

6-3 東海・南関東地域におけるひずみ観測結果 (2016年5月～10月) Observation of Crustal Strain by Borehole Strainmeters in the Tokai and Southern Kanto Districts (May – October 2016)

気象庁
Japan Meteorological Agency
気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

東海から南関東地域における埋込式体積ひずみ計¹⁾、多成分ひずみ計²⁾の配置と区域分けを第1図に示す。体積ひずみ(多成分ひずみ計は面積ひずみへの換算値)の2009年以降の変化を第2図に、2016年5月から10月までの変化を第3図に示す。多成分ひずみ計の同期間の変化を第4図に示す。主ひずみの方向と大きさ、最大せん断ひずみ及び面積ひずみは、広域ひずみに換算している³⁾。

2016年7月26日から31日にかけて、三重県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が、田原福江、新城浅谷、田原高松で観測された。(第3図(a),第4図(j),(k)の*1)(本巻※1参照)。

2016年8月1日から7日にかけて、愛知県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が、蒲郡清田、浜松佐久間、新城浅谷、田原高松で観測された(第3図(a),第4図(c),(j),(k)の*2)(本巻※1参照)。

2016年10月16日から20日にかけて、愛知県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が、蒲郡清田、浜松春野、浜松佐久間、浜松宮口、売木岩倉、新城浅谷、田原高松で観測された(第3図(a),第4図(b),(c),(e),(i),(j),(k)の*3)(本巻※1参照)。

2016年10月24日に、愛知県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が、浜松春野、浜松佐久間、売木岩倉、新城浅谷で観測された(第3図(a),第4図(b),(c),(i),(j)の*4)(本巻※1参照)。

また、2013年初め頃から浜名湖周辺で発生している長期的ゆっくりすべりに起因すると見られる地殻変動は、2015年半ば頃からは、やや緩やかになっている(第5図(a), (b))。この長期的ゆっくりすべりのモーメントの時間変化を、ひずみ計データのスタッキングデータから求めた結果、2015年後半からモーメント解放レートがやや停滞もしくは鈍化傾向となっていることが分かった(第5図(c))⁴⁾。

大島津倍付では、火山活動に伴う地殻変動が観測されている(第2図(b),第3図(c))。

また、東伊豆奈良本と大島津倍付では、地中温度の上昇を主因とする見かけ上の縮みトレンドが続いている(第2図(b))⁵⁾⁶⁾。

この他、各図に記述したように、降水による影響と見られる変化、季節要因による変化、地点特有の局所的变化などが見られた。

※1: 「東海地域とその周辺地域の地震活動 (2016年5月～10月)」(気象庁)

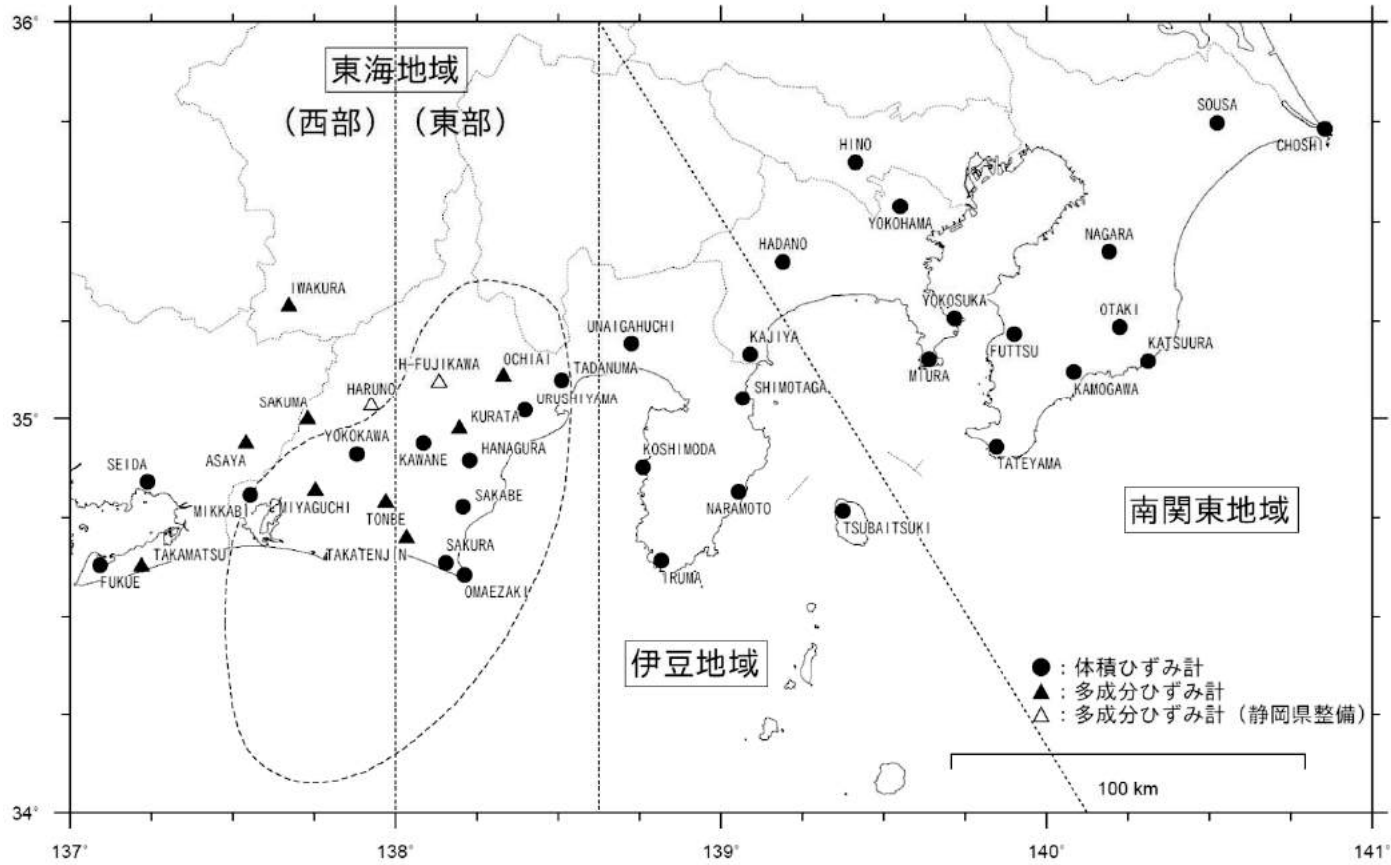
参 考 文 献

- 1) 二瓶信一・上垣内修・佐藤 馨: 埋込式体積歪計による観測, 1976年～1986年の観測経過, 験震時報, **50**, 65-88 (1987).
- 2) 石井紘ほか: 新しい小型多成分ボアホール歪計の開発と観測, 地球惑星科学関連学会1992年合同

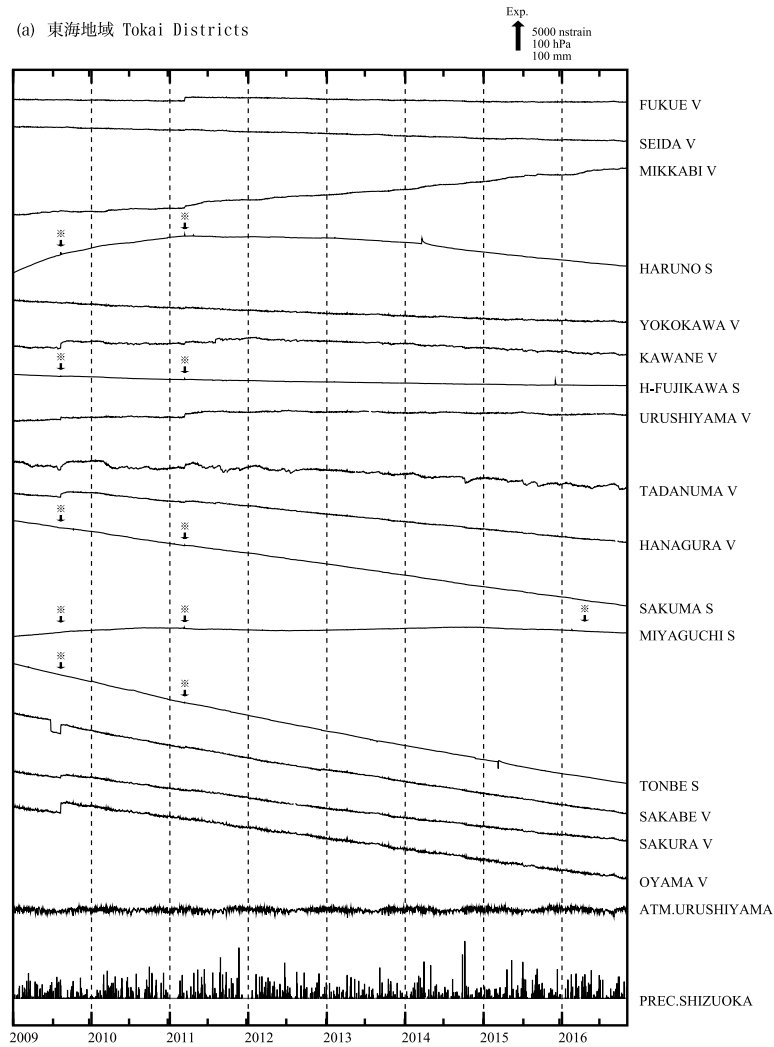
大会予稿集, C22-03 (1992).

- 3) 上垣内修ほか：気象庁石井式歪計の応答特性解析, 1999年度日本地震学会秋季大会予稿集, B72 (1999).
- 4) 宮岡一樹・木村久夫：ひずみ計によるスタッキング法を用いた長期的ゆっくりすべりの検出, 験震時報, **79**, 15-23 (2016).
- 5) 気象庁：東海・南関東地域における歪観測結果 (2006年5月～2006年10月), 連絡会報, 77 (2006).
- 6) 気象庁：東海・南関東地域における歪観測結果 (2006年11月～2007年4月), 連絡会報, 78 (2007).

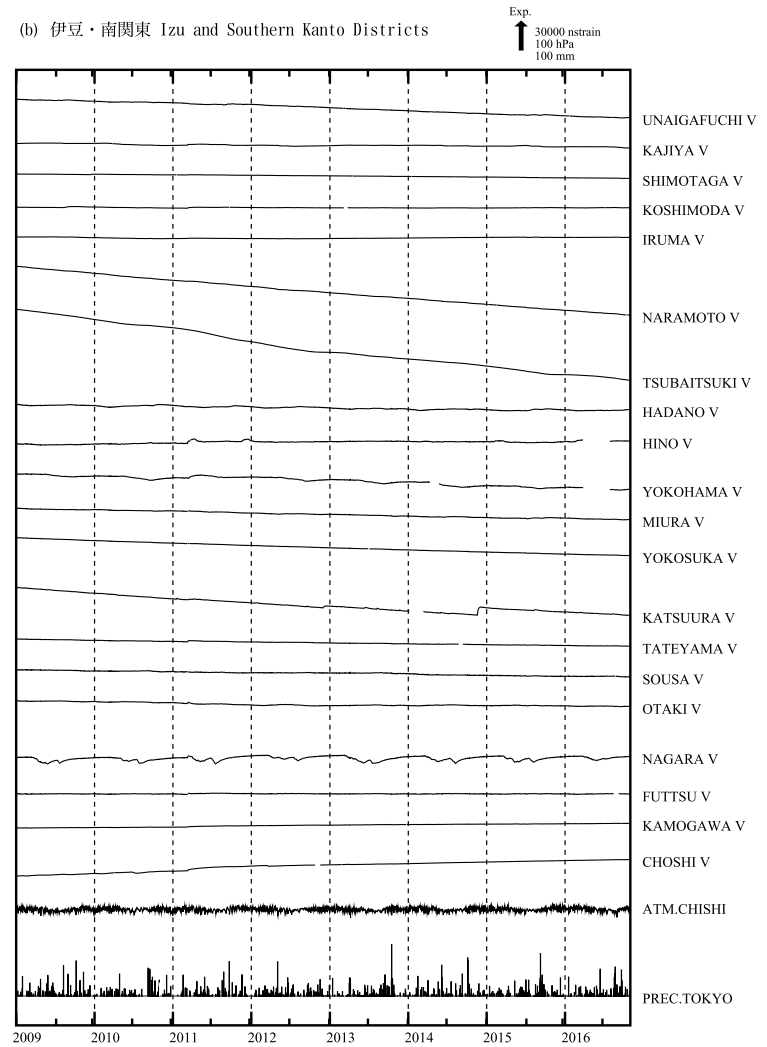
ひずみ計の配置図



第1図 観測点の配置図 ●：体積ひずみ計，▲：多成分ひずみ計（気象庁），△：同（静岡県）
 Fig. 1 Observation points (borehole strainmeters).

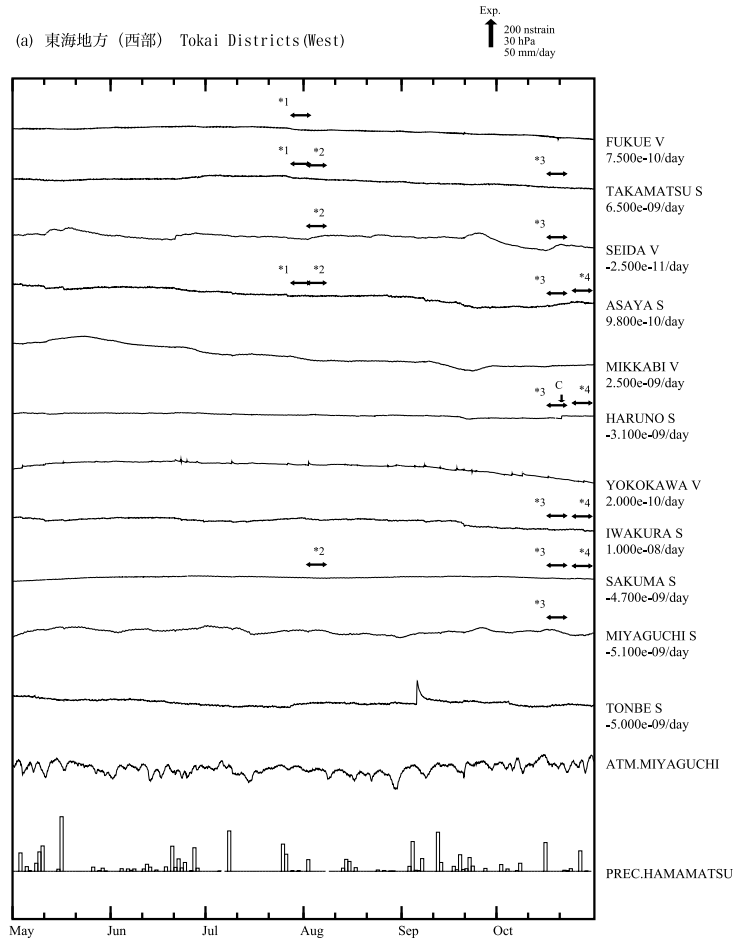


※面積ひずみは、2009年8月11日の駿河湾の地震、東北地方太平洋沖地震および熊本地震に伴うステップを除外して計算している。



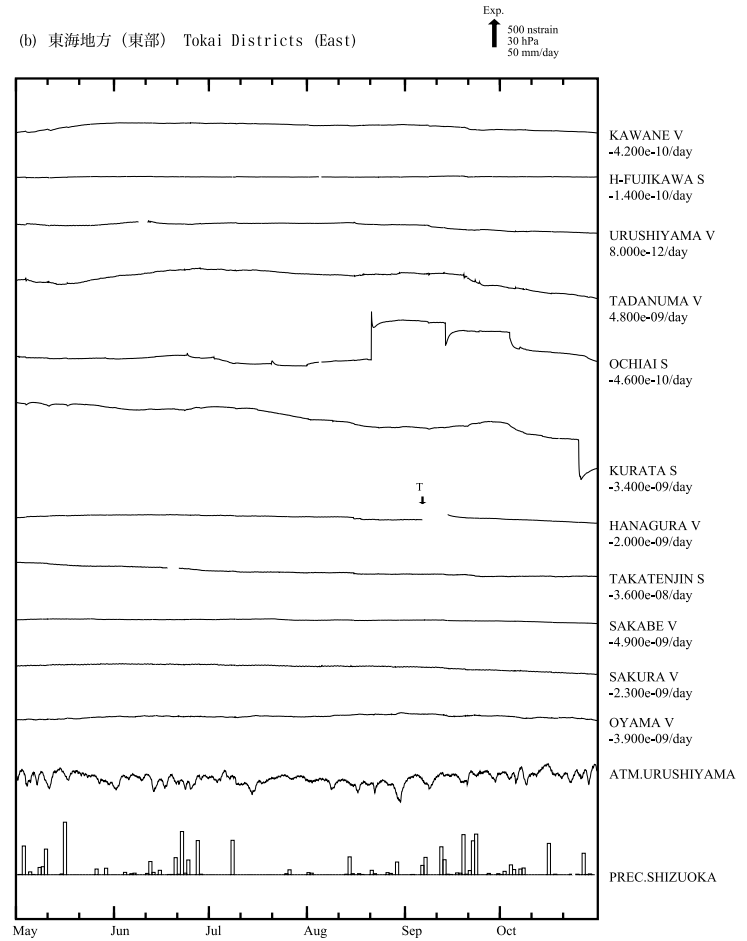
第2図(a), (b) 2009年1月以後の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ (V) 及び面積ひずみ (S) の変化 (日平均値). 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す.

Fig.2(a), (b) Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 since January 2009 (daily mean values).



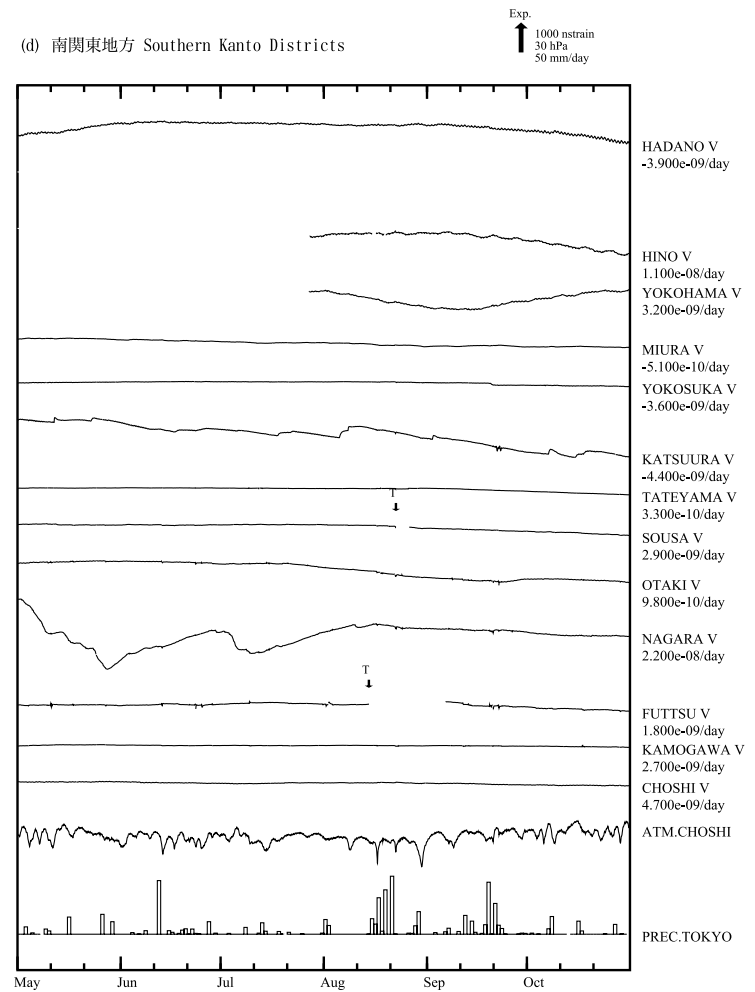
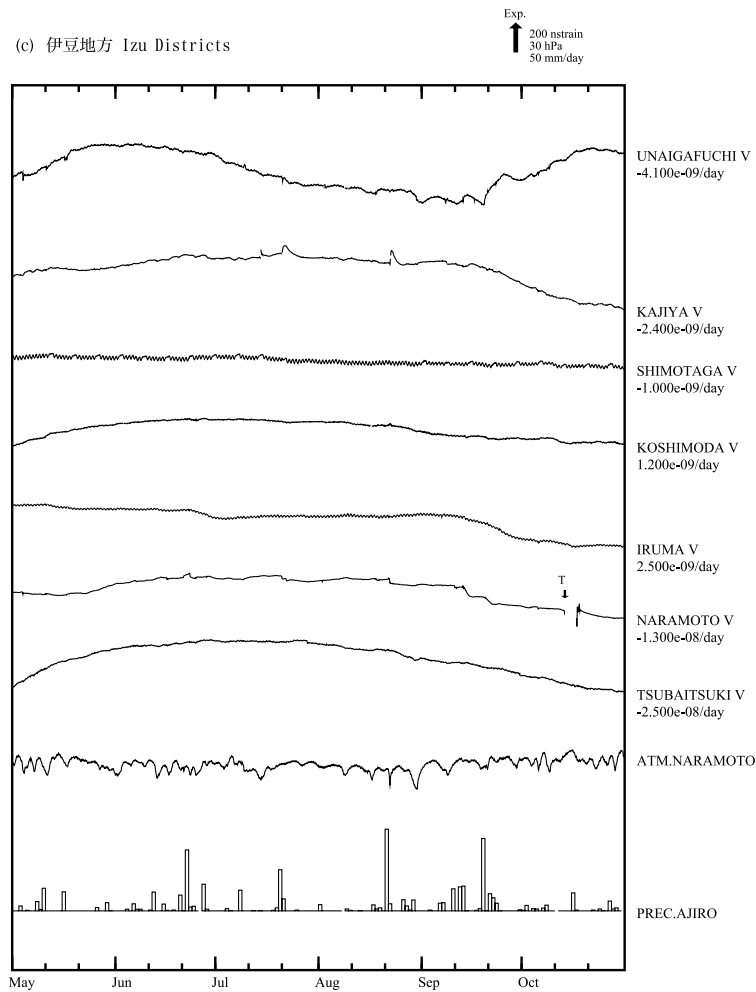
*1 : Slow Slip Event 2016.07.26-07.31
 *2 : Slow Slip Event 2016.08.01-08.07
 *3 : Slow Slip Event 2016.10.16-10.20
 *4 : Slow Slip Event 2016.10.24-10.24

C : Cosismic step-like change
 L : Local origins
 S : Seasonal changes
 M : Maintenance
 T : Trouble



第3図(a)~(d) 2016年5月~10月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ (V) 及び面積ひずみ (S) の変化 (時間値: 気圧・潮汐・降水補正した値). 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す. 地点名の下にD strain/day及び /Mはそれぞれ1日あたりのトレンド変化量をDとして補正していること及び縮尺を1/M倍にして表示していることを示している.

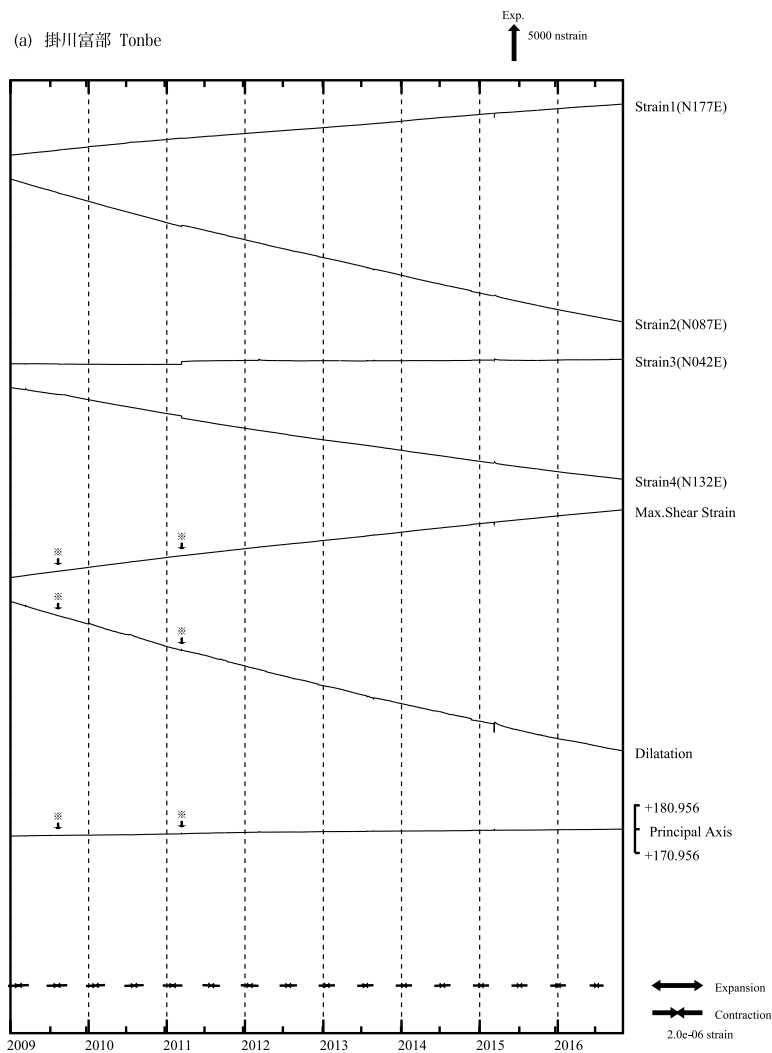
Fig.3(a) - (d) Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects and rain effects are corrected). "D strain/day" and "/M" below station names indicate the amount of trend correction and the magnification factor (1/M), respectively.



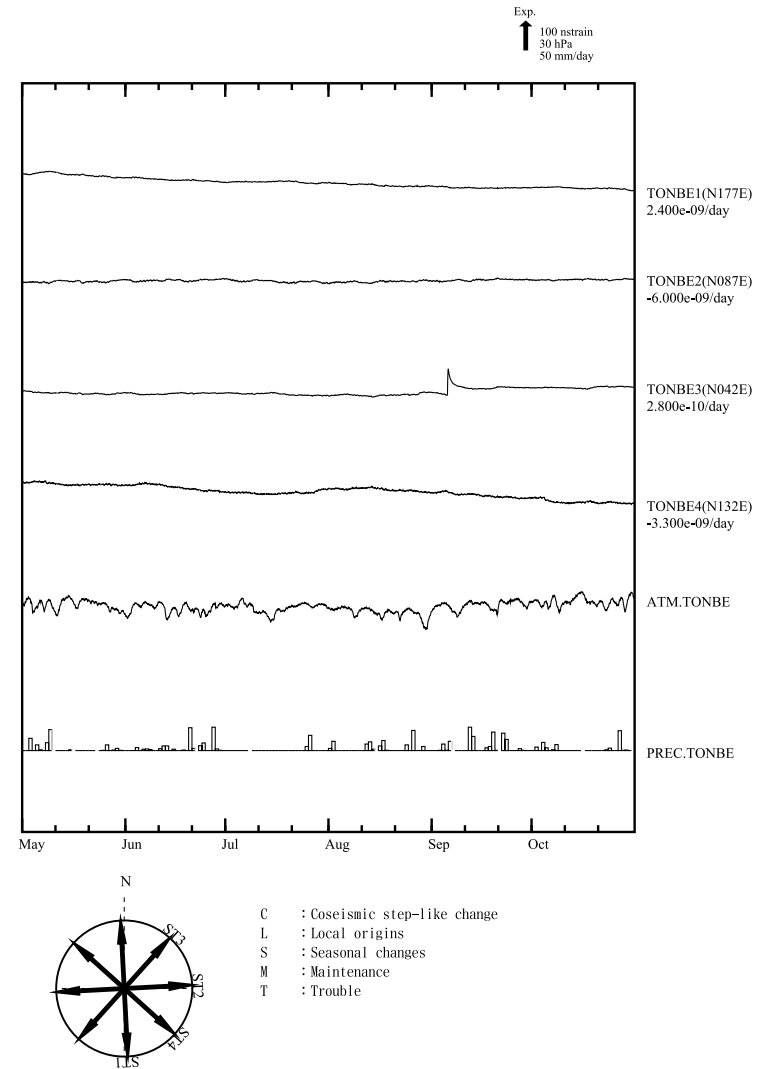
C : Coseismic step-like change
L : Local origins
S : Seasonal changes
M : Maintenance
T : Trouble

第3図(a)～(d) 2016年5月～10月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ (V) 及び面積ひずみ (S) の変化 (時間値: 気圧・潮汐・降水補正した値). 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す. 地点名の下にD strain/day及び /Mはそれぞれ1日あたりのトレンド変化量をDとして補正していること及び縮尺を1/M倍にして表示していることを示している.

Fig.3(a) – (d) Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects and rain effects are corrected). “D strain/day” and “/M” below station names indicate the amount of trend correction and the magnification factor (1/M), respectively.



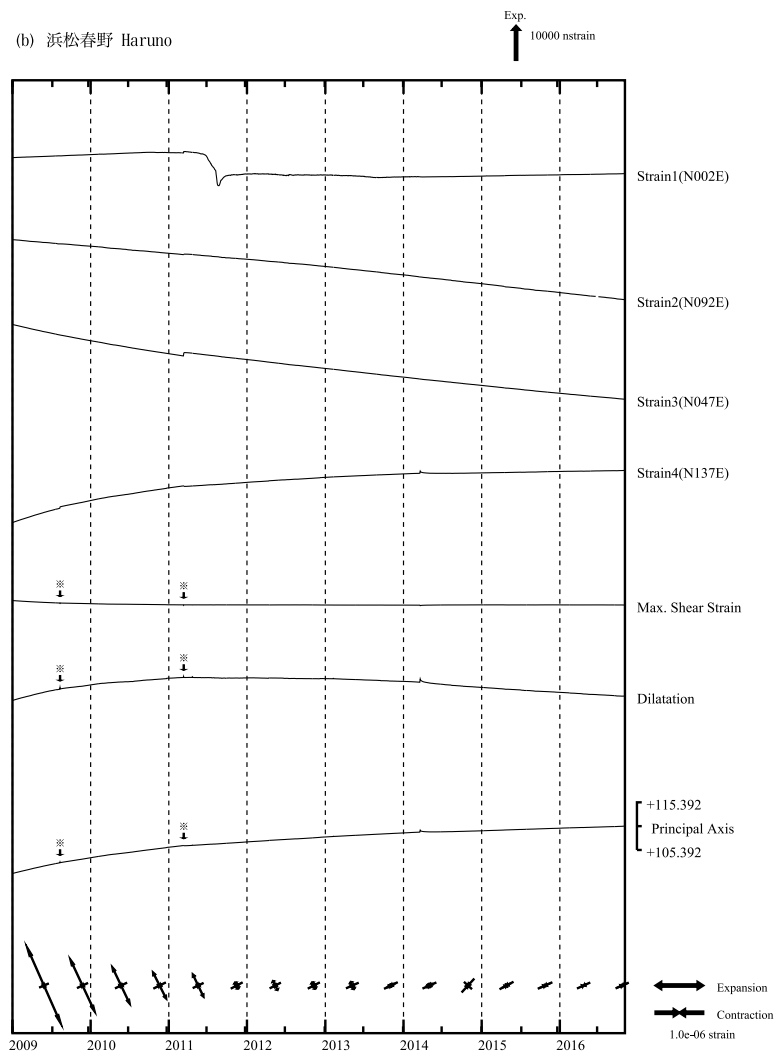
※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、駿河湾の地震および東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。



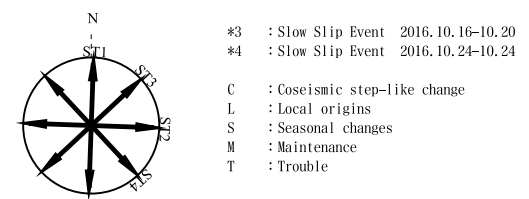
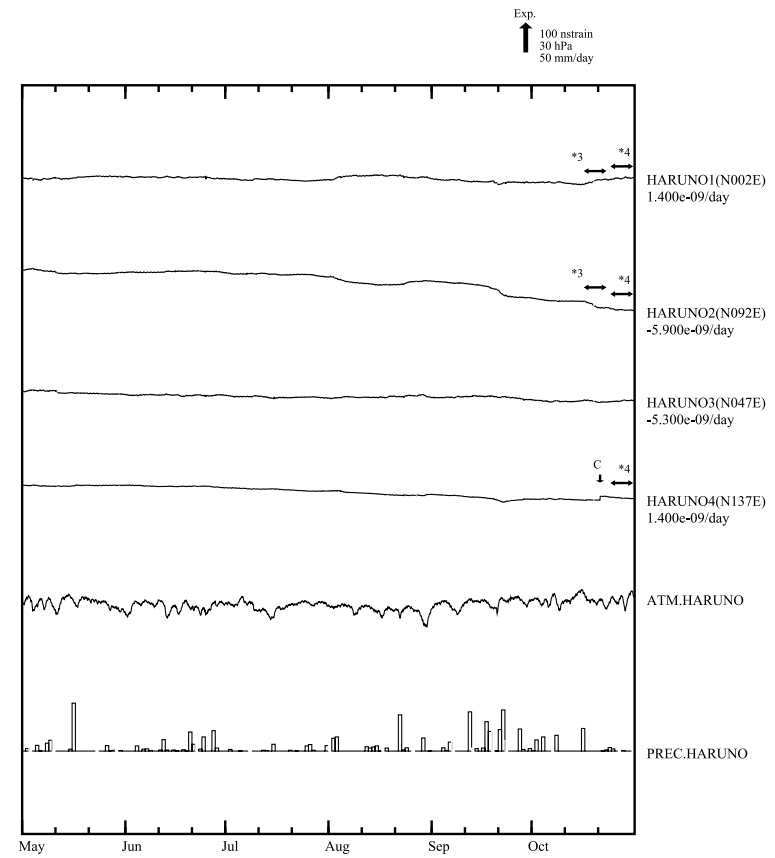
第4図(a)～(e) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig.4(a) – (e) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.

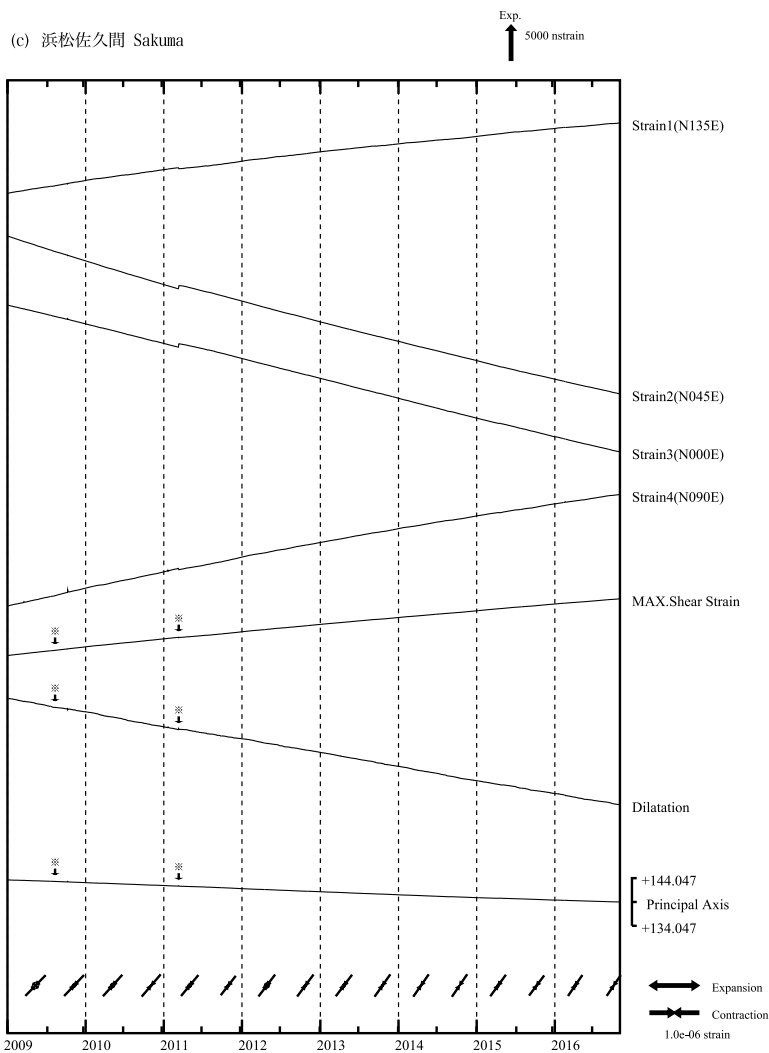
(b) 浜松春野 Haruno



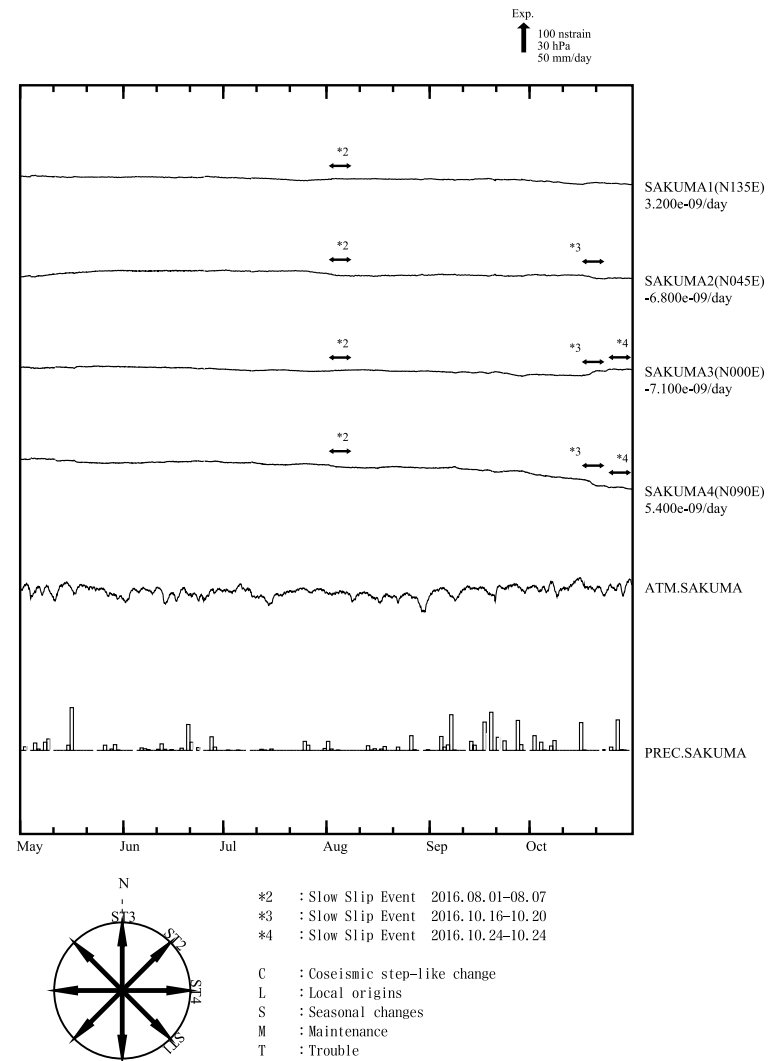
※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、駿河湾の地震および東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。



第4図(a)～(e) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
 右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。
 Fig.4(a) – (e) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
 (Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.

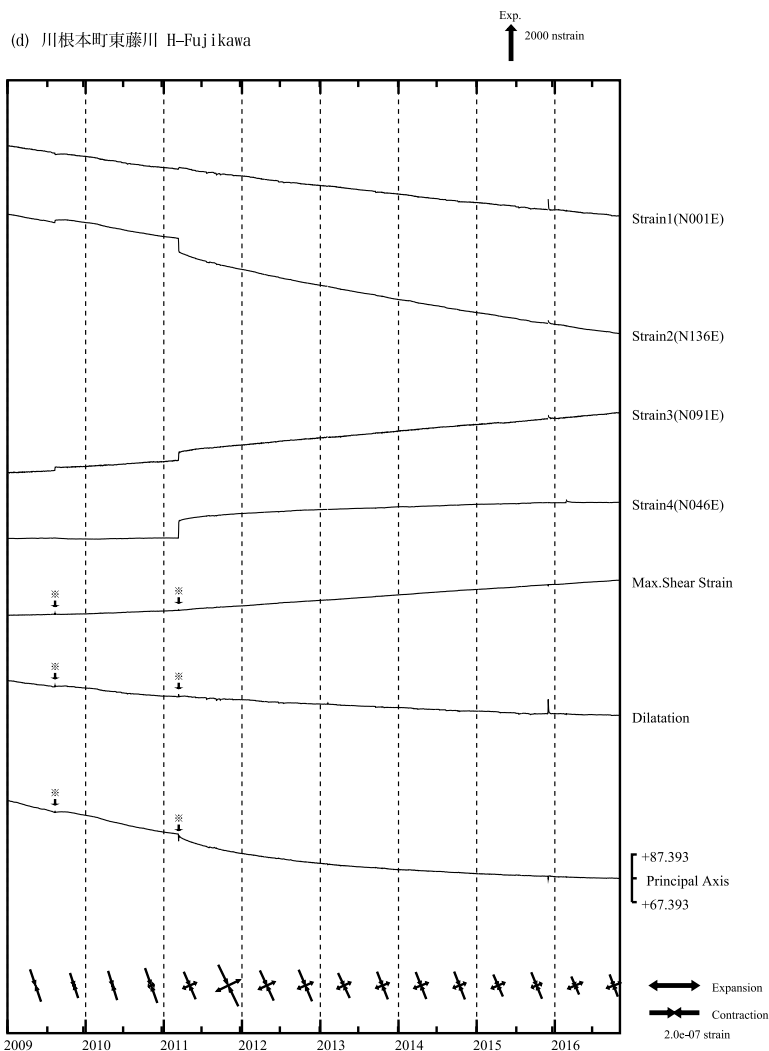


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、駿河湾の地震および東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

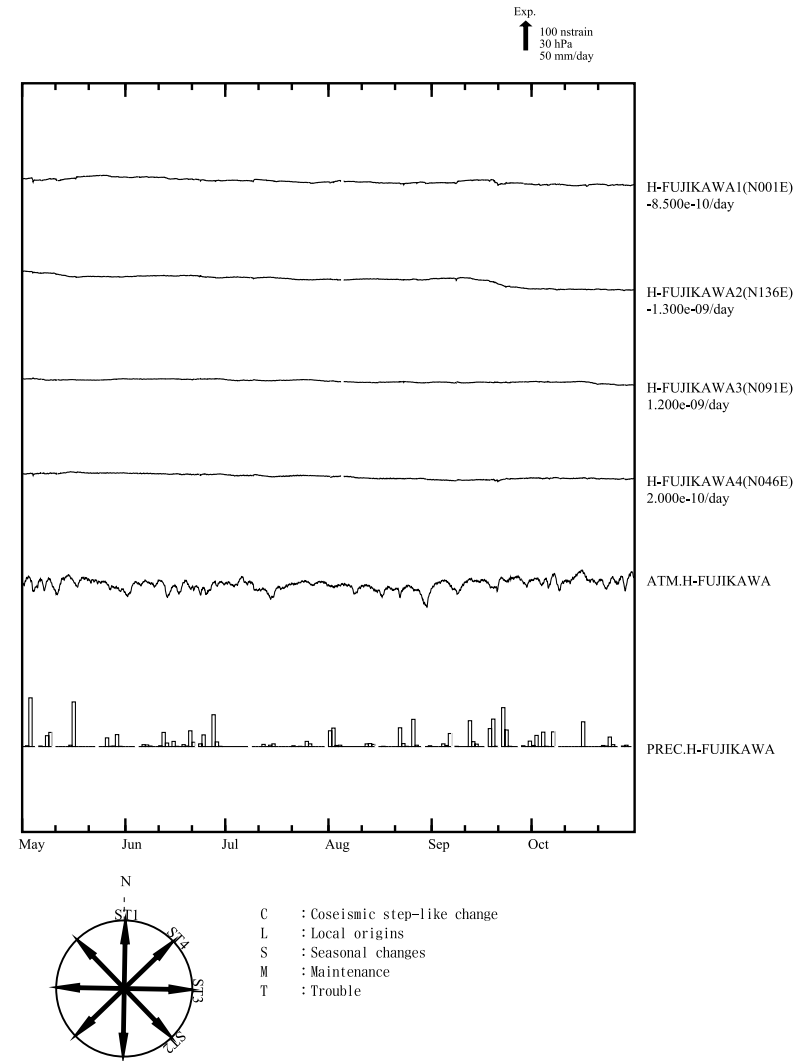


第4図(a)～(e) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig.4(a) – (e) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



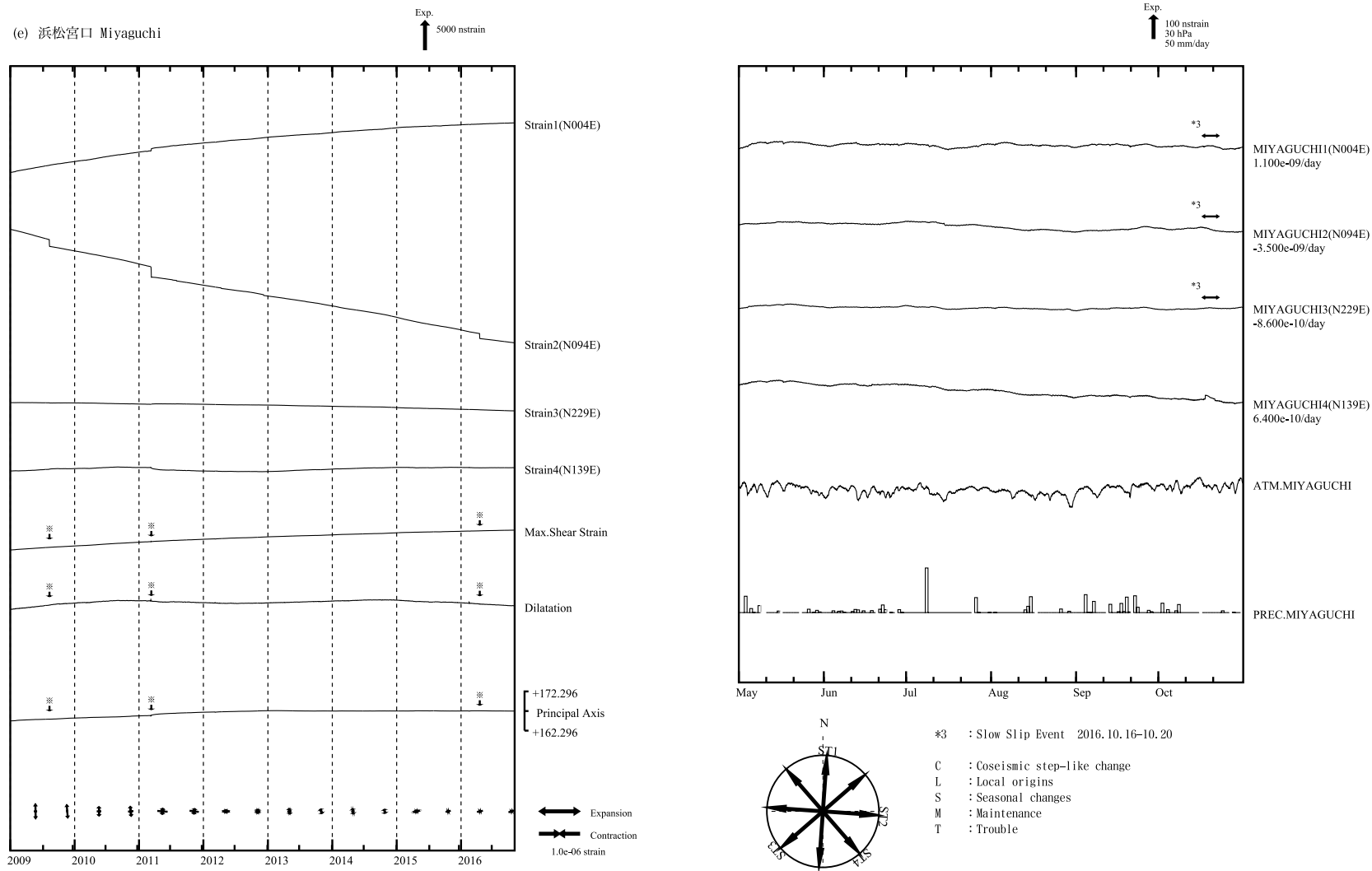
※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、駿河湾の地震および東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。



第4図(a)～(e) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig.4(a) – (e) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.

(e) 浜松宮口 Miyaguchi

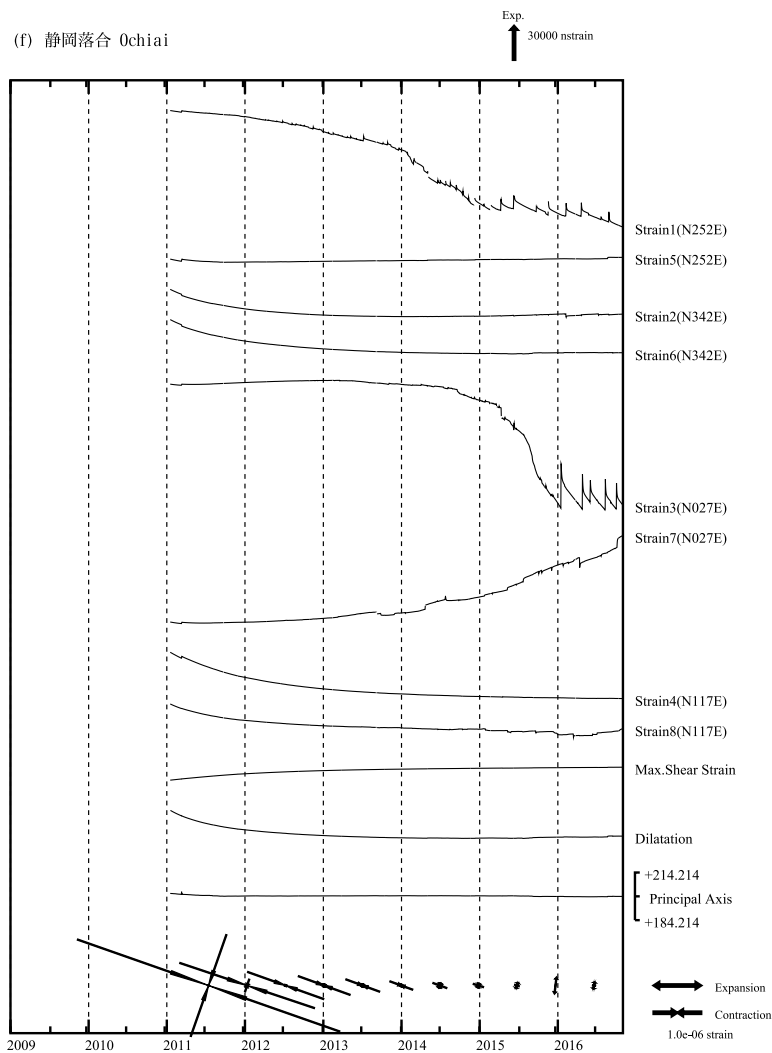


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、駿河湾の地震、東北地方太平洋沖地震および熊本地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

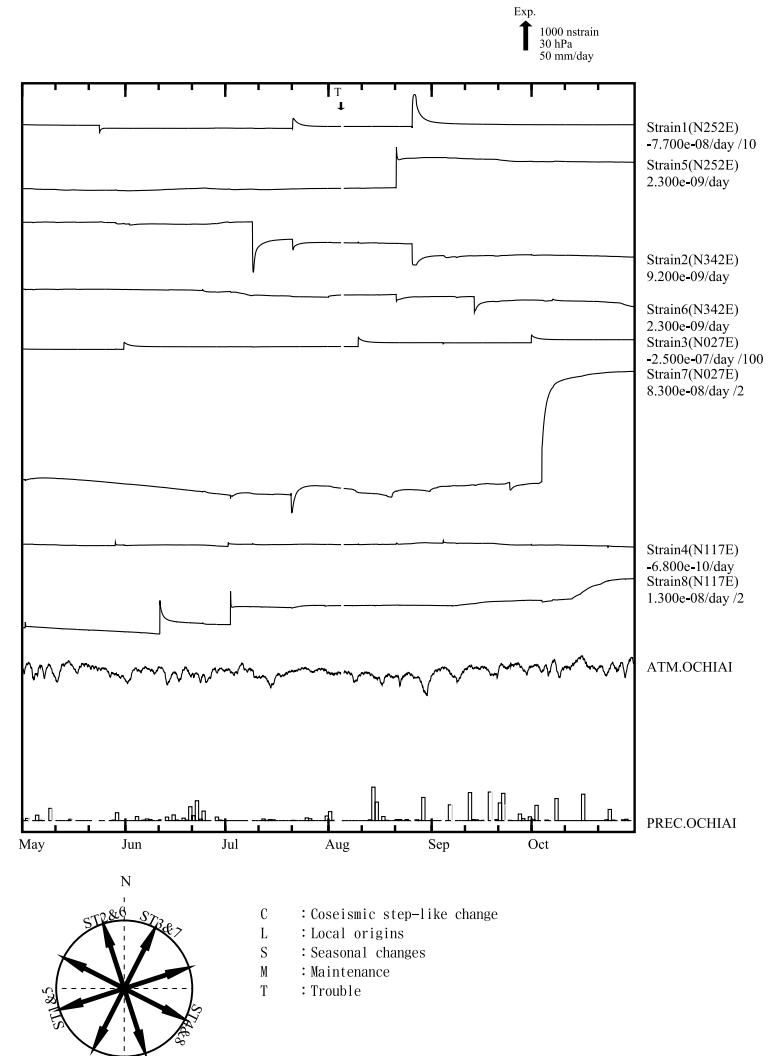
第4図(a)～(e) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig.4(a) – (e) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.

(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.

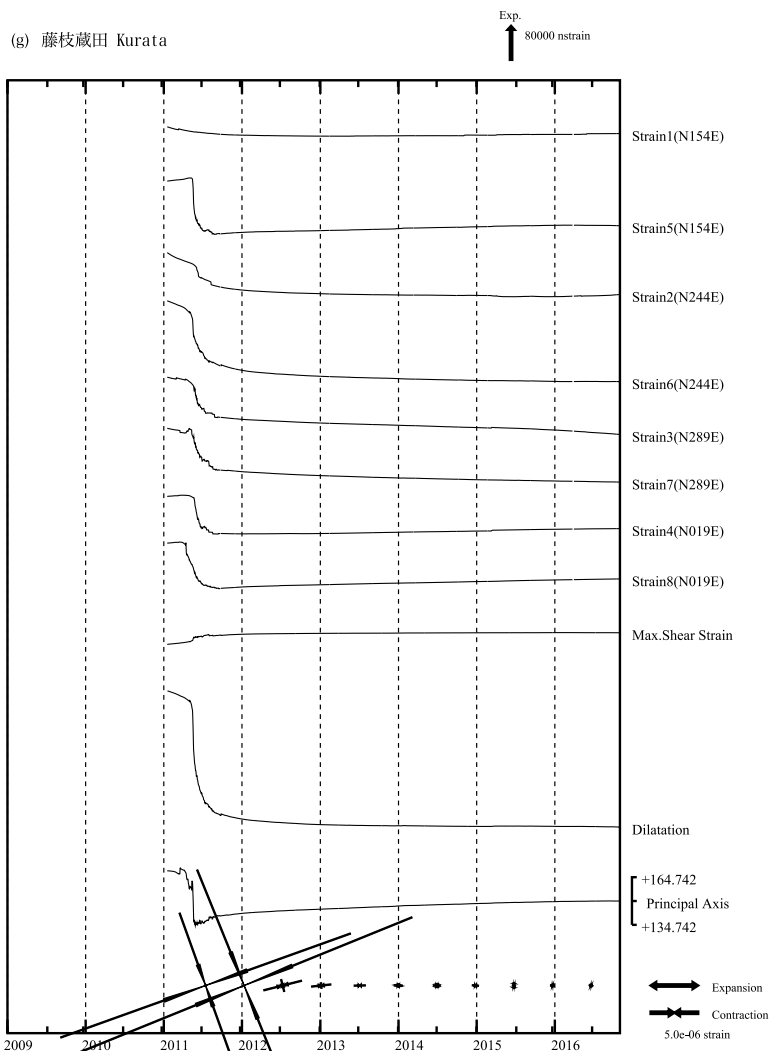


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

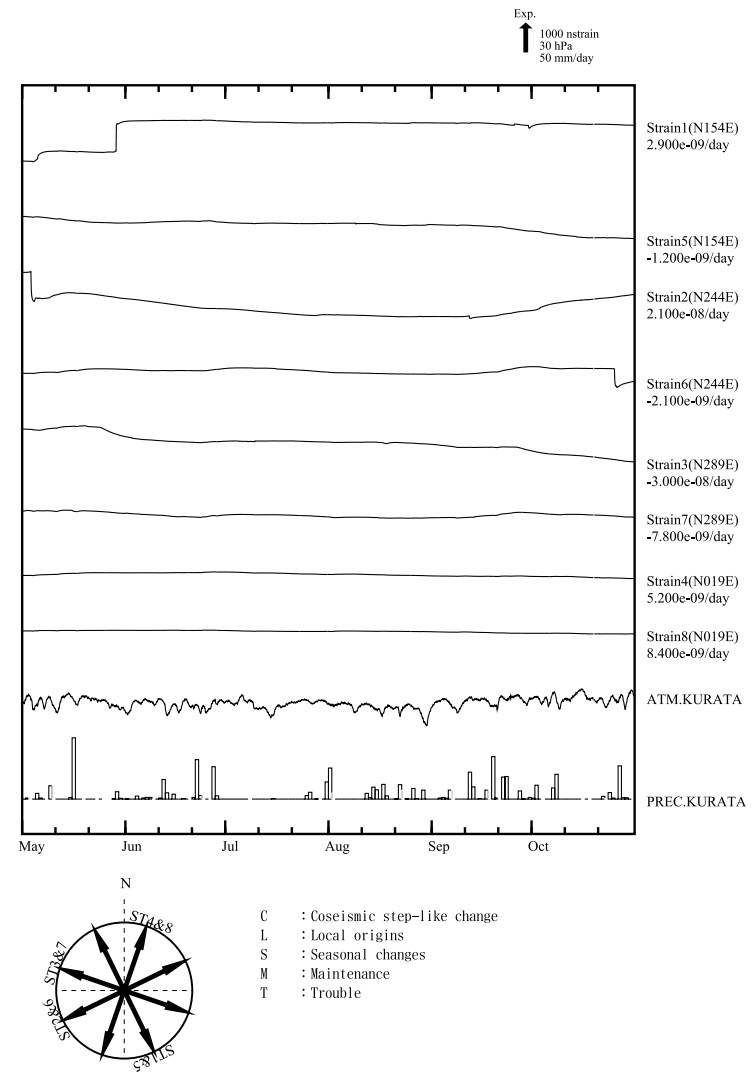


第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

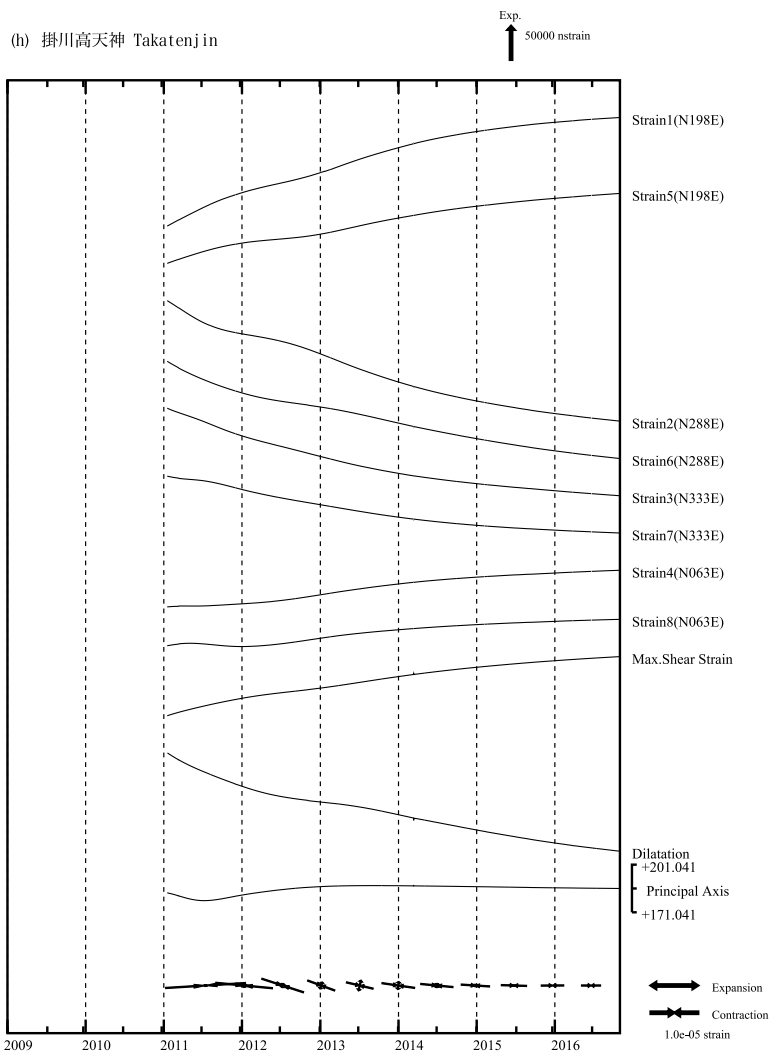
Fig. 4(f) - (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



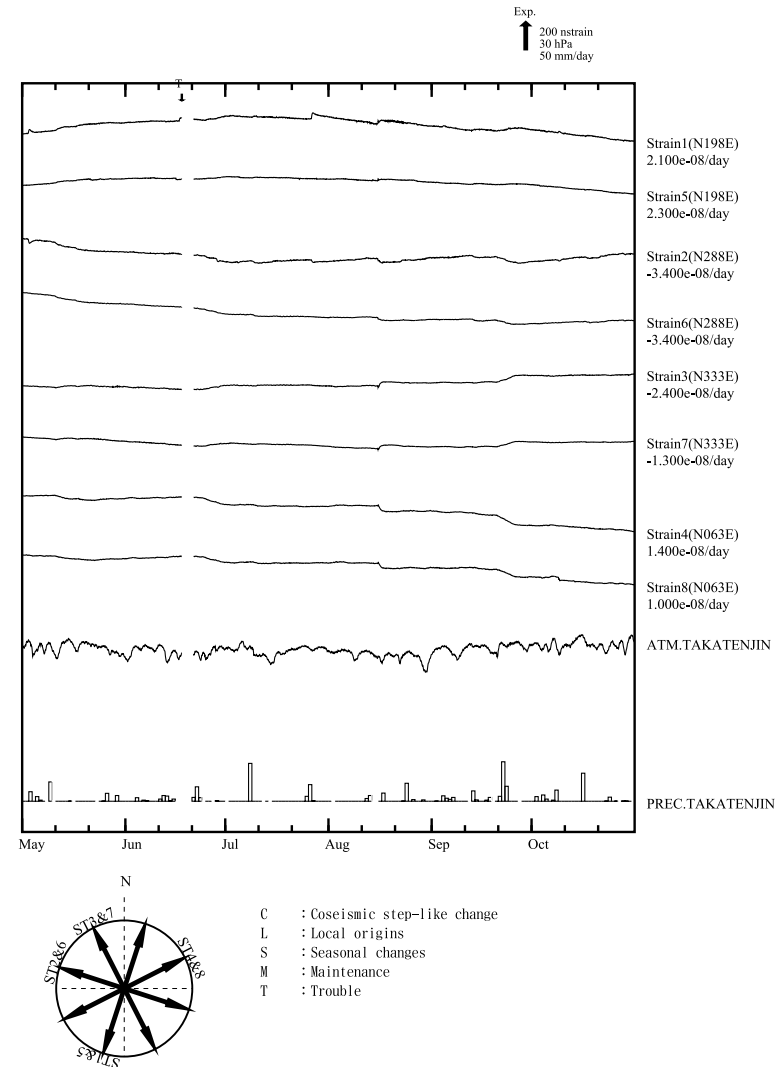
※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。



第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
 右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。
 Fig. 4(f) – (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
 (Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.

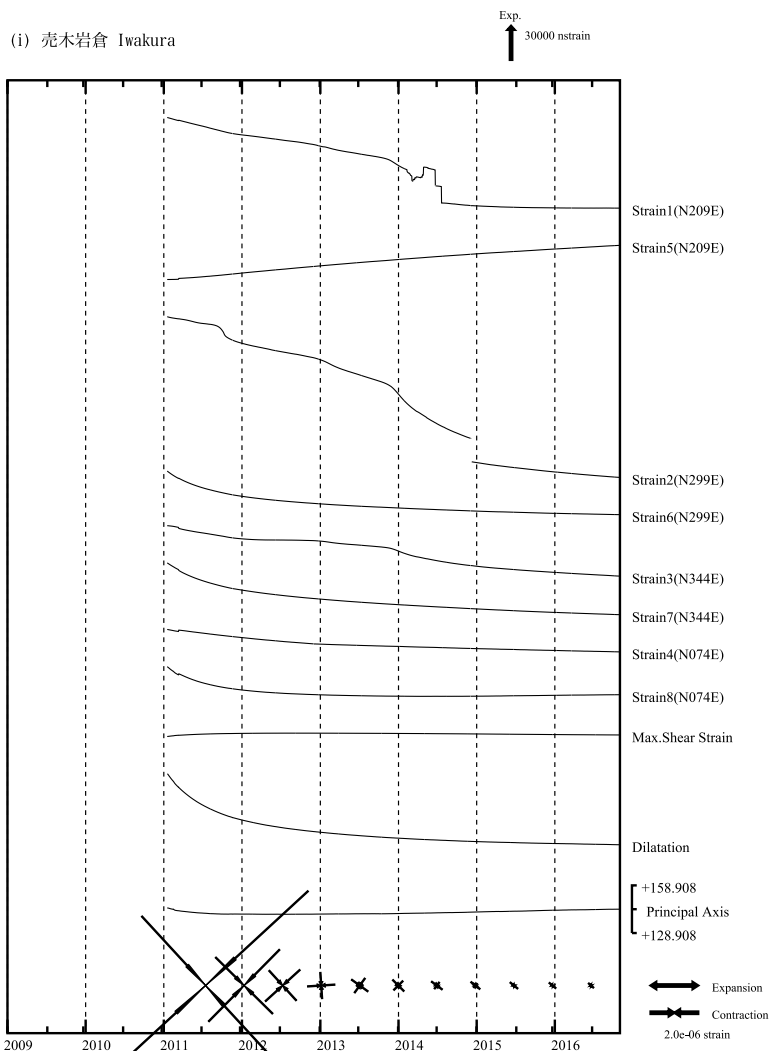


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

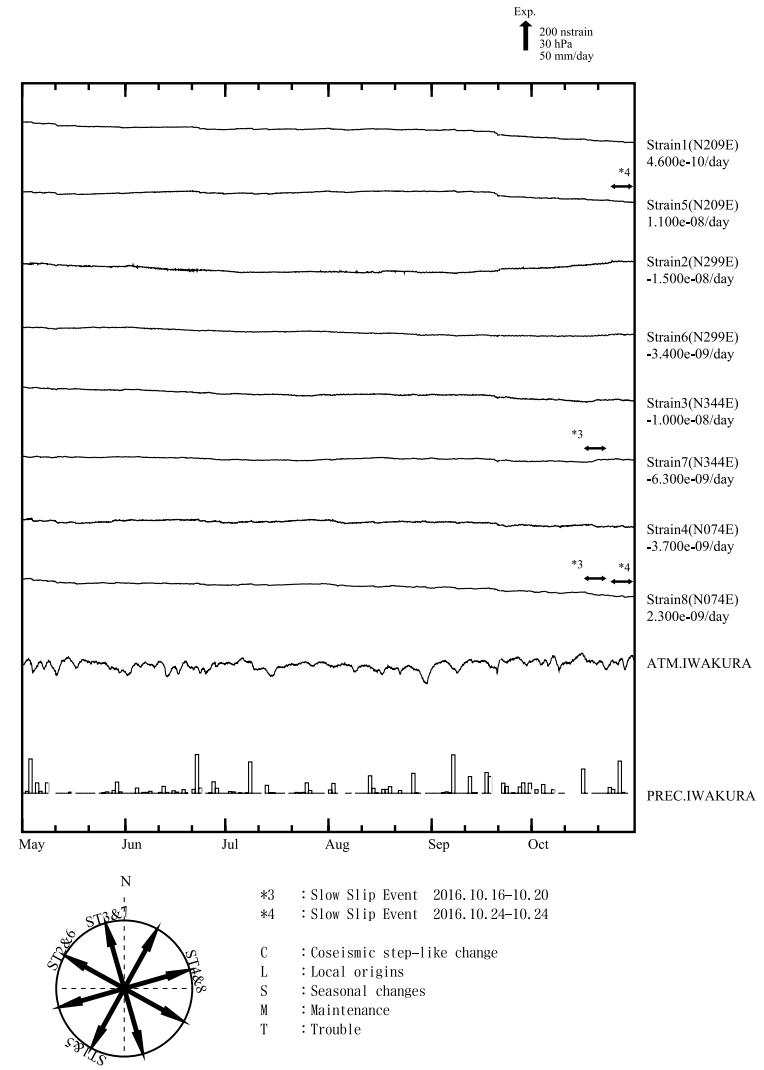


第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月~10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig. 4(f) - (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.

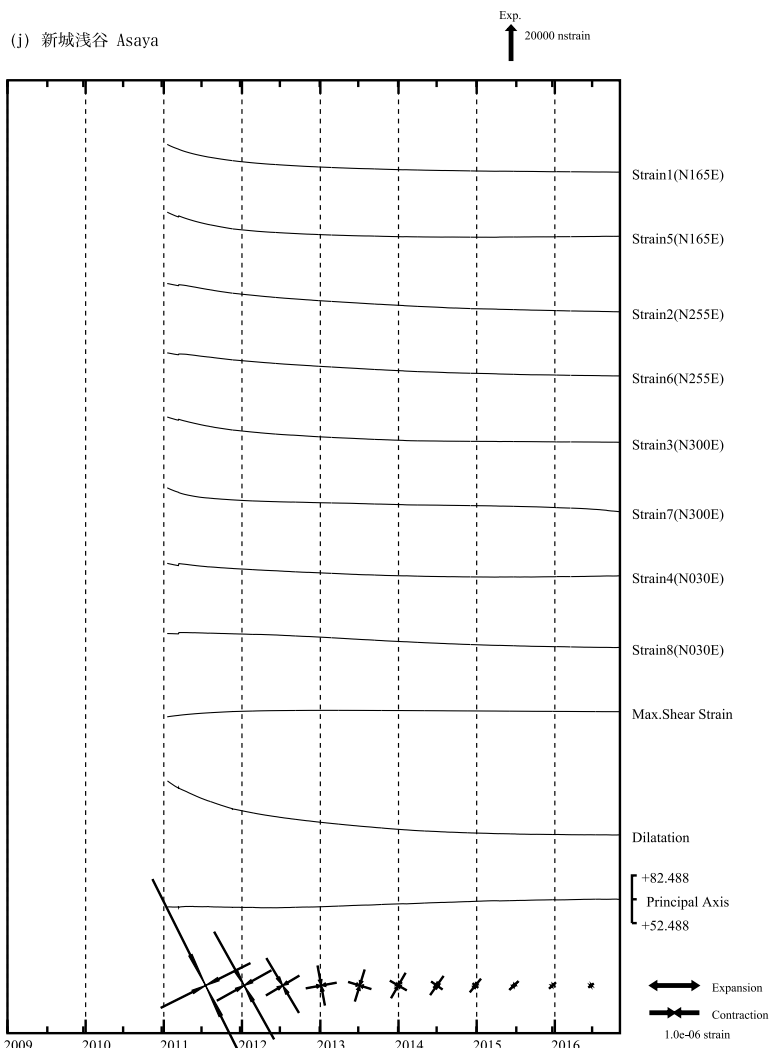


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

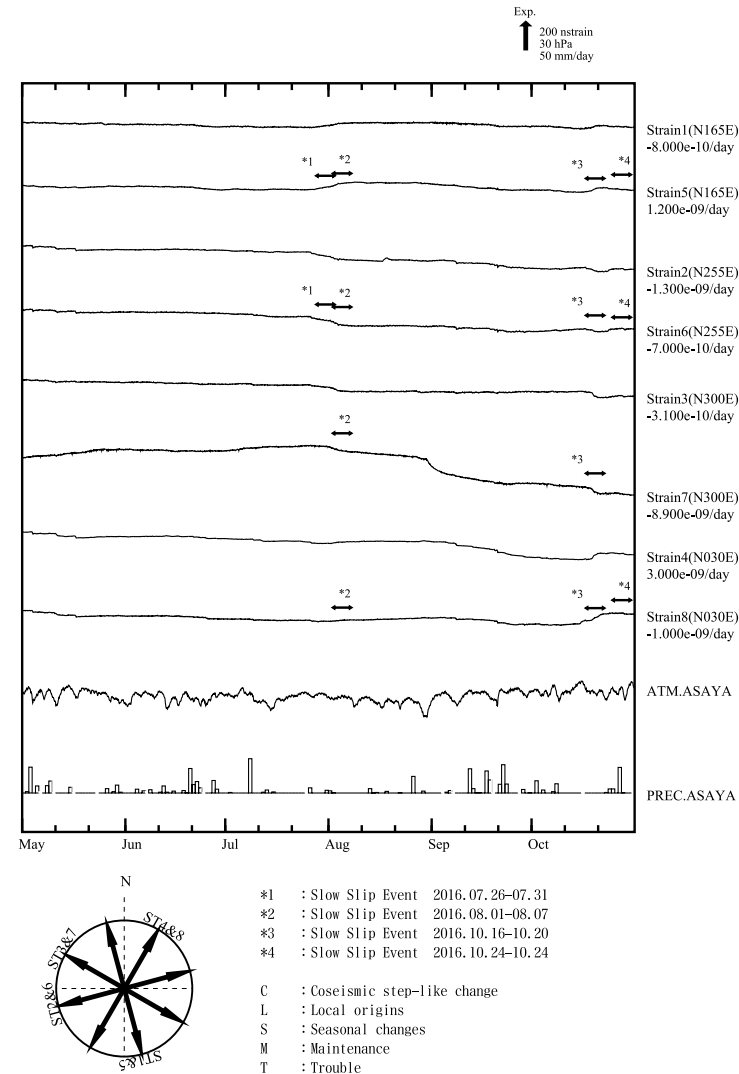


第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月~10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig. 4(f) - (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.

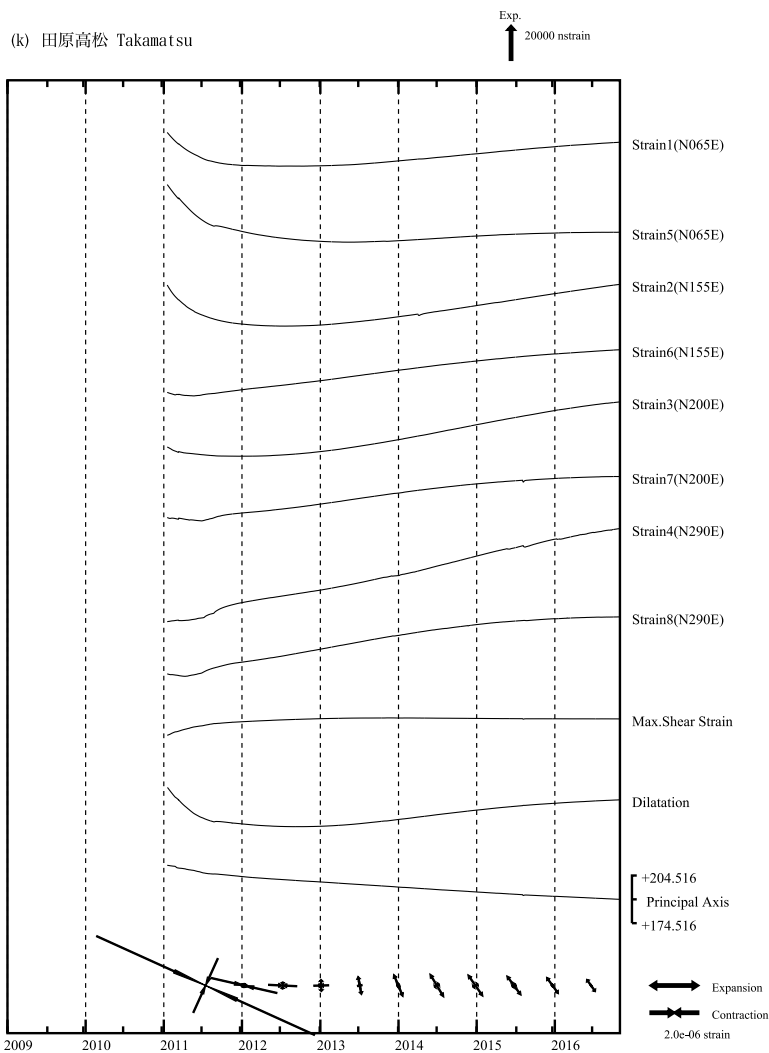


※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。

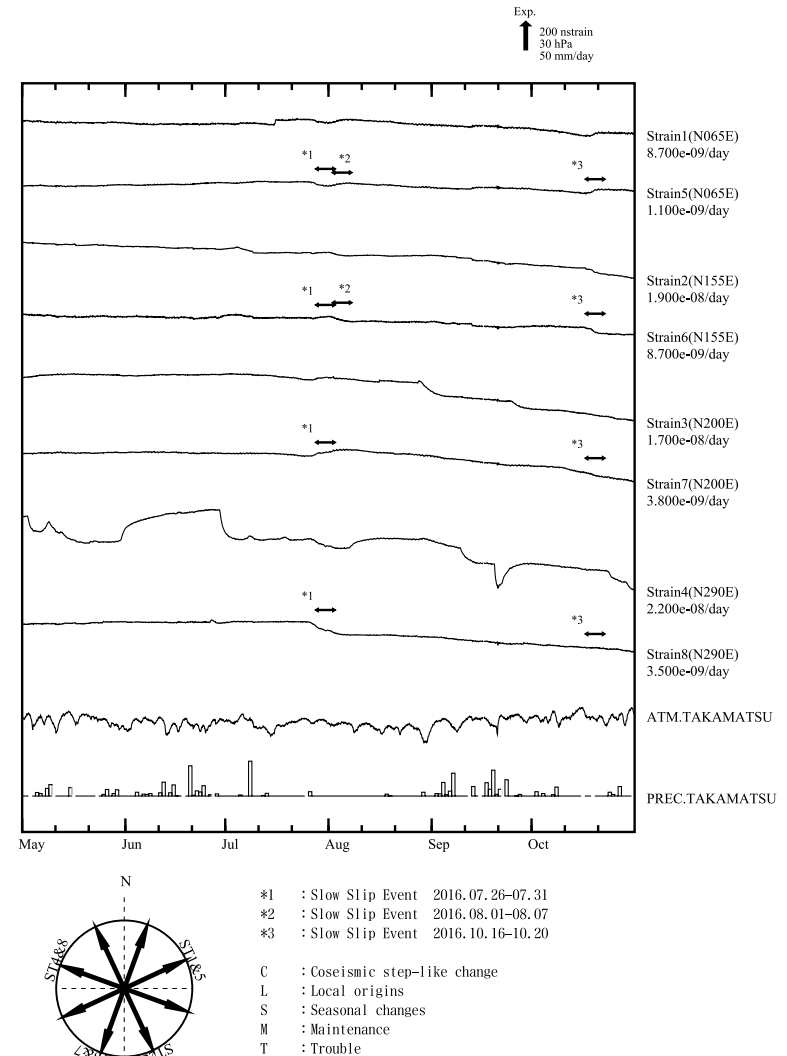


第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月～10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig. 4(f) - (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



※最大剪断ひずみ、面積ひずみおよび主軸方向は、東北地方太平洋沖地震に伴うステップ状の変化を除去して計算している。



第4図(f)~(k) 左：2009年1月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）。主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている。
右：2016年5月~10月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）。各図下部に気圧変化と降水量を示す。

Fig. 4(f) - (k) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2009 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2016 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.

ひずみ日値のスタッキングによる長期的ゆっくりすべりの検出について

○各グリッドでの時系列変化

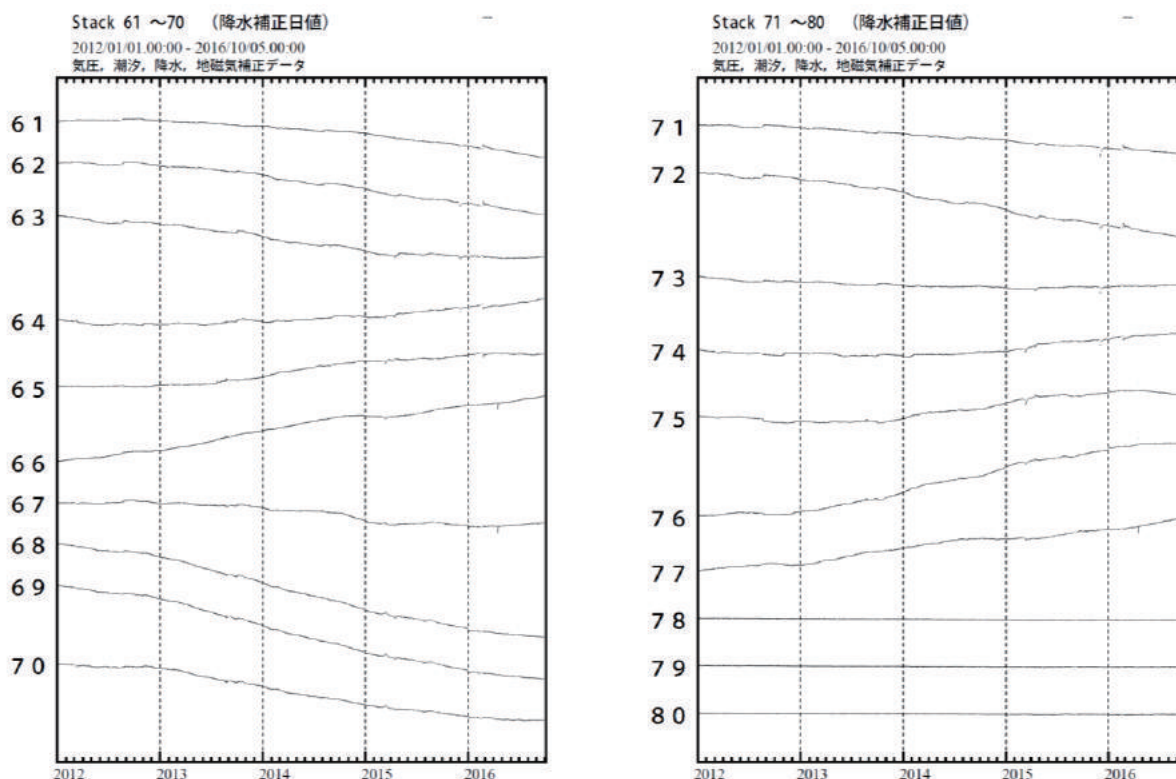


図1：日値スタッキング波形。番号は監視グリッド（図2参照）を示す。

- データ：補正日値（体積ひずみ計と1998年から2002年整備の多成分ひずみ計）
 主な地震および短期的SSEによる変化をオフセットとして除去
 ひずみ計の長期変化について、指数関数で近似して補正
- ノイズレベル：2011年6月～2012年12月の、60日階差（単純な階差）の標準偏差
- 理論値計算：0.15°ごとの各グリッドを中心とする、20×20kmの断層
- トレンド：2012年7月～12月の期間のトレンドを除去している

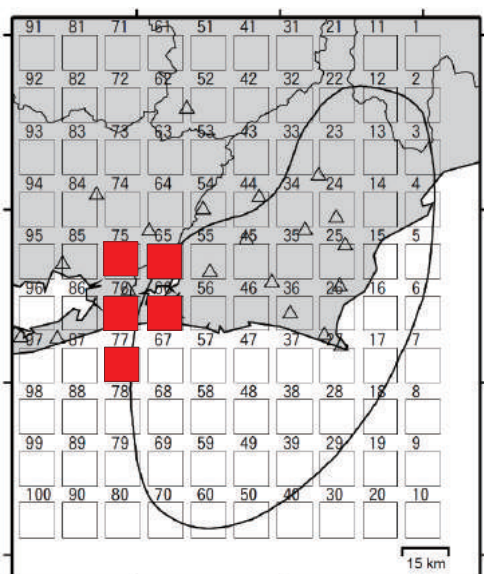


図2：グリッド配置およびすべり位置

グリッド No.65, 66 及び 75～77 に明瞭な変化が見られている。総すべり量は Mw6.7 相当となる。

□ スタッキンググリッド

* スタッキング手法は、複数のひずみ計のデータを重ね合わせることによって、微小な地殻変動のシグナルを強調させて、検知能力を向上させる解析方法である。

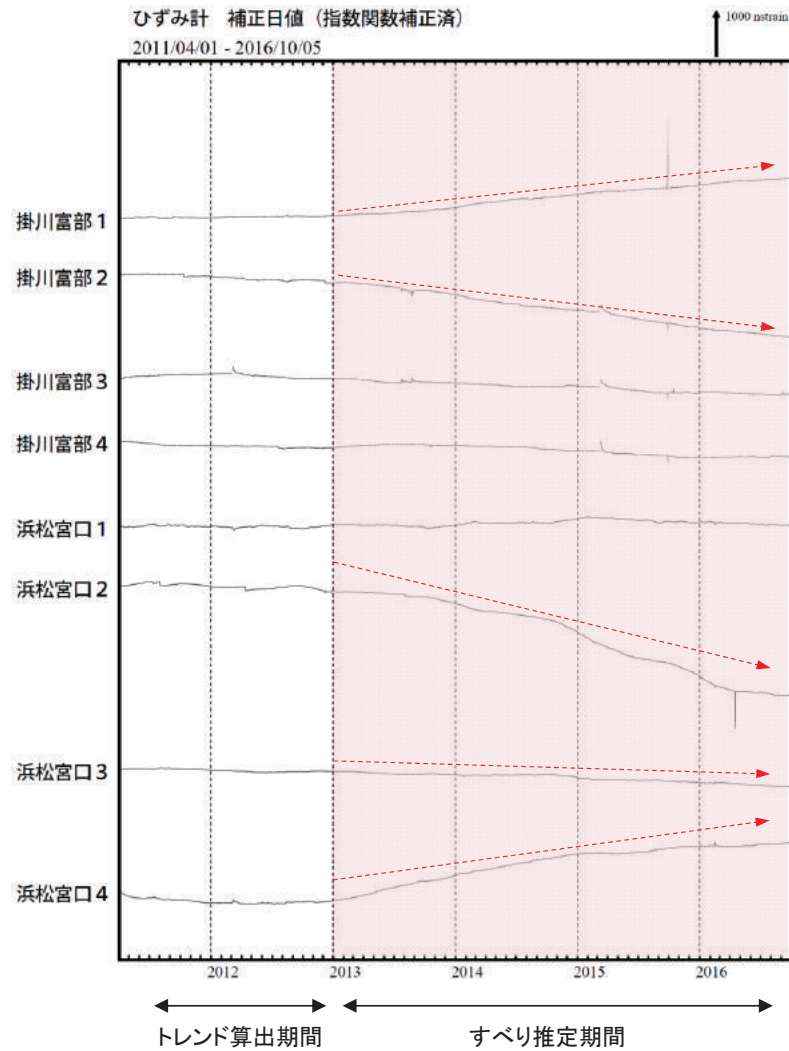
参考文献

宮岡一樹, 横田 崇 (2012) : 地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発—東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への適用—, 2012, 地震 2, 65, 205-218.

第5図(a) 静岡県西部のひずみ変化（スタッキング手法による解析）

Fig.5(a) Strain changes in west part of Shizuoka Prefecture since 2013.(analysis by the stacking method)

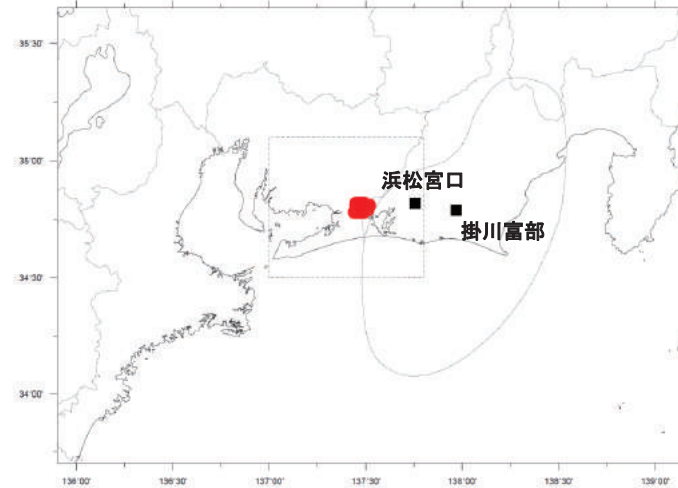
ひずみ変化と長期的ゆっくりすべりのすべり推定



ひずみ計の観測結果から、長期的ゆっくりすべりに対応すると思われる変化を読み取り、グリッドサーチの手法で、変動源の断層モデルを推定した。その推定方法は、短期的ゆっくりすべりの解析で行っているものと同じであり、仮定している断層のスケールが、ターゲットとしている長期的ゆっくりすべりに当てはまらない可能性がある。また、解析に使用できた観測点は2点のみであり、この結果の精度はあまり高くない。

ひずみ変化を説明する断層モデル候補

Mw6.6~6.9



- 断層モデル推定に使用したひずみ観測点(多成分ひずみ計)
- 断層モデル候補の中心

断層モデル候補は、中村・竹中(2004)¹⁾によるグリッドサーチの手法※により求めた。プレート境界と断層面の形状はHirose et al.(2008)²⁾による。
 ※ 断層モデル候補の中心とその規模(Mw)を、すべりがプレート境界面上でプレートの沈み込み方向と反対に発生したと仮定し、考え得る全ての解を前提として得られる理論値と観測値を比較し、合致するものを抽出する手法
 1) 中村浩二・竹中潤, 東海地方のプレート間すべり推定ツールの開発, 験震時報, 68, 25-35, 2004
 2) Hirose F., J. Nakajima, A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, J. Geophys. Res., 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008

第5図(b) 静岡県西部のひずみ変化と推定されるゆっくりすべり領域

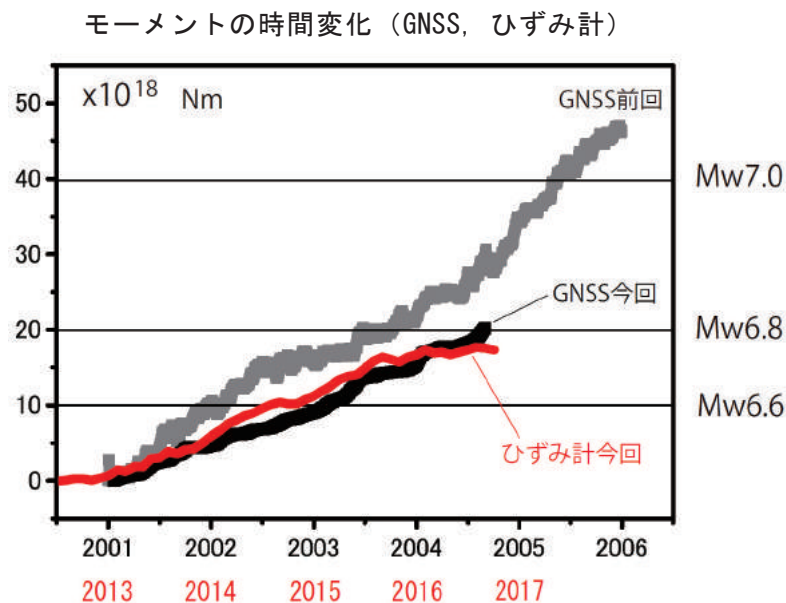
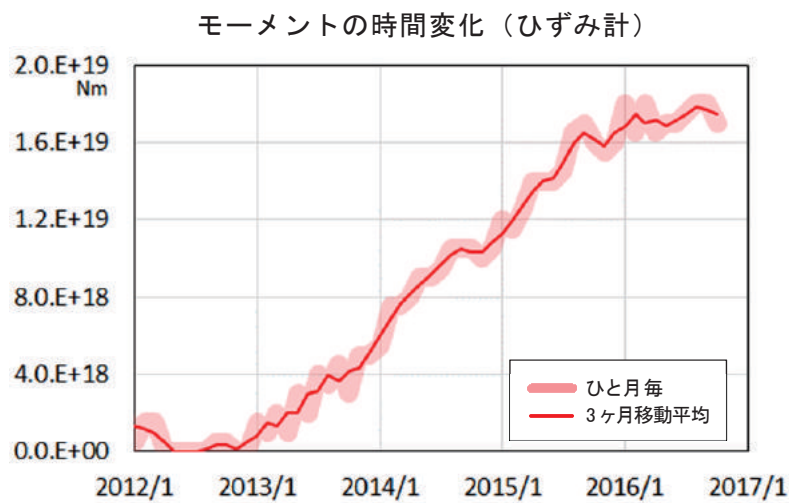
Fig.5(b) Strain changes in west part of Shizuoka Prefecture since 2013, and the estimated slow slip region.

東海地域長期的 SSE のモーメント時間変化・・・やや鈍化傾向か

2013 年初頭から続いている東海地域の長期的ゆっくりすべりのモーメントの時間変化を、ひずみ計データのスタッキングデータから求めたので報告する。

ボアホール型ひずみ計では、計器設置以降、長期間にわたる緩やかな変化が観測されるため、長期的ゆっくりすべりの様な数年にわたる現象を正しく観測できない可能性がある。そこで、その緩やかな変化を指数関数で近似することで除去し、そのデータについてスタッキング法*による解析を行った。

その結果、2015 年後半から長期的ゆっくりすべりのモーメント解放レートはやや停滞もしくは鈍化傾向となっている様子が見られている。



第 365 回地震防災対策強化地域判定会国土地理院資料に加筆

* 宮岡・木村 (2016), ひずみ計によるスタッキング法を用いた長期的ゆっくりすべりの検出, 験震時報 79, 15-23.

第5図(c) 長期的ゆっくりすべりによるモーメント変化

Fig.5(c) Seismic moment change caused by long-time slow slip event.