

## 8 - 5 紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2010年5月～2010年10月） The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May to Oct. 2010)

産業技術総合研究所  
Geological Survey of Japan, AIST

産業技術総合研究所では、2007年度から東海・紀伊半島・四国の14点で地下水等総合観測施設を順次整備し、地下水・歪等の観測を開始している。観測を開始して間もない2観測点を除く12観測点に、既存の3観測点と合わせた15観測点の配置図を第1図に示す。

第2～30図には、2010年5月～2010年10月における歪・傾斜・地下水位の1時間値の生データ（上線）と補正值（下線）を示す。歪・傾斜の図において「N120E」などと示してあるのは、歪・傾斜の測定方向が北から120度東方向に回転していることを示す。補正值は、潮汐解析プログラムBAYTAP-G<sup>1)</sup>によって、気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を除去した結果である。歪・傾斜のグラフについては、直線トレンド（1次トレンド）を除去している。第31～33図には、産総研でのエンベロープ相関法による深部低周波微動の震源および個数の解析結果を示す。

東海全体（RT0～3）で微動の発生回数が50個／日を超えた日を含む期間（その期間については、回数が20個／日以上で活動開始、20個／日未満で活動終了と判断する）については、第2～6図および第31図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域（RT0～3）と共に表示した。紀伊半島全体（RK0～4）で微動の発生回数が50個／日を超えた日を含む期間（その期間については、回数が20個／日以上で活動開始、20個／日未満で活動終了と判断する）については、第6～17図および第32図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域（RK0～4）と共に表示した。四国東部（RS4-RS6）の合計で微動の発生回数が25個／日を超えた日を含む期間（その期間については、回数が10個／日以上で活動開始、10個／日未満で活動終了と判断する）については、第18～24図および第33図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域（RS4～6）と共に表示した。四国西部（RS0～RS3）の合計で微動の発生回数が100個／日を超えた日を含む期間（その期間については、回数が20個／日以上で活動開始、20個／日未満で活動終了と判断する）については、第25～30図および第33図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域（RS0-3）と共に表示した。

2010年9月11日午後～翌午前にかけて、TYSおよびTYEで歪変化が観測された（第34図）。フィリピン海プレート境界面上<sup>2)</sup>にパッチ（断層面）を仮定し、グリッドサーチを行って残差分布を求めた結果を第35図に示す。パッチサイズは幅・長さ共に20km、グリッドの間隔は経緯度共に0.1°、すべり量は5～500mmで5mm間隔で可変とした。更に、パッチサイズを幅・長さ共に10～50kmまで5km間隔で可変としてグリッドサーチにより断層面を推定した結果を第36図に示す。これらの計算には、Okada<sup>3)</sup>を用いた。

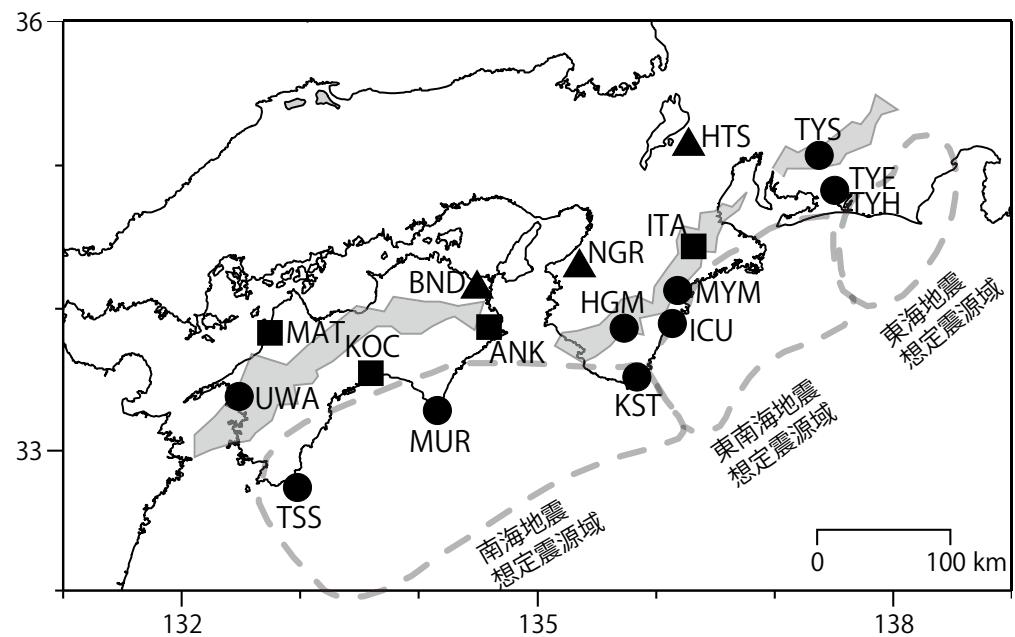
2010年9月19～23日には、奈良県東部～三重県中部にかけて活発な深部低周波微動活動が観測され（第37図）、紀伊半島のいくつかの点では対応した歪変化が観測された（第38図）。微動分布および歪変化から期間を2つに分けて、第35～36図と同様にグリッドサーチにより残差分布や断層面を推定した結果を第39～42図に示す。歪変化量が小さいためやや残差が大きいものの、概ね微動域に断層面が推定された。なお、断層面推定にあたっては、孔井内歪計の原位置キャリブレーション結果<sup>4)</sup>を用いている。

産総研での微動震源解析においては、防災科研 Hi-net、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。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)

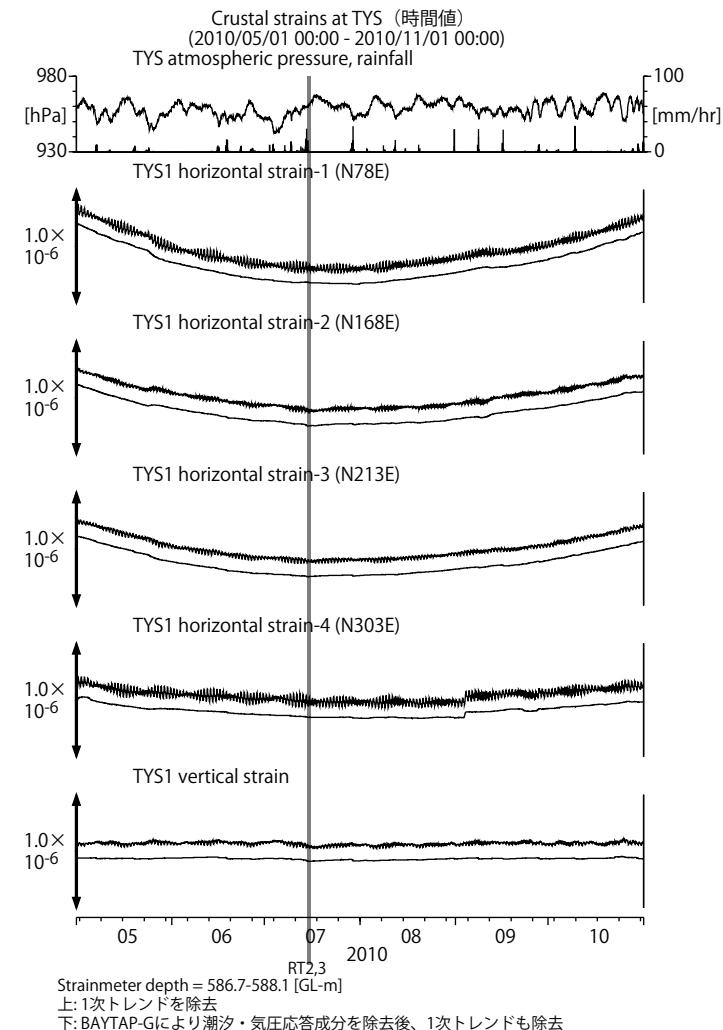
#### 参考文献

- 1) Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040, 1992.
- 2) 弘瀬冬樹、中島淳一、長谷川昭, 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* 2, **60**, 1-20, 2007.
- 3) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516, 1991.
- 4) 松本則夫、上垣内修、北川有一、板場智史、小泉尚嗣、設置深度を考慮した孔井内多成分歪計の原位置キャリブレーション、日本地震学会 2010 年度秋期大会、広島、2010.10.



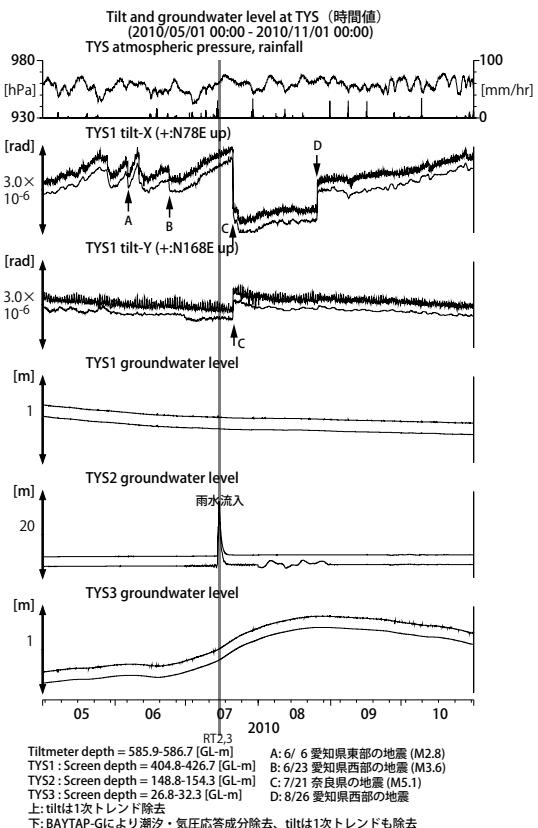
第1図 地下水棟総合観測点の分布図 (●・■・▲). ●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している新規観測点, ■はGladwin式歪計・ミツトヨ式傾斜計を併設している新規観測点, ▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している既存の観測点. 灰色の領域は短期的 SSE 及び深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域.

Fig. 1 Location of the observation wells (● · ■ · ▲). Circles (●) show the new observation site which the Ishii type multi-component strainmeter and the tiltmeter (digital type) are installed. Squares (■) shows the new observation site which the Gladwin type muti-component strainmeter and the Mitsutoyo type tiltmeter are installed. Triangles (▲) shows the old observation site which the Ishii type multi-component strainmeter (analog type) are installed. The gray mesh shows the area which is thought that short-term slow slip event and deep low frequency tremor occur stationarily.



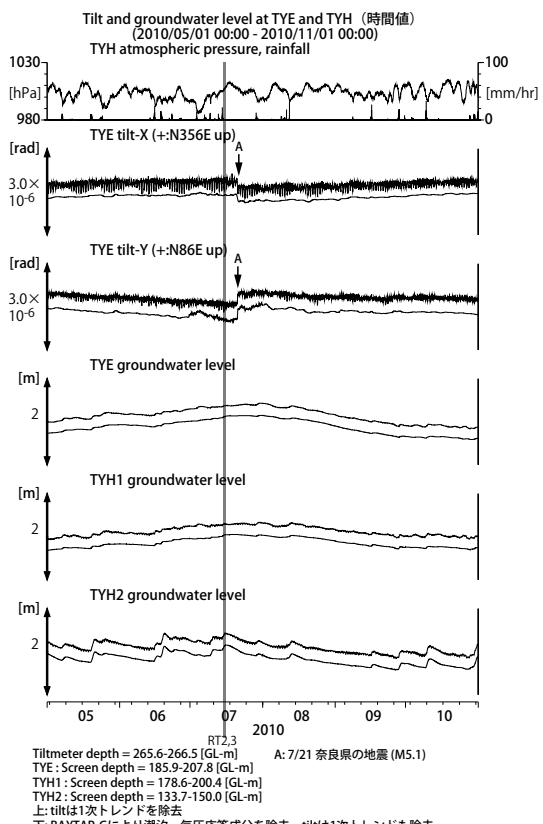
第2図 TYSにおける歪観測結果 (2010年5月～10月)

Fig.2 Observed strain at the TYS observation site from May to October 2010.



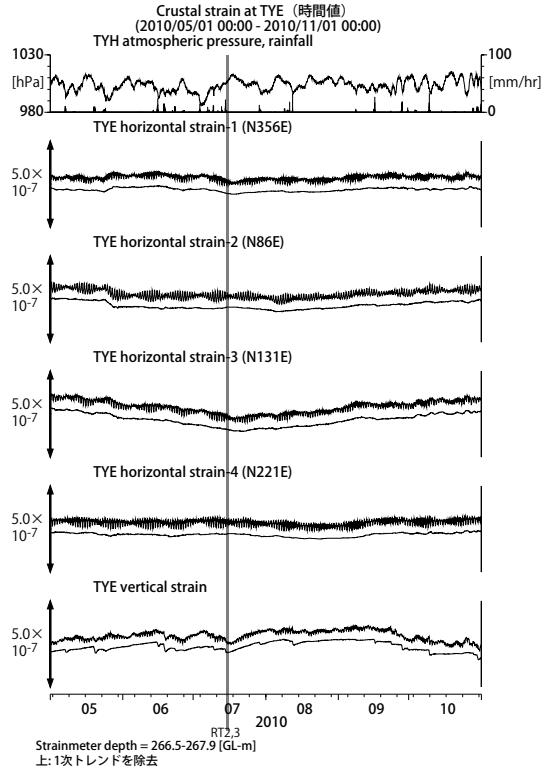
第3図 TYSにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 3 Observed tilt and groundwater levels at the TYS observation site from May to October 2010.



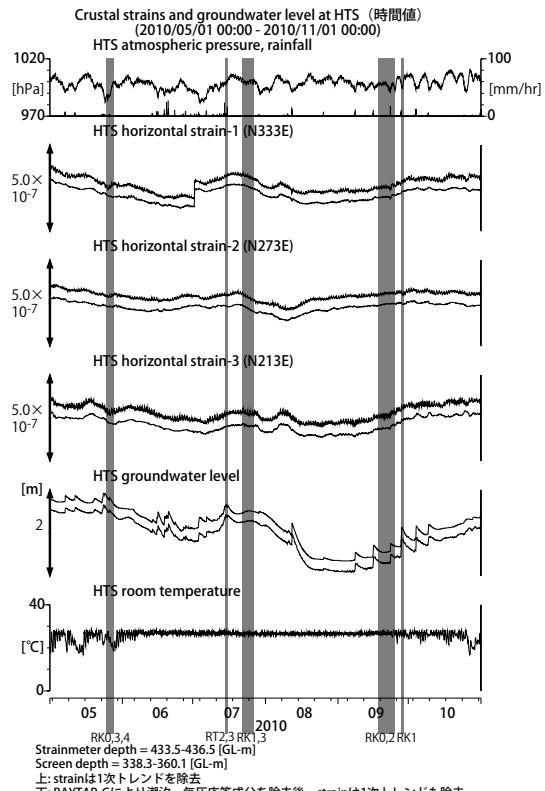
第5図 TYEおよびTYHにおける傾斜・地下水位観測結果 (2010年5月～10月)

Fig. 5 Observed tilt and groundwater levels at the TYE and the TYH observation site from May to October 2010.



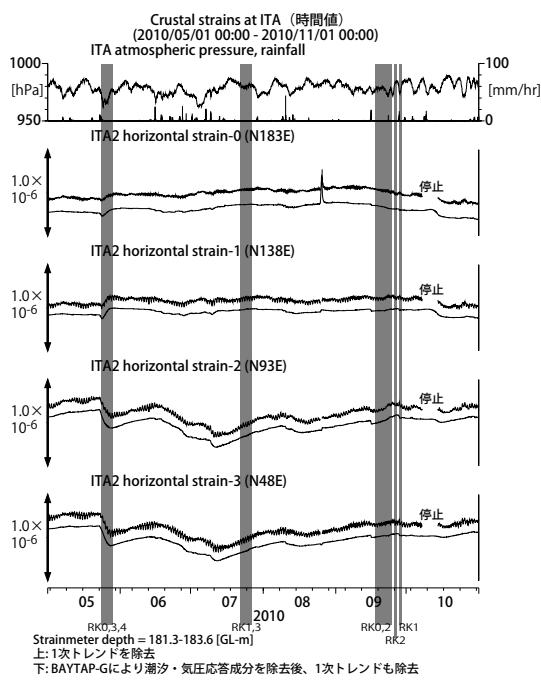
第4図 TYEにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 4 Observed strain at the TYE observation site from May to October 2010.



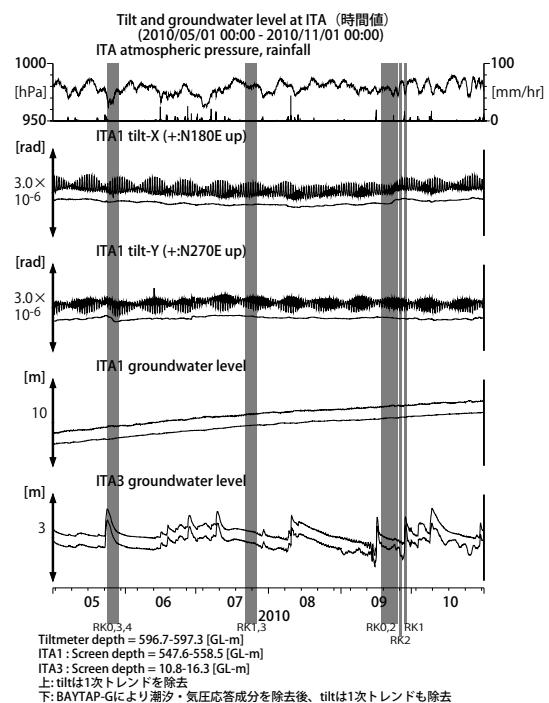
第6図 HTSにおける歪・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 6 Observed strain and groundwater levels at the HTS observation site from May to October 2010.



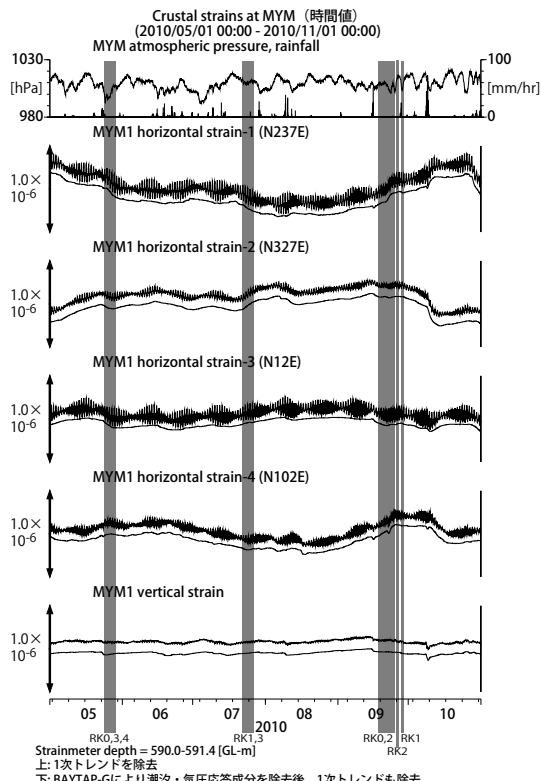
第7図 ITAにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 7 Observed strain at the ITA observation site from May to October 2010.



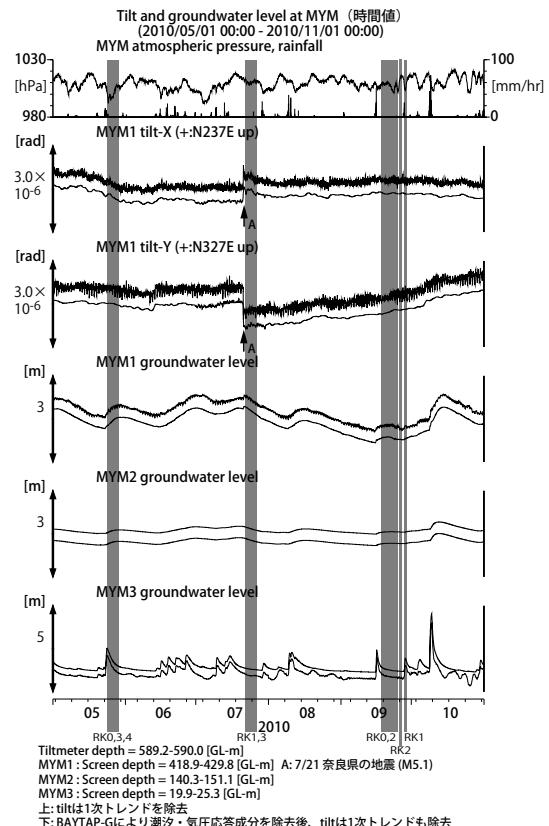
第8図 ITAにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 8 Observed tilt and groundwater levels at the ITA observation site from May to October 2010.



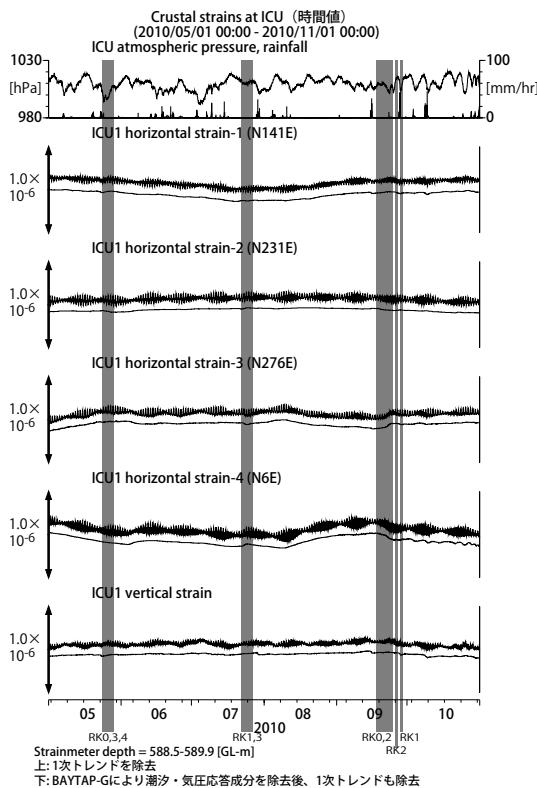
第9図 MYMにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 9 Observed strain at the MYM observation site from May to October 2010.



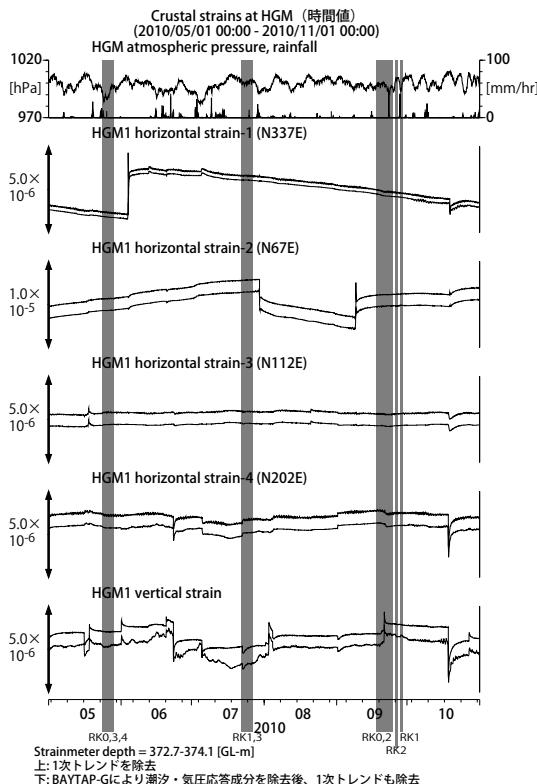
第10図 MYMにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 10 Observed tilt and groundwater levels at the MYM observation site from May to October 2010.



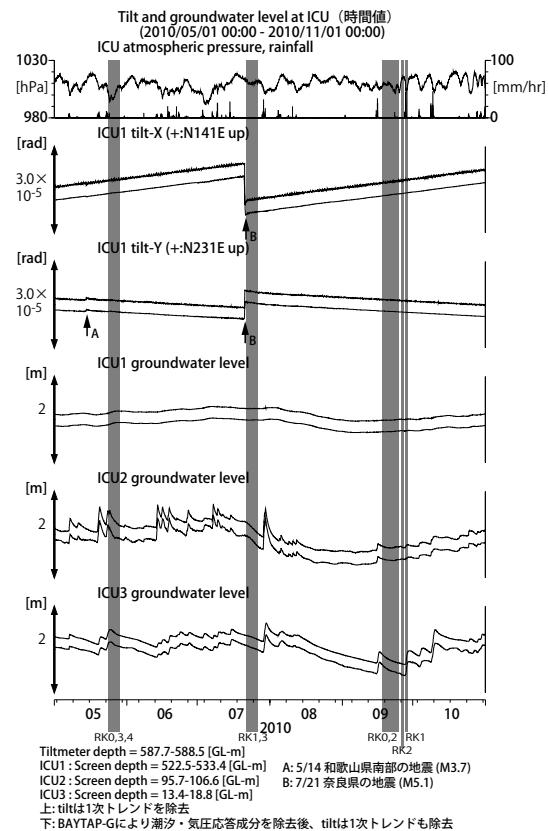
第11図 ICUにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 11 Observed strain at the ICU observation site from May to October 2010.



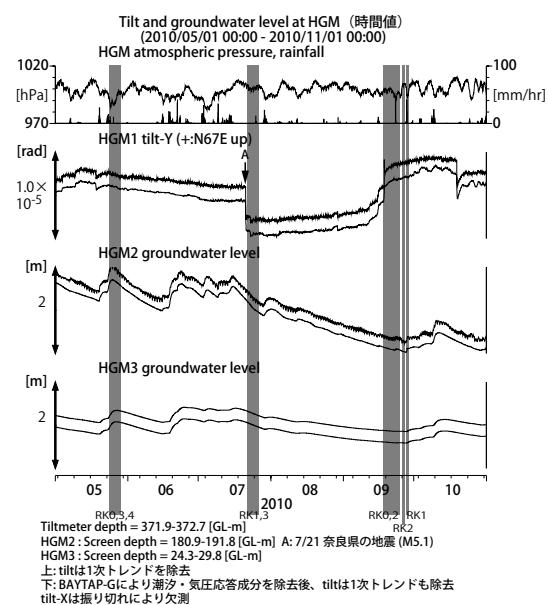
第13図 HGMにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 13 Observed strain at the HGM observation site from May to October 2010.



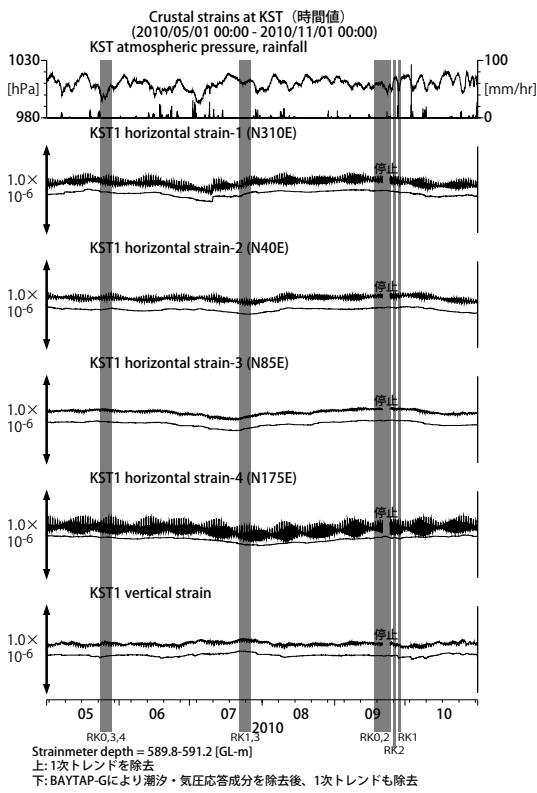
第12図 ICUにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 12 Observed tilt and groundwater levels at the ICU observation site from May to October 2010.



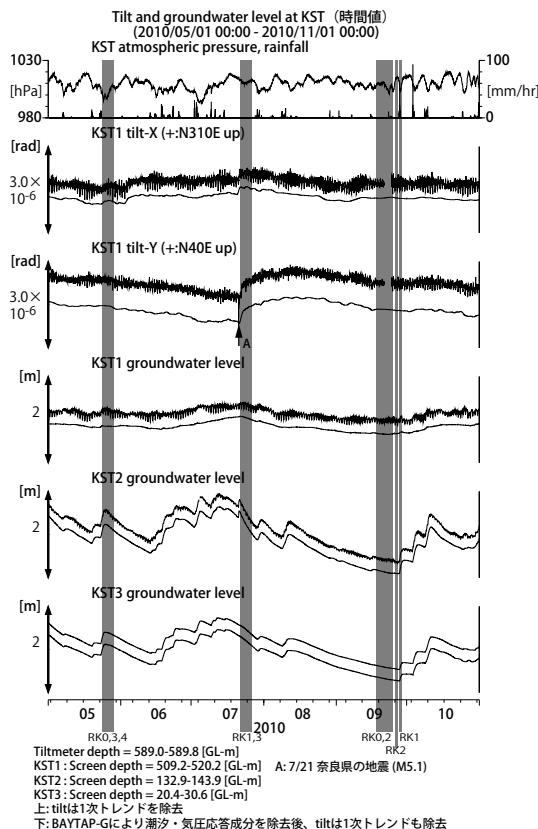
第14図 HGMにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 14 Observed tilt and groundwater levels at the HGM observation site from May to October 2010.



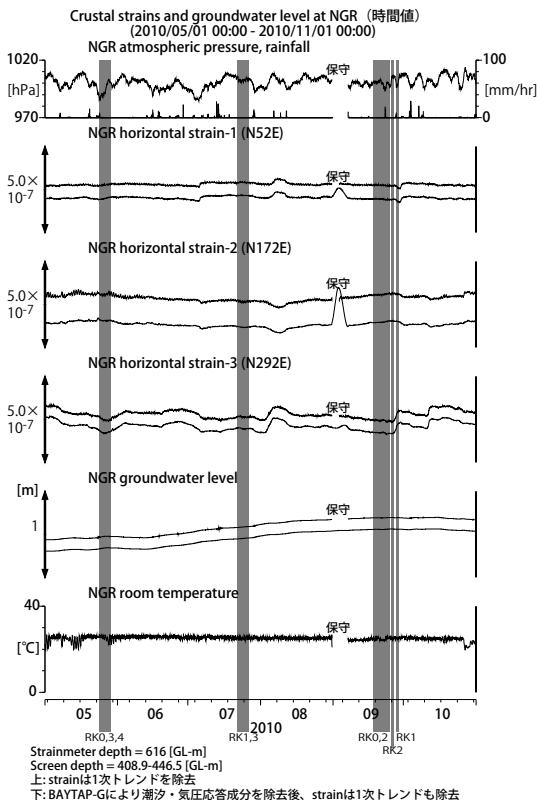
第15図 KSTにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 15 Observed strain at the KST observation site from May to October 2010.



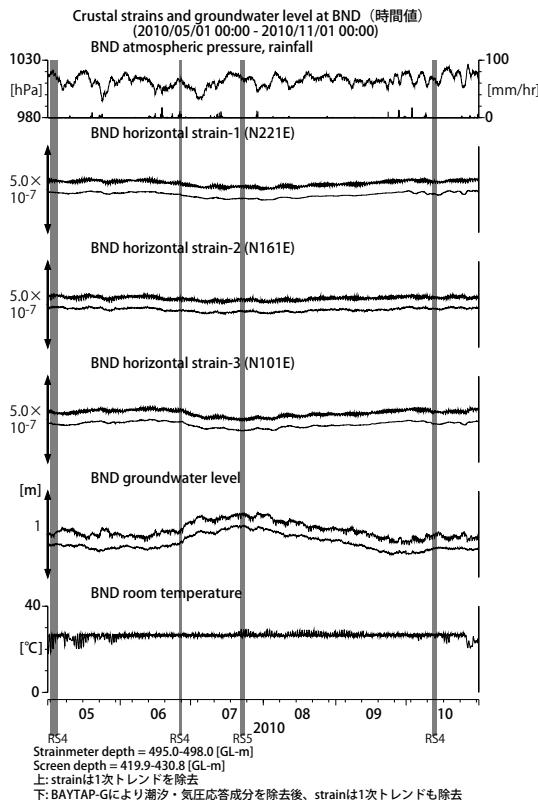
第16図 KSTにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 16 Observed tilt and groundwater levels at the KST observation site from May to October 2010.



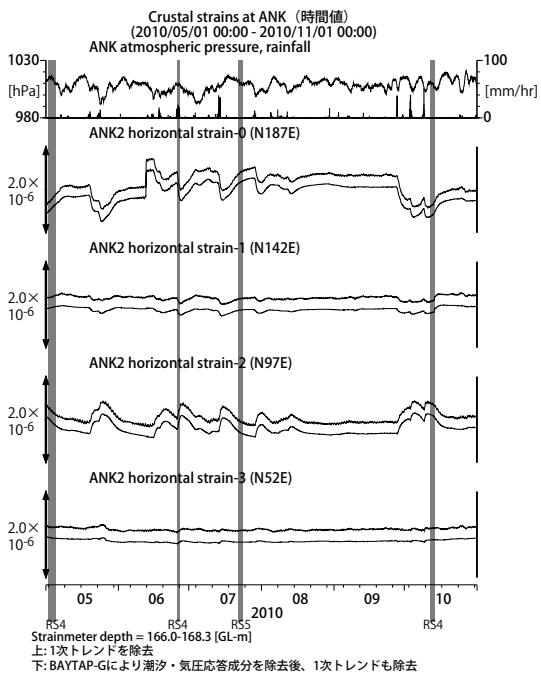
第17図 NGRにおける歪・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 17 Observed strain and groundwater levels at the NGR observation site from May to October 2010.



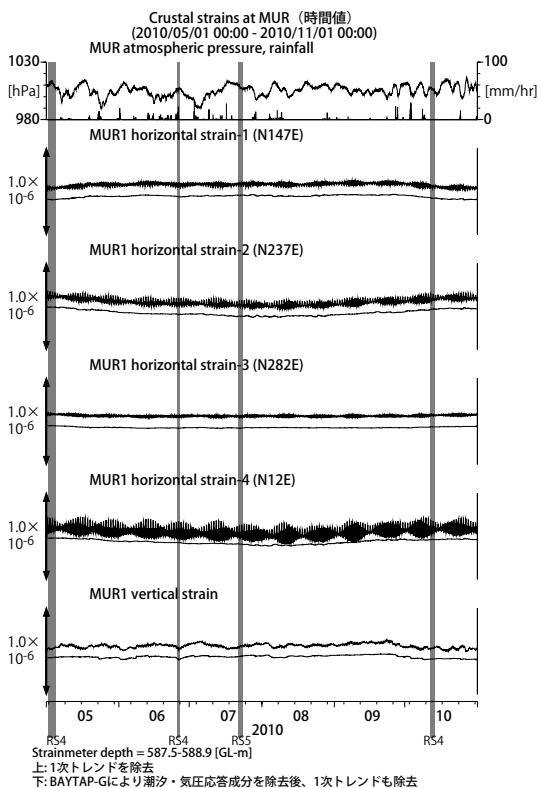
第18図 BNDにおける歪・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 18 Observed strain and groundwater levels at the BND observation site from May to October 2010.



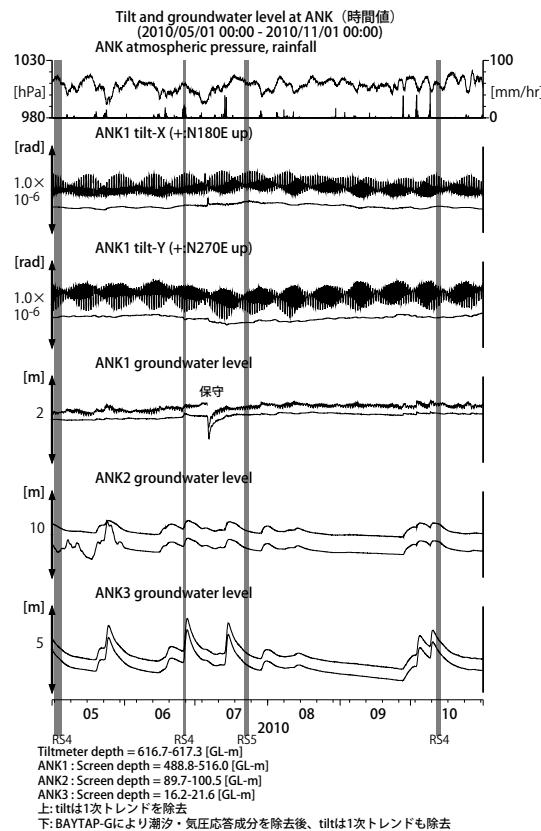
第19図 ANKにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 19 Observed strain at the ANK observation site from May to October 2010.



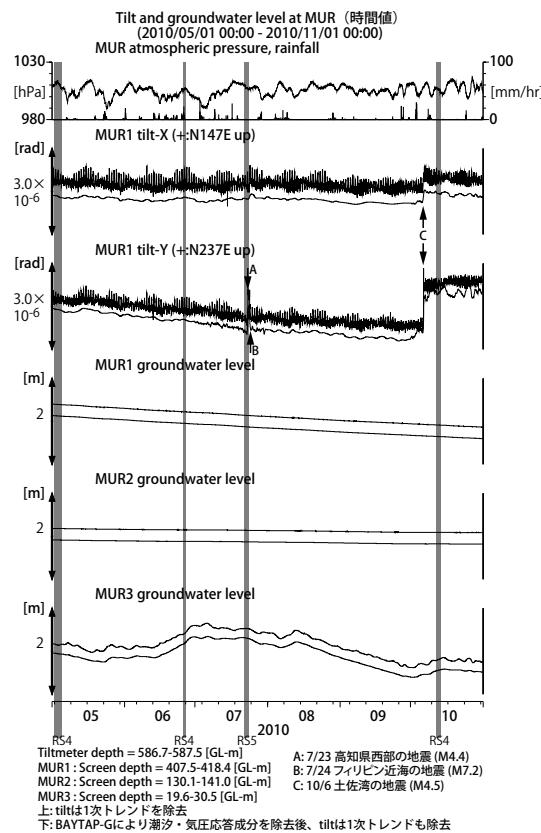
第21図 MURにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 21 Observed strain at the MUR observation site from May to October 2010.



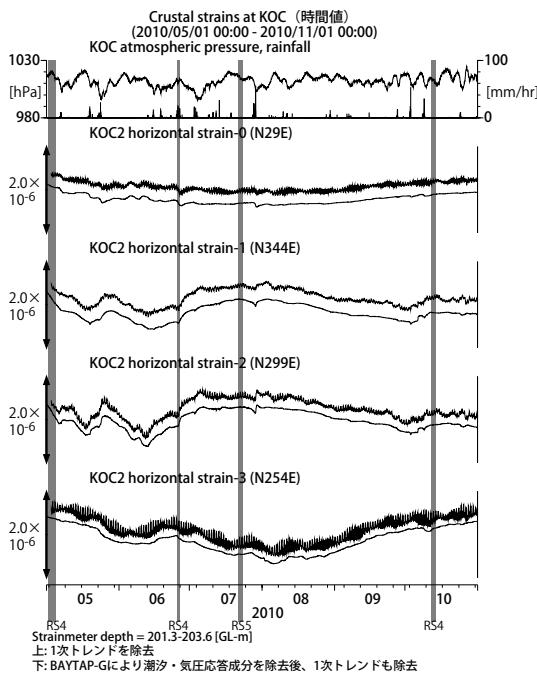
第20図 ANKにおける傾斜・地下水位観測結果(2010年5月～10月)

Fig. 20 Observed tilt and groundwater levels at the ANK observation site from May to October 2010.



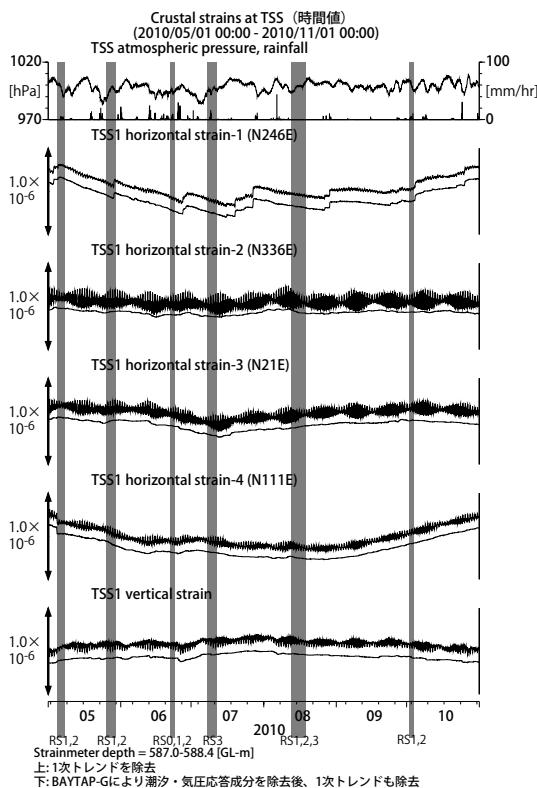
第22図 MURにおける傾斜・地下水位観測結果(2010年5月～10月)

Fig. 22 Observed tilt and groundwater levels at the MUR observation site from May to October 2010.



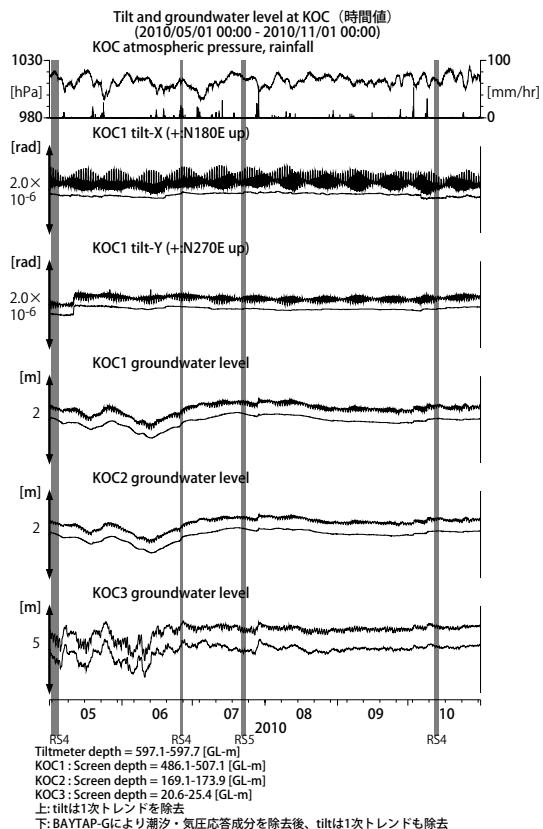
第23図 KOCにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 23 Observed strain at the KOC observation site from May to October 2010.



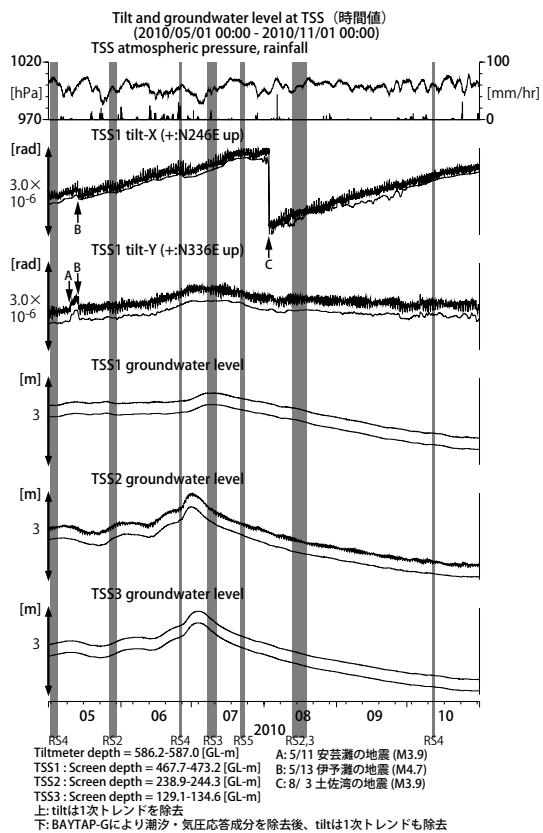
第25図 TSSにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 25 Observed strain at the TSS observation site from May to October 2010.



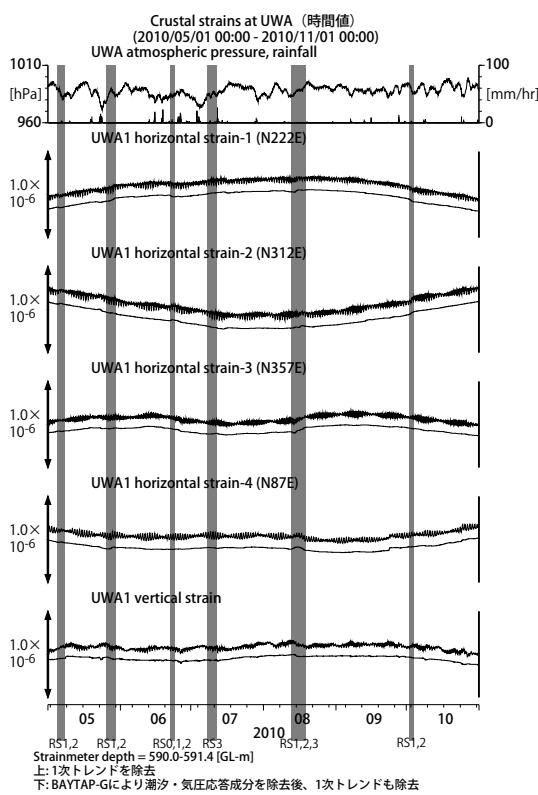
第24図 KOCにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 24 Observed tilt and groundwater levels at the KOC observation site from May to October 2010.



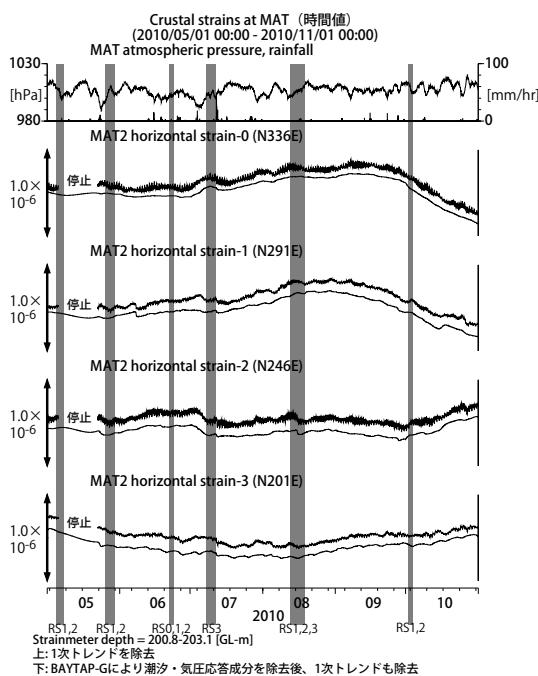
第26図 TSSにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 26 Observed tilt and groundwater levels at the TSS observation site from May to October 2010.



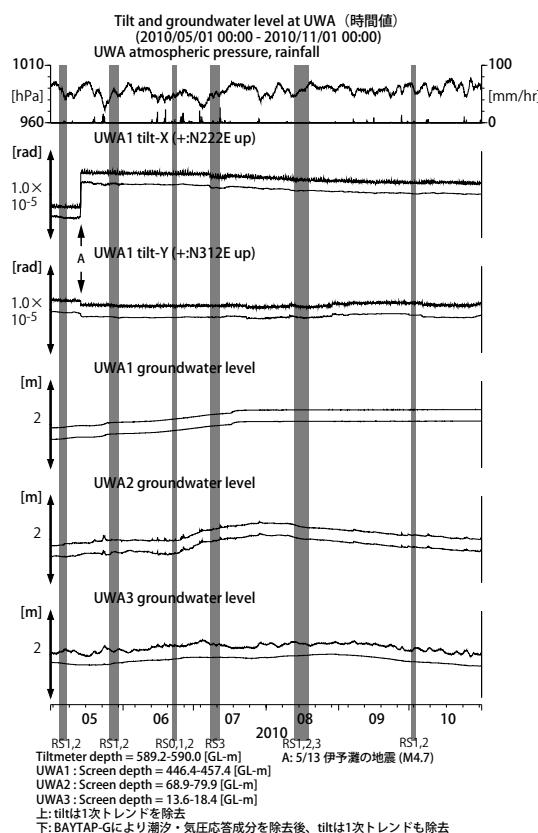
第27図 UWAにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 27 Observed strain at the UWA observation site from May to October 2010.



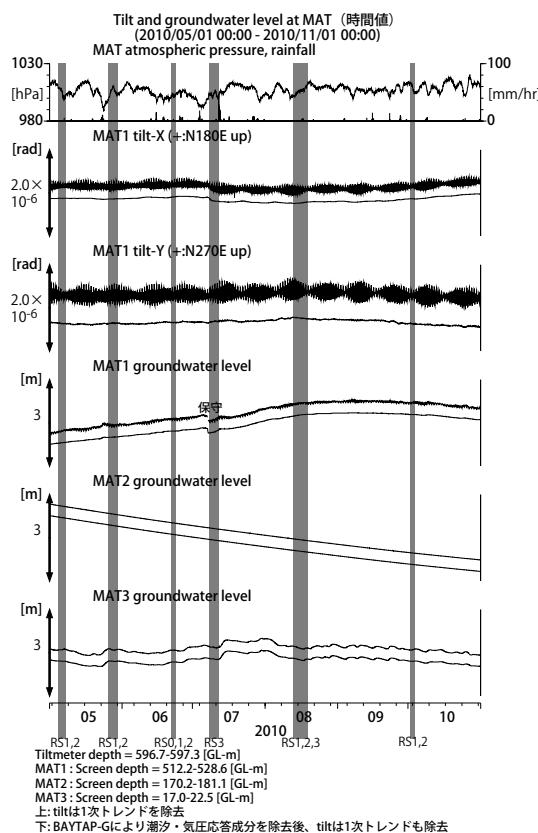
第29図 MATにおける歪観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 29 Observed strain at the MAT observation site from May to October 2010.



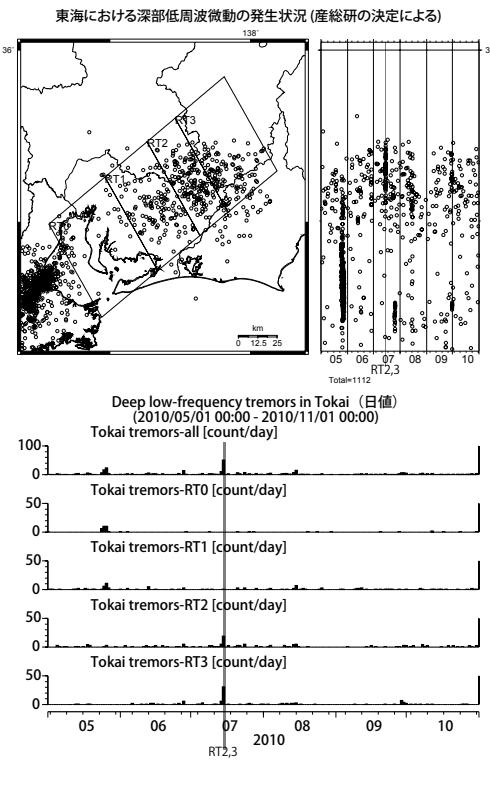
第28図 UWAにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 28 Observed tilt and groundwater levels at the UWA observation site from May to October 2010.



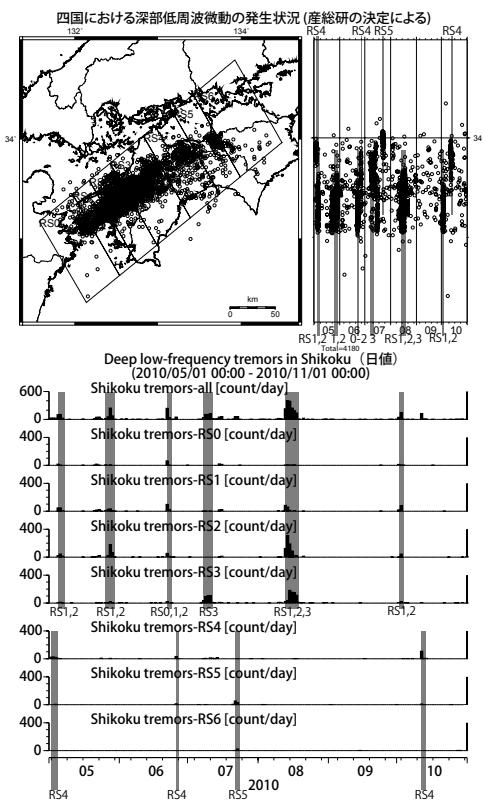
第30図 MATにおける傾斜・地下水位観測結果  
(2010年5月～10月)

Fig. 30 Observed tilt and groundwater levels at the MAT observation site from May to October 2010.



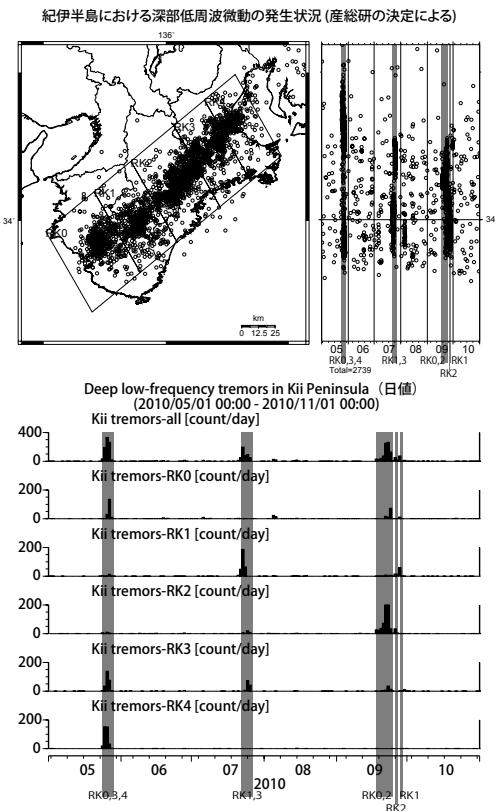
第31図 東海地方における低周波微動の時空間分布および発生個数(2010年5月～10月)

Fig. 31 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Tokai district from May to October 2010.



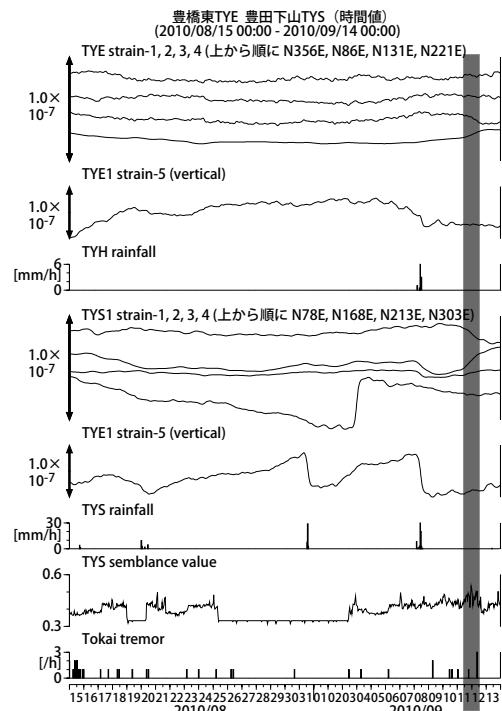
第33図 東海地方における低周波微動の時空間分布および発生個数(2010年5月～10月)

Fig. 33 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Shikoku district from May to October 2010.



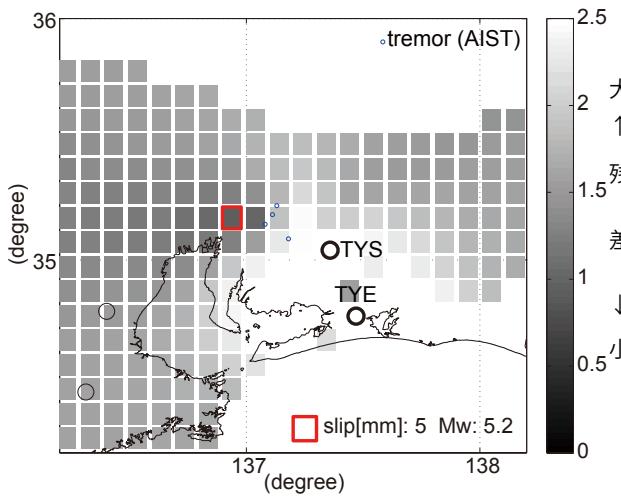
第32図 紀伊半島における低周波微動の時空間分布および発生個数(2010年5月～10月)

Fig. 32 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from May to October 2010.



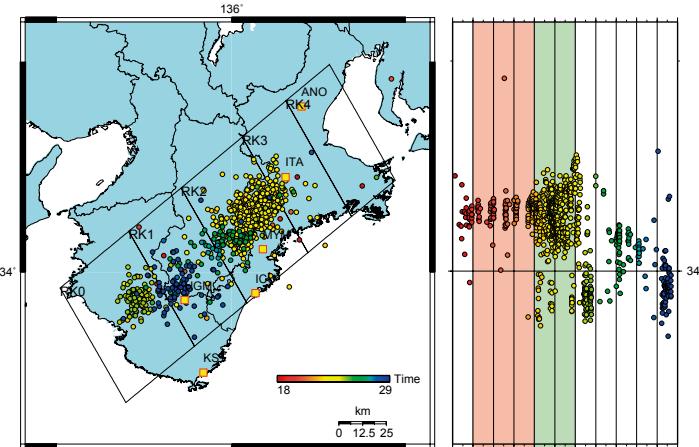
第34図 TYEおよびTYSにおける歪・センブランス値および東海地方の深部低周波微動発生個数(2010年8月15～9月13日)

Fig. 34 Observed strain and semblance value at the TYE and the TYS observation site and number of deep low frequency tremor in the Tokai district from August 15 to September 13, 2010.



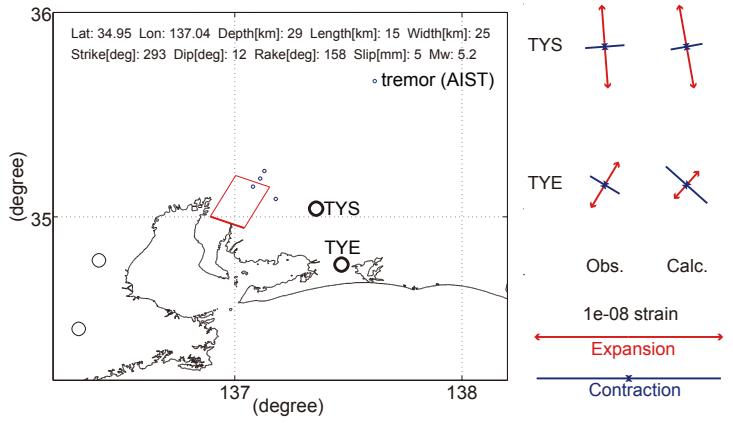
第35図 プレート境界面上のパッチ（断層面）をすべらせた際の、歪3成分の観測値と計算値の残差分布図。青丸は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は5~500mmで可変(5mm間隔)。赤線は最小残差のパッチ。このパッチのすべり量、Mwを下部に示す。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

Fig. 35 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Blue circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the Geological Survey of Japan (GSJ), AIST. The patch size is  $20 \times 20\text{km}$ , the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The red square shows the path with minimum residual. The amount of slip and Mw of this patch are shown downward. The black bold circle shows the observation site used to calculate.



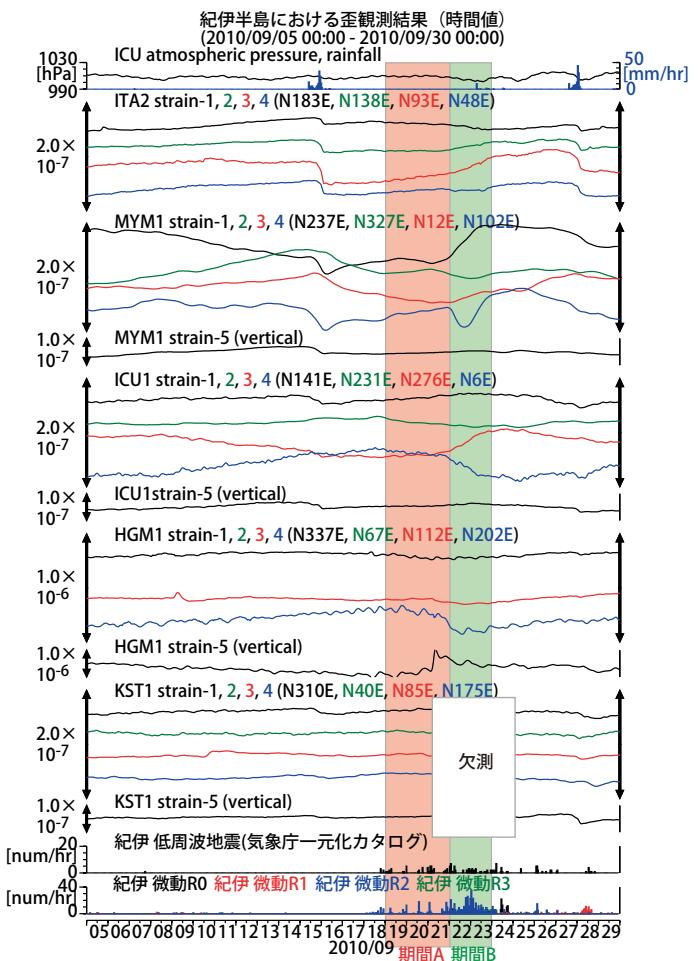
第37図 2010/9/18-23における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンペロープ相関法により決定。

Fig. 37 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from September 18 to 23, 2010. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



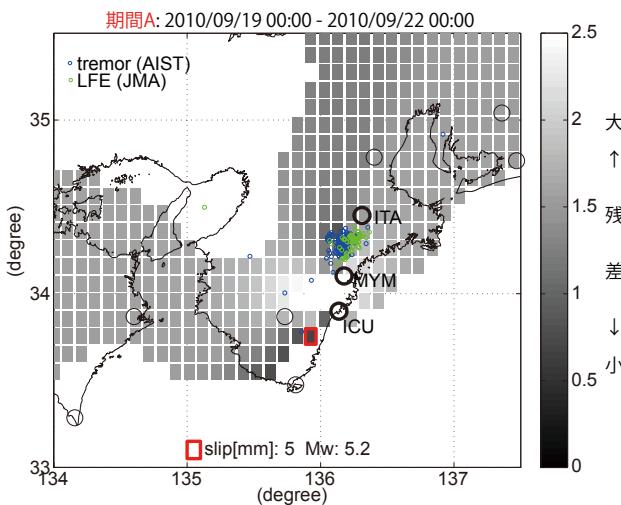
第36図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果。断層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ10~50kmまで5km間隔、すべり量は5~500mmまで5mm間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。

Fig. 36 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. The interval of the fault position is 0.1 degree, width and length of the fault is changeable from 10 to 50 km every 5 km, respectively, the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



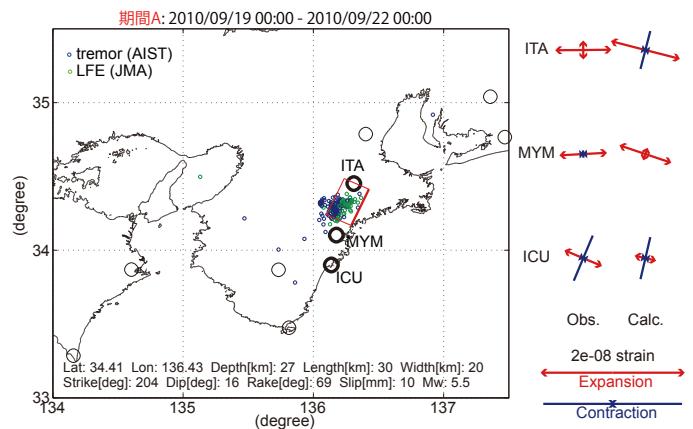
第38図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動・低周波地震（気象庁一元化カタログ）発生個数(2010年9月5日～29日)

Fig. 38 Observed strain in the observation site and number of deep low frequency tremor and low frequency earthquake (Japan Meteorological Agency (JMA) catalog) in the Tokai district from September 5 to 29, 2010.



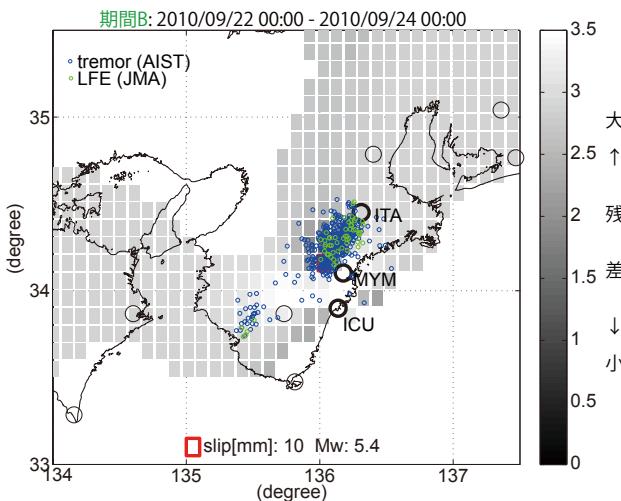
第39図 プレート境界面上のパッチ（断層面）をすべらせた際の、歪3成分の観測値と計算値の残差分布図。青○は産総研による深部低周波微動震央、緑○は気象庁による低周波地震。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は $5\sim 500\text{mm}$ で可変(5mm間隔)。赤線は最小残差のパッチ。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

Fig. 39 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Blue circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST, and the green circle shows hypocenter of low frequency earthquake by the JMA catalog. The patch size is  $20 \times 20\text{km}$ , the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The red square shows the path with minimum residual. The amount of slip and Mw of this patch are shown downward. The black bold circle shows the observation site used to calculate.



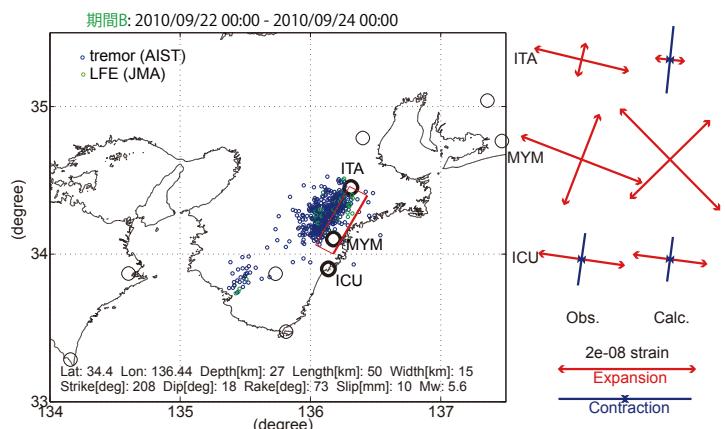
第40図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果。北緯 $34^{\circ}$ 以北で計算を行った。断層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ10~50kmまで5km間隔、すべり量は5~500mmまで5mm間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。

Fig. 40 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. The calculation range is north north latitude  $34^{\circ}$  degrees. The interval of the fault position is 0.1 degree, width and length of the fault is changeable from 10 to 50 km every 5 km, respectively, the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



第41図 プレート境界面上のパッチ（断層面）をすべらせた際の、歪3成分の観測値と計算値の残差分布図。青○は産総研による深部低周波微動震央、緑○は気象庁による低周波地震。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は $5\sim 500\text{mm}$ で可変(5mm間隔)。赤線は最小残差のパッチ。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

Fig. 41 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Blue circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST, and the green circle shows hypocenter of low frequency earthquake by the JMA catalog. The patch size is  $20 \times 20\text{km}$ , the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The red square shows the path with minimum residual. The amount of slip and Mw of this patch are shown downward. The black bold circle shows the observation site used to calculate.



第42図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果。断層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ10~50kmまで5km間隔、すべり量は5~500mmまで5mm間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。

Fig. 42 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. The interval of the fault position is 0.1 degree, width and length of the fault is changeable from 10 to 50 km every 5 km, respectively, the amount of slip is changeable from 5 to 500 mm every 5 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.