

## 天ヶ瀬地殻変動観測室における地殻変動観測 (第5報)

古澤 保・竹本 修三・大谷 文夫・山田 勝

### ON THE OBSERVATION OF THE CRUSTAL DEFORMATION AT AMAGASE OBSERVATORY (5)

By *Tamotsu FURUZAWA, Shuzo TAKEMOTO, Fumio OHYA and Masaru YAMADA*

#### Synopsis

The secular variations of ground-strains and -tilts for the period of 1981 to 1989 obtained from observation carried out by extensometers, tiltmeters and electro-optical distance measurement have been described. From 1981 to 1986, the trend of secular variations is uniform and linear for all components. Since Dec., 1986, the averaged annual rate of the strain oriented parallel to the tunnel axis has changed from the contraction of  $1 \times 10^{-6}$ /year to  $5 \times 10^{-7}$ /year. The trend of tilts has significantly changed and become complicated.

#### 1. はじめに

天ヶ瀬地殻変動観測室は宇治市槇島槇尾山 (135°50' E, 34°53' N) の関西電力株式会社の旧志津川発電所の導水隧道を改修したもので、1967年6月より観測を開始した。その後1977年 NTT の回線を利用した有線テレメータシステムが設置され、デジタル形式でデータの収録が行なわれるようになった。観測室の詳細及び設置されている観測計器やテレメータシステム並びにデータ処理の方法と1982年までの観測結果についてはすでに報告されている<sup>1)~5)</sup>。

今回は1981年1月から1990年3月までの伸縮計と傾斜計の観測結果と隧道内の光波測距基点での測定結果について述べる。

#### 2. 観測及び解析データ

天ヶ瀬地殻変動観測室では1967年の観測開始以来、伸縮計・傾斜計による地殻変動連続観測を行なっている。1977年のテレメータ化以降は記録計として光電変換装置を使用して各成分30分間隔のデータを集録している。1986年7月21日早朝に京都府南部を襲った局所的な集中豪雨による観測隧道の冠水のため、隧道床面に設置していた光電変換装置が水没し、観測を中断した。計器修復の後11月末にほぼ従来通りのシステムにより観測を再開したが、この間約130日の欠測を生じた。さらに1989年9月にも大雨による冠水のため成分により10日から30日の欠測を生じた。

記録データの媒体としては紙テープを用いていたが、計算機入力として紙テープの使用が不可能となった

ため1989年7月以降はフロッピー・ディスクに変更した。データは短期間の欠測、計器調整等に伴う異常値について半自動的に修正した後、感度補正を行なう。次に25時間の移動平均をとることによって潮汐成分以下の短周期成分を除去した後、12時間間隔のデータを作成し、1978年以降連続した長期変動ファイルとして1つのファイルに保存している。雨量のデータは雨量計の転倒までの作動毎に、即ち0.5mmの降雨毎にその時刻を記録し、その半日毎の積算を12時間雨量として同じファイルに入力する。今回の解析には主としてこのファイルのデータを用いる。

### 3. 伸縮歪変化

Fig. 1 は1981年1月から1990年3月までの伸縮計成分の歪変動と日雨量を示す。図の上方へ向かう変化が伸びを表し、左上方に示すスケールは  $10 \mu\text{strain}$  に相当する。各成分にみられる空白部分は冠水による欠測期間に相当する。E-1, E-2 は隧道の延長方向の基準尺の長さが40m、両端の基礎台を共有するスーパー・インヴァール棒及び線（佐々式）の伸縮計成分である。R-1~R-6 は6成分のスーパー・インヴァール棒伸縮計で、R-1 は長さ5.8mの垂直成分、R-2, R-3 は隧道の方向と  $45^\circ$  の角度を有し、互いに直交する水平成分で基準尺の長さは5.5mである。R-6 は E-1, 2 と同じ方向の長さ8.15mの水平成分である。

全成分とも全体としては縮みの変動を示し、特に1986年までは1978年以降の様な変動を引続き示している<sup>4)-5)</sup>。しかしながら、1986年の中断前後では R-6 を除き若干変動様式が変化している。この変化は E-1 成分に特に顕著である。

隧道方向の E-1, E-2, R-6 は、主として降雨の影響と考え得る短周期の擾乱が非常に小さく、滑らかな

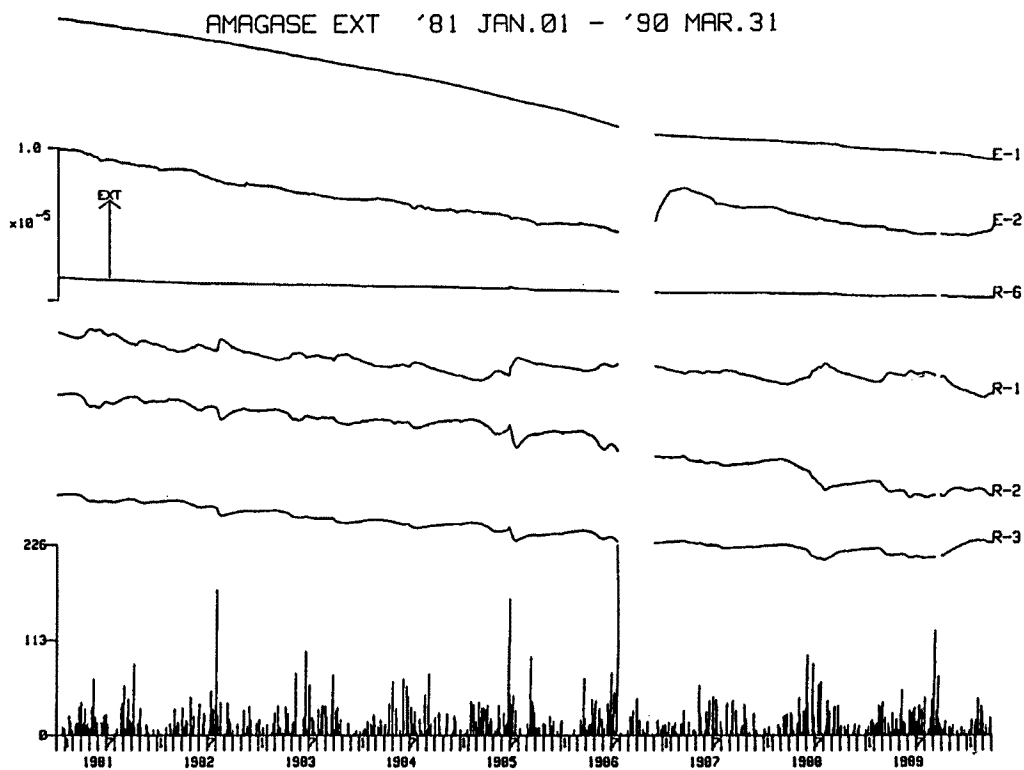


Fig. 1. Ground-strains for 6 components of super-invar-bar and -wire extensometers and daily precipitation from Jan., 1981 to Mar., 1990. Upward direction shows extension.

永年変化を示す。1981年から1986年までの5年間の区間の最小自乗法で直線近似して得た平均歪蓄積量は E-1 が  $1.27 \times 10^{-6}/\text{year}$ 、E-2 が  $0.96 \times 10^{-6}/\text{year}$ 、R-6 が  $0.15 \times 10^{-6}/\text{year}$  の割合の縮みである。この期間の各々の成分の変動は E-1 が1981—1982年の  $1.0 \times 10^{-6}/\text{year}$  から1985年の  $1.6 \times 10^{-6}/\text{year}$  まで次第に大きな変化率を有するようになったのに対し、E-2 では  $1.4 \times 10^{-6}/\text{year}$  から  $0.6 \times 10^{-6}/\text{year}$  まで小さくなっており変化の傾向が逆である。R-6 は量的に非常に小さく、平均値に近い様な変化率を示す。

隧道の冠水による観測中断以後の1986年12月から1990年3月までの期間は E-1 の変動が非常に小さくなり変化率は  $0.5 \times 10^{-6}/\text{year}$  と以前の期間の 1/2 以下である。E-2 は再開直後の大きな伸びから4カ月後に縮みに転じ、その後1987年後半の  $1.4 \times 10^{-6}/\text{year}$  の割合の縮み変化から次第に小さくなり、1990年に入って再び伸びの変動に変わっている。一方 R-6 は中断前後でほとんど変化なく3年間の平均変化率は  $0.13 \times 10^{-6}/\text{year}$  とほぼ同じ値を示す。

隧道方向に直交する成分を持つ R-1、R-2、R-3 には降雨の影響が非常に大きく現れ、年雨量に依存した短期の変動が大きく、永年変化を見るのを困難にしているが、1981年から1986年の期間の平均変化率は R-1 が  $0.47 \times 10^{-6}/\text{year}$ 、R-2 が  $0.52 \times 10^{-6}/\text{year}$ 、R-3 が  $0.51 \times 10^{-6}/\text{year}$  の縮みとなり、全体としてはほぼ一様な変化を示す。水平方向の R-2、R-3 は短期、長期とも量的にも変化のパターンも同じである。1986—1990年の期間は R-1、R-3 の変化率がそれ以前の期間に比べ約 1/2 に減少し、R-2 は逆に大きくなっている。特に1989年の終わりには R-2 と R-3 は異なる変動様式を示す。

#### 4. 傾斜変化

Fig. 2 は1981—1990年3月の期間の傾斜変動と日雨量を示す。WT は隧道方向 (N 72.5° W) に設置され

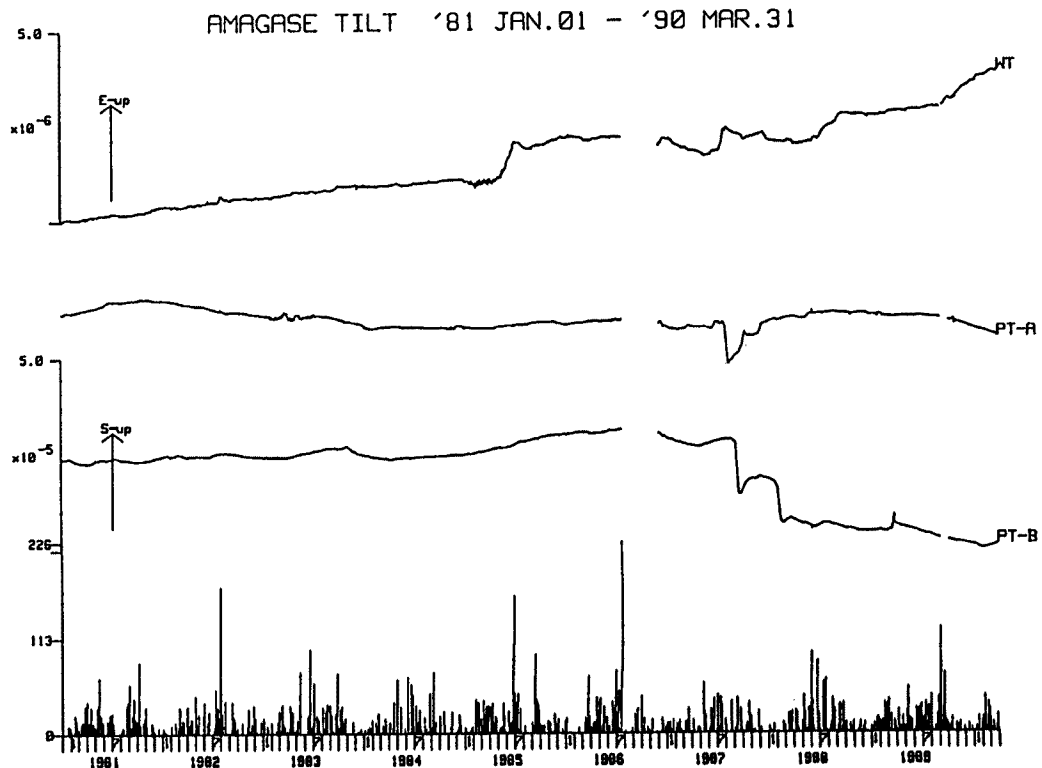


Fig. 2. Ground-tilts observed with water-tube (WT) and horizontal pendulum (PT-A,B) tiltmeters and daily precipitation from Jan., 1981 to Mar., 1990.

た 85 m の水管傾斜計の両端の記録の差をとったものである。PT-A, B は水平振り形傾斜計で, A は東西方向, B は南北方向を表す。したがって水管傾斜計 WT は東西成分 PT-A とほぼ同じ方向と考え得る。図において WT, PT-A は上方が西下がり, PT-B は上方が北下がりの傾斜を表す。振幅は左上方に示す WT のスケールが  $5 \times 10^{-6}$  rad に相当し, PT-A, B は  $5 \times 10^{-5}$  rad と 1/10 に圧縮してある。

1986年7月までの期間に水管傾斜計は1985年6月の急激な西下がりの傾斜を除いては  $0.06''/\text{year}$  の割合で一樣な西下がりの変動を示す。一方水平振り形傾斜計 PT-A は1981年以前は, WT と比べ量的には1オーダー大きいほぼ同方向の西下がりの変動を示していたのに, 1981年後半から逆方向に転じ, 1985年初めから再び西下がりに戻っている。南北成分の PT-B は短期間の変動を含みつつ全体としては平均  $0.2''/\text{year}$  の割合で北下がりの変動を示している。

冠水による中断後の1986年末以降の期間は水管傾斜計, 水平振り傾斜計の両方とも複雑な動きを示している。水管傾斜計は1987年, 1988年の6-7月に1985年と同様の急激な西下がりの変動を生じているが, これを除くと, 1987-1988年前半はそれ以前と異なり, 東下がりの傾斜に変化している。1988年後半から再び僅かな西下がりの傾斜に戻っているが, 1989年の10月より西下がりの変動量が大きくなり  $0.5''/\text{year}$  の割合になっている。水平振り傾斜計 PT-A は一般的には東下がりの傾斜を示し, 1989年10月からは, その方向は WT と逆の東下がりであるが, WT と同様変動量が大きくなり  $1.9''/\text{year}$  の割合を示す。PT-B は1987年の後半に非常に不安定な動きを示し, その後は  $1''/\text{year}$  の割合の南下がりの傾斜となっている。1987年の水管, 振り形のとての成分にみられる短期間の大きな変動は今のところ原因不明である。

## 5. 光波測量による歪変化

天ヶ瀬地殻変動観測室の全長 1830 m の観測隧道内に光波測量用の基線を設置して気温補正の影響が極めて小さな高精度の測定を月 1 回実施している。Fig. 3 に1980年以後の測定結果を示す。C-0 は本体を設置する基準台, C-1, 2, 3 は反射基点を意味し, C-1 は C-0 より 377 m, C-2 は 915 m, C-3 は 1711 m の距離にある。図は左下に示すスケールで測定距離の変動を示す。1980-1986年はジオジメーター 6 型を使用していたが, 1986年7月に冠水のため修理不能となり同機を廃棄, 1987年以降はディストマツト DI 3000 に変更した。両機の同時測定が不可能なことから, 測定再開までに10カ月の空白があるので, 測定結果を連続させることが出来ないが, 両者の間に 1~2 cm の系統的な差が認められる。

各々の計器による測定は非常に安定しており, 各基線共各々の期間にはほぼ一樣な変動を示す。1980-1986年の6年半の歪変化は3測線共縮みで, 平均年変化率は C-1 が  $0.800 \times 10^{-6}$ , C-2 が  $0.808 \times 10^{-6}$ , 最長の

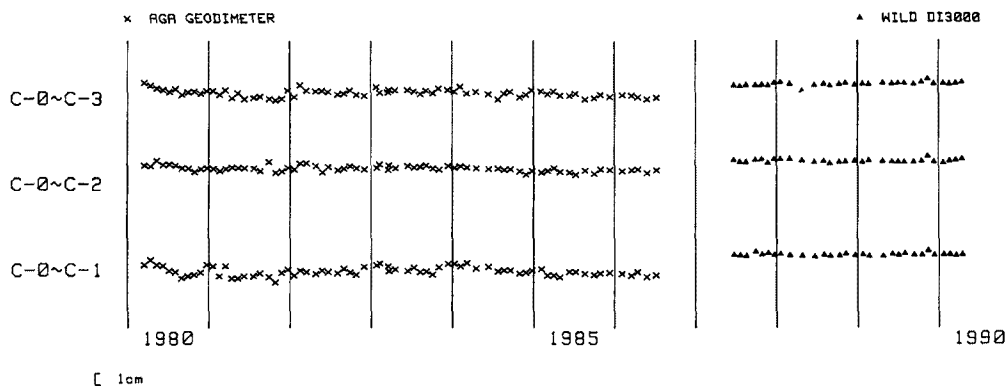


Fig. 3. Observational results of electro-optical distance measurements for the period of 1980 to 1990.

C-3 は  $0.389 \times 10^{-6}$  となり、隧道方向の伸縮計 E-1, E-2 とほぼ合致すると考えてよい。1987年以降は C-1, C-2 の 2 測線は同じく縮みであるが、C-3 測線は年変化率  $0.451 \times 10^{-6}$  の伸びに転じている。また C-1, C-2 の縮みの変化率も非常に小さく、それぞれ  $0.18 \times 10^{-6}/\text{year}$ ,  $0.135 \times 10^{-6}/\text{year}$  になっている。さらに1990年になると C-2 測線も伸びに転じている。これは伸縮計 E-1 が1987年以降それ以前の変動の約 1/2 に減じたこと、並びに E-2 成分が1990年になって縮みから伸びに変わったことと整合的である。

## 6. 地震前後の歪変化

1990年1月11日20時10分に天ヶ瀬地殻変動観測室の北  $20^\circ$  東、約 30 km の琵琶湖南部に M 4.9 の地震が発生し、伸縮計の若干の成分にストレイン・ステップを生じた。Fig. 4 に地震の前後各 3 カ月の歪変動を伸縮計各成分の30分間隔のデータにより示す。隧道方向の E-1 には  $7.4 \times 10^{-8}$  の縮みの方向のステップが見られたが、同方向の E-2, R-6 には全くない。E-2 は地震直前から変動方向が縮みから伸びに転じているが、地震の後も同じ割合で伸び続けており、地震とは直接関係しないと考えられる。垂直成分 R-1 はこれまで地震の時にしばしばステップを生じていたが今回は認められなかった。隧道方向に  $45^\circ$  の方向で互いに直交する水平成分 R-2, R-3 は、それぞれ震央に対して  $-135^\circ$ ,  $135^\circ$  の方位角を有するが、R-2 にステップが全くないのに対し、R-3 には  $4.76 \times 10^{-7}$  の非常に大きな縮みのステップを生じている。

R-1 に見られる10月—1月の顕著な縮み変動は降雨の影響の乾季における回復変動を示し、2月末からの降雨により再び伸びに変わっている。この降雨による変動は通常 R-1 と R-2, R-3 では変動の向きが逆で絶対値はほぼ同じになる。R-2 と R-3 はほとんど同じ変動を示す<sup>6)</sup>。しかしながら、Fig. 4 に示される R-2 と R-3 の今回の地震前の変動様式は異なっており、R-3 は10月以降直線的に伸びている。地震後は R-2 と

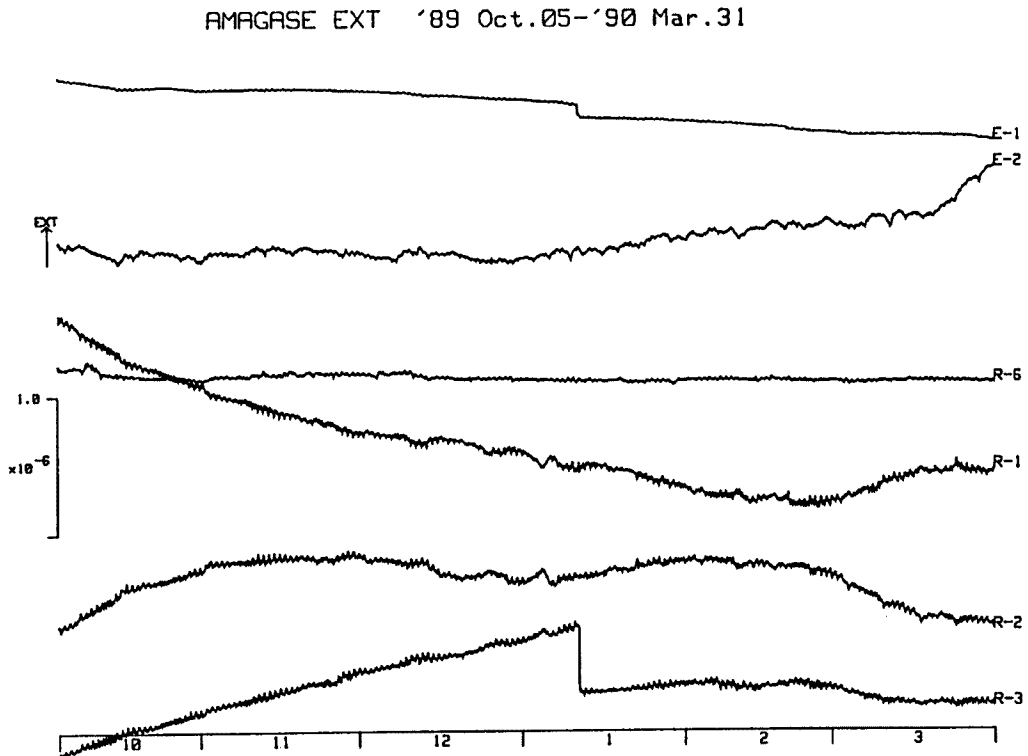


Fig. 4. Variations of ground-strains for 6 months from Oct., 1989 to Mar., 1990.

同様の変動に戻っていて、地震前の異常な伸びの分だけ地震時の縮みのステップにより戻しているようにも見える。

## 7. ま と め

天ヶ瀬地殻変動観測室の最近10年間の伸縮及び傾斜変動について1986年7月の観測隧道の冠水の前後の期間で変動様式が変化していることが分かった。各々の期間の各成分の平均年変化率を最小自乗近似直線の勾配によって **Table 1** に示す。冠水の被害は主として記録装置である光電変換装置であり、水管傾斜計、スーパーインヴァー線伸縮計 E-2 の本体には全く影響していない。スーパーインヴァー線伸縮計に関しては計器に与える変化を最小限にするため調整はローラー部分の清掃、棒の一部の錆の除去に留めた。したがって、変動様式の変化の原因は計器にあるとは考え難い。これは測定計器がジオジメーター6型から DI 3000 に変わってはいるが光波測定の結果でも2つの期間で変動傾向が明瞭に変化していることから明らかである。隧道内の水位上昇は半日程度で元に戻っており、観測の中断期間を含めて前後の期間で観測隧道内の状態に特に変化はない。また1989年9月の冠水は1986年に比べ小規模で水位上昇は少なく伸縮計、傾斜計の本体は殆ど水を被っていない。そのため短期間の中断で観測を再開できたにもかかわらず変動様式の変化を生じている。このような変化の原因は現在のところ不明であるが、大雨が関係しているとするれば、観測隧道周辺の地下水系に何等かの変化が生じ地下水位の変動をもたらしたことによるのかも知れない。いずれにしても今後の地殻変動連続観測にとって検討を要する重要な課題であろう。

1990年1月11日の地震の直前に伸縮計の1成分に通常の変動と異なる変動が観測された。しかしながら、1成分の上、量的にも大き過ぎると考えられ、さらに上記の観測中断直後の時期でもあり、直接地震に関係する変動と断言することはできない。

## 参 考 文 献

- 1) 高田理夫・尾上謙介・小林年夫・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（序報），京都大学防災研究所年報，第11号 A，1968，pp. 213-220.
- 2) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第2報），京都大学防災研究所年報，第17号 B，1974，pp. 47-56.
- 3) 高田理夫，古澤 保・竹本修三・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第3報），京都大学防災研究所年報，第21号 B，1978，pp. 87-95.
- 4) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第4報），

Table 1. Averaged annual rate of strains and tilts at Amagase for the periods from 1981 to 1986 and from 1987 to 1989

Strains	1981-1986 × 10 <sup>-6</sup> /year	1987-1989 × 10 <sup>-6</sup> /year
E-1	-1.272 ± 0.0013	-0.483 ± 0.0008
E-2	-0.960 ± 0.0013	-1.04 ± 0.004
R-1	-0.470 ± 0.0025	-0.235 ± 0.0054
R-2	-0.522 ± 0.0019	-0.960 ± 0.0056
R-3	-0.505 ± 0.0013	-0.248 ± 0.0040
R-6	-0.154 ± 0.0024	-0.132 ± 0.0005
E.D.M.		
C-1	-0.800 ± 0.674	-0.188 ± 0.601
C-2	-0.808 ± 0.155	-0.135 ± 0.292
C-3	-0.389 ± 0.117	0.451 ± 0.167
Tilts	"/year	"/year
PT-A	-0.279 ± 0.0020	0.26 ± 0.0074
PT-B	0.224 ± 0.0019	-2.13 ± 0.013
WT	0.077 ± 0.0003	0.037 ± 0.0011

京都大学防災研究所年報，第23号 B，1980，pp. 47-54.

- 5) Takada, M., T. Furuzawa and S. Takemoto: Crustal Movement Observed at Amagase Observatory, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 33, Part 2, 1983, pp. 47-61.
- 6) 古澤 保：天ヶ瀬地殻変動観測室における伸縮歪と雨量の関係について，京都大学防災研究所年報，第27号 B，1984，pp. 63-69.