は気象庁の観測点名を示す。

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). Gray rectangles show estimated fault model of A (15-16 May) and B (17-20 May). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal and volumetric strain changes are shown right, respectively. [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.

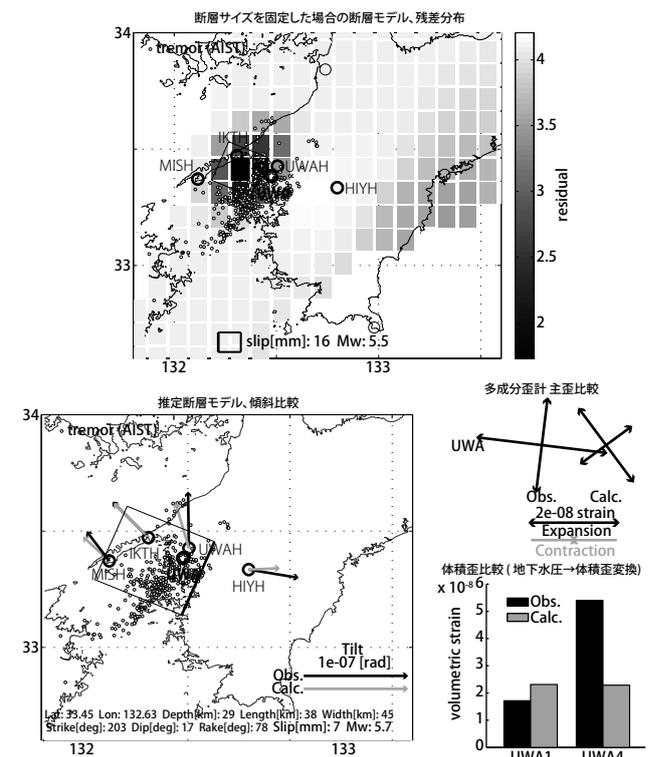


第7図 四国における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2012/5/15 0:00 - 2012/6/9 0:00)
 Fig.7 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 May 15 to 0:00 June 9, 2012.



第6図 2012/5/25 0:00 - 6/9 0:00における四国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.6 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 May 25 to 0:00 June 9, 2012.

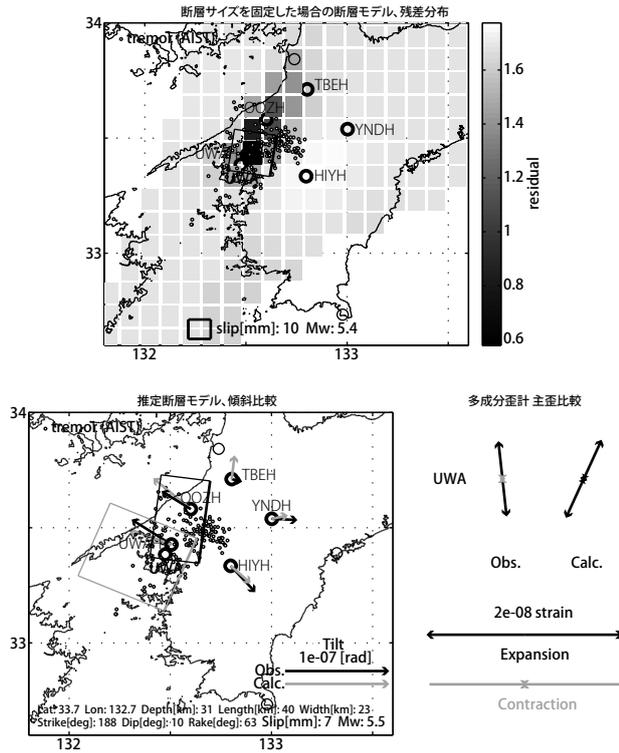
A: 2012/5/26 12:00 - 5/29 0:00



第8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)。主歪および、体積歪(地下水圧を体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。微動域周辺に限定して断層面の推定を行っている。[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。

Fig.8 [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 principal and volumetric strain changes are shown right. Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.

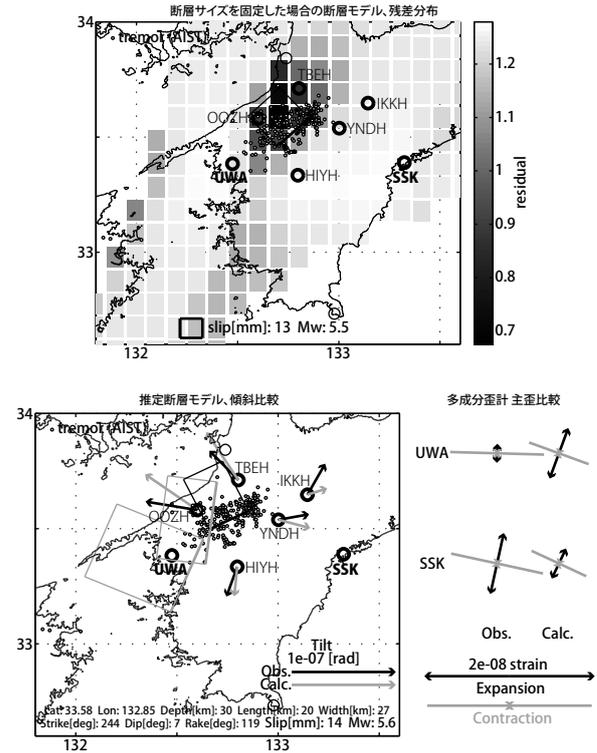
B: 2012/5/29 0:00 - 5/31 0:00



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・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)。灰色矩形は期間Aにおける推定断層面を示す。主歪および、体積歪(地下水圧を体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。微動域周辺に限定して断層面の推定を行っている。[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。

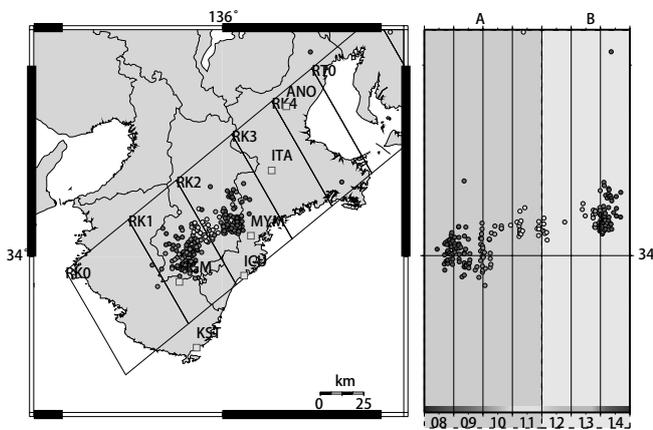
Fig.9 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). Gray rectangles show estimated fault model of A. The principal and volumetric strain changes are shown right. Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.

C: 2012/5/31 0:00 - 6/2 12:00



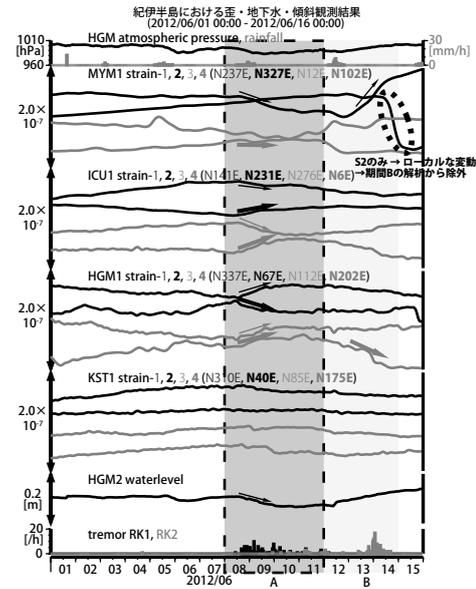
第10図: [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。灰色矩形は期間AおよびBにおける推定断層面を示す。主歪および、体積歪(地下水圧を体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。微動域周辺に限定して断層面の推定を行っている。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。

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). Gray rectangles show estimated fault model of A and B. The principal and volumetric strain changes are shown right. Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.



第11図: 2012/6/8 0:00 - 6/15 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。

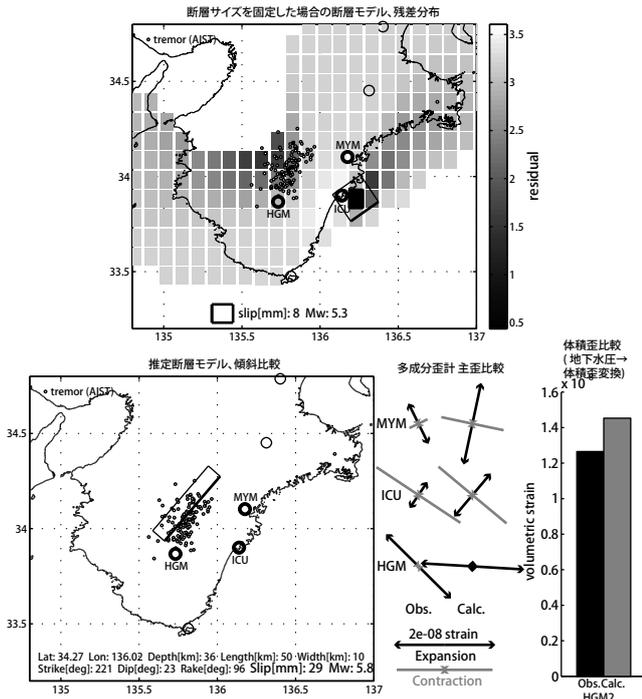
Fig.11 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 June 8 to 0:00 June 15, 2012.



第12図 紀伊半島における歪・地下水・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2012/6/1 0:00 - 2012/6/16 0:00)

Fig.12 Observed strains, groundwater and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 June 1 to 0:00 June 16, 2012.

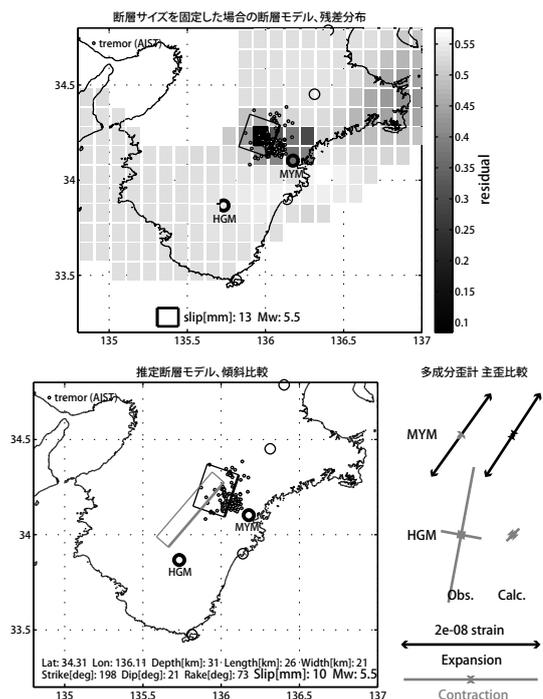
A: 2012/6/8 0:00 - 6/12 0:00



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・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。残差の小さい領域(色の濃い領域)が広くコントラストが低いため、任意性が高いと考えられる。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪および、体積歪(地下水圧を体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。微動域周辺に限定して断層面の推定を行っている。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動を示す。

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). Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.

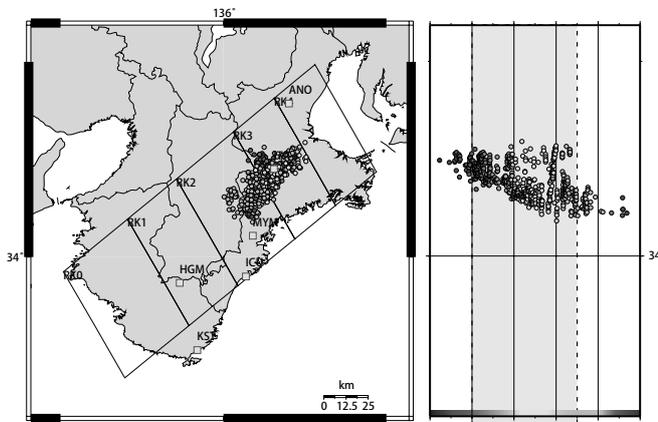
B: 2012/6/12 0:00 - 6/15 0:00



第14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。

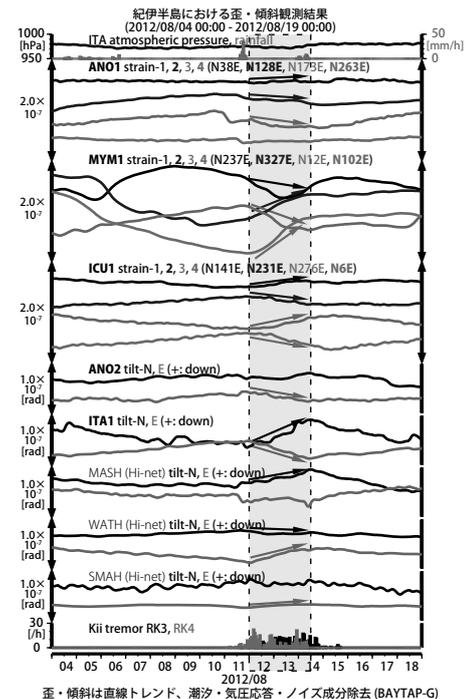
(下段)断層面推定結果(黒色矩形)。灰色の矩形は期間Aの推定断層面の位置を示す。主歪および、体積歪(地下水圧を体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。

(共通)小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動を示す。Fig.14 [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). Gray rectangles show estimated fault model of A. Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.



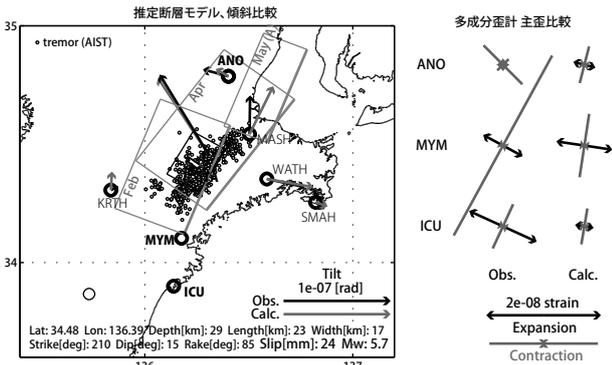
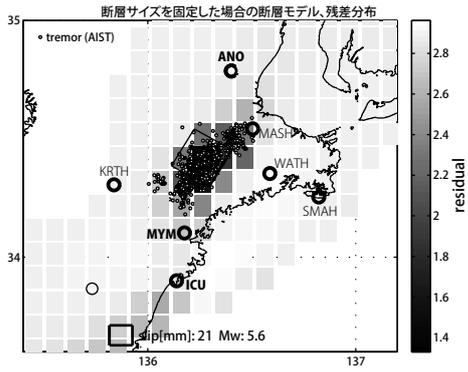
第15図 2012/8/11 0:00 - 8/16 0:00における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

Fig.15 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 0:00 August 11 to 0:00 August 16, 2012.



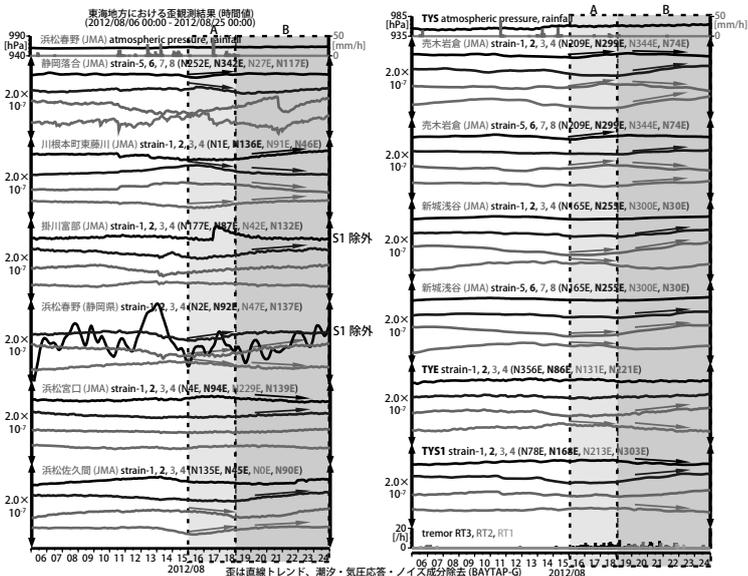
第16図 紀伊半島における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2012/8/4 0:00 - 2012/8/19 0:00)

Fig.16 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 4 August to 0:00 August 19, 2012.

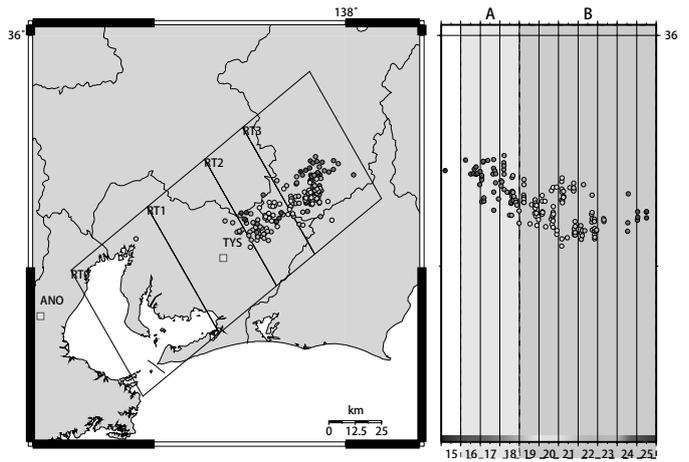


第17図 [上段] プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定 (20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量, Mw を下部に示している。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が狭くコントラストも高いため、任意性が低いと考えられる。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。灰色の矩形は、北東から南西に向かってそれぞれ、2012年5月15-16日, 同年4月14-16日, 同年2月9-10日に発生した短期的SSEの推定断層面を示す。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。[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 の観測点名の観測点名を示す。

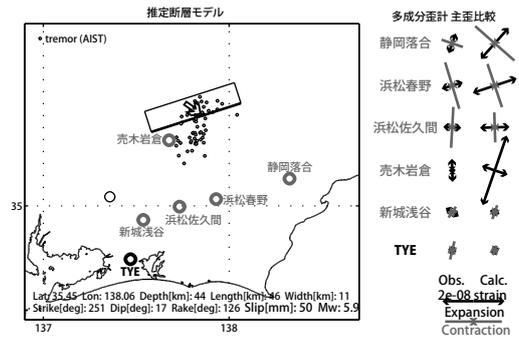
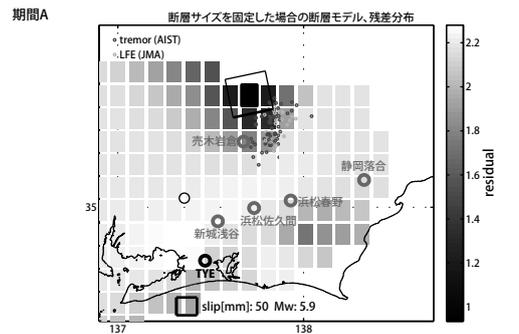
Fig.17 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). Gray rectangles show estimated fault model of May, April and February, 2012. The observed and calculated principal strain changes are shown right, respectively. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



第19図 東海地方における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2012/8/6 0:00 - 2012/8/25 0:00)
Fig.19 Observed strains at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Tokai district from August 6 to August 25, 2012.



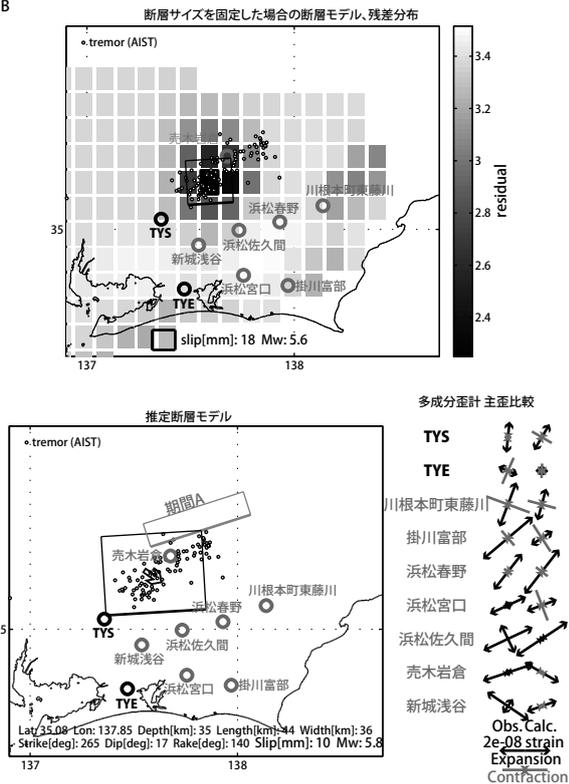
第18図 2012/8/15 0:00 - 8/26 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.18 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 August 15 to 0:00 August 26, 2012.



第20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。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が広くコントラストが低いため、任意性が高いと考えられる。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。[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を示す。

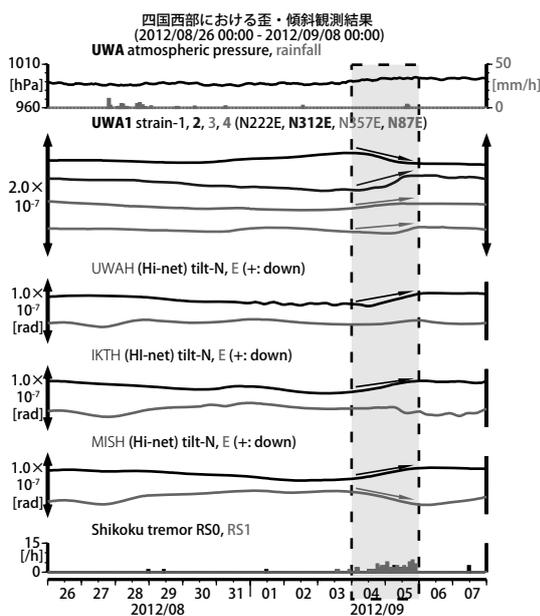
Fig.20 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). Gray rectangles show estimated fault model of A (15-16 May) and B (17-20 May). The observed and calculated principal strain changes are shown right, respectively. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black and gray types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.

期間B



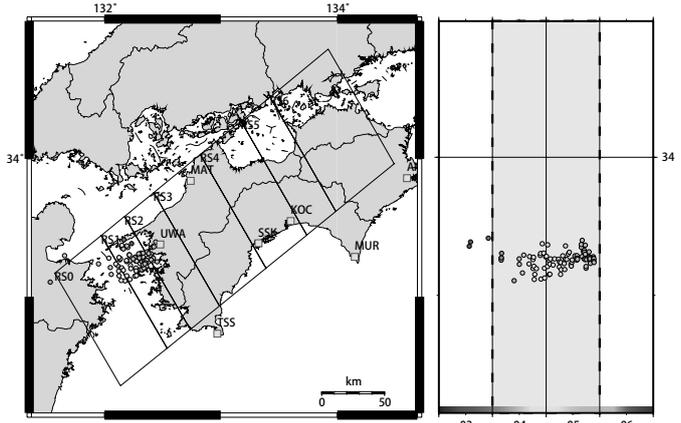
第21図: [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量, Mw を下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色文字は産総研の, 灰色は気象庁の観測点を示す。

Fig.21 [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). Gray rectangles show estimated fault model of A (15-16 May) and B (17-20 May). The observed and calculated principal strain changes are shown right, respectively. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black and gray types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.



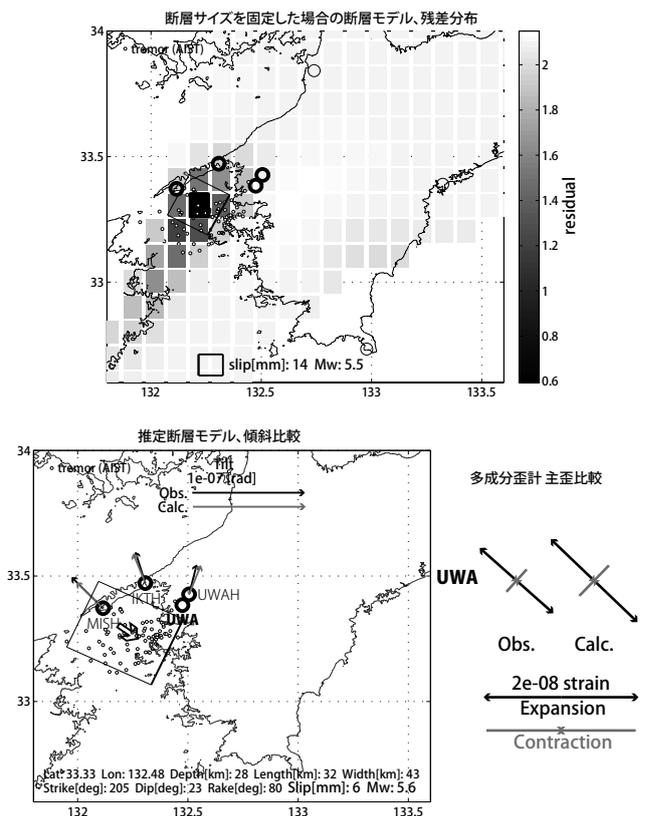
第23図 四国西部における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2012/08/26 00:00 - 2012/09/08 00:00)

Fig.23 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 August 26 to 0:00 September 25, 2012.



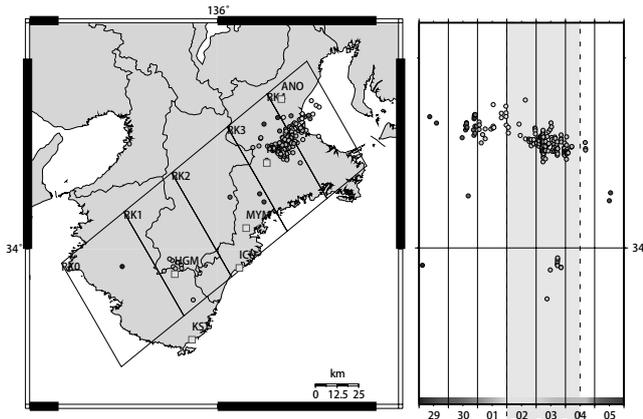
第22図 2012/9/3 0:00 - 9/7 0:00における四国の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

Fig.22 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 September 3 to 0:00 September 7, 2012.

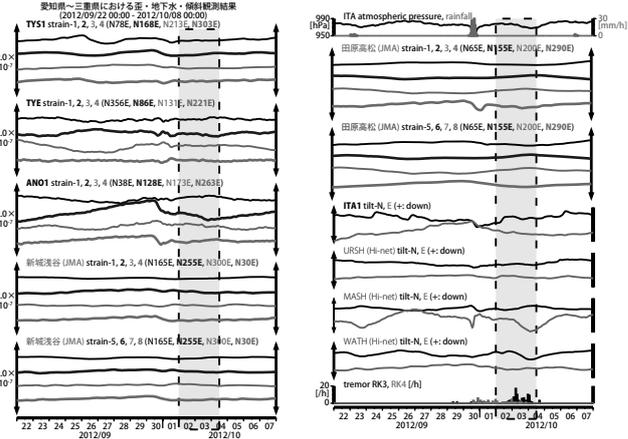


第24図 [上段]プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量, Mw を下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。[共通]小さい黒色丸印は産総研による深部低周波微動の震央位置を示す。黒色太字は産総研の, 黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を示す。

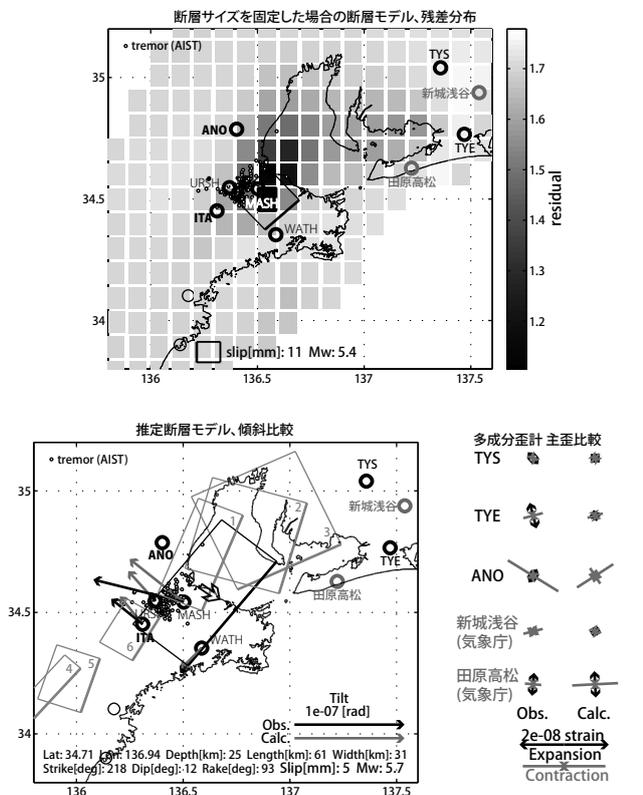
Fig.24 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The black rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (black rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal and volumetric strain changes are shown right, respectively. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and black thin types show the code of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



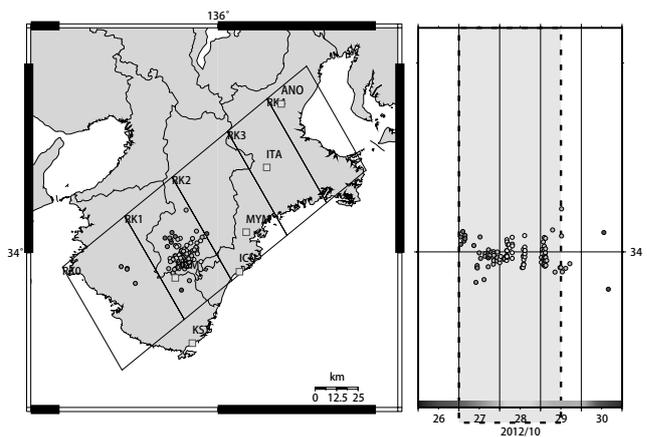
第 25 図 2012/9/29 0:00 - 10/6 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.25 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 0:00 September 29 to 0:00 October 6, 2012



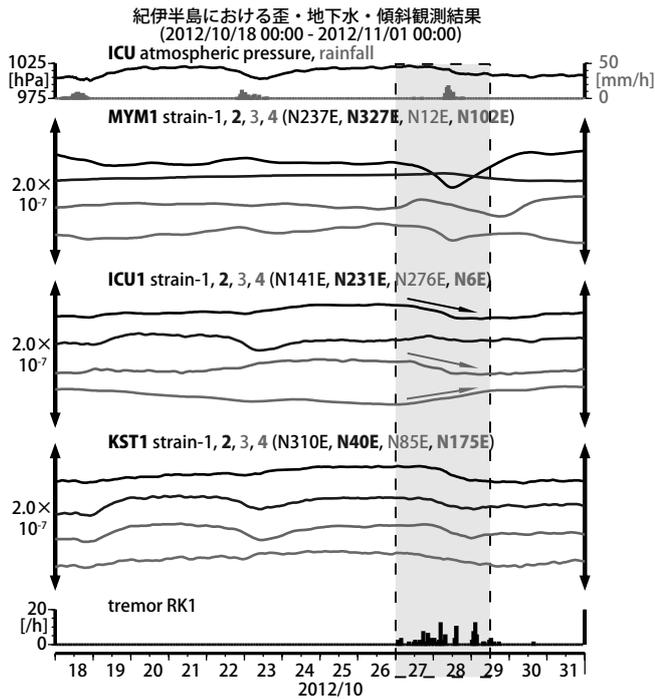
第 26 図 愛知県～三重県における歪・地下水・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2012/9/22 0:00 - 2012/10/8 0:00)
Fig.26 Observed strains, groundwater and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in Aichi and Mie Prefecture from 0:00 September 22 to 0:00 October 8, 2012.



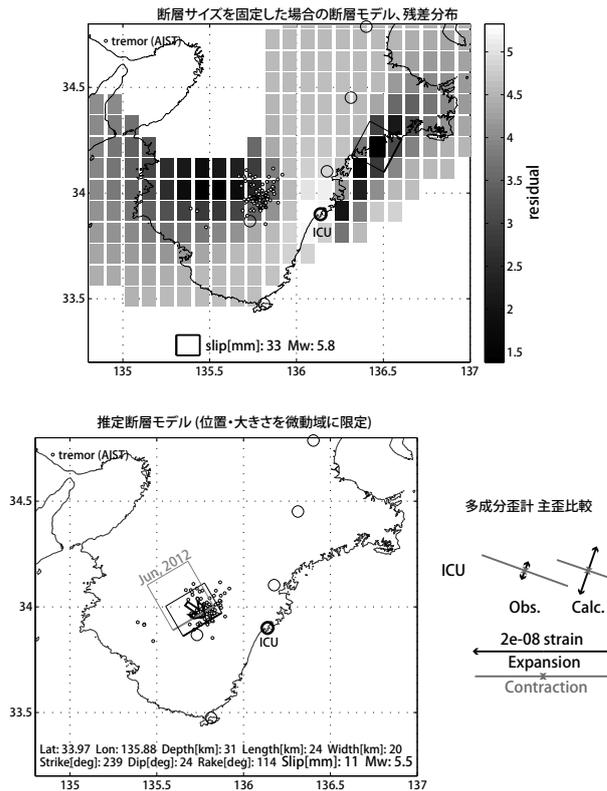
第 27 図 [上段] プレート境界面上のバッチ (断層面) をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定 (20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量, Mw を下部に示している。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が広くコントラストが高く、任意性が高いと考えられる。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。1: 2012 年 5 月 15-16 日, 2: 同 17-20 日, 3: 同 21-22 日, 4: 6 月 8-11 日, 5: 12-14 日, 6: 8 月 12-14 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、黒色細字は防災科研 Hi-net の観測点を、灰色は気象庁の観測点名を示す。
Fig.27 [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. 1: From May 15 to 16, 2012. 2: From May 17 to 20. 3: From May 21 to 22. 4: From June 8 to 11. 5: From June 12 to 14. 6: From August 12 to 14. [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.



第 28 図 2012/10/26 0:00 - 10/31 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.28 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 0:00 October 26 to 0:00 October 31, 2012.

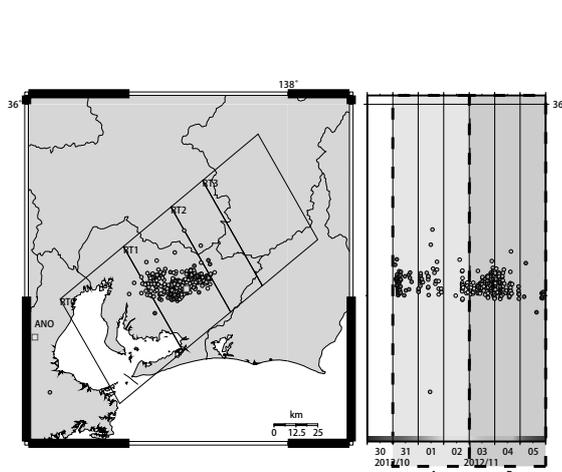


第 29 図 紀伊半島における歪・地下水・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2012/10/18 0:00 - 2012/11/01 0:00)
 Fig.29 Observed strains, groundwater and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 October 18 to 0:00 November 1, 2012.

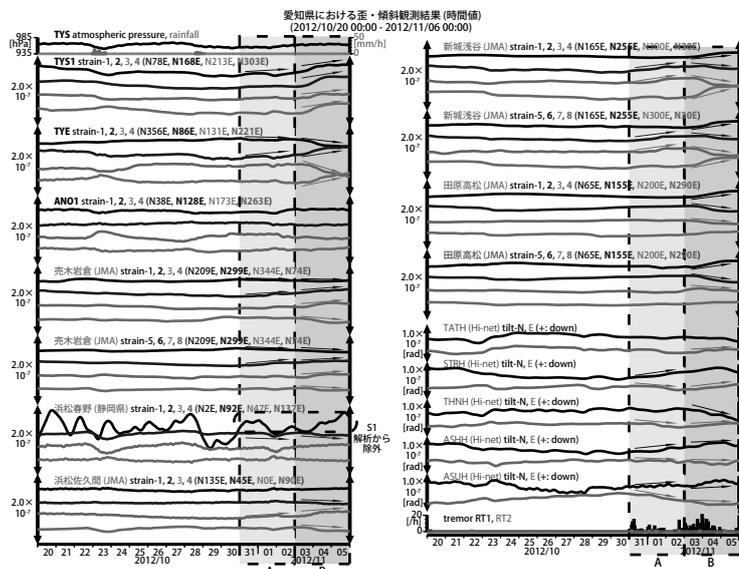


第 30 図 [上段] プレート境界面上のバッチ (断層面) をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定 (20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量, Mw を下部に示している。解析に使用しているのが 1 地点のみであり, 残差の小さい領域 (色の濃い領域) が広くコントラストが狭く, 任意性が高い。[下段] 断層面推定結果 (黒色矩形)。位置・大きさを, 微動が活発な領域に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は, 2012 年 6 月 8 日午後~9 日にかけて発生した短期的 SSE の推定断層面を示す。[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。

Fig.30 [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). Gray rectangles show estimated fault model of June, 2012. Estimation of the fault plane was limited to the area around the active tremor region. [Common] Black small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST.

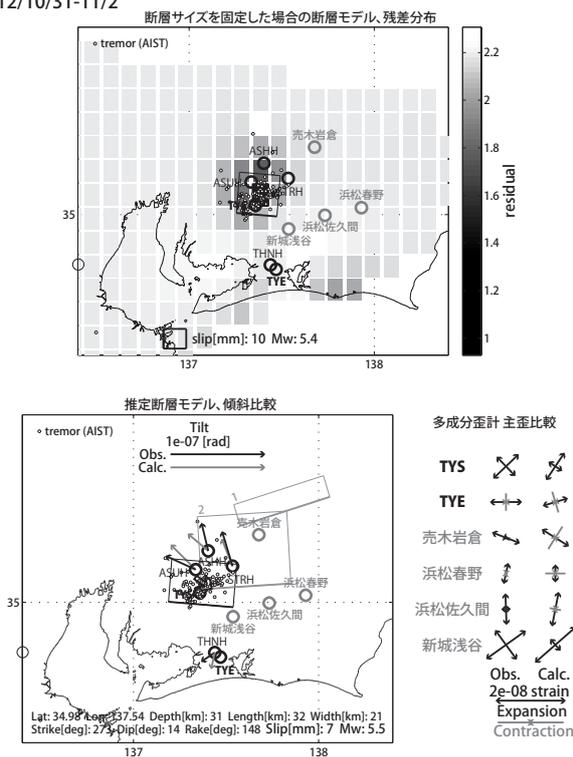


第 31 図 2012/10/30 0:00 - 11/6 0:00 における愛知県周辺の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
 Fig.31 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in and around Aichi Prefecture from 0:00 October 30 to 0:00 November 6, 2012.



第 32 図 愛知県における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2012/10/20 00:00 - 2012/11/06 00:00)
 Fig.32 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in Aichi Prefecture from 0:00 October 20 to 0:00 November 16 2012.

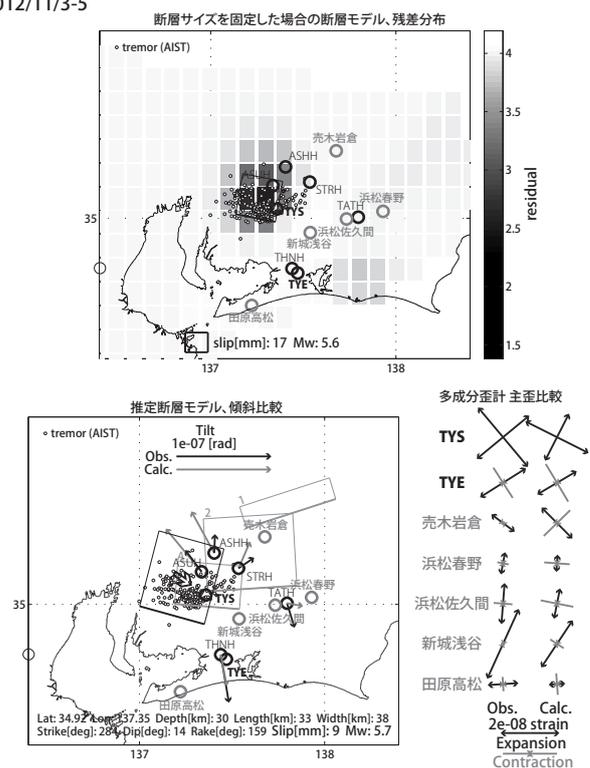
A: 2012/10/31-11/2



第 33 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。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が狭くコントラストも高いため、任意性が低いと考えられる。[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、主歪の観測値と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 16-18 日, 2: 同 19-24 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、灰色は気象庁の観測点名を示す。

Fig.33 [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. 1: From August 16 to 18, 2012. 2: From August 19 to 24. [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: 2012/11/3-5



第 34 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。残差の小さい領域 (色の濃い領域) が狭くコントラストも高いため、任意性が低いと考えられる。[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、主歪の観測値と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 16-18 日, 2: 同 19-24 日, A: 同年 10 月 31-11 月 2 日 (期間 A) [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、灰色は気象庁の観測点名を示す。

Fig.34 [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. 1: From August 16 to 18, 2012. 2: From August 19 to 24. A: From October 31 to November 2 (period A). [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.