

6-5 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 (2013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 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。

2013年5月15～19日頃にかけて、長野県南西部～愛知県北東部県境付近において、深部低周波微動活動が観測され(第1図)、気象庁の多成分歪5観測点において僅かな変化が観測された(第2図)。産総研の多成分歪1観測点の記録を加えて断層面の推定を行った結果を第3図に示す。推定されたMwは5.3であった。なお、断層面の最終解は、微動域付近で短期的SSEが発生したと仮定し、そのモーメントを推定することを目的として、断層の位置を微動域に限定して推定した。

長野・愛知県境付近では、264日前の2012年8月16～18日および19～24日に、それぞれMw5.9および5.8の短期的SSEが、発生したと推定されている(第3図の灰色矩形1と矩形2)。また、約25日前の2013年4月20日前後には、やや南側の領域(愛知県北東部)において、気象庁の解析によって小規模な短期的SSEが発生したと推定されている。

2013年5月24～6月5日頃にかけて、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4図)、産総研の歪2観測点、地下水1観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)10観測点において変化が観測された(第5図)。微動の発生状況を参考にして期間を3つに分けて断層面の推定を行った結果を第6～8図に示す。推定されたMwはそれぞれ5.9, 5.7, 5.7であった。

期間Aの推定断層面付近では、166日前の2012年12月9～11日にMw6.0(第6～8図の灰色矩形3)、期間Bの推定断層面付近では、67日前の2013年3月21日午後～22日にMw5.4(第6～8図の灰色矩形4)、期間Cの推定断層面付近では、181日前の2012年11月26日～12月3日にMw5.4および5.9の短期的SSE(第6～8図の灰色矩形1, 2)がそれぞれ発生したと推定されている。

2013年6月11～12日頃にかけて、愛知県内における産総研の多成分歪2観測点、気象庁の多成分歪2観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)3観測点において小さな変化が観測された(第10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11図に示す。推定されたMwは5.3であった。この期間、愛知県西部では若干の深部低周波微動活動が観測されている(第9図)

この領域の東側に隣接する愛知県中部では、218日前の2012年10月31日-11月5日にMw5.5およびMw5.7(第11図の灰色矩形1, 2)、西側に隣接する愛知県西部では、197日前の2012年11月21-26日頃にMw5.6若しくは5.5(第11図の灰色矩形3, 4)、58日前の2013年4月10-14日午前にはMw5.4(第11

図の灰色矩形7) の短期的SSEが発生したと推定されている。

2013年6月28～7月3日頃にかけて、愛知県および三重県における産総研の多成分歪3観測点、気象庁の多成分歪2観測点において僅かな変化が観測された(第13図)。この期間、愛知県西部では若干の深部低周波微動活動が観測されている(第12図)。3つの期間について、断層面の位置を微動発生領域周辺に限定して、観測結果から断層面の推定を行った結果を第14～16図に示す。何れの期間も、推定された断層モデルは、位置・大きさ共に任意性が高いと考えられる。

この領域の東側に隣接する領域では、16日前の2013年6月11日-12日にMw5.3が(第14-16図の灰色矩形7)、この領域と重なる愛知県西部では、214日前の2012年11月21-26日頃にMw5.6若しくは5.5(第14-16図の灰色矩形3, 4)、75日前の2013年4月10-14日午前にはMw5.4の短期的SSEが発生したと推定されている(第14-16図の灰色矩形6)。

2013年7月23日午後～26日午前にかけて、奈良県東部～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17図)、産総研の多成分歪4観測点、傾斜1観測点、防災科研の高感度加速度計(傾斜)4観測点において変化が観測された(第18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19図に示す。

この領域では、217日前の2012年12月17-18日頃にMw5.3の短期的SSEが発生したと推定されている(第19図の灰色矩形1)。

2013年8月3日午後～12日午前にかけて、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20図)、愛知県、静岡県および長野県における産総研の多成分歪2観測点、気象庁の多成分歪6観測点および体積歪2観測点において変化が観測された(第21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22図に示す。推定されたすべり量は11mm、Mwは5.7であった。

この領域では271日前の2012年10月31日-11月5日にかけてMw5.5および5.7の(第22図の灰色矩形1および2)、西側の領域では52日前および31日前の2013年6月11-12日および同月28日-7月3日にかけて、それぞれMw5.3および5.7の短期的SSEが発生したと推定されている(第22図の灰色矩形7および8)。

2013年9月8日～10日頃にかけて、三重県中部～伊勢湾において活発な深部低周波微動活動が観測され(第23図)、三重県、愛知県、静岡県における産総研の多成分歪3観測点、地下水2観測井、気象庁の多成分歪3観測点、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24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25図に示す。推定されたすべり量は4mm、Mwは5.8であった。

この領域では152日前の2013年4月7-9日にかけてMw6.0の短期的SSEが発生したと推定されている(第25図の灰色矩形1)。

2013年9月29日～10月6日頃にかけて、愛知県中部～愛知・長野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26図)、愛知県、静岡県における産総研の多成分歪2観測点、気象庁の多成分歪6観測点、防災科研の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27図)。変化が明瞭に見られなかった気象庁の多成分歪1観測点、体積歪1観測点の観測記録も含めて、断層面の推定を行った結果を第28図に示す。推定されたすべり量は11mm、Mwは5.9であった。

この領域を一部含む領域～やや西側の領域では48日前の2013年8月3日午後～12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(第28図の灰色矩形6).

2013年10月26日～27日頃にかけて、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29図)、和歌山県、三重県における産総研の多成分歪3観測点において変化が観測された(第30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31図に示す。なお、断層の位置を微動発生領域に限定して断層モデルの推定を行った。推定されたすべり量は3mm、Mwは5.5であった。

この領域では229日前の2013年3月8-11日にかけてMw5.5の短期的SSEが発生したと推定されている(第31図の灰色矩形1)。

2013年10月26～30日頃にかけて、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32図)、愛媛県における産総研の歪1観測点、地下水1観測点、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜)6観測点において変化が観測された(第33図)。微動の発生状況等を参考にして期間を2つに分けて断層面の推定を行った結果を第34～35図に示す。推定されたMwはそれぞれ5.5、5.7であった。

この周辺では、143日前の2013年5月24日～6月5日にかけてMw5.9、5.7、5.7の短期的SSEがそれぞれ発生したと推定されている(第34～35図の灰色矩形1～3)。

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。

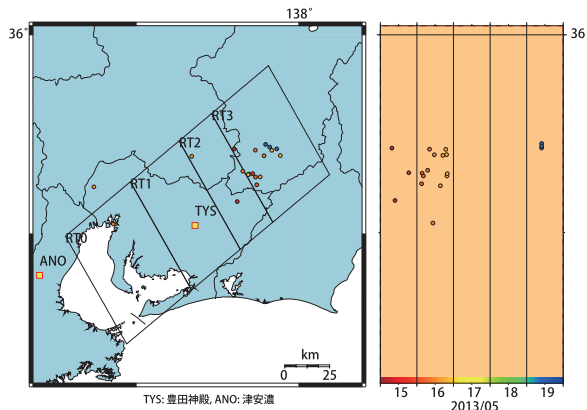
(板場智史・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・北川有一・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・
汐見勝彦)

謝辞

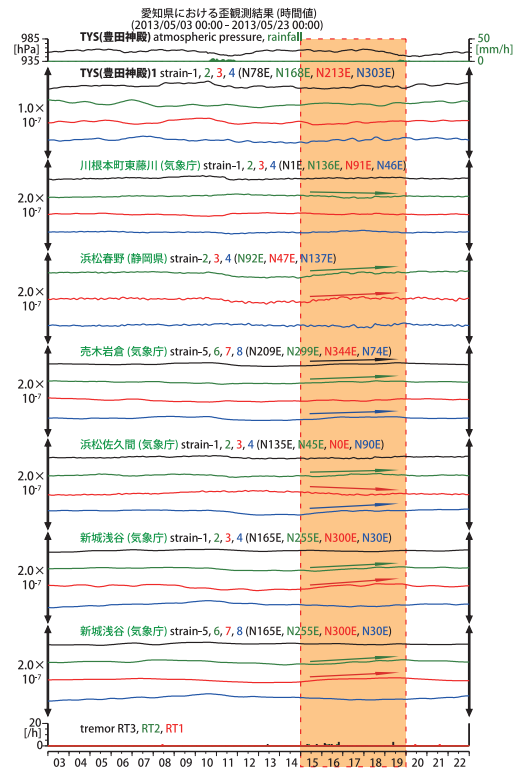
短期的SSEの断層モデル推定には、気象庁、静岡県の多成分歪計および体積歪計の記録を使用しました。気象庁の歪計データを解析する際には、気象庁によるキャリブレーション係数を使用しました。微動の解析には、気象庁、東京大学、京都大学、名古屋大学、高知大学、九州大学の地震波形記録を使用しました。低周波地震の震央位置表示には、気象庁の一元化カタログを使用しました。ここに記して感謝します。

参考文献

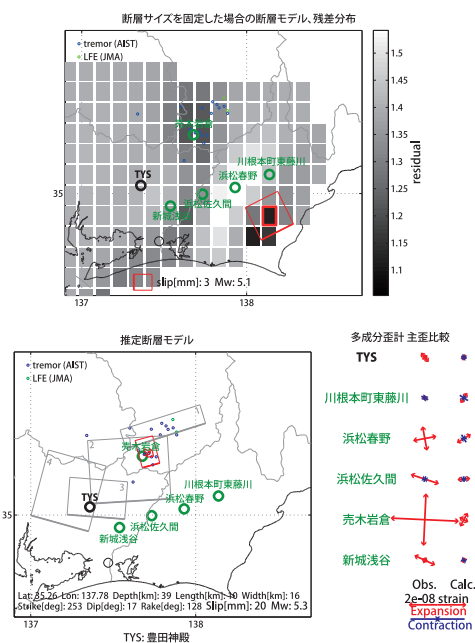
- 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭 (2007), Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震*, **60**, 1-20.
- 板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 松澤孝紀, 歪・傾斜・地下水統合解析による短期的スロースリップイベントのモニタリング, *日本地球惑星連合2012年大会*, 千葉, 5月, 2012.
- Matsumoto, K., T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, GOTIC2: A Program for Computation 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 2013/5/15 0:00 - 5/20 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。エンベロップ相関法により決定。
Fig.1 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 May 15 to 0:00 May 20, 2013.

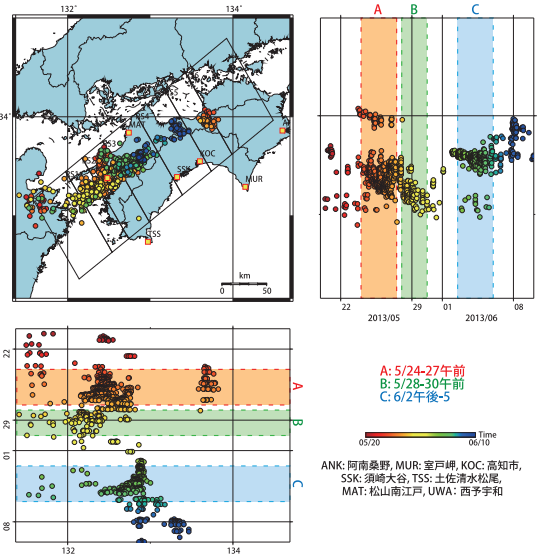


第2図 愛知県における歪観測結果および深部低周波微動発生回数(2013/5/3 0:00 - 5/23 0:00).
Fig.2 Observed strain changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 May 3 to 0:00 May 23, 2013.

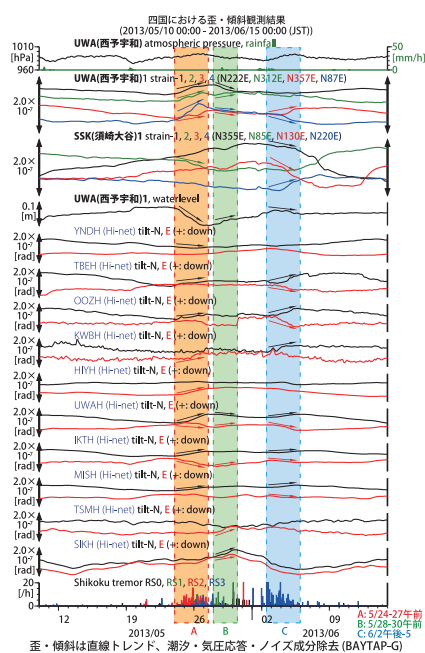


第3図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(赤色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年8月16-18日(Mw5.9), 2: 同19-24日(Mw5.8), 3: 同年10月31日-11月2日(Mw5.5), 4: 同3-5日(Mw5.7)。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動, 小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログの低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の, 緑色は気象庁の観測点名を示す。

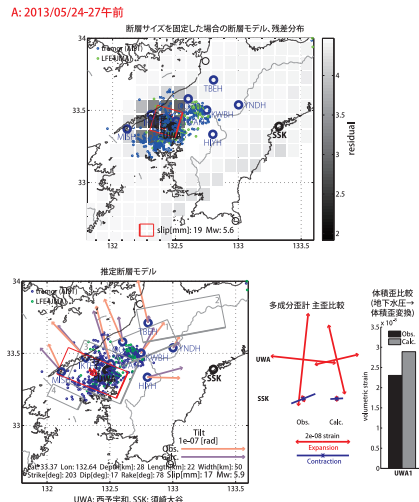
Fig.3 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red rectangle). The observed and calculated principal strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From August 16 to 18, 2013 (Mw5.7), 2: From 19 to 24 (Mw5.8), 3: From October 31 to November 2 (Mw5.5), 4: From 3 to 5 (Mw5.7). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and green types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.



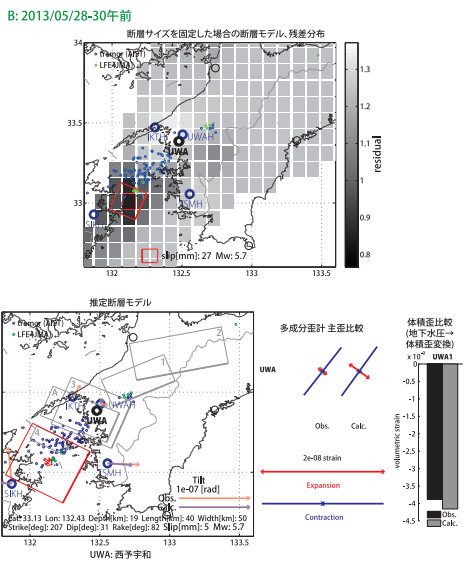
第4図 2013/5/20 0:00 - 6/10 0:00 における四国地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロップ相関法により決定。
Fig.4 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 May 20 to 0:00 June 10, 2013.



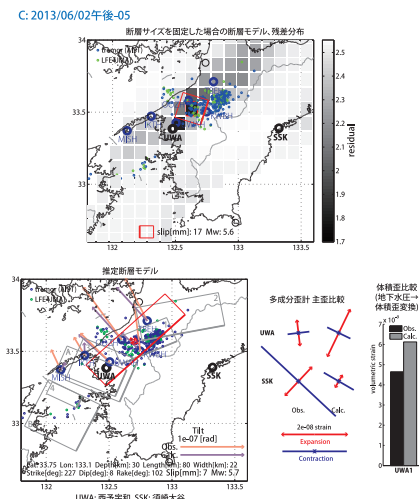
第5図 四国地方における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2013/5/10 0:00 - 6/15 0:00).
Fig.5 Observed strain and tilt changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 May 10 to 0:00 June 15, 2013.



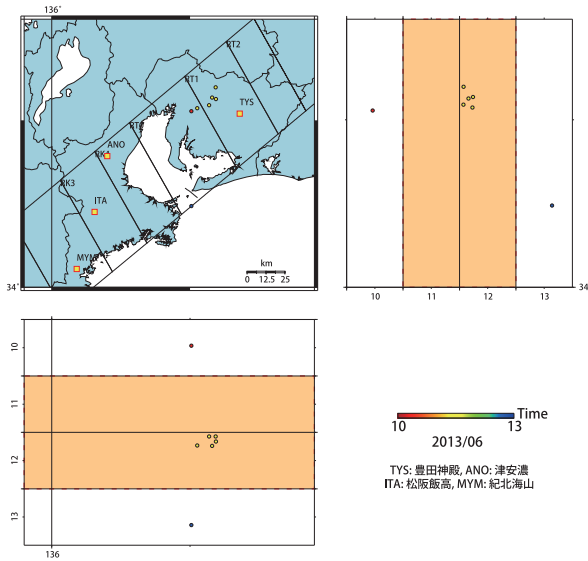
第6図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層モデル推定結果(黒色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および体積歪(地下水圧を変換)の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年11月26-30日(Mw5.4), 2: 同年12月1-3日(Mw5.9), 3: 同9-11日(Mw6.0), 4: 2013年3月21日午後-22日(Mw5.4)。[共通] 小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログの低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、青色細字は防災科研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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 November 26 to 30 (Mw5.4), 2012. 2: From December 1 to 3 (Mw5.9), 3: From 9 to 11 (Mw6.0), 4: From March 21 (afternoon) to 22 (Mw5.4), 2013. [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



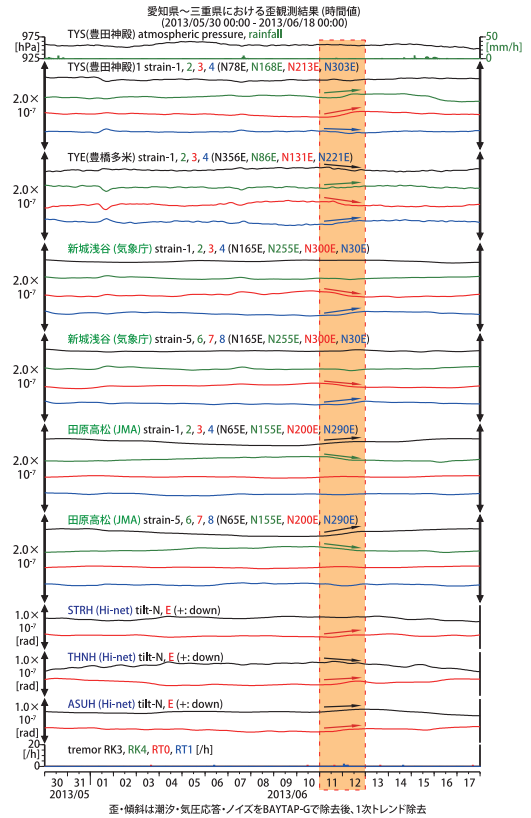
第7図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層モデル推定結果(赤色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および体積歪(地下水圧を変換)の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年11月26-30日(Mw5.4), 2: 同年12月1-3日(Mw5.9), 3: 同9-11日(Mw6.0), 4: 2013年3月21日午後-22日(Mw5.4), A: 2013年5月24-27日午前(Mw5.9)。[共通] 小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログの低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点を示す。
Fig.7 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 November 26 to 30 (Mw5.4), 2012. 2: From December 1 to 3 (Mw5.9), 3: From 9 to 11 (Mw6.0), 4: From March 21 (afternoon) to 22 (Mw5.4), 2013, A: From May 24 to 27 (forenoon) (Mw5.9). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



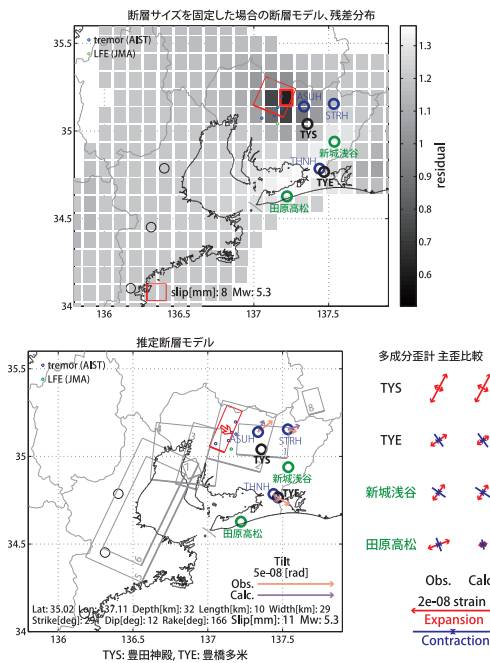
第8図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層モデル推定結果(赤色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および体積歪(地下水圧を変換)の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年11月26-30日(Mw5.4), 2: 同年12月1-3日(Mw5.9), 3: 同9-11日(Mw6.0), 4: 2013年3月21日午後-22日(Mw5.4), A: 2013年5月24-27日午前(Mw5.9), B: 同28-30日午前(Mw5.7)。[共通] 小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログの低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点を示す。
Fig.8 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 November 26 to 30 (Mw5.4), 2012. 2: From December 1 to 3 (Mw5.9), 3: From 9 to 11 (Mw6.0), 4: From March 21 (afternoon) to 22 (Mw5.4), 2013, A: From May 24 to 27 (forenoon), 2013 (Mw5.9), B: from 28 to 30 (Mw5.7). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.



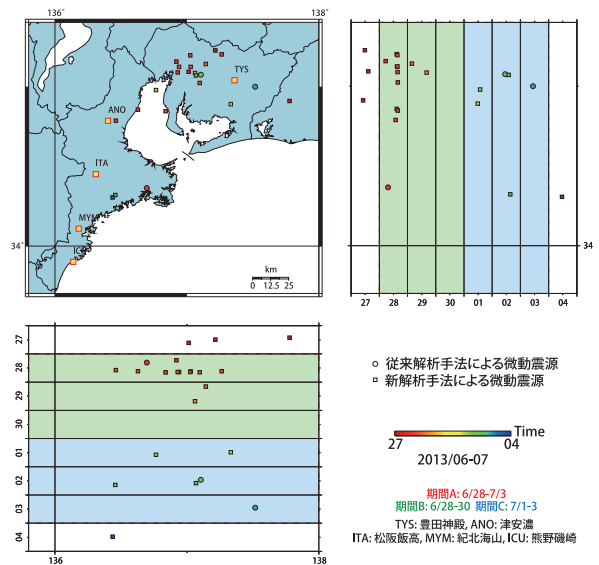
第9図 2013/6/10 0:00 - 6/14 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.9 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 June 10 to 0:00 June 14, 2013.



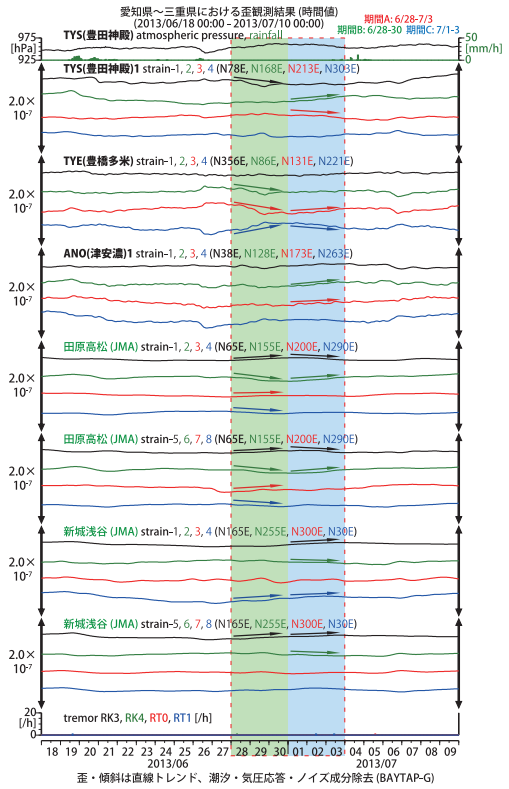
第10図 東海地方における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数(2013/5/30 0:00 - 6/18 0:00).
Fig.10 Observed strain and tilt changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 May 30 to 0:00 June 18, 2013.



第11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)。赤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(赤色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。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10月31日-11月2日(Mw5.5), 2: 同3-5日(Mw5.7), 3: 同21-26日(Mw5.6), 4: 同22-23日(Mw5.5), 5: 2013年4月7-9日(Mw6.0), 6: 同8-9日(Mw5.7), 7: 同10-14日午前(Mw5.4), 同年5月15-19日(Mw5.3)。[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、緑色は気象庁の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点名を示す。
Fig.11 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 October 31 to November 2, 2012 (Mw5.5), 2: From 3 to 5 (Mw5.7), 3: From 21 to 26 (Mw5.7), 4: From 22 to 23 (Mw5.5), 5: From April 7 to 9, 2013 (Mw5.5), 6: From 8 to 9 (Mw5.7), 7: From 10 to 14 (forenoon) (Mw5.4). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold types, green types and blue fine types are show the code (name) of observation sites of AIST, JMA and NIED Hi-net, respectively.

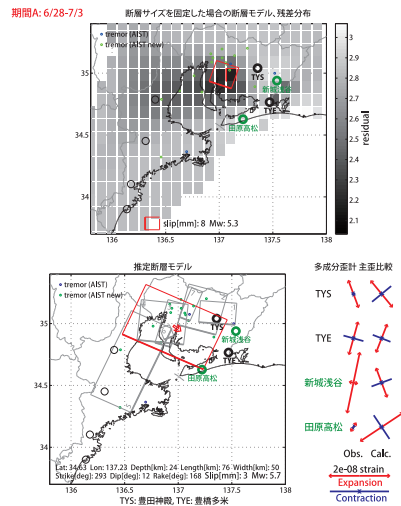


第12図 2013/6/27 0:00 - 7/5 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.12 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the Tokai district from 0:00 June 27 to 0:00 July 5, 2013.



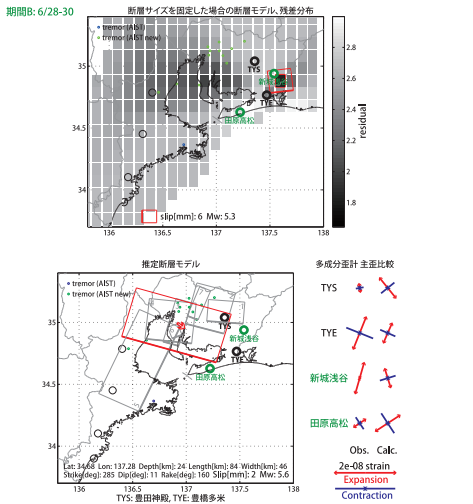
第13図 東海地方における歪観測結果および深部低周波微動発生個数(2013/6/18 0:00 - 7/10 0:00).

Fig. 13 Observed strain changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 June 18 to 0:00 July 10, 2013.



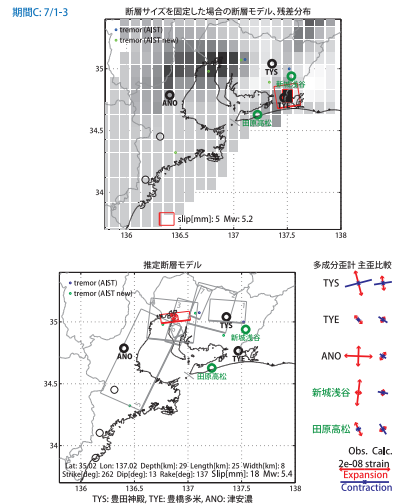
第14図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(赤色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月31日-11月2日(Mw5.5), 2: 同3-5日(Mw5.7), 3: 同21-26日(Mw5.6), 4: 同22-23日(Mw5.5), 5: 2013年4月7-9日(Mw6.0), 6: 同10-14日午前(Mw5.4), 7: 同年6月11-12日(Mw5.3)。[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、緑色は気象庁の観測点名を示す。

Fig. 14 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red rectangle). The observed and calculated principal strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 31 to November 2, 2012 (Mw5.5), 2: From 3 to 5 (Mw5.7), 3: From 21 to 26 (Mw5.6), 4: From 22 to 23 (Mw5.5), 5: From April 7 to 9, 2013 (Mw5.5), 6: From 10 to 14 (forenoon) (Mw5.4), 7: From June 11 to 12 (Mw5.3). [Common] Blue small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors by using new estimated method of AIST. Black bold and green types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.



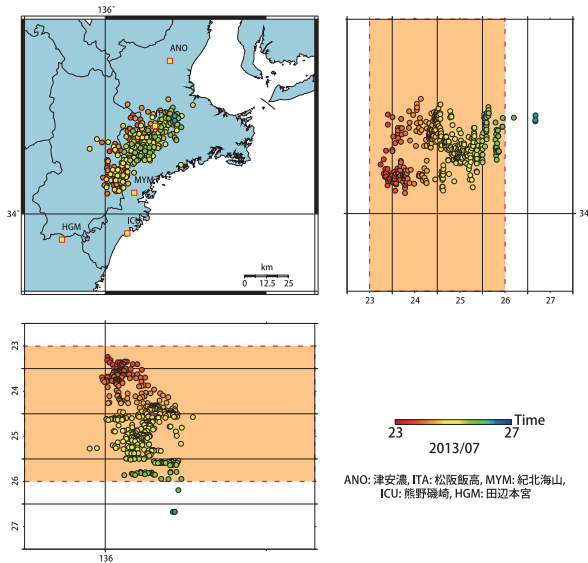
第15図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(赤色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月31日-11月2日(Mw5.5), 2: 同3-5日(Mw5.7), 3: 同21-26日(Mw5.6), 4: 同22-23日(Mw5.5), 5: 2013年4月7-9日(Mw6.0), 6: 同8-9日(Mw5.7), 7: 同10-14日午前(Mw5.4), 同年5月15-19日(Mw5.3)。[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、緑色は気象庁の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点名を示す。

Fig. 15 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 October 31 to November 2, 2012 (Mw5.5), 2: From 3 to 5 (Mw5.7), 3: From 21 to 26 (Mw5.6), 4: From 22 to 23 (Mw5.5), 5: From April 7 to 9, 2013 (Mw5.5), 6: From 8 to 9 (Mw5.7), 7: From 10 to 14 (forenoon) (Mw5.4). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold types, green types and blue fine types are show the code (name) of observation sites of AIST, JMA and NIED Hi-net, respectively.

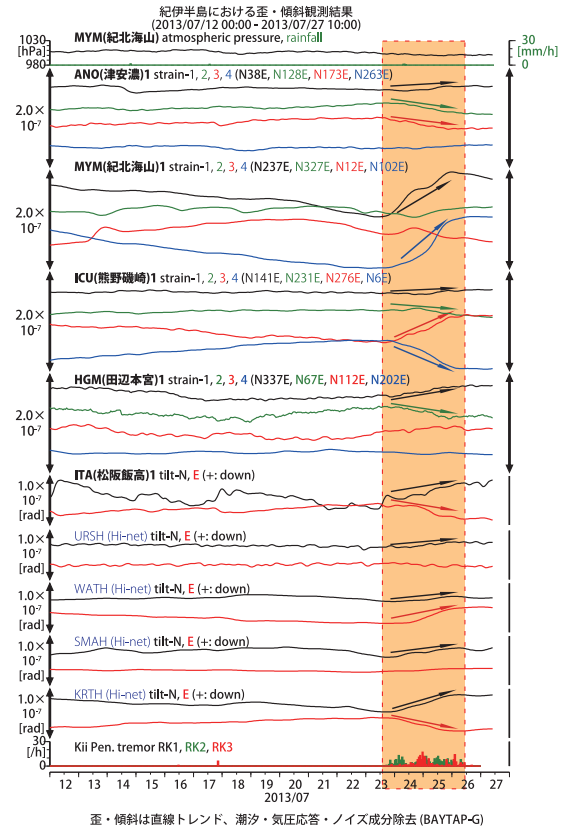


第16図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(黒色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月31日-11月2日(Mw5.5), 2: 同3-5日(Mw5.7), 3: 同21-26日(Mw5.6), 4: 同22-23日(Mw5.5), 5: 2013年4月7-9日(Mw6.0), 6: 同10-14日午前(Mw5.4), 7: 同年6月11-12日(Mw5.3)。[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、緑色は気象庁の観測点名を示す。

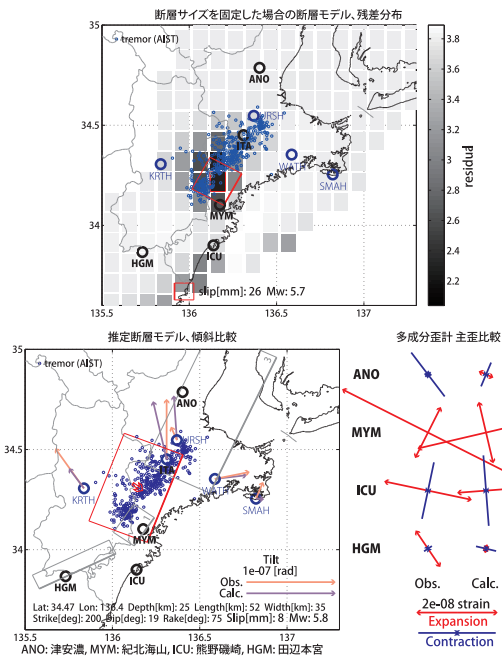
Fig. 16 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red rectangle). The observed and calculated principal strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 31 to November 2, 2012 (Mw5.5), 2: From 3 to 5 (Mw5.7), 3: From 21 to 26 (Mw5.6), 4: From 22 to 23 (Mw5.5), 5: From April 7 to 9, 2013 (Mw5.5), 6: From 10 to 14 (forenoon) (Mw5.4), 7: From June 11 to 12 (Mw5.3). [Common] Blue small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors by using new estimated method of AIST. Black bold and green types show the code (name) of observation sites of AIST and JMA, respectively.



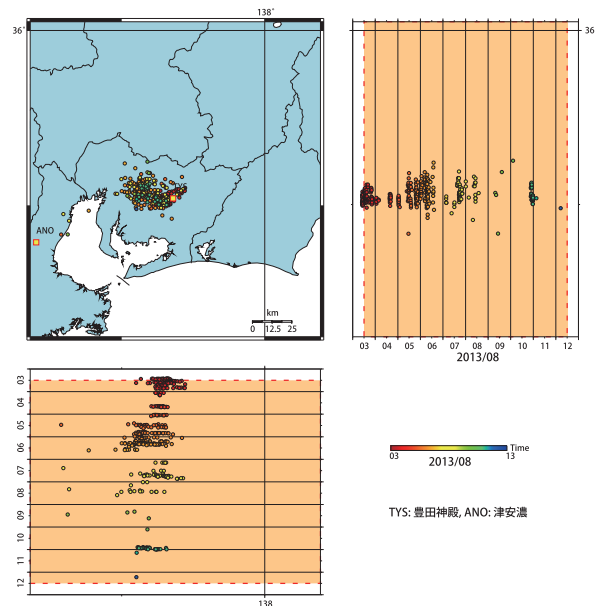
第17図 2013/7/27 0:00 - 7/28 0:00 における紀伊半島東部の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロップ相関法により決定。
Fig.17 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremor in the eastern Kii Peninsula from 0:00 July 27 to 0:00 July 28, 2013.



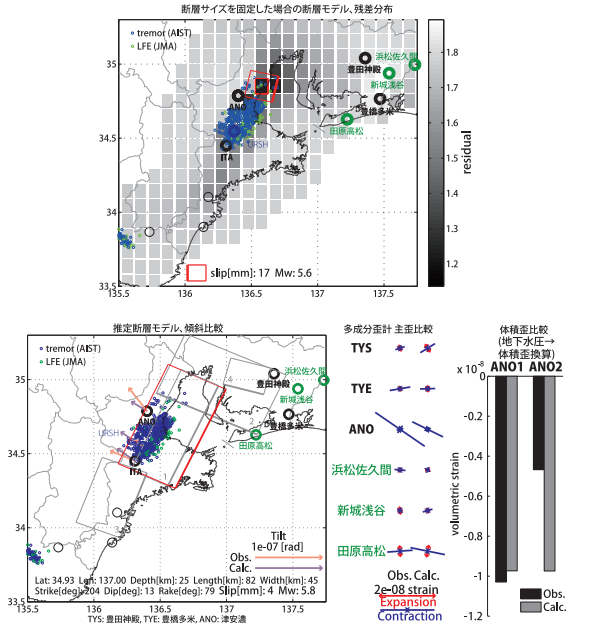
第18図 紀伊半島における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2013/7/12 0:00 - 7/27 0:00)
Fig.18 Observed strain and tilt changes at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 July 12 to 0:00 July 27, 2013.



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)。赤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(赤色矩形)。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、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12月17-18(Mw5.3), 2: 2013年3月8-11日(Mw5.5), 3: 同年4月7-9日(Mw6.0)。[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。黒太字色は産総研の、青色細字は防災科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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 December 17 to 18, 2013 (Mw5.3), 2: From March 8 to 11, 2013 (Mw5.5), 3: From April 7 to 9 (Mw6.0). [Common] Blue small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.

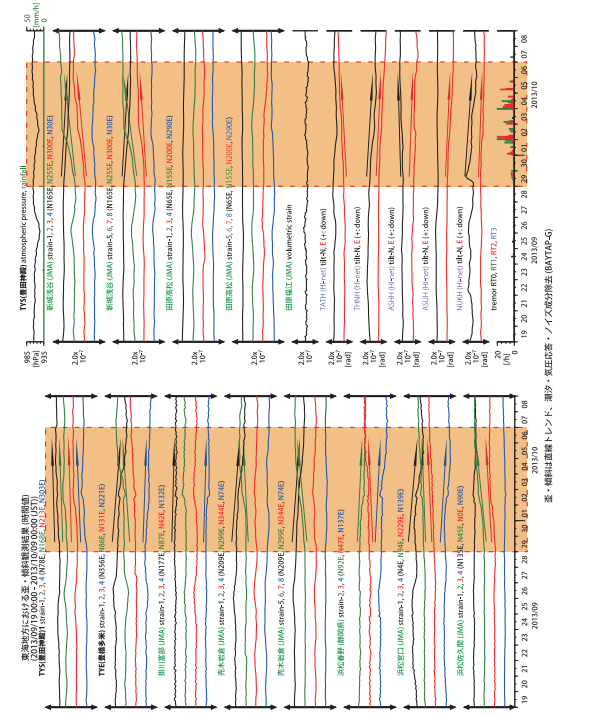


第20図 2013/8/3 0:00 - 8/13 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロップ相関法により決定。
Fig.20 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 August 3 to 0:00 August 13, 2013.



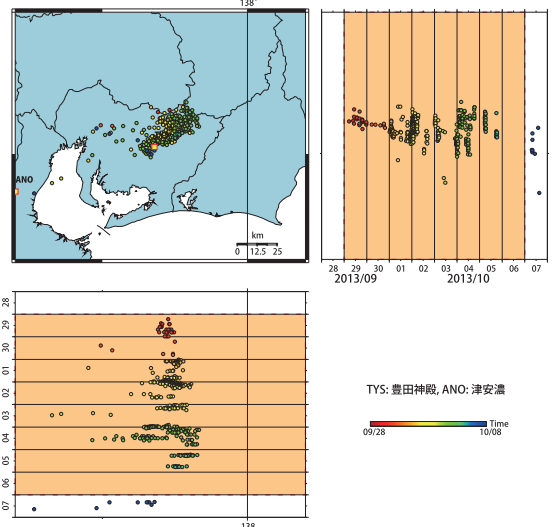
第25図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜・地下水の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(赤色矩形)。傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪および、体積歪(地下水圧は体積歪変換)の歪観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2013年4月7-9日(Mw6.0), 2: 同年6月28日-7月3日(Mw5.7), 3: 同年7月23日午後-26日午前(Mw5.8), 4: 同年8月3日午後-12日午前(Mw5.7)。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、緑色は気象庁の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点を示す。

Fig.25 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 April 7 to 9, 2013 (Mw6.0), 2: From June 28 to July 3 (Mw5.7), 3: From 23 (afternoon) to 26 (forenoon) (Mw5.8), 4: From August 3 (afternoon) to 12 (forenoon) (Mw5.7). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold types, green types and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST, JMA and NIED Hi-net, respectively.



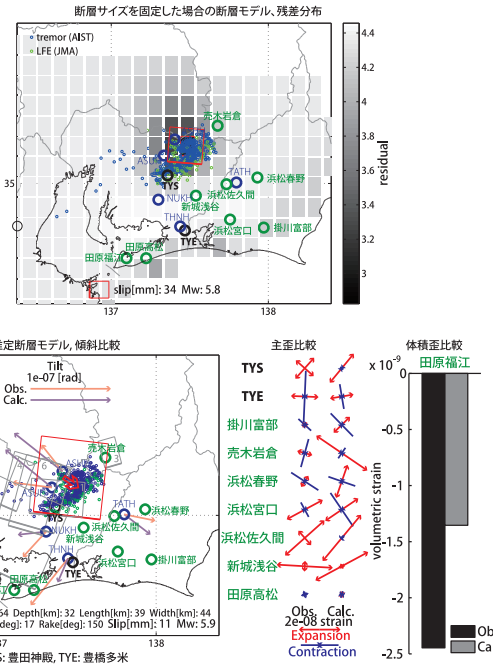
第27図 東海地方における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2013/9/19 00:00 - 10/9 00:00)

Fig.27 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 September 19 to 0:00 October 9, 2013.



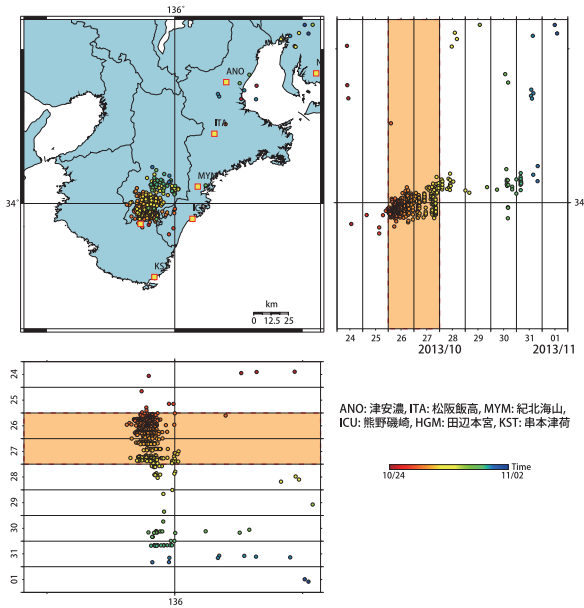
第26図 2013/9/28 0:00 - 10/8 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

Fig.26 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Tokai district from 0:00 September 28 to 0:00 October 8, 2013.

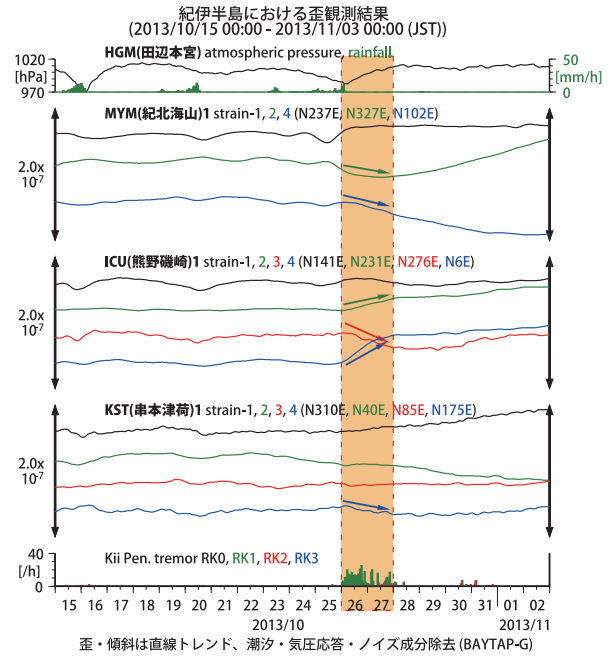


第28図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。[下段]断層面推定結果(赤色矩形)。位置を微動域に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2012年10月31日-11月2日(Mw5.5), 2: 同3-5日(Mw5.7), 3: 2013年5月15-19日(Mw5.3), 4: 同年6月11-12日(Mw5.3), 5: 同年28日-7月3日(Mw5.7), 6: 同年8月3日午後-12日午前(Mw5.7)。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は産総研の新解析手法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、緑字は気象庁の、青色細字は防災科研Hi-netの観測点名を示す。

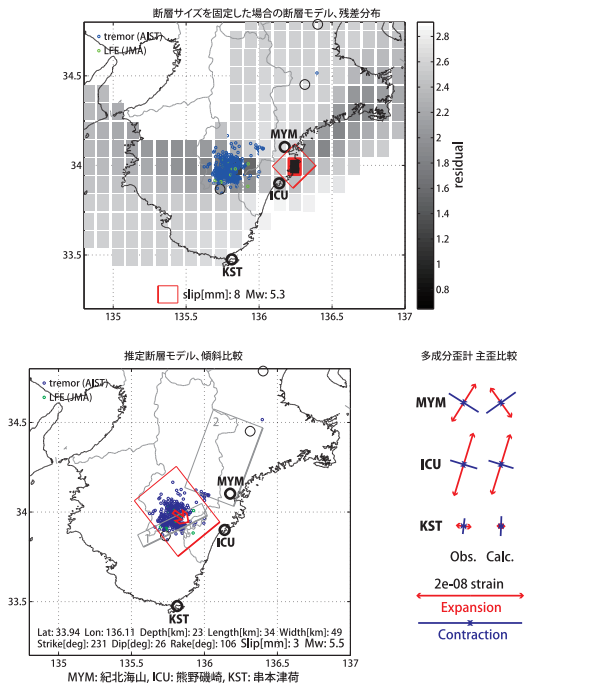
Fig.28 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain and tilt changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red rectangle). The observed and calculated tilt changes are shown in the map, principal and volumetric strain changes are shown right, respectively. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From October 31 to November 2, 2012 (Mw5.5), 2: From 3 to 5 (Mw5.7), 3: From May 15 to 19, 2013 (Mw5.3), 4: From June 11 to 12 (Mw5.3), 5: From 28 to July 3 (Mw5.7), 6: From August 3 (afternoon) to 12 (forenoon) (Mw5.7). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold types, green types and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST, JMA and NIED Hi-net, respectively.



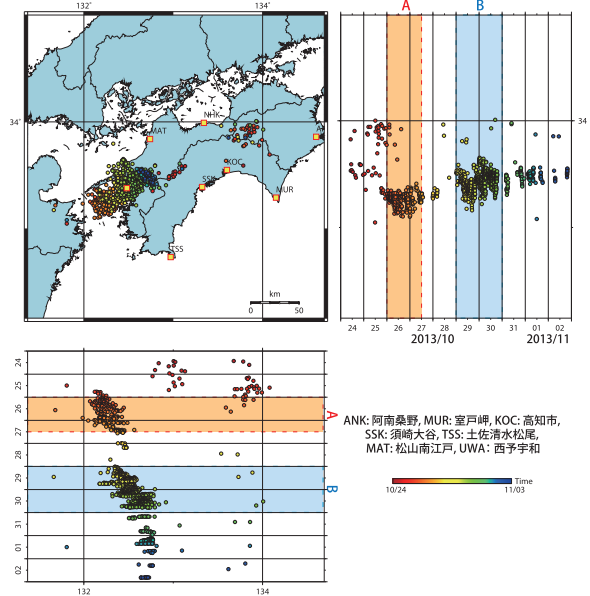
第29図 2013/10/24 0:00 - 11/02 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.29 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 October 24 to 0:00 November 2, 2013.



第30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 (2013/10/15 00:00 - 11/3 00:00)
Fig.30 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Kii Peninsula from 0:00 October 15 to 0:00 November 3, 2013.

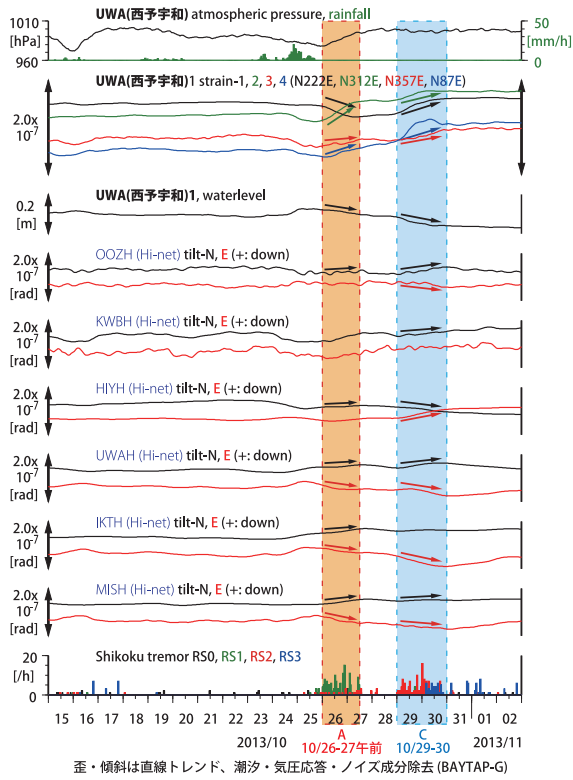


第31図 [上段]プレート境界面上のバッチ(断層面)をすべらせた際の、歪の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量, Mwを下部に示している。残差が小さい領域が広く、任意性が高いと考えられる。[下段]断層モデル推定結果(赤色矩形)。微動発生領域周辺に限定して推定した。主歪の観測値とモデルからの計算値との比較を右側に示す。灰色の矩形は、周辺で最近発生した短期的SSEの推定断層面を示す。1: 2013年3月8-11日(Mw5.5), 2: 同年7月23日午後-26日午前(Mw5.8)。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動, 小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。
Fig.31 [Upper] The residual distribution between observation and calculation in strain changes when the patch (fault plane) on the PHS plate boundary is slipped. The patch size is 20 x 20 km. The red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red rectangle). The observed and calculated principal strain changes are shown right. Gray rectangles show estimated fault model occurred recently. 1: From March 8 to 11, 2013 (Mw5.5), 2: July 23 (afternoon) to 26 (forenoon) (Mw5.8) [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively.



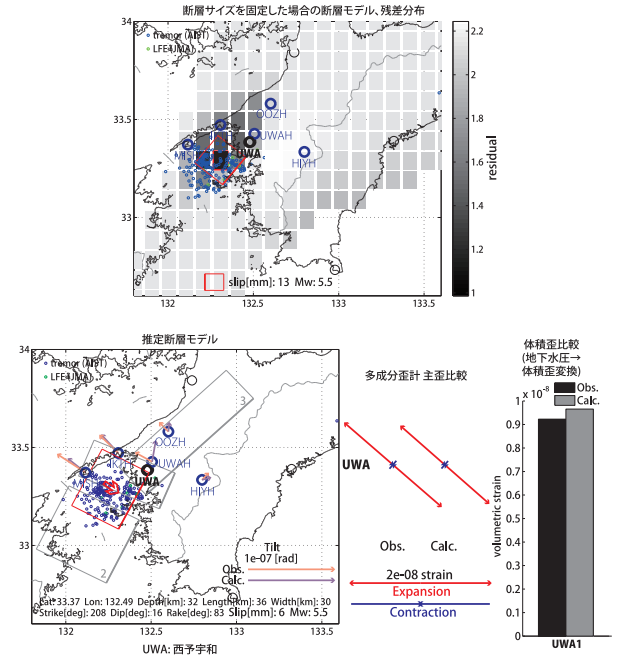
第32図 2013/10/24 0:00 - 11/02 0:00 における四国地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.32 Epicentral and space-time distributions of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 October 24 to 0:00 November 2, 2013.

四国における歪・傾斜観測結果
(2013/10/15 00:00 - 2013/11/03 00:00 (JST))



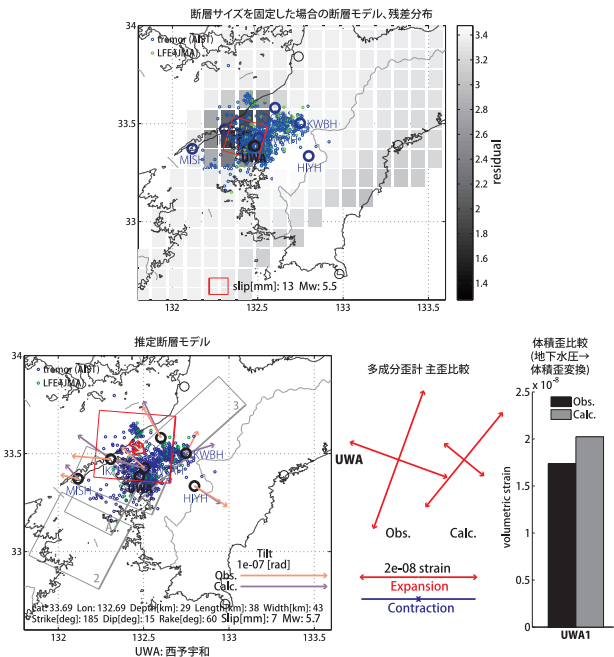
第33図 四国における歪・傾斜観測結果および深部低周波微動発生個数 (2013/10/15 00:00 - 11/3 00:00)
Fig.33 Observed strains and tilts at the observation sites and number of deep low frequency tremors in the Shikoku district from 0:00 October 15 to 0:00 November 3, 2013.

A: 2013/10/26-27午前



第34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)。赤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]断層モデル推定結果(赤色矩形)。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(地下水圧を変換)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: 2013年5月24 - 27日午前(Mw5.9), 2: 同年28-30日午前(Mw5.7), 3: 同年6月2日午後-5日(Mw5.7)。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、青色細字は防災科Hi-netの観測点を示す。
Fig.34 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 24 to 27 (forenoon), 2013 (Mw5.9), 2: 28 to 30 (forenoon) (Mw5.7), 3: June 2 (afternoon) to 5 (Mw5.7). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.

B: 2013/10/29-30



第35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)。赤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]断層モデル推定結果(赤色矩形)。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(地下水圧を変換)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: 2013年5月24 - 27日午前(Mw5.9), 2: 同年28-30日午前(Mw5.7), 3: 同年6月2日午後-5日(Mw5.7), A: 同年10月26-27日午前。[共通]小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、小さい緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色太字は産総研の、青色細字は防災科Hi-netの観測点を示す。
Fig.35 [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 red rectangle shows the patch with minimum residual. [Lower] The estimated fault model (red 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 24 to 27 (forenoon), 2013 (Mw5.9), 2: 28 to 30 (forenoon) (Mw5.7), 3: June 2 (afternoon) to 5 (Mw5.7), A: From October 26 to 27 (forenoon) (Mw5.9). [Common] Blue and green small circles show hypocenter of deep low frequency tremors estimated by AIST and low frequency earthquake estimated by JMA, respectively. Black bold and blue fine types show the code (name) of observation sites of AIST and NIED Hi-net, respectively.