

# 山崎断層における伸縮変化と降雨との関係について

中 村 佳重郎・尾 池 和 夫

## ON THE RELATION BETWEEN STRAIN VARIATIONS AND RAINFALLS AT THE YAMASAKI FAULT

By *Kajuro NAKAMURA* and *Kazuo OIKE*

### Synopsis

Records of the continuous crustal movements include many signals not only from the interior of the earth but also from the exterior of the solid earth. Effects of rainfall on strain variations are large factors in them. The observation tunnel acrossing fractured zone of the Yamasaki fault is situated at the depth of several meters under the ground surface.

We have analyzed the variations of strain observed there and discussed on the nature of effects by rainfalls. Following characteristics have been found out.

- (1) Large amplitude variations of strain after rainfalls are recorded in the direction of S34°E, and small or no variations of strain after rainfalls are observed in the direction of S56°W.
- (2) The effects of rainfalls are observed only at the limited span in the tunnel. It shows that strain variations by rainfalls are extremely local phenomena.

Strain response are calculated by the simulation using a tank model. Some results of calculation are shown.

### 1. はじめに

地殻変動の連続観測から得られる記録上の変化には、様々な要因が考えられる。最近これらの要因とそれが記録に現われるまでの過程について、定性的ではあるが、みごとに整理された<sup>1)</sup>。

山崎断層観測室（兵庫県宍粟郡安富町大字三森字春）の観測坑は、従来の地殻変動観測坑と比較すると、地表面から極めて浅い所にある。それ故に、観測記録には固体地球の外部に原因のある、特に気象の影響を大きく受ける。この影響の内で最大の変動を示す年周変化、及び経年変化については既に調べられており、年周変化は基盤の温度の年周変化によるものであること、又、経年変化は地質学的に示されている第四紀の山崎断層の運動（左ずれ）と傾向が一致していることが知られている<sup>2)</sup>。

また、山崎断層周辺の地震活動と降雨による引金現象や伸縮変化の様式との関係も研究されており<sup>3)</sup>、降雨の後の伸縮変化を詳しく調べることは重要な課題である。

この論文では、記録から年周変化と経年変化を取り除いたあとに見られる最も顕著な変動が降雨後に見られることから、この影響について議論したい。

### 2. 降雨の影響

#### 2.1 観測坑の環境と降雨の影響の現われ方

降雨の影響の現われ方については、既にいくつかの研究がなされている<sup>4)5)6)7)8)</sup>。それらの考え方は各々異ってはいるが、雨が地下水となっていく過程において、その量の多少によって影響の出方が決まってくるのがわかってきた。従って、比較的浅い観測坑であっても、その観測坑の位置や周囲の基盤の状況によ

て降雨が地下水となりにくいと思われる観測坑では、降雨の影響はほとんど見られない<sup>9)</sup>。また破砕帯は地下水系に及ばず影響が大きく、伸縮観測の場合、破砕帯を挟んで伸縮計を設置するか否かによって記録上に現われる降雨の影響が大きく異ってくる。

安富観測坑の数 m 上には中国自動車道がある。S34°E 方向のトンネルの部分は、自動車道の建設工事前にあった山の尾根筋と一致している。またそれと垂直な部分の先端は谷筋のほぼ中央にある。更に、この

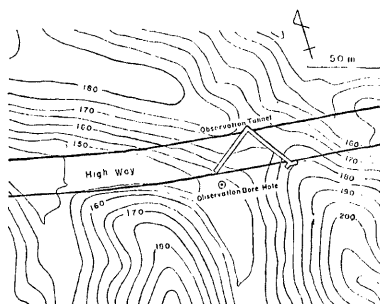


Fig. 1. Location map in the vicinity of the Yamasaki Fault Observatory.

The Chugoku high way runs in the region between the heavy lines. Counter lines existed before the high way construction.

二方向のトンネルの中央部を山崎断層の破砕帯が走っている (Fig. 1) これらの状況からみて、観測坑周辺の水系及びそれに関係する降雨の影響の現われ方は当然複雑になる。

## 2.2 観測結果

Fig. 2 はひずみの日平均値をプロットした図である。期間は1975年11月11日から1980年4月11日までである。左側の数字はセンサーの番号であり、0および0'は固定端を示している。この図からもわかるように、S34°E 方向の伸縮変化は降雨時に縮みの変化を示し (Fig. 2-a), それと垂直な S56°W 方向の変化はほとんど目につかないが、降雨量の多い時には伸びの変化が見られる。但し、1976年9月8日の台風の時のように一旦伸びを示してから縮みに逆転する区間 (7-0', 8-0') もある (Fig. 2-b)。このようにひずみの変動が逆転する例は、他の観

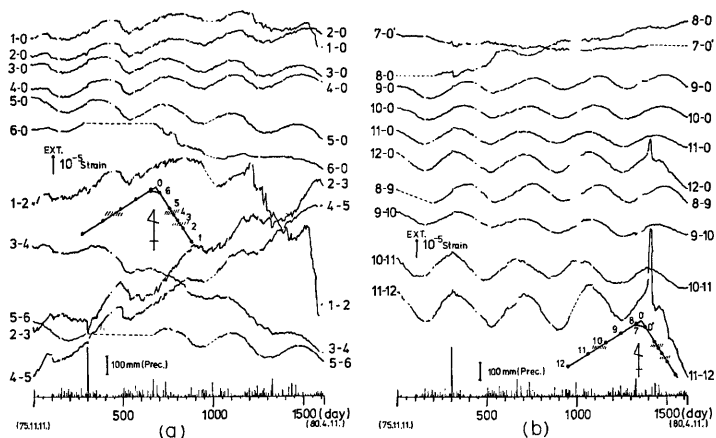


Fig. 2. Daily mean strains observed at the Yasutomi observation tunnel. No 0 shows the fixed point of the extensometers and 1,2,...,12 show the numbers of transducers.

(a) Components in the direction of S34°E.

(b) Components in the direction of S56°W except 7-0' in N80°W.

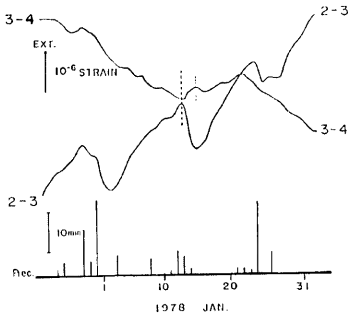


Fig. 3. Example shows the phase differences of variations caused by rainfalls. Construction began in the 2-3 component on 12th and in the 3-4 component on 14th.

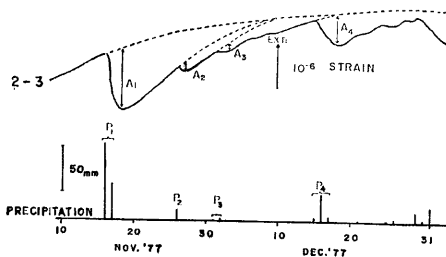


Fig. 4. Examples of maximum amplitude of strain variation and a group of rainfall.

論ずるとして、ここでは、指摘するだけに留めておくことにする。

S 56°W 方向の降雨後の変動は、伸びと縮みが同程度存在する区間もあれば、ほぼ伸びだけを示す区間もある。ただし、S 34°E 方向の場合と比較すると、その大きさは数分の1である。また破砕帯を挟んでいる区間(10-11)の変動は、S 34°E 方向の場合と同様に、同一基盤内に含まれる区間(9-10)の変動よりも、常に大きい。(Fig. 2-b)

次に雨の降り方と伸縮変化量との関係について述べる。そこで、極めて大雑把な決め方ではあるが、Fig. 4 のように降雨後の一連の変動が継続している期間内の降雨は、1つの降雨現象と見なし、その間の降雨量の合計をそのひずみ変動を生じさせた雨量とした。変動量に関しては、長期変動と降雨後に発生した変動との差の最大値をその雨によって生じた変動とした。雨の間隔が比較的密で、伸縮変化の影響が回復を続けている時期に降った次の雨によって、降雨の影響とみられる変動を再び始めた時には、前の影響が回復するであろうと思われる曲線からの差を次の降雨による変動量とした。雨量は新しい変動が始まって次の変動が始まるまでの雨の合計をその変動に対する雨量とした。

このようにして得られた降雨量と伸縮変化量との関係をグラフにしたのが Fig. 5 である。1-2, 2-3 の区間を除くと数十 mm 以上の降雨があっても変動量はさほど増加しない。このように頭打ちに似た現象が見

測所からも報告されている<sup>4)</sup>。降雨時に一方の成分に伸びの変化が現われても、他方の縮みの変化量の方が極めて大きいために、面積ヒズミは常に負となっている。但し、2.1 で述べたように複雑な地形、水系の所としては、他成分の測定点の位置が離れ過ぎている、と考えるならば、この面積ひずみはみかけ上のものであろう。

各区間毎のひずみ変化 (Fig. 2, 1-2, 2-3, …など) と、固定端と各センサー間のひずみ変化 (Fig. 2, 1-0, 2-0, …など) とを比較して見ると、予想される結果ではあるが、各区間の変動量の方が数倍大きい。このことは、長いスパンで見た伸縮変化には、局所的な変動が現われにくいということを示している。言いかえれば、1区間毎のひずみ変化の方にのみ大きく見られる変化は非常に局所的なものであることになる。

S 34°E 方向の降雨後の変動は、どの区間においても縮みが卓越している。この方向での破砕帯を挟んでいる区間と、比較的均質な固い同一基盤内に含まれる区間の代表的区間はそれぞれ2-3と3-4の区間である。変動の大きさは、破砕帯を挟む区間(2-3)の変動が、同一基盤内の区間(3-4)の変動よりも常に大きい。(Fig. 2-a) また3-4の区間の変動では、降雨後2~3日遅れてその影響が現われることがある。(Fig. 3) しかし、位相のずれについては次の機会に

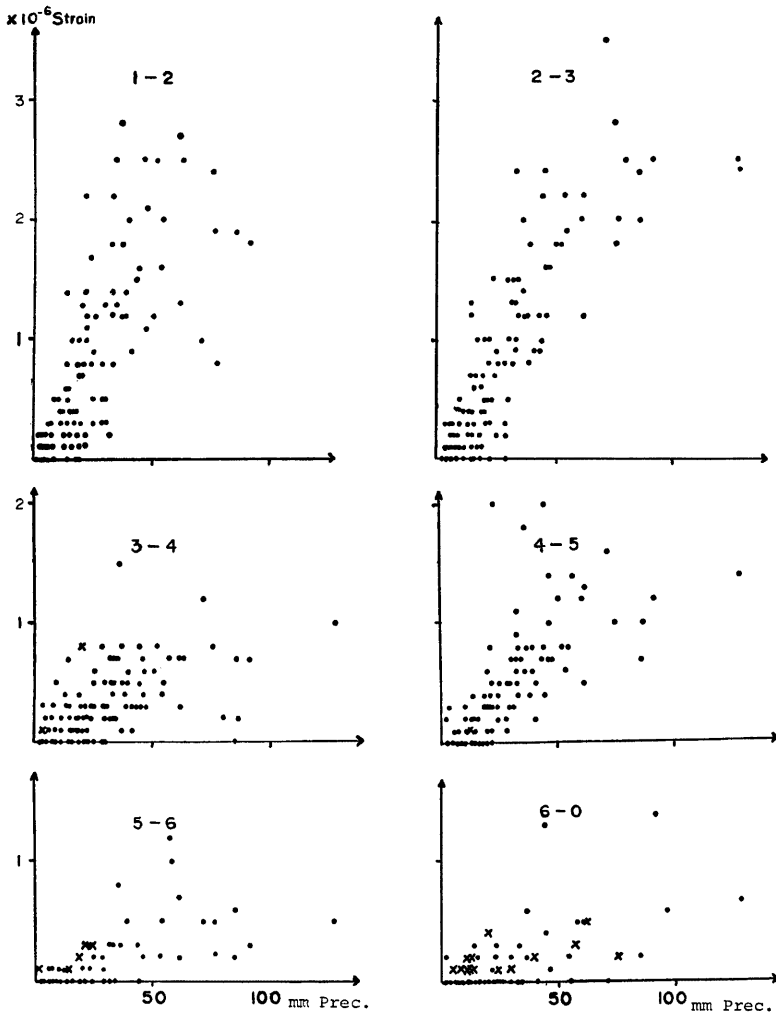


Fig. 5. Maximum amplitude versus rainfalls.  $\times$  shows extension and  $\bullet$  shows contraction.  
 (a) Components in S34°E

られるという事は、降雨量が多い時には、水はそれ程地下には浸透せずに下流へ流れ去ってしまうことを示唆している。また、S 34°E 方向では1-2、2-3の区間が降雨の影響を受け易いという事と、1、2のセンサーの位置、配列、付近の地形とを考えると1-2、2-3の区間は他の点や区間よりも観測坑の南側にある山の影響を受け易くなっていると考えることができる。

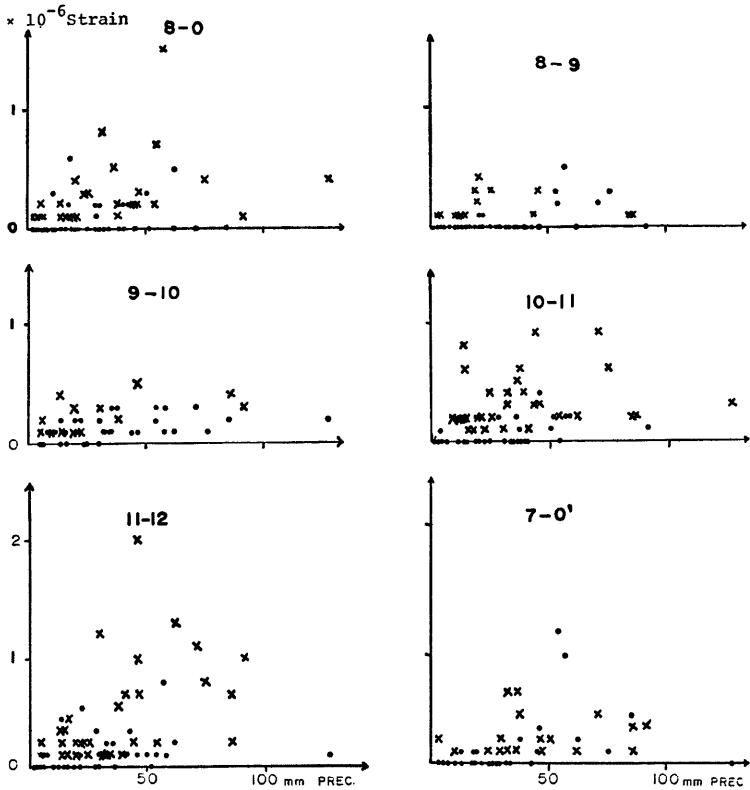


Fig. 5 (b) Components in S56°W

Fig. 6 は 1 日毎のひずみ変化量を示した図であるが、南側の山から離れるに従って降雨後の変動が小さくなっていく様子が良くわかる。

また降雨後の伸縮変化は降雨直前の観測坑周辺の土地の乾湿と関係があるのではないかと考えたことを試みた。土地の乾湿の基準として降雨がある前の10日間に合計15 mm 以上の降雨がある場合は湿、同じ期間に降雨量が 5 mm 以下の場合を乾とした。このように降雨前の土地の乾湿を定義して、降雨量とひずみ変化量との関係をグラフにしたのが Fig. 7 である。この図を見る限り、土地の乾湿による差があるとは断言できない。また S 56°W 方向の成分には伸びと縮みの変動が現われるので、縮みの変動の見られる時期に特徴があるかどうかを見るために作製したグラフが Fig. 8 である。このグラフの横軸は、1976年から1979年の4年間の各1年毎を重ね合わせてある。この図から4, 5, 6月頃に縮みの変動が多く見られる傾向にある。このように降雨とその後のひずみ変動量との関係が比較的不明確な原因の1つには、降雨量とひずみ変動量の定義の仕方のあいまいさがある。そこで河川工学で用いられる河川の流出量を推定するタンクモデルを用いて、地下水位を推定し、降雨後のひずみ変動のシミュレーションを試みた。

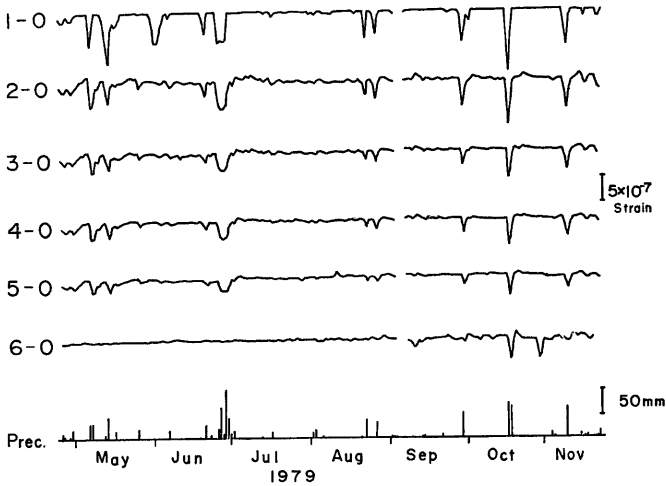


Fig. 6. Rate of strain variation per one day. Amplitude of ground strain become smaller toward the north.

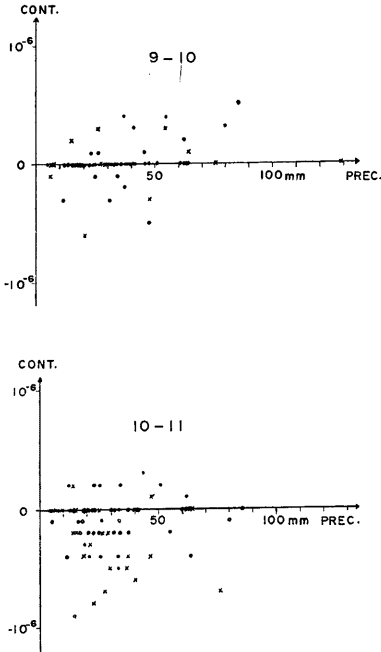


Fig. 7. Strain variations under the condition of the wet ground and that of the dry.  $\circ$  shows the case of the wet and  $\times$  shows that of dry ground.

### 3. タンクモデル

タンクモデルを用いての降雨影響のシミュレーションは、既に田中によって試みられている<sup>11)</sup>。元来このモデルは過度に精密化すべきモデルではないが、前述の台風時の影響も消すために約1ヶ月の変動まで考慮して、第三槽まで考えた。田中は第二槽の水位のみで説明したが、安富で得られた記録には極めて短時間の変動が含まれているため、第一槽の水位も対象にした。降雨と浸透水との関係は、現在の所明確になっていないが、観測坑の最先端付近にボーリングした井戸の水位を1979年8月22日から連続観測を開始したので両者の関係を解析することができるようになった。ここでは、暫定的に、観測坑入口付近で観測している降雨の記録を入力として、降雨後の変動と計算結果が良い一致を示すように試行錯誤法でタンクの定数を求めた。Fig. 9には、2-3の区間のひずみから年周変化と経年変化を取り除いた曲線(O)、降雨から計算したひずみの曲線(C)、またO-Cの曲線が示されている。観測されたひずみ変化(O)と計算されたひずみ変化(C)は良く似た曲線になるが、その差(O-C)を見るとまだシミュレーションが充分ではないことがわかる。部分的には1976年の4月から6月にかけての約3ヶ月間のようにこのタンクモデルによるシミュレーションが極めて良好な部分も見られるので、更に

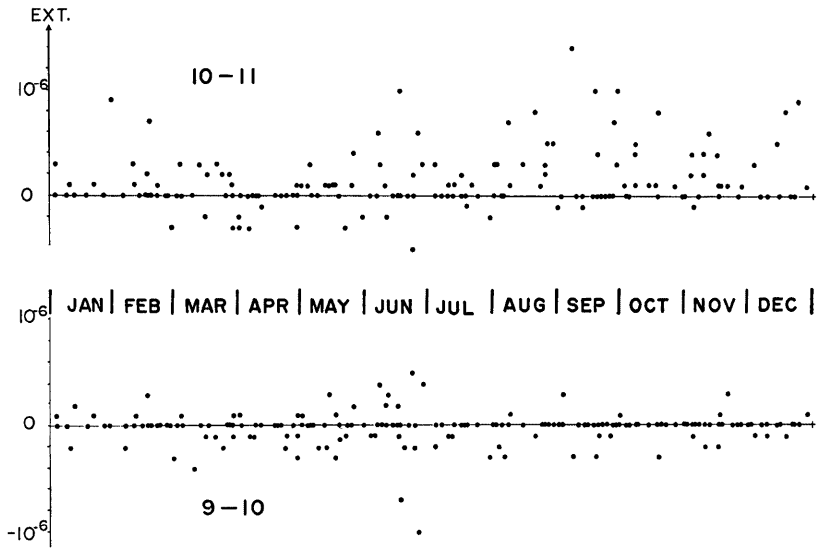


Fig. 8. Annual change of amplitudes of strain variations effected by rainfalls. The upper shows that in the component across the fracture and the lower shows that in the bed rock.

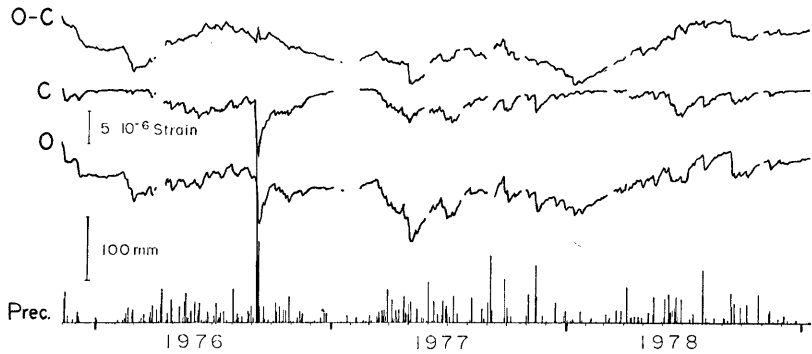


Fig. 9. Comparison between calculated strain from a tank model and observed strain (o) shows observed strain curve in which the annual change and secular change are reduced and (c) shows the calculated strain.

解析を続ける予定である。Fig. 10 はこの部分を拡大して示したものである。

#### 4. ま と め

- (1) 降雨のあとの伸縮変化については降雨の影響が大きく現われる方向 (S 34°E) とそれ程現われない方

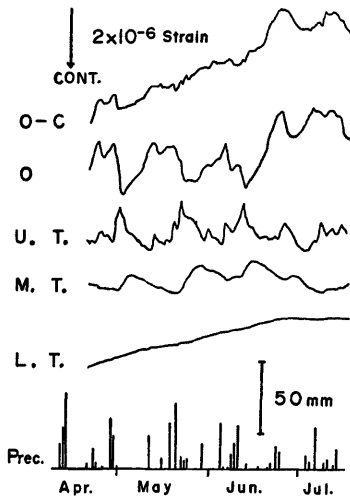


Fig. 10. An example of the detailed results simulation compared with the observed strain.

O, O-C: the same meaning appeared in Fig. 9.

U.T., M.T., L.T.: Calculated strain curve by upper tank, middle tank and lower tank, respectively.

向 (S 56°W) とがある。

(2) 降雨のあとの伸縮変化は S 34°E 方向では縮みに現われ、それと垂直な S 56°W 方向では、一般的に伸びとなって現われる。

(3) S 56°W 方向では、降雨後の伸縮変化はまれに縮みの変化を示すこともある。

(4) 同じ方向の成分であっても、破砕帯を挟む区間と同一基盤内に含まれる区間とでは降雨後の伸縮変化は破砕帯を挟む区間の方が大きい。このような変化は極めて局所的なものであることがわかる。

(5) 道路工事前の元の地形の尾根筋に当たる方向 (S 34°E) の降雨の後の伸縮変化の振幅は南側の山から離れるにしたがって小さくなっている。

(6) タンクモデルによるシミュレーションは比較的良好一致を示す部分もあれば、そうでない部分もある。したがって、今後モデルの改良と、水の収支を明確にして降雨の影響についての考察を更に続ける必要がある。

## 5. 謝 辞

この研究を進めるにあたっては、京都大学防災研究所の岸本兆方博士に終始御指導をしていただき、松村一男氏からは、データ解析で御協力をしていただいた。また渡辺邦彦氏と松尾成光氏には観測にあたって御協力をいただいた。これらの皆様へ深く感謝の意を表わす。

この研究は、地震予知計画における山崎断層テストフィールドでの総合的な地震予知方法の研究の一環として進められたものである。

データ処理および解析には、防災研究所防災科学資料センターの計算機 M-140 を用いた。

## 参 考 文 献

- 1) 志知龍一, 岡田義光: 坑内における歪観測, 測地学会誌, 第25巻第2号, 1979, pp. 101-134.
- 2) 尾池和夫, 中村佳重郎: 山崎断層における伸縮変化の連続観測結果, 京都大学防災研究所年報, 第21



- 号B-1, 1978, pp. 11—18.
- 3) Oike, K.: Seismic Activity and Crustal Movement on The Yamasaki Fault in Southwest Japan, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 18, 1979, pp. 341—344.
  - 4) 竹本修三：京都岩倉における地殻変動連続観測(1), 京都大学防災研究所年報, 10 A, 1967, pp. 157—164.
  - 5) Tanaka, T.: Study on the Relation between Local Earthquakes and Minute Ground Deformation (Part 4. On Spectral Structures of the Tiltgrams Observed at Akibasan, Wakayama City), *Bull. of the Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, 17, 1967, pp. 1—20.
  - 6) 志知龍一, 松沌 宏, 飯田汲事：犬山における地殻変動の連続観測(Ⅱ), 測地学会誌, 第16巻第4号, 1970, pp. 177—189.
  - 7) 山内常生, 志知龍一, 飯田汲事：地殻変動の連続記録に現われる降雨によるノイズについて, 測地学会誌, 第16巻第4号, 1970, pp. 202—208.
  - 8) 石井 紘, 佐藤俊也, 立花憲司：秋田地殻変動観測所における地殻変動観測(2)—降雨による地殻ひずみについて—, 測地学会誌, 第19巻第3号, 1973, pp. 135—144.
  - 9) 足立 昭：観測坑近傍で実施されたトンネル工事の伸縮計記録への影響について, 測地学会誌, 第22巻第1号, 1976, pp. 40—48.
  - 10) 菅原正巳：流出解析法. 水文学講座7, 共立出版, 1972.
  - 11) 田中寅夫：傾斜計・伸縮計記録に現われる降雨の影響とそのシミュレーション, 測地学会誌, 第25巻第2号, 1979, pp. 91—100.