

8-6 紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2011年5月～2011年10月） The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May to October 2011)

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

産業技術総合研究所（産総研）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。既存の3観測点と合わせて、観測点配置図を第1図に示す。

第2～34図には、2011年5月～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[Tamura et al., 1991]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35～40図には、産総研で決定した、エンベロープ相関法による深部低周波微動の震源の時空間分布および個数を示す。

東海全体（RT0～3）で微動の発生回数が50個/日以上の日を含む期間（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）を、紀伊半島全体（RK0～4）で微動の発生回数が50個/日以上の日を含む期間（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）を、四国東部（RS4-RS6）の合計で微動の発生回数が25個/日以上の日を含む期間（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）を、四国西部（RS0～RS3）の合計で微動の発生回数が100個/日以上の日を含む期間（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）を、それぞれ灰色網掛けにてその期間を主な活動地域と共に表示した。

2011年より、産総研の歪等の地下水等総合観測網の歪・傾斜計等と、防災科学技術研究所（防災科研）のHi-net高感度加速度計（傾斜計）等との相互データ交換を開始した（第55図）。板場ほか[2011]では、歪計・傾斜計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。2011年9月以降、歪観測点の密度が高く、傾斜計のノイズレベルが小さく、比較的規模の大きい短期的SSEが発生する、三重県中部において、両者で有意な変化が観測されたイベントについては、原則として統合解析の結果を報告するほか、準備が整い次第対象地域を広げていく予定である。断層モデル推定手法については、解析結果の後に示す。

2011年6月28日午後～7月1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41図）、ANO、ITAおよびMYMにおいて歪変化が観測された（第42図）。広域を対象に断層面の大きさを固定した1段階目の解析結果を第43図に示す。残差が小さい領域が3つに分かれたため、微動の震源域周辺を対象にした詳細な2段階目の解析により残差最小の断層面を推定した結果を第44図に示す。すべり量は20mm、Mwは5.9と推定された。

2011年7月5日20時頃～8日6時頃にかけて、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45図）、MYM、ICUおよびKSTにおいて歪変化が観測された（第46図）。広域を対象に断層面の大きさを固定した1段階目の解析結果を第47図に、残差が小さい領域周辺を対象にした詳細な2段階目の解析により残差最小の断層面を推定した結果を第48図に示す。概ね微動

域に断層面が推定された。すべり量は 19mm, Mw は 5.6 と推定された。

2011 年 7 月 27 日午後～8 月 1 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 49 図）、TYE および TYS において歪変化が観測された（第 50 図）。歪変化および微動震源域の移動を参考に 2 つの期間に分けた。広域を対象に断層面の大きさを固定した 1 段階目の解析結果を第 51 図および第 53 図に、残差が小さい領域周辺を対象にした詳細な 2 段階目の解析により残差最小の断層面を推定した結果を第 52 図および第 54 図に示す。概ね微動域に断層面が推定された。前半期間のすべり量は 61mm, Mw は 5.5、後半期間のすべり量は 13mm, Mw は 5.6 と推定された。前半期間は断層面の大きさが小さく、相対的にすべり量が大きく推定された。

2011 年 9 月 12 日～15 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 56 図）、産総研の歪 3 観測点、傾斜 1 観測点と、防災科研の傾斜 5 観測点において変化が観測された（第 57 図）。広域を対象に断層面の大きさを固定した 1 段階目での解析結果を第 58 図に示す。歪のみの場合は微動域の南東端付近に残差が小さい領域が、傾斜のみおよび統合後の場合は微動域全体に残差が小さい領域が広がっている。この領域周辺を対象にした詳細な 2 段階目の解析で、残差最小の断層面を推定した結果を第 59 図に示す。統合解析では、微動域をやや広めに囲う断層面が推定された。すべり量は 5mm, Mw は 5.8 と推定された。

2011 年 10 月 28 日午後～30 日にかけて、奈良県南部において活発な深部低周波微動が観測された（第 60 図）。28 日昼頃～29 日昼頃までは南西側部分のみの小規模な活動であったが、29 日昼頃からは北東側に広がって活発化した。周辺の歪観測点において、微動活動活発化に対応した歪変化が観測された（第 61 図）。これらの観測結果を用いて 29 日 12 時～31 日 0 時における短期的 SSE の断層モデル推定を行った。広域を対象に断層面の大きさを固定した 1 段階目の解析では、微動の中心付近に断層面を仮定した場合に、歪の観測値と計算値（期待値）の残差が小さくなる（第 62 図）。この領域周辺を対象にした詳細な 2 段階目の解析で、残差最小の断層面を推定したところ、微動域を含み、西側および北側（深部側）に広い断層面が推定された（第 63 図）。この領域の東側の三重県中部～奈良県東部県境付近では、上述の通り約 1.5 ヶ月前に短期的 SSE が発生したと推定されている。この期間に推定された断層モデルを第 63 図に追記している。なお、すべり量は 3mm, Mw は 5.4 と推定された。

紀北海山では水平歪 3 (N12E) において、伸び→縮みの大きな変化が認められるが、他の 3 成分では認められない。水平 4 成分の歪計は鉛直方向に並んでおり、それぞれ深度が異なる（第 64 図）。センサー近傍でローカルな変位（例えばクラック中の間隙水圧変化）が生じた場合、その位置の違いから、4 成分の整合性が悪くなる。一方で、歪計から十分に離れた場所をソースとする地殻変動が生じた場合（例えば短期的 SSE）、その位置の違いは無視できるため、4 成分は整合的な変化となる。イベント前半期間だけを対象にすると 4 成分の整合性は悪く、この水平歪 3 (N12E) の変化はローカルな影響を受けたものか、計器内部に起因するものであると推測できる（第 65, 66 図）。一方で、イベント全期間でみると、4 成分の整合性は比較的良い（第 66 図）。そのため、全期間で見ると、ローカルな影響はキャンセルされて無視できるレベルと判断として、解析の対象からは外さなかった。

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・傾斜 2 成分の記録を用いる。歪・傾斜ともに、観測波形から BAYTAP-G [Tamura et al., 1991] 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で 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。断層面は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、推定された結果の一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、断層面の幅および長さを 10～50km（奈良県東部、三重県中部～北部のイベントでは長さのみ 10～80km）、それぞれ 5km 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 2 点以下の場合や、断層面と観測点配置の関係によっては一意性が低くなるので注意が必要である。なお、異種間観測値を統合して解析するため、各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

微動の解析には、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。短期的 SSE の断層モデルの推定には、防災科研の傾斜計データを使用しました。ここに記して感謝します。

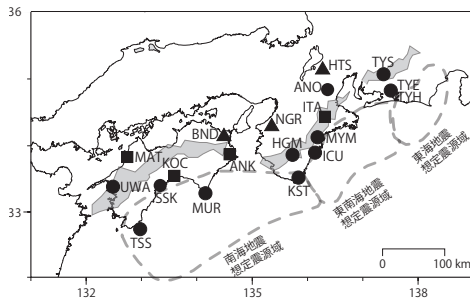
（板場智史・北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・武田直人）

参 考 文 献

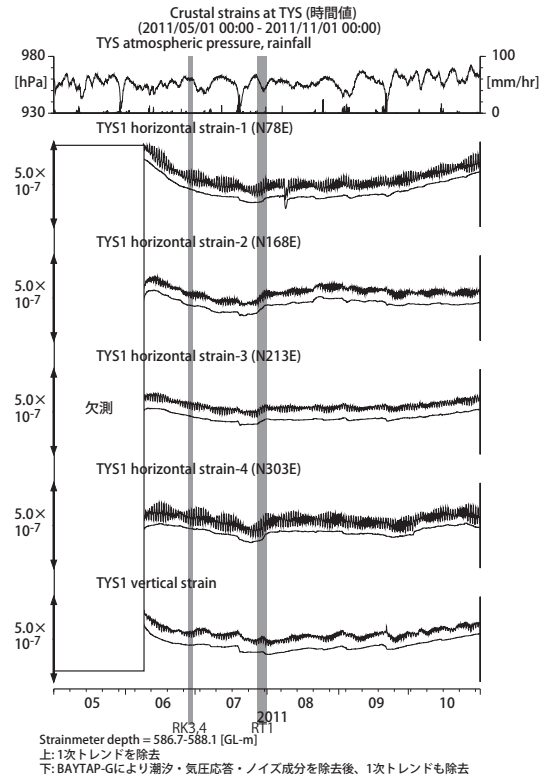
- 1) 板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 木村武志, 木村尚紀, 廣瀬仁, 針生義勝, 歪・傾斜統合解析による短期的 SSE 断層モデルの推定, 日本地震学会, 2011 年度秋期大会, 静岡, 10 月, 2011.
- 2) Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 82, 1018-1040, 1992.
- 3) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, Geophys. J. Int., 104, 507-516, 1991.
- 4) 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.
- 5) Matsumoto, N., O. Kamigaichi, Y. Kitagawa, S. Itaba, and N. Koizumi, 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, 2010.

3文字コード (変更無し)	旧名称	新名称	新名称ふりがな	市区町村	国
TYS	豊田下山	豊田神領	とよたかんのりょう	愛知県豊田市	2,3
TYE	豊田多摩	とよはしたま	とよはしたま	愛知県豊田市	4,5
HTS	豊田	豊田寺之庄	とよはしやうのしやう	滋賀県長岡京市	6
ANO	安濃	津安濃	つあのう	三重県津市	7,8
ITA	飯高寺橋	松阪飯高	まつさかいいたか	三重県松阪市	9,10
MYM	海山	紀北海山	きはくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	11,12
ICU	井内浦	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	13,14
HGM	本宮三線	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	15,16
KST	串本津路	串本津路	くしもとづか	和歌山県東牟婁郡串本町	17,18
NGR	根来	岩出東坂本	いわでひがしかもと	和歌山県岩出市	19
BND	坂東	鳴門大坂	なるとおおさ	徳島県鳴門市	20
ANK	阿南桑野	阿南桑野	あなんくわの	徳島県阿南市	21,22
MUR	室戸	室戸岬	むろとみさき	高知県室戸市	23,24
KOC	高知市	高知五台山	こうちごたいざん	高知県高知市	25,26
SSK	須崎	須崎大谷	すさきおおたに	高知県須崎市	27,28
TSS	土佐清水	土佐清水松尾	とさしみずまつお	高知県土佐清水市	29,30
UWA	宇和	西予宇和	せいようわ	愛媛県西予市	31,32
MAT	松山	松山南江戸	まつやまみなみえど	愛媛県松山市	33,34

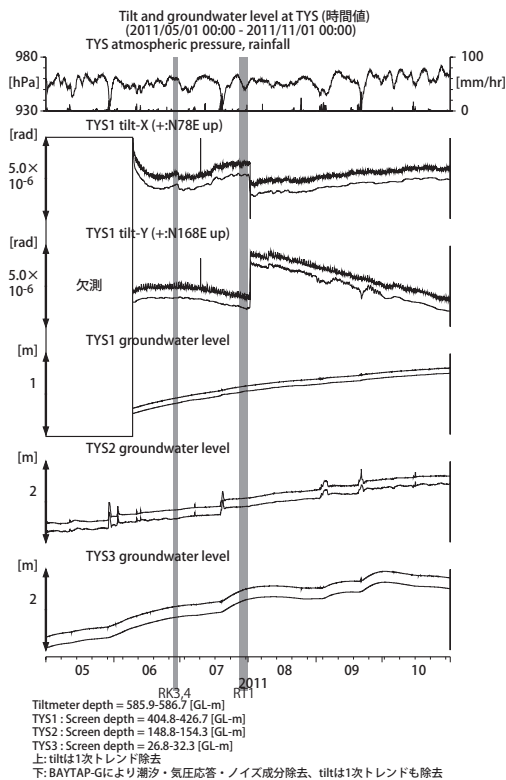
第1表 地下水等総合観測点の一覧。
Table.1 List of the observation sites.



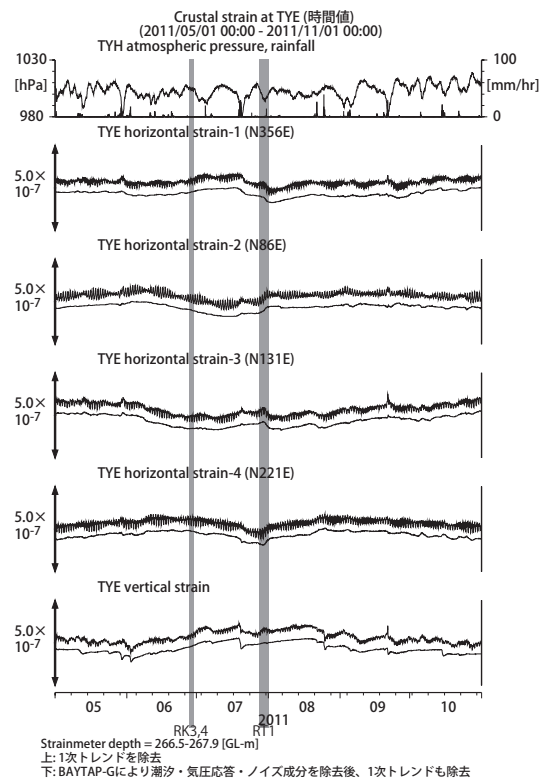
第1図 地下水等総合観測点の分布図 (●・■・▲)。観測点の一覧は第1表に示す。●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している新規観測点、■はGladwin式歪計・ミットヨウ式傾斜計を併設している新規観測点、▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している既存の観測点。灰色の領域は短期的SSE及び深部低周波微動が定期的に発生していると考えられる地域。
Fig.1 Location of the observation sites (●・■・▲). The list of the observation sites is shown in Table.1. Circles (●) show the new observation sites at which the Ishii type multi-component strainmeter and the tiltmeter (digital type) are installed. Squares (■) show the new observation sites at which the Gladwin type multi-component strainmeter and the Mitsutoyo type tiltmeter are installed. Triangles (▲) show the old observation sites at 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 events and deep low frequency tremors occur stationarily.



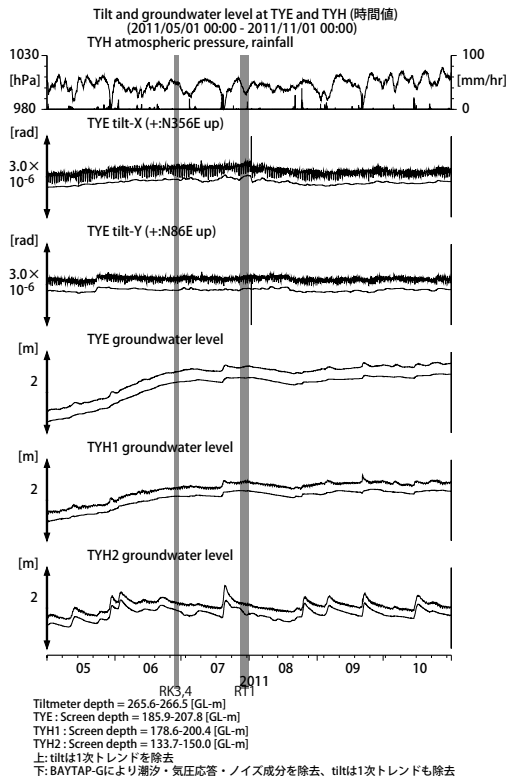
第2図 TYSにおける歪観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.2 Observed strain at the TYS observation site from May to October 2011.



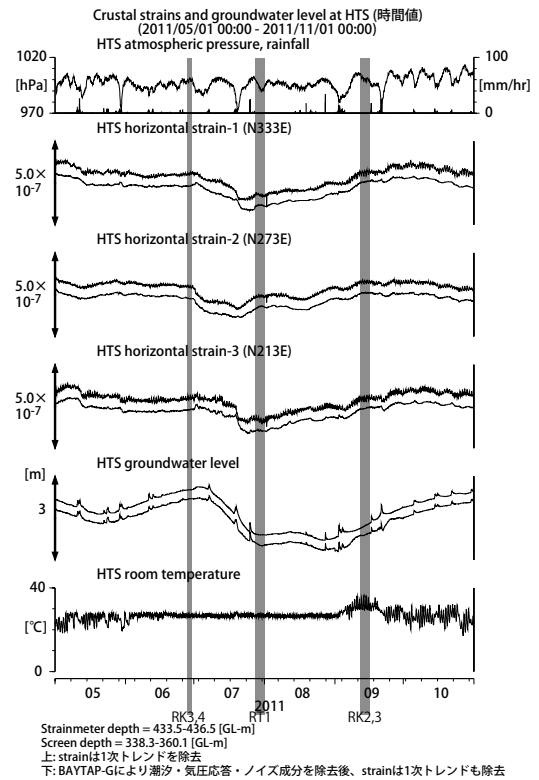
第3図 TYSにおける傾斜・地下水位観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.3 Observed tilt and groundwater levels at the TYS observation site from May to October 2011.



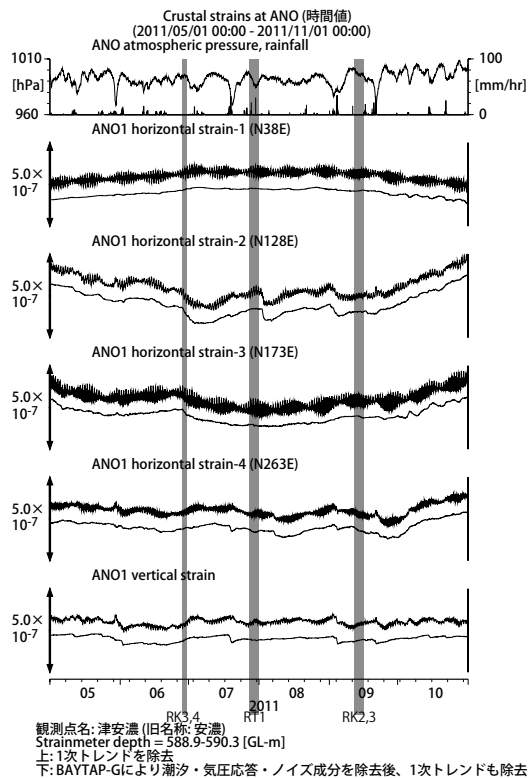
第4図 TYEにおける歪観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.4 Observed strain at the TYE observation site from May to October 2011.



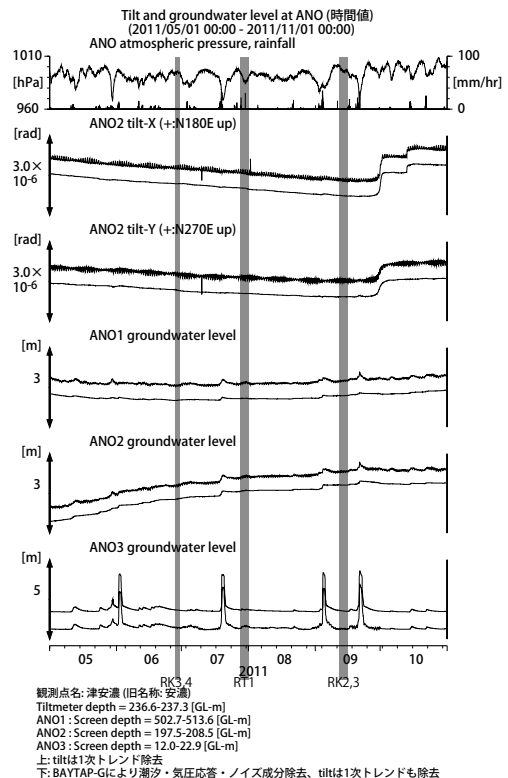
第5図 TYE および TYH における傾斜・地下水位観測結果 (2011年5月～2011年10月)
Fig.5 Observed tilt and groundwater levels at the TYE and the TYH observation site from May to October 2011.



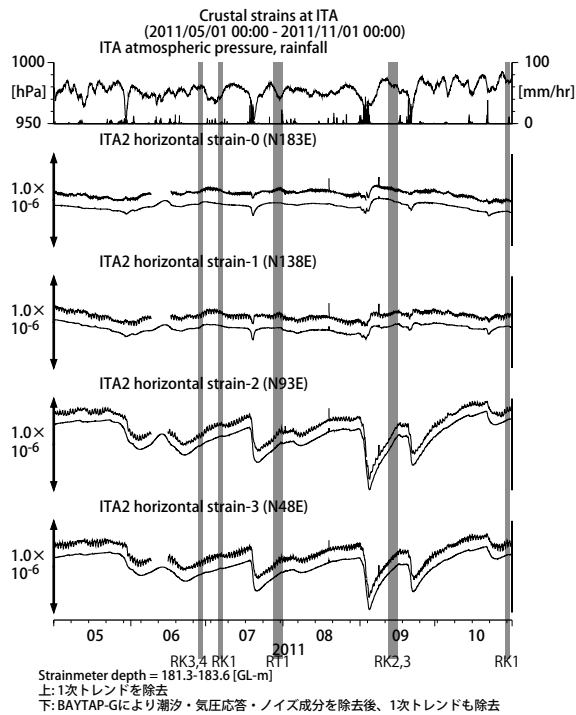
第6図 HTS における歪・地下水位観測結果 (2011年5月～2011年10月)
Fig.6 Observed strain and groundwater levels at the HTS observation site from May to October 2011.



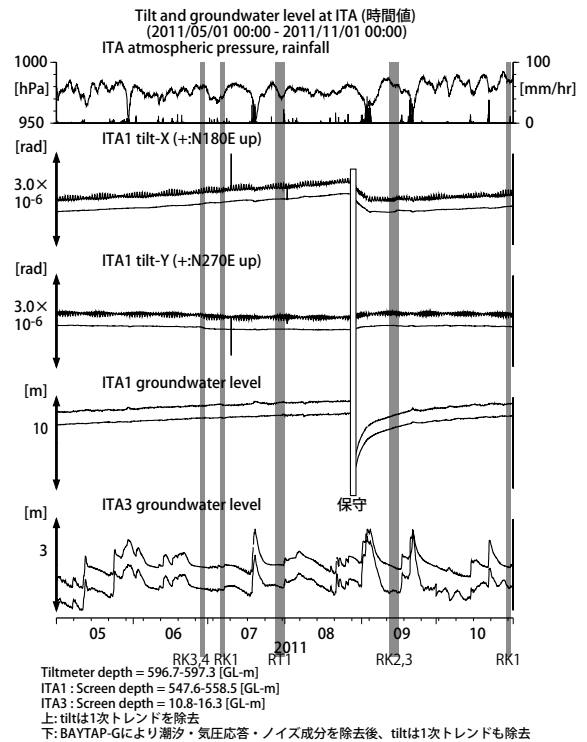
第7図 ANO における歪観測結果 (2011年5月～2011年10月)
Fig.7 Observed strain at the ANO observation site from May to October 2011.



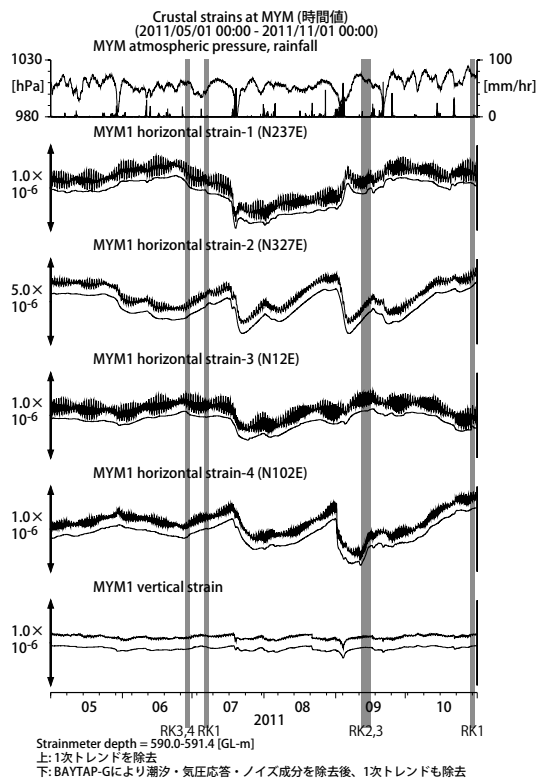
第8図 ANO における傾斜・地下水位観測結果 (2011年5月～2011年10月)
Fig.8 Observed tilt and groundwater levels at the ANO observation site from May to October 2011.



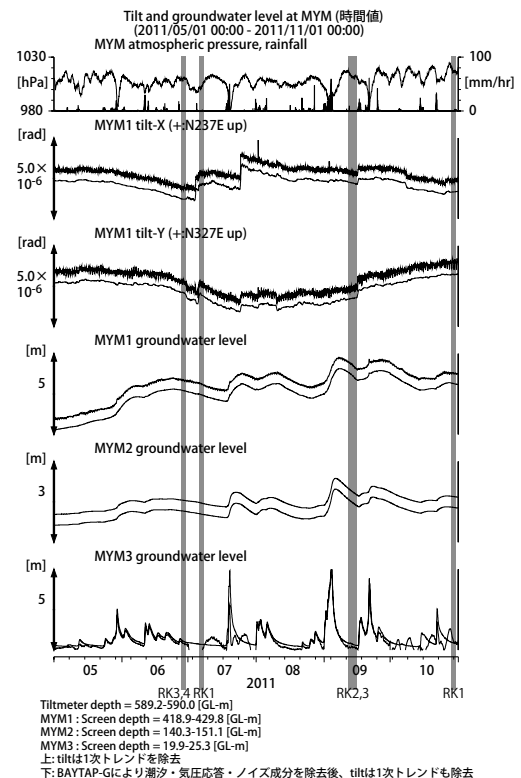
第9図 ITA における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.9 Observed strain at the ITA observation site from May to October 2011.



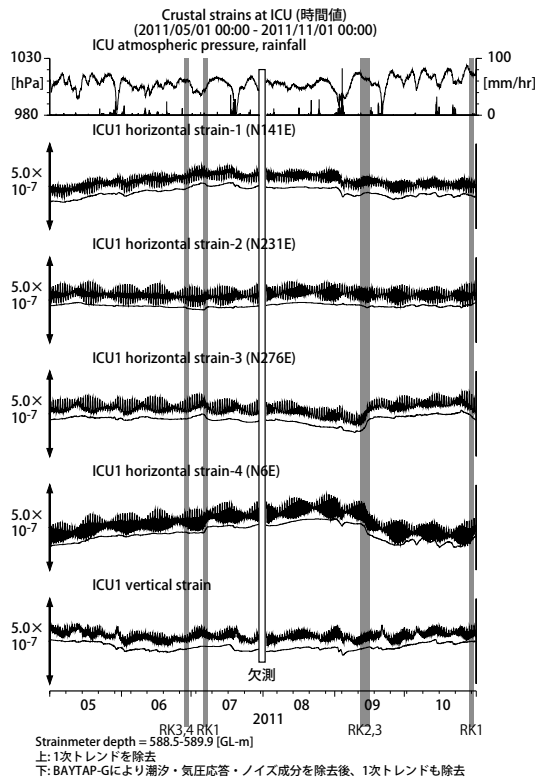
第10図 ITA における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.10 Observed tilt and groundwater levels at the ITA observation site from May to October 2011.



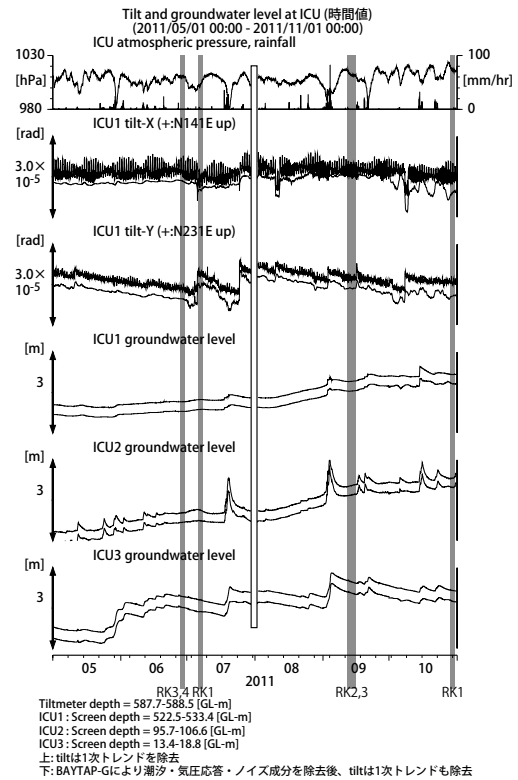
第11図 MYM における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.11 Observed strain at the MYM observation site from May to October 2011.



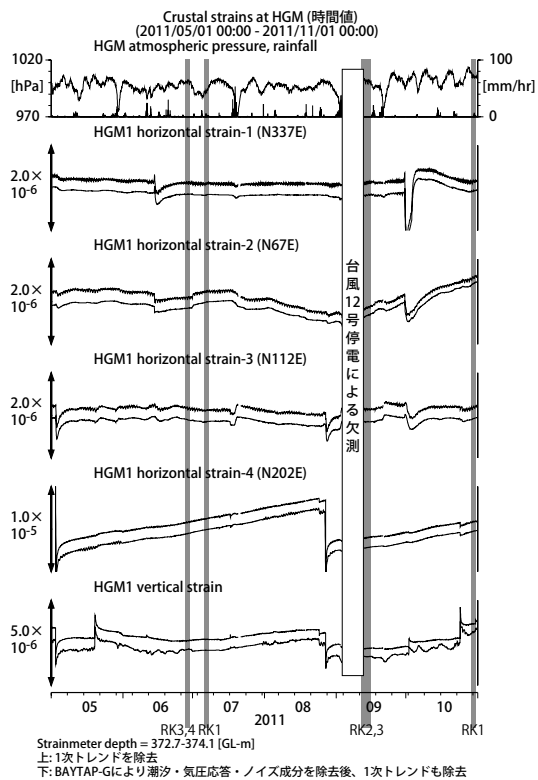
第12図 MYM における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.12 Observed tilt and groundwater levels at the MYM observation site from May to October 2011.



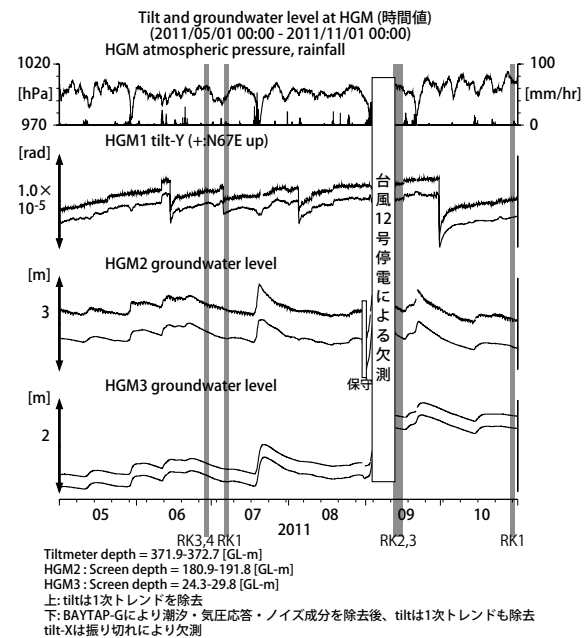
第 13 図 ICU における歪観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.13 Observed strain at the ICU observation site from May to October 2011.



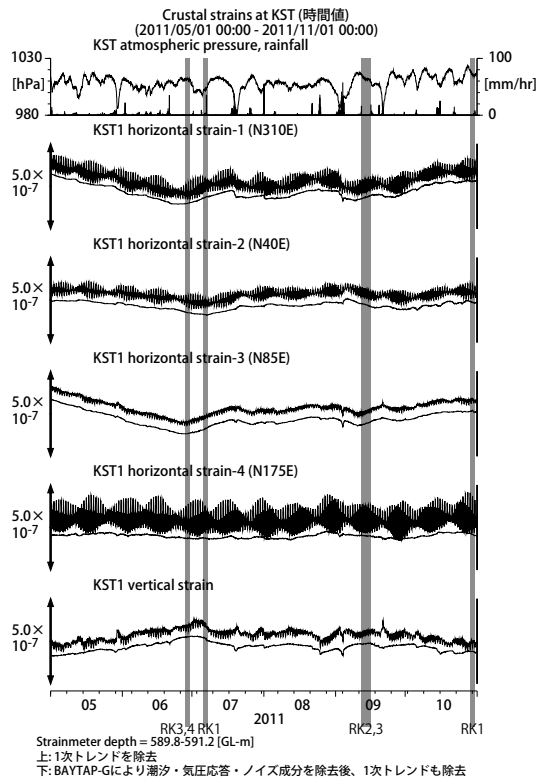
第 14 図 ICU における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.14 Observed tilt and groundwater levels at the ICU observation site from May to October 2011.



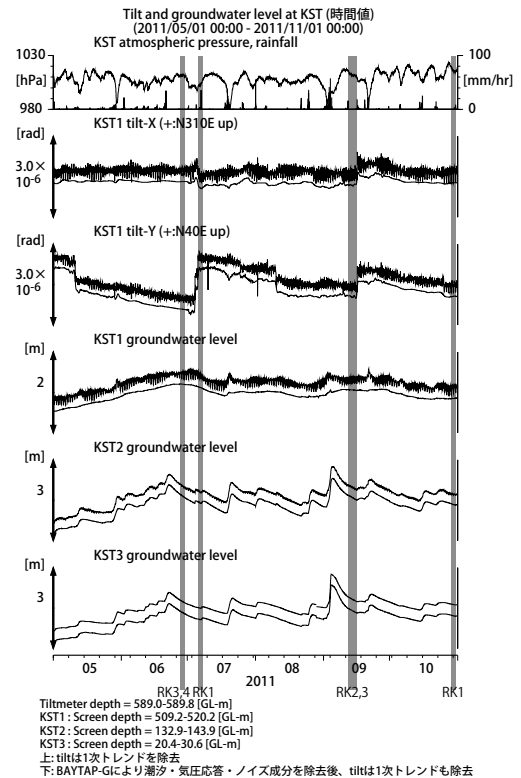
第 15 図 HGM における歪観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.15 Observed strain at the HGM observation site from May to October 2011.



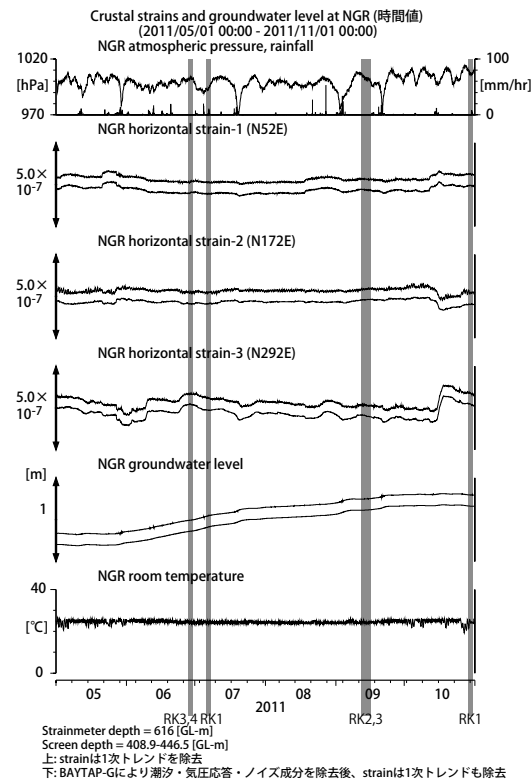
第 16 図 HGM における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.16 Observed tilt and groundwater levels at the HGM observation site from May to October 2011.



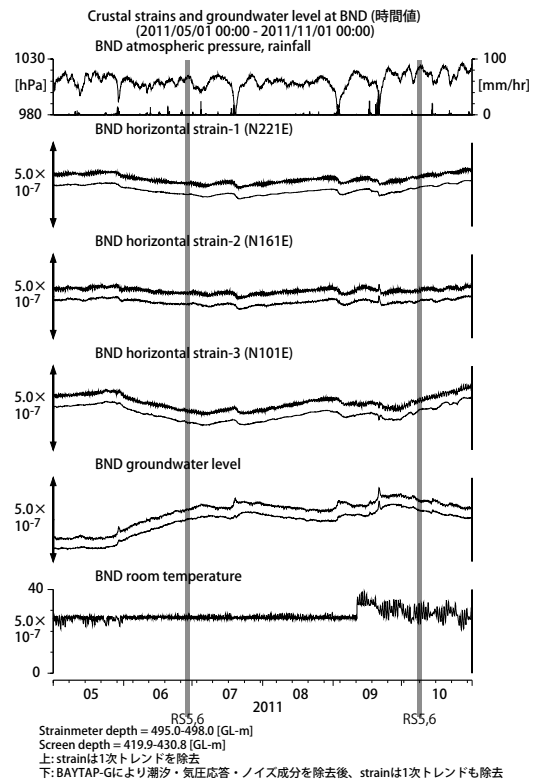
第 17 図 KST における歪観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.17 Observed strain at the KST observation site from May to October 2011.



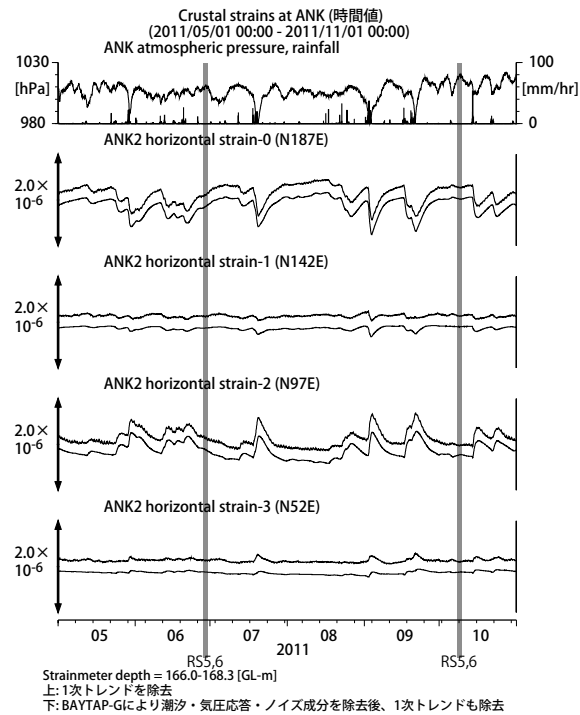
第 18 図 KST における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.18 Observed tilt and groundwater levels at the KST observation site from May to October 2011.



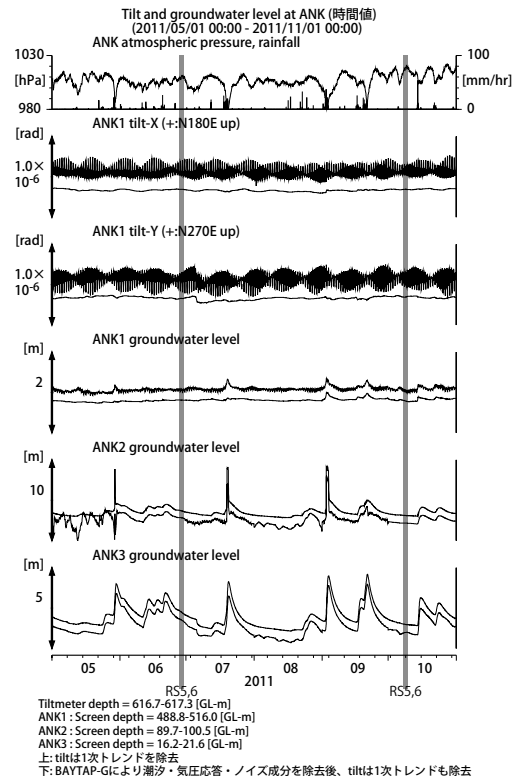
第 19 図 NGR における歪・地下水位観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.19 Observed strain and groundwater levels at the NGR observation site from May to October 2011.



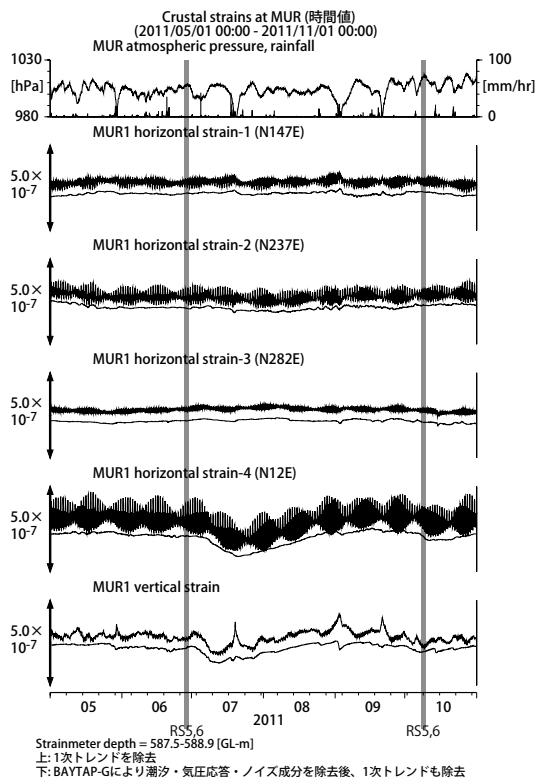
第 20 図 BND における歪・地下水位観測結果 (2011 年 5 月 ~ 2011 年 10 月)
Fig.20 Observed strain and groundwater levels at the BND observation site from May to October 2011.



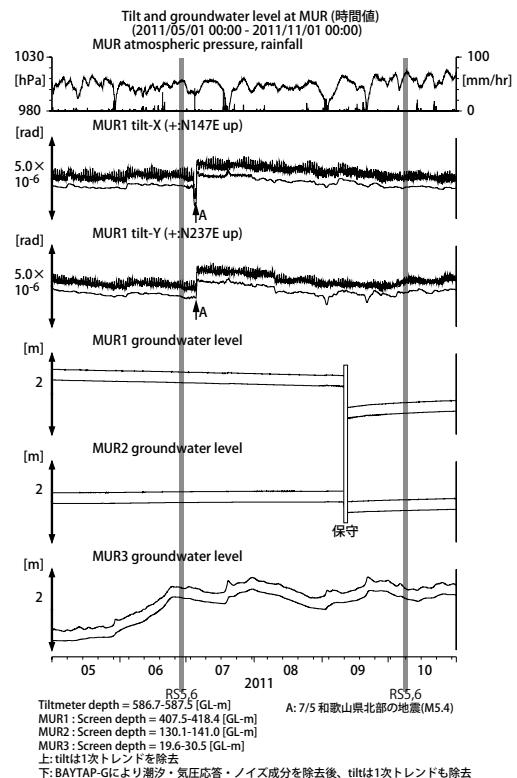
第 21 図 ANK における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.21 Observed strain at the ANK observation site from May to October 2011.



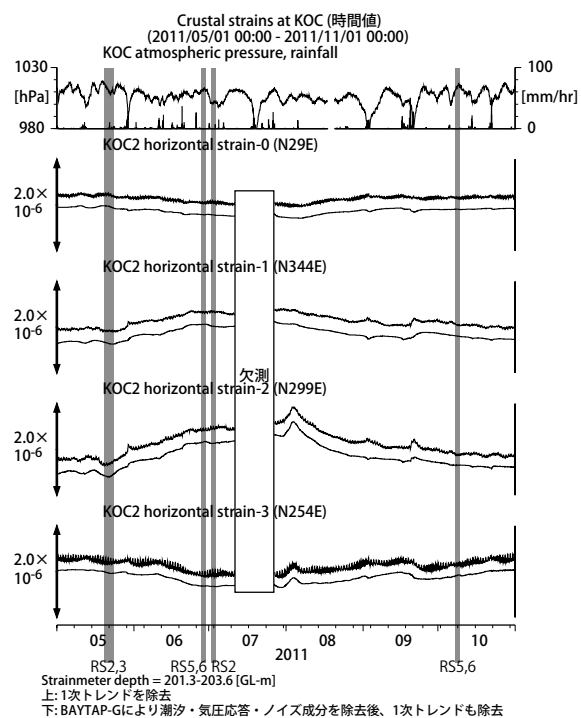
第 22 図 ANK における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.22 Observed tilt and groundwater levels at the ANK observation site from May to October 2011.



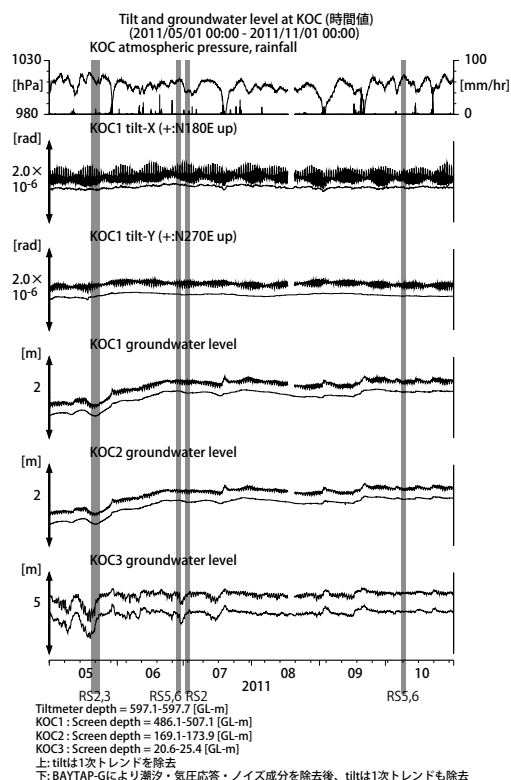
第 23 図 MUR における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.23 Observed strain at the MUR observation site from May to October 2011.



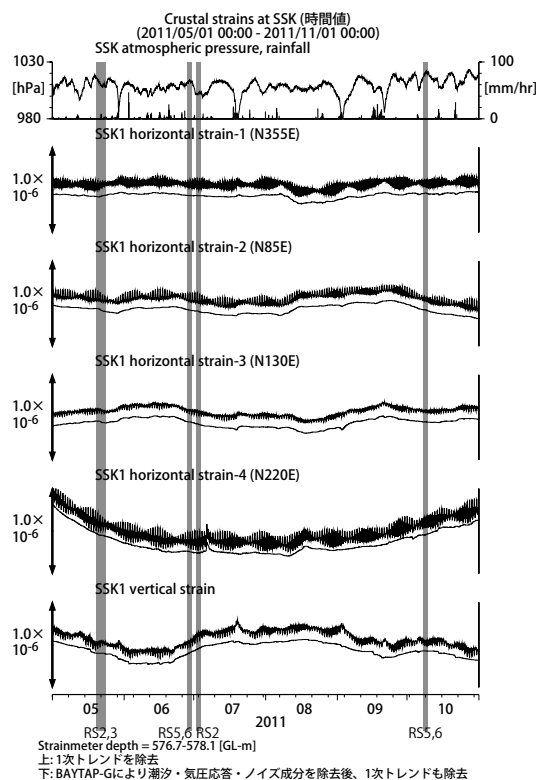
第 24 図 MUR における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.24 Observed tilt and groundwater levels at the MUR observation site from May to October 2011.



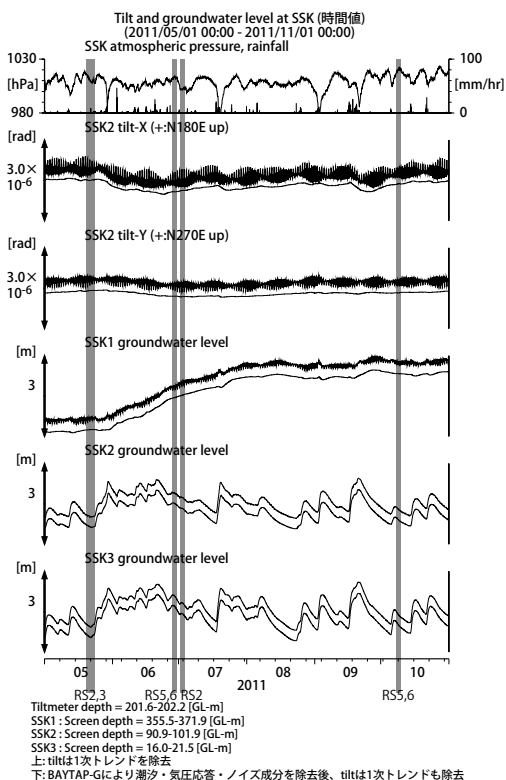
第 25 図 KOC における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.25 Observed strain at the KOC observation site from May to October 2011.



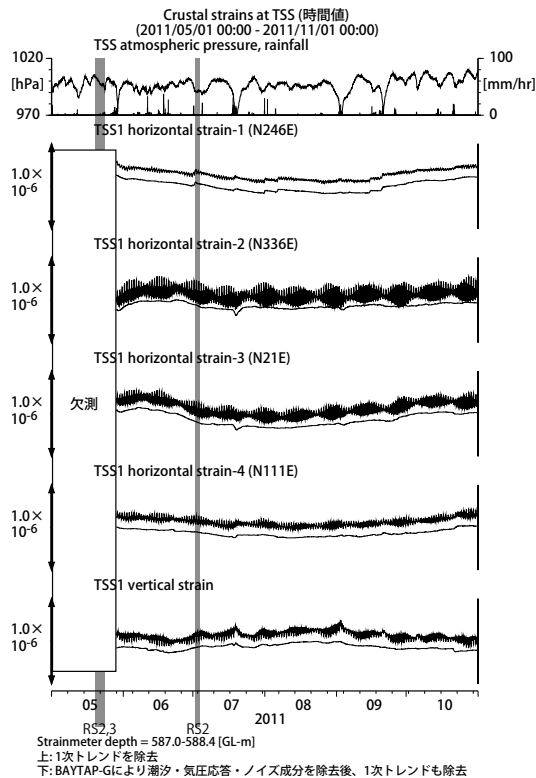
第 26 図 KOC における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.26 Observed tilt and groundwater levels at the KOC observation site from May to October 2011.



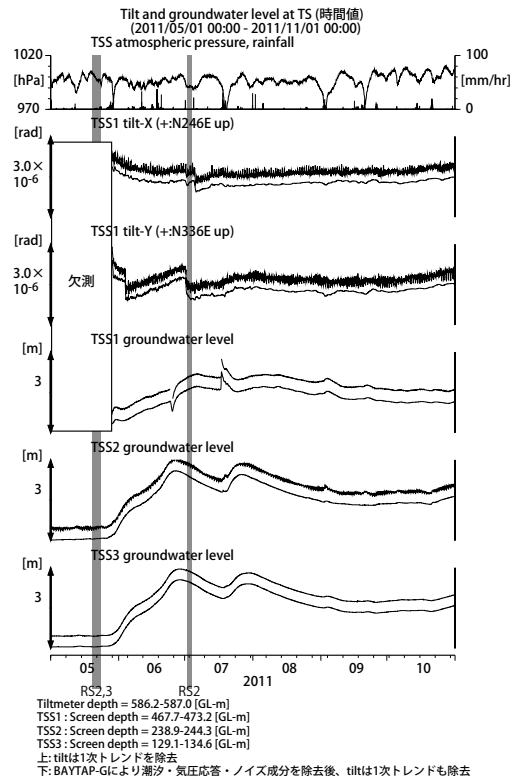
第 27 図 SSK における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.27 Observed strain at the SSK observation site from May to October 2011.



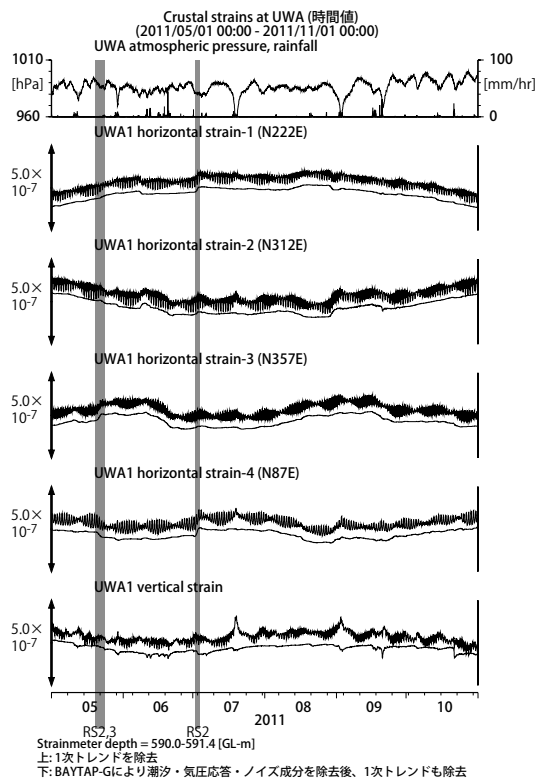
第 28 図 SSK における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.28 Observed tilt and groundwater levels at the SSK observation site from May to October 2011.



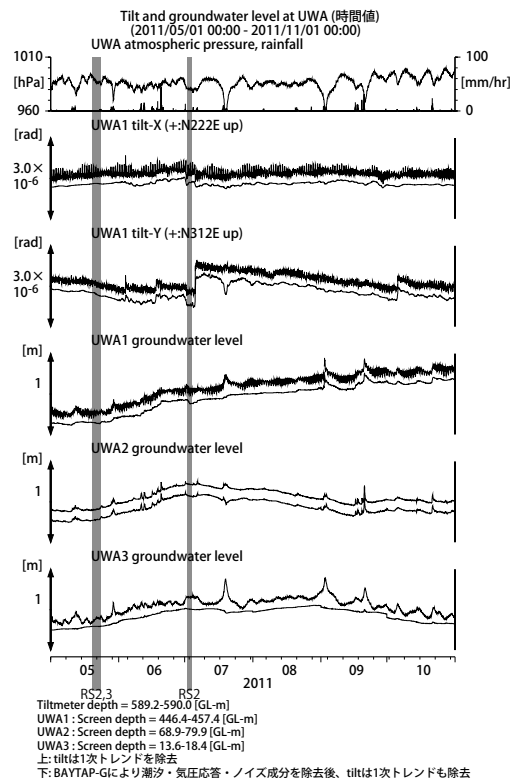
第29図 TSSにおける歪観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.29 Observed strain at the TSS observation site from May to October 2011.



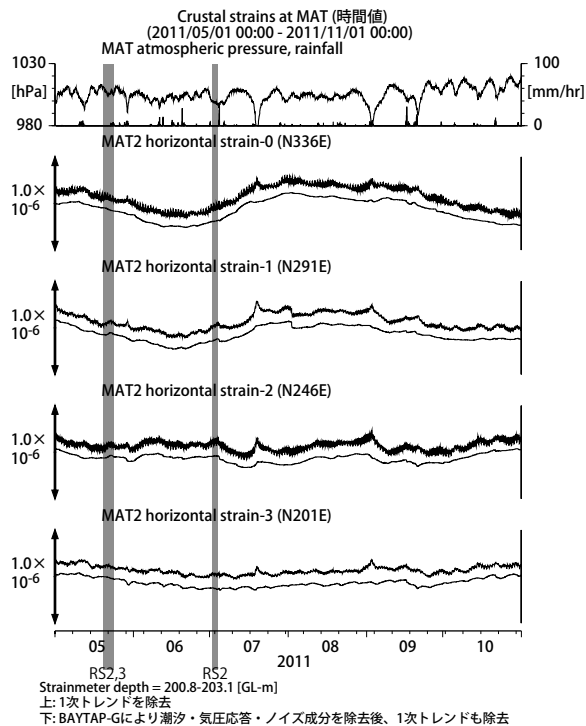
第30図 TSSにおける傾斜・地下水位観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.30 Observed tilt and groundwater levels at the TSS observation site from May to October 2011.



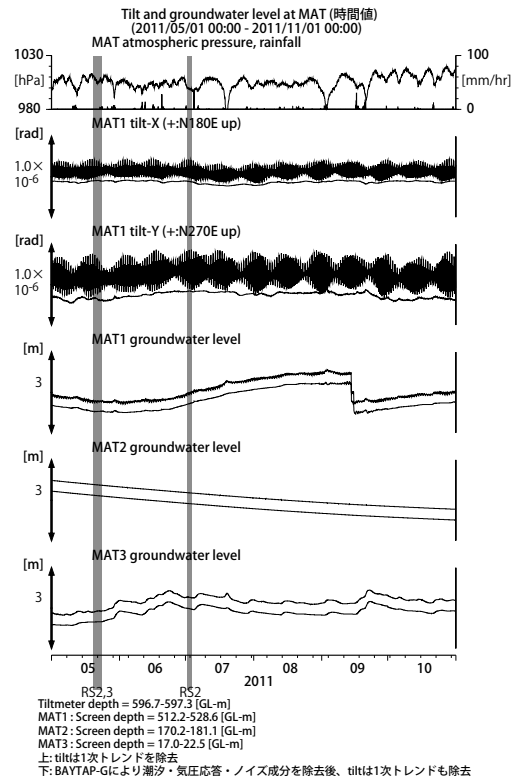
第31図 UWAにおける歪観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.31 Observed strain at the UWA observation site from May to October 2011.



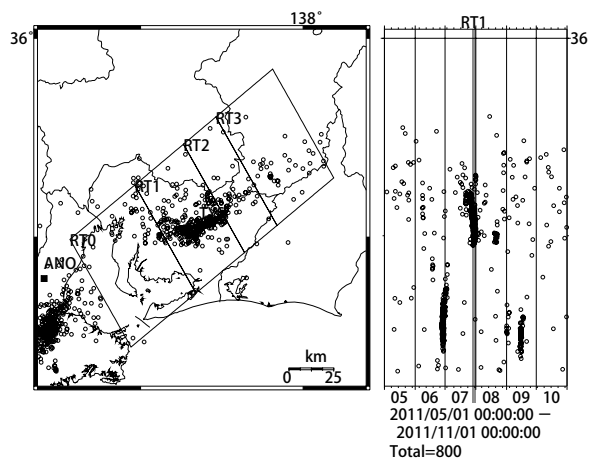
第32図 UWAにおける傾斜・地下水位観測結果(2011年5月～2011年10月)
Fig.32 Observed tilt and groundwater levels at the UWA observation site from May to October 2011.



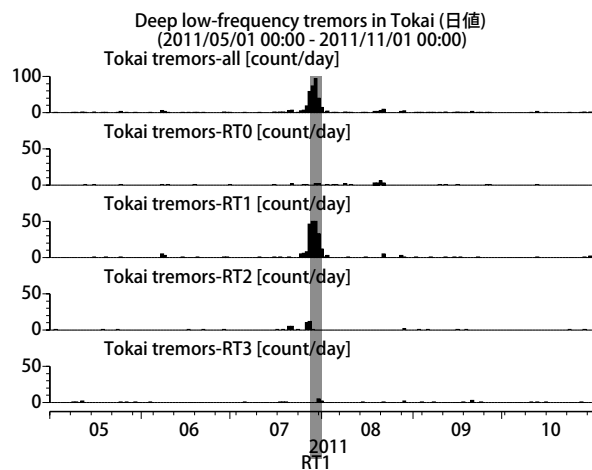
第 33 図 MAT における歪観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.33 Observed strain at the MAT observation site from May to October 2011.



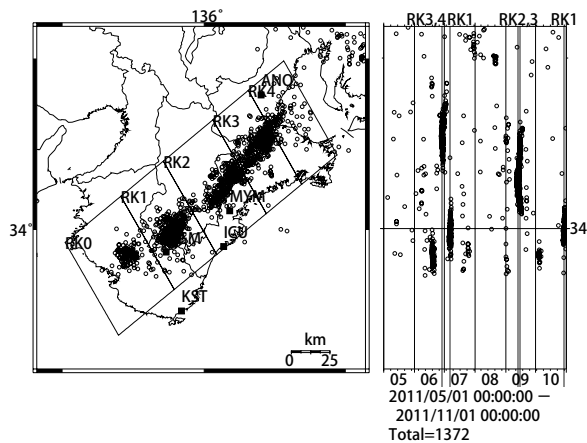
第 34 図 MAT における傾斜・地下水位観測結果 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.34 Observed tilt and groundwater levels at the MAT observation site from May to October 2011.



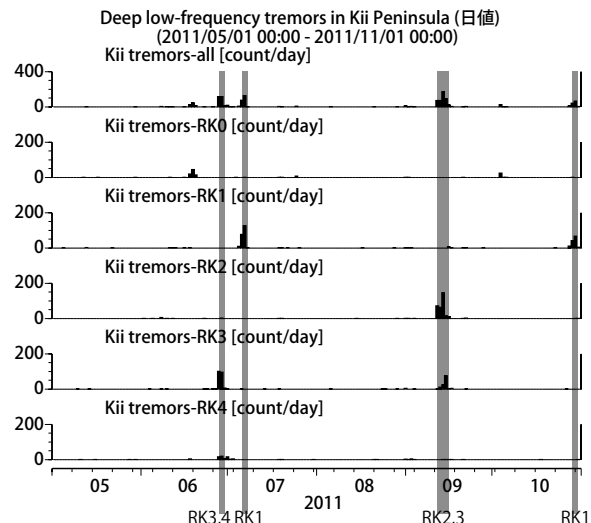
第 35 図 東海地方における低周波微動の時空間分布 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.35 Spatio-temporal distribution of deep low frequency tremor in the Tokai district from May to October 2011.



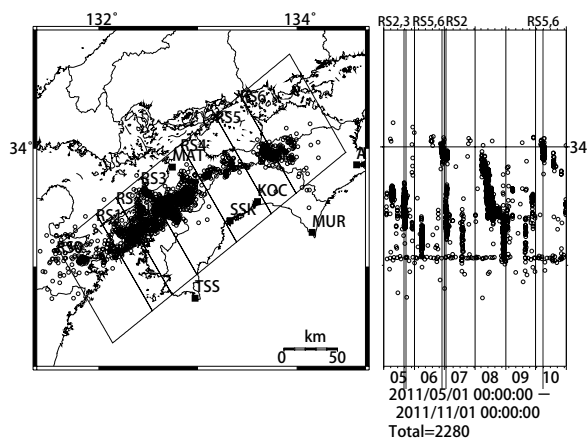
第 36 図 東海地方における低周波微動の発生個数 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.36 Number of deep low frequency tremor in the Tokai district from May to October 2011.



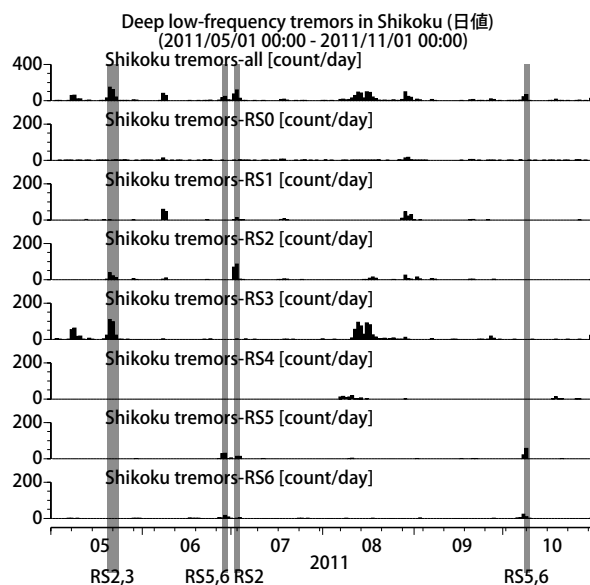
第 37 図 紀伊半島における低周波微動の時空間分布 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.37 Spatio-temporal distribution of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from May to October 2011.



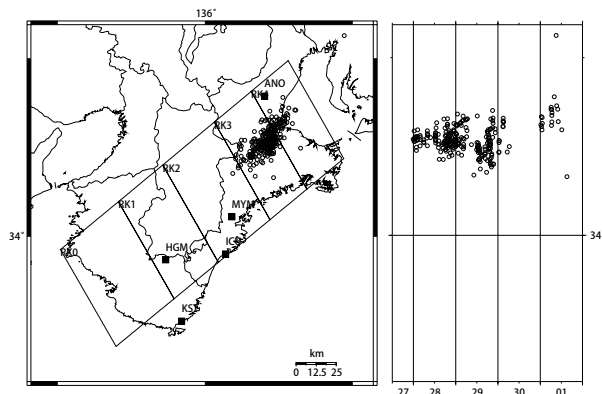
第 38 図 紀伊半島における低周波微動の発生個数 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.38 Number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from May to October 2011.



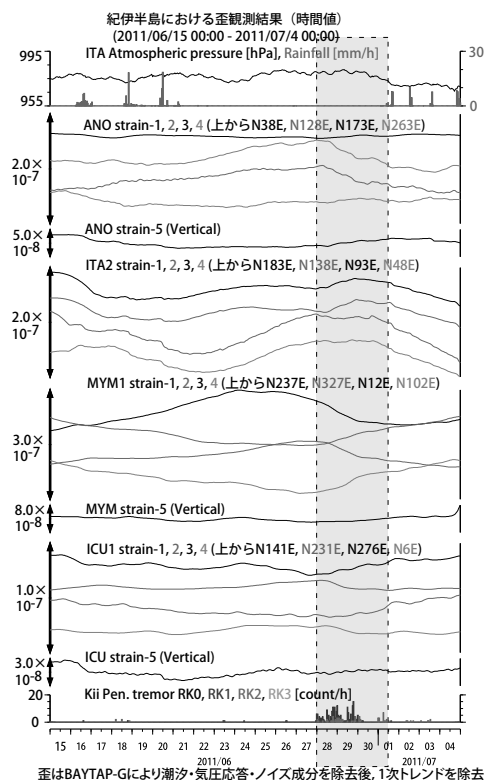
第 39 図 四国地方における低周波微動の時空間分布 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.39 Spatio-temporal distribution of deep low frequency tremor in the Shikoku district from May to October 2011.



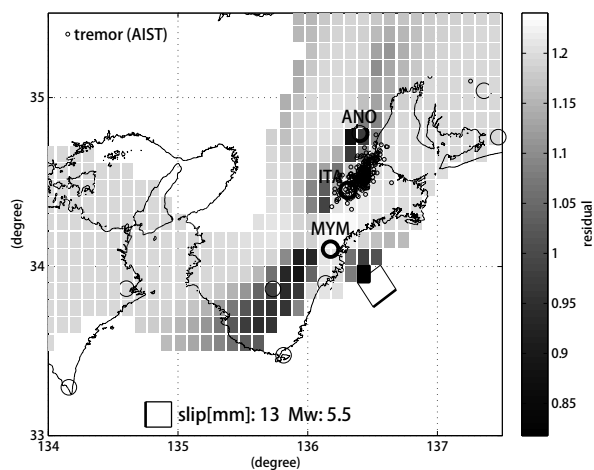
第 40 図 四国地方における低周波微動の発生個数 (2011 年 5 月～2011 年 10 月)
Fig.40 Number of deep low frequency tremor in the Shikoku district from May to October 2011.



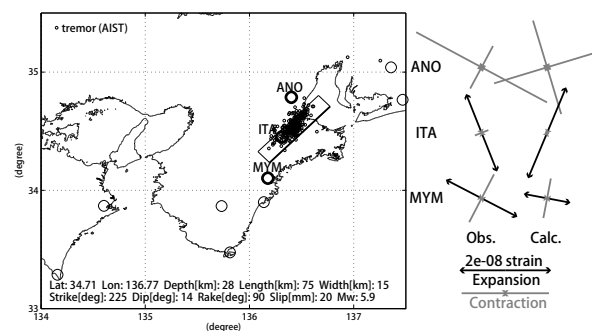
第 41 図 2011/6/27 12:00 - 7/2 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.41 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 12:00 June 27 to 0:00 July 2, 2011. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



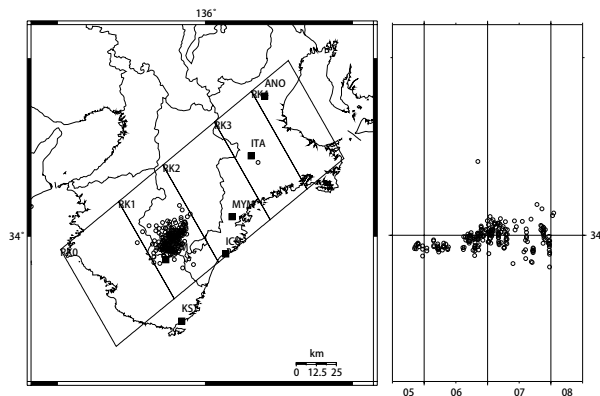
第 42 図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2011 年 6 月 15 日～7 月 3 日)
Fig.42 Observed strain in the observation sites and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula, from June15 to July 3, 2011.



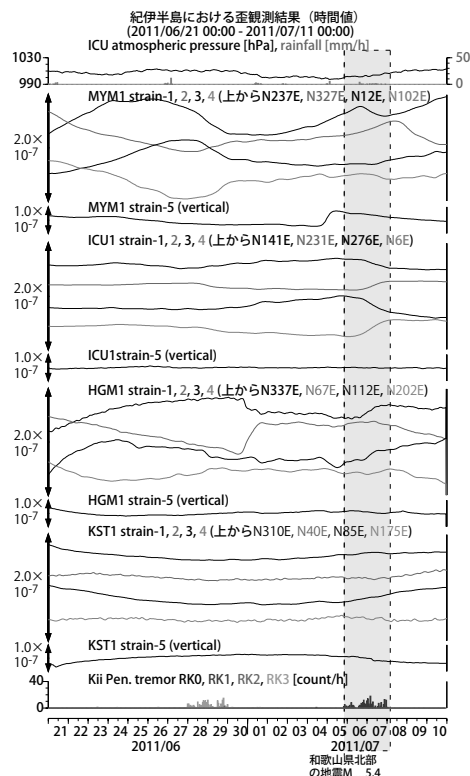
第 43 図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は $1\text{--}100\text{mm}$ で可変 (1mm 間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。
Fig.43 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is $20 \times 20\text{ km}$, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm . The black rectangle 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.



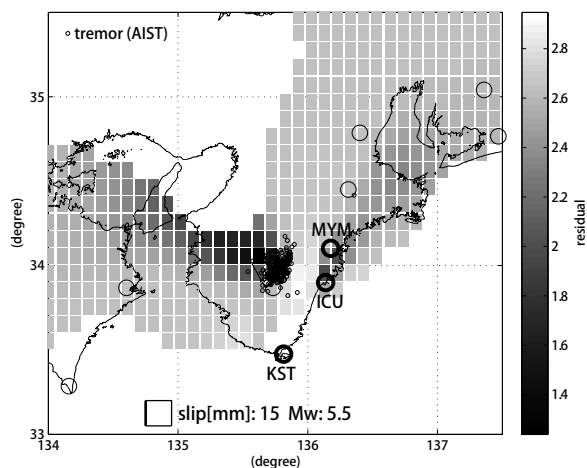
第 44 図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に 0.1 度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ $10 \sim 50\text{km}$ まで 5km 間隔、すべり量は $1 \sim 100\text{mm}$ まで 1mm 間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。
Fig.44 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm . The principal strain changes at each observation sites are shown right.



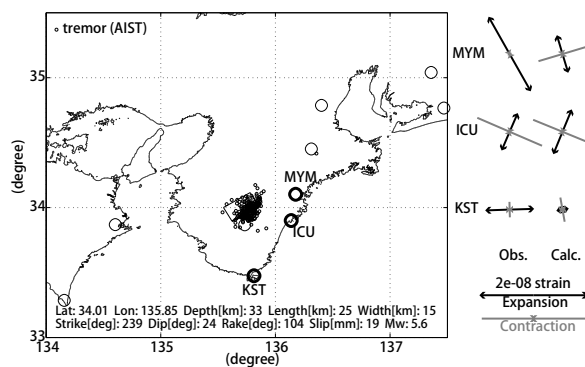
第 45 図 2011/7/5 12:00 - 7/8 12:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.45 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 12:00 July 5 to 12:00 July 8, 2011. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



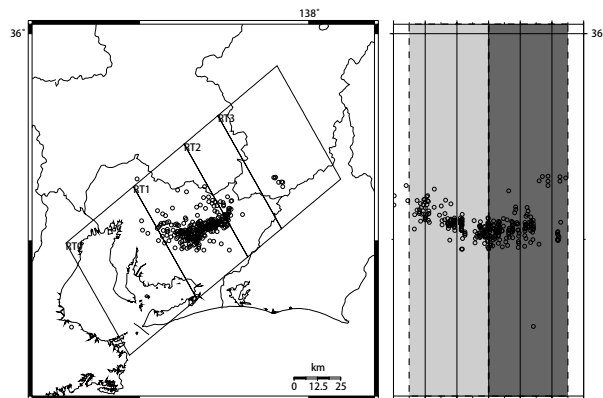
第 46 図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2011 年 6 月 21 日～7 月 11 日)
Fig.46 Observed strain in the observation sites and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from June 11 to July 11, 2011.



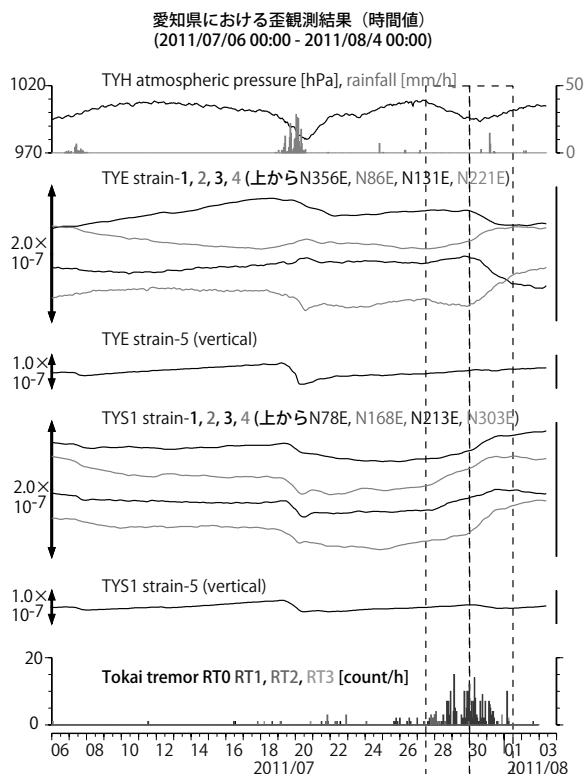
第 47 図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は $1\text{--}100\text{mm}$ で可変 (1mm 間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。
Fig.47 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is $20 \times 20\text{ km}$, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm . The black rectangle 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.



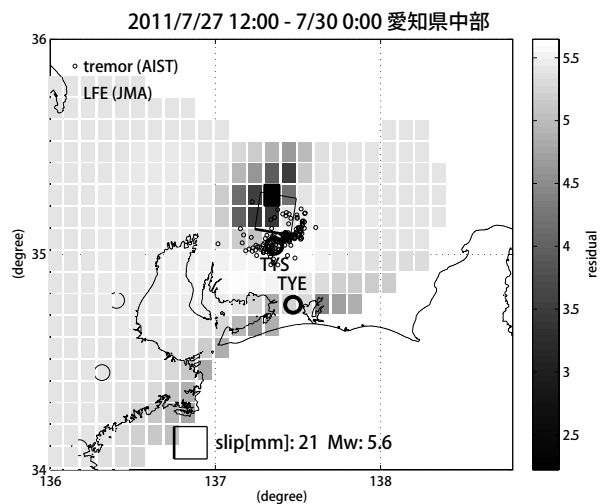
第 48 図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に 0.1 度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ $10 \sim 50\text{km}$ まで 5km 間隔、すべり量は $1 \sim 100\text{mm}$ まで 1mm 間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。
Fig.48 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm . The principal strain changes at each observation sites are shown right.



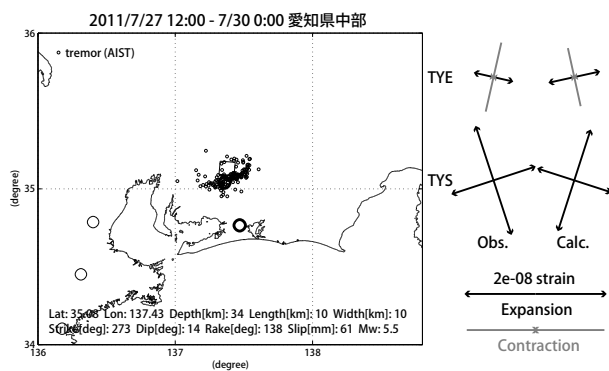
第 49 図 2011/7/27 0:00 - 8/2 0:00 における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.49 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Tokai district from 0:00 July 27 to 0:00 August 2, 2011. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



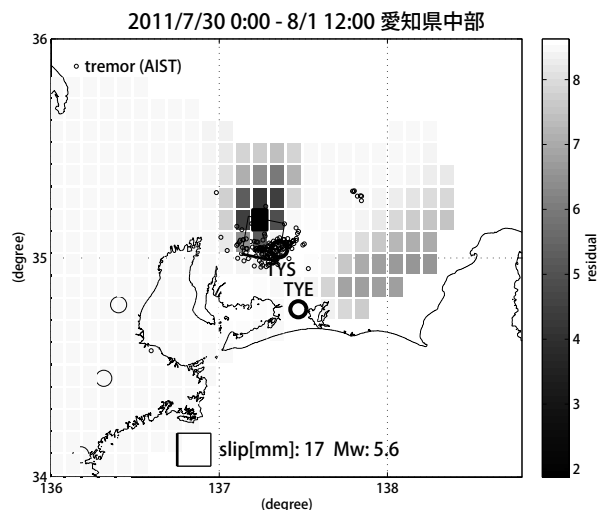
第 50 図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2011 年 7 月 6 日～8 月 3 日)
Fig.50 Observed strain in the observation sites and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from July 6 to August 3, 2011.



第 51 図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは 20×20 km、すべり量は 1-100mm で可変 (1mm 間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。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。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。
Fig.51 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is 20×20 km, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm. The black rectangle 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.

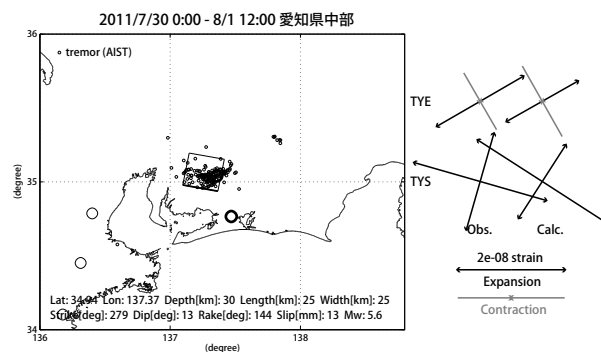


第 52 図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に 0.1 度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ $10 \sim 50$ km まで 5 km 間隔、すべり量は $1 \sim 100$ mm まで 1 mm 間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。
Fig.52 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



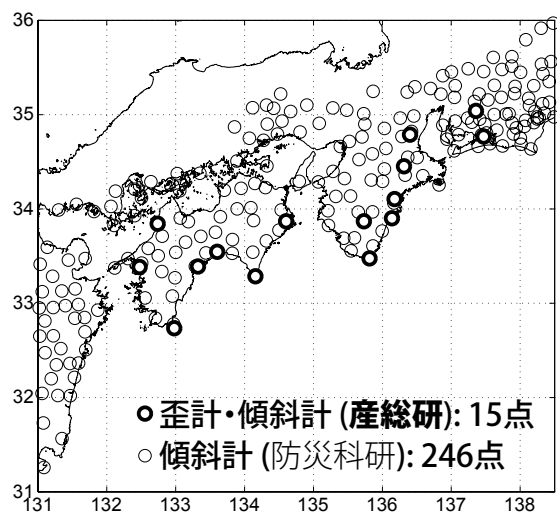
第 53 図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは $20 \times 20\text{km}$ 、すべり量は $1\text{--}100\text{mm}$ で可変 (1mm 間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

Fig.53 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is $20 \times 20\text{ km}$, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm. The black rectangle 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.



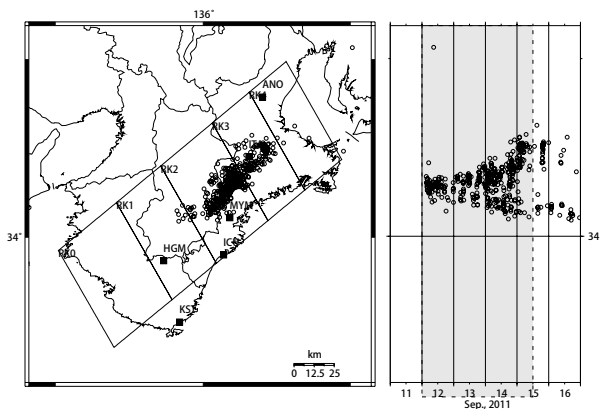
第 54 図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に 0.1 度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ $10 \sim 50\text{km}$ まで 5km 間隔、すべり量は $1 \sim 100\text{mm}$ まで 1mm 間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。

Fig.54 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



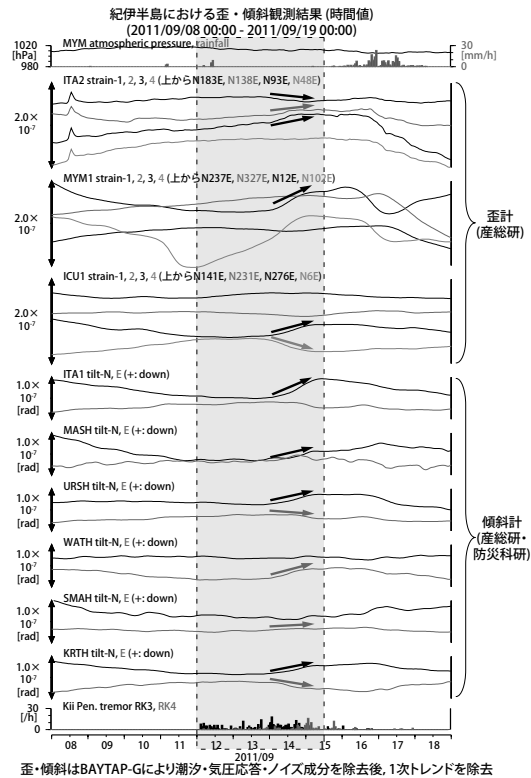
第 55 図 相互データ交換を行っている、産総研および防災科研の観測点位置図 (東海・紀伊半島・四国およびその周辺を抜粋)。産総研の観測点には歪計および傾斜計が、防災科研の観測点には傾斜計がそれぞれ設置されている。

Fig.55 Location of observatory of GSJ, AIST and National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). A strainmeter is installed at GSJ observatory, and a tiltmeter is installed at GSJ and NIED observatory.

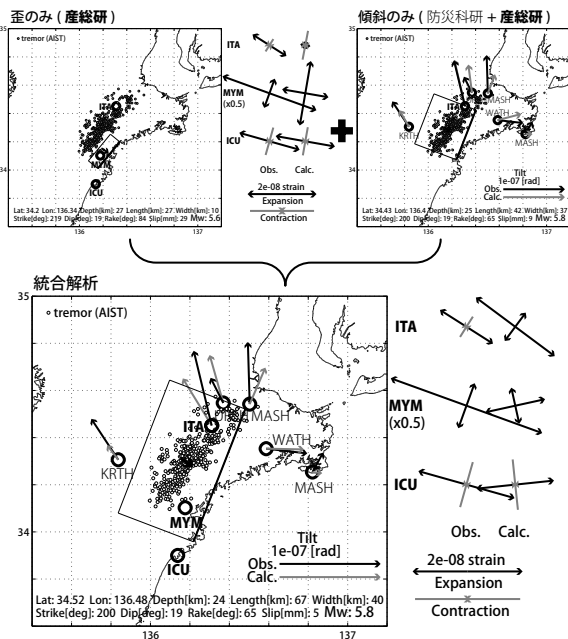


第 56 図 2011/9/11 0:00 - 9/17 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

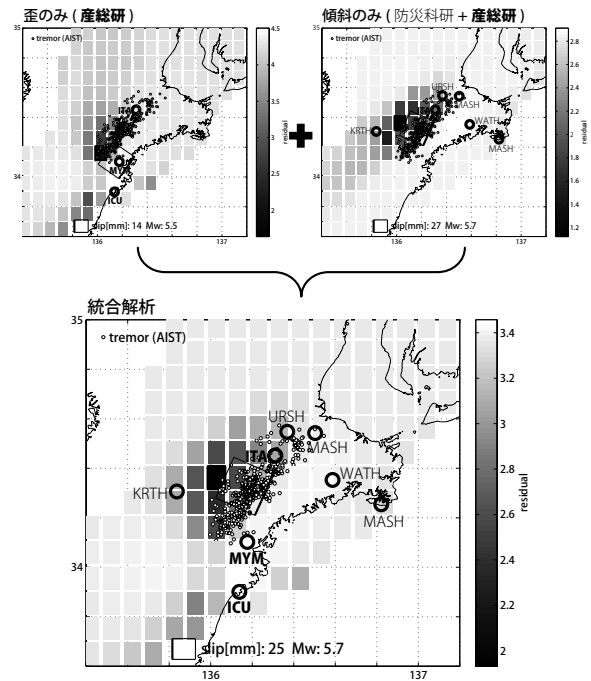
Fig.56 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from 0:00 September 11 to 0:00 September 17, 2011. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



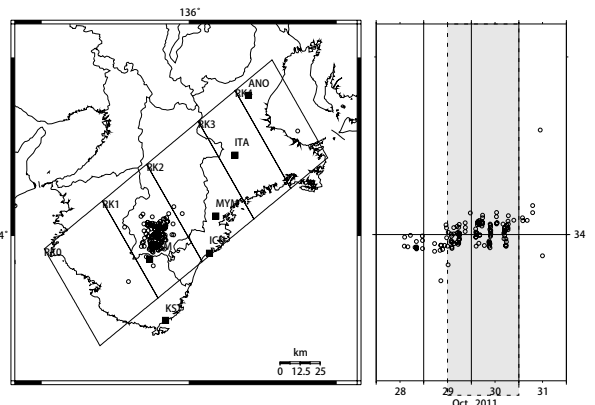
第57図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2011年9月8～18日)
Fig.57 Observed strain in the observation sites and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from September 8 to 18, 2011.



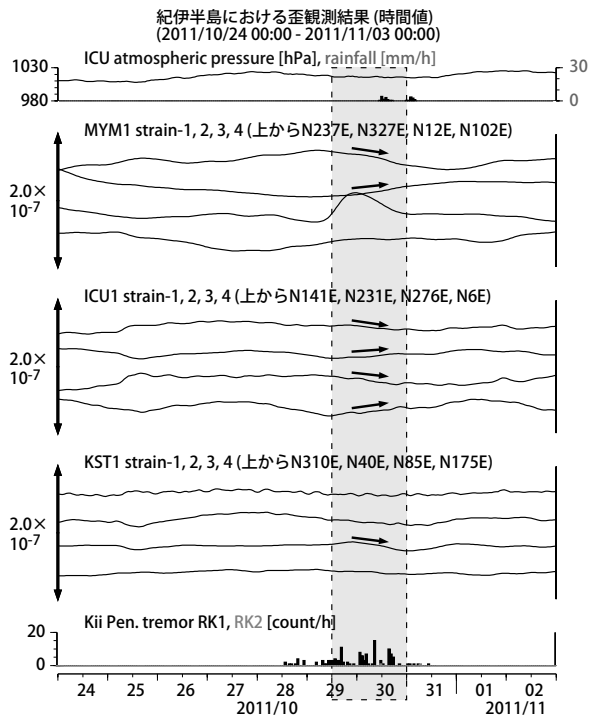
第59図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ10～50kmまで5km間隔、すべり量は1～100mmまで1mm間隔で計算した。傾斜を観測している点では、傾斜の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。
Fig.59 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm. The tilt changes are shown at tiltmeter installed observation. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



第58図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは20×20km、すべり量は1-100mmで可変(1mm間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。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。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。
Fig.58 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is 20 x 20 km, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm. The black rectangle 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.



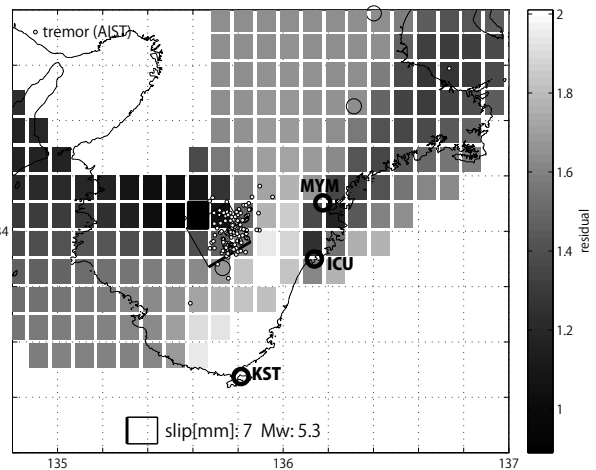
第60図 2011/10/28 0:00 - 11/1 0:00における東海地方の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。
Fig.60 Spatio-temporal distribution and number of deep low frequency tremor in the Tokai district from 0:00 October 28 to 0:00 November 1, 2011. The epicenter of the tremor estimated by the envelope correlation method.



歪・傾斜はBAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドを除去

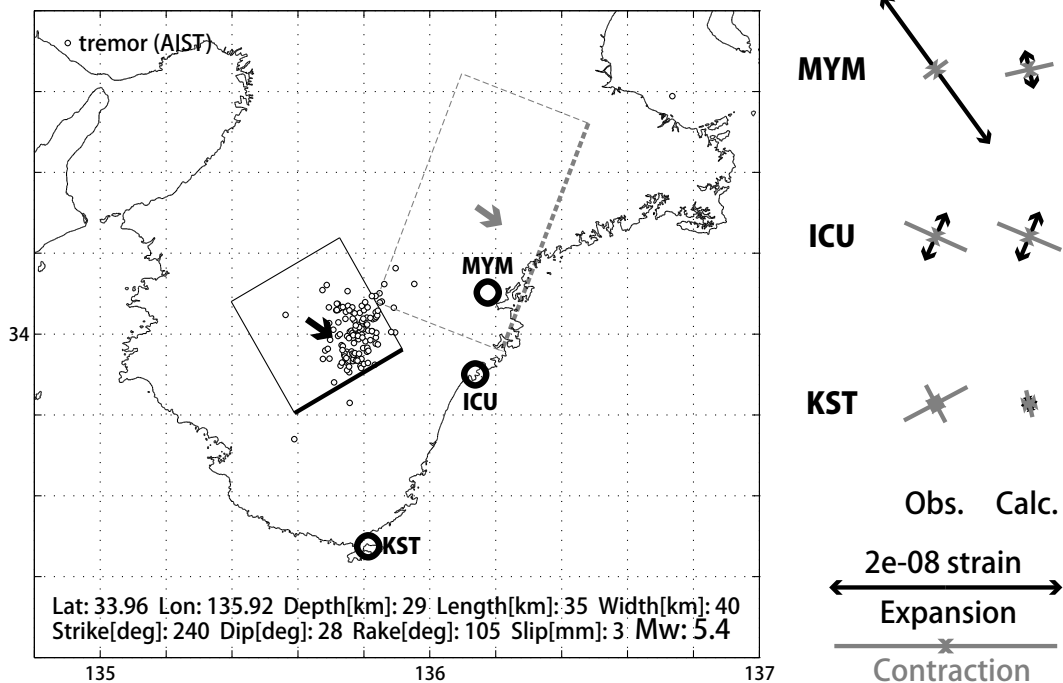
第 61 図 紀伊半島における歪観測結果および深部低周波微動発生個数 (2011 年 10 月 24 日～11 月 2 日)

Fig.61 Observed strain in the observation sites and number of deep low frequency tremor in the Kii Peninsula from October 24 to November 2, 2011.



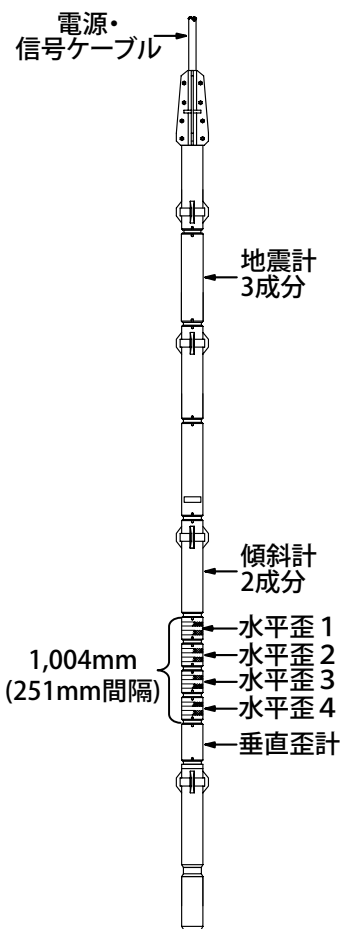
第 62 図 プレート境界面上のパッチ (断層面) をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。パッチサイズは 20×20 km、すべり量は 1-100mm で可変 (1mm 間隔)。表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mw を下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

Fig.62 The residual distribution of observed and calculation strain changes when the patch (fault plane) on the Philippine Sea (PHS) plate boundary is slipped. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. The patch size is 20×20 km, the amount of slip is changeable from 1 to 100 mm every 1 mm. The black rectangle 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.



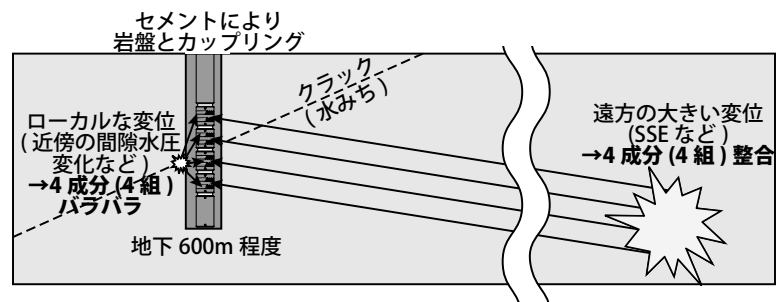
第 63 図 プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果 (矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に 0.1 度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ $10 \sim 50$ km まで 5 km 間隔、すべり量は $1 \sim 100$ mm まで 1 mm 間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。

Fig.63 The fault model estimated by grid search method on the PHS plate boundary. Small circle shows hypocenter of deep low frequency tremor estimated by the GSJ, AIST. 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 1 to 100 mm every 1 mm. The principal strain changes at each observation sites are shown right.



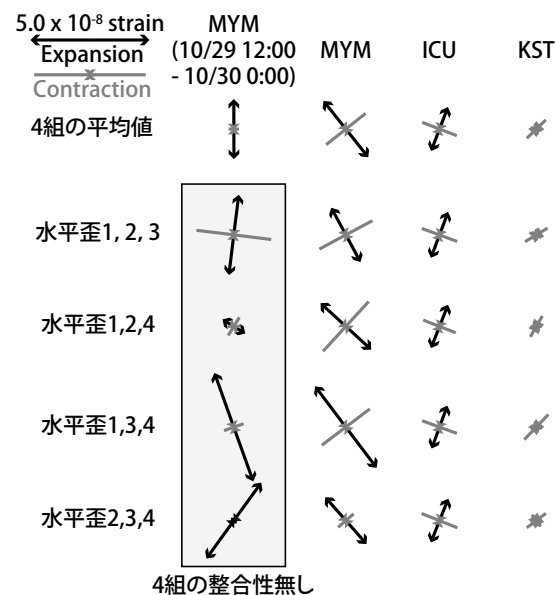
第 64 図 石井式歪計 [Ishii et al., 2002] を内蔵する、デジタル式地殻活動総合観測装置の立面図。水平歪 4 成分は鉛直方向に 251mm 間隔で並んでおり、それぞれのセンサーは独立した容器に収納されている。水平歪 4 成分から 3 成分の組み合わせ 4 組の主歪を計算することが出来る。全長は約 6.8m、歪計部の外径は 88mm である。

Fig.64 The elevation view of the digital type multi-component borehole instrument. The Ishii type strainmeters are built-in. The sensors of these components are installed at 251 mm vertical intervals so that, four sets of principle strains can be calculated by combining three components out of four. The total length of the device is about 6.8 m, and the outside diameter of the strainmeter is 88mm.



第 65 図 ボアホール内の歪計に歪変化が生じる模式図。4 成分の水平歪は鉛直方向のアレイ構造となっており、センサー近傍のローカルな変位に対しては 4 成分の歪変化の整合性が悪くなり、4 組の主歪もばらつきが大きくなる。遠方の変位に対しては、鉛直方向の位置の違いは無視できるため、この時ローカルな変位や計器内部の問題がなければ、4 成分は整合するため、4 組の主歪のばらつきは小さくなる。この原理を利用すると、4 組のばらつきの大きさから、ローカルな変位、若しくは一部のセンサーのみの内部的問題の有無を推定することができる。

Fig.65 Pattern diagrams how to change strain in borehole. Basically since an elastic-strain field has strong geometrical spreading inversely proportional to cubic distance, strain variation between the sensors at such slight different depths is negligible for a sufficiently distant tectonic strain source, while a nearby source largely varies strains between the sensors. Thus if a strain anomaly is tectonic and uniform around the sensors, the calculated four sets are expected to be identical. Such an inconsistency tends to be clearly recognizable in the directions of the calculated principle strains and we routinely check them for the discrimination.



第 66 図 3 観測点における、4 組の主歪およびその平均値。キャリブレーションは行っていない。MYM の前半部分 (左 1 列) は振幅・方位ともに大きくばらつくため、ローカルな変位の影響を受けたものと推測される。一方、イベント全期間 (右側 3 列) の主歪は、4 組とも方位・振幅に大きなばらつきは無いため、ローカルな影響はあまり受けていないと推測される。

Fig.66 Four sets of principal strain and these average. They were not calibrated. A relatively large anomaly on October 29, 2011 seen for MYM S3, these cannot by a tectonic signal because it leads to very different principal strains depending on the combination of four components. On the contrary, coherent signals from the SSE show similar calculated principal strains for each station. Therefore, it is presumed that a local source influence is negligible for analysis.