

京都岩倉における地殻変動観測 (II)

竹 本 修 三

THE OBSERVATIONS OF CRUSTAL DEFORMATIONS AT IWAKURA, KYOTO (II)

By Shuzo TAKEMOTO

Synopsis

- (1) At Iwakura observatory, the bimetal thermometer and the aneroid barometer have been set up since Feb. 8, 1967 and the influence of the room temperature and the atmospheric pressure on extensometers and tiltmeters has been examined.
- (2) Some anomalous tilting movements and linear strains have been observed before and after the occurrence of recent Wachi earthquake ($M=5.5$, Aug. 18, 1968).
- (3) Residual strains connected with a local earthquake ($M=4.6$, June 21, 1967) have been observed at Iwakura and some other observatory, and these are compared with the theoretical values calculated by F. Press.

1. 序 言

岩倉地殻変動観測所においては、1965年4月以来、水平振子型傾斜計一組み二成分、スーパーインヴァー
ル棒伸縮計三成分による観測を続けているが、1967年2月8日にバイメタル温度計及びアネロイド気圧計を
併置し、坑内の温度、気圧変化も合わせて自記記録させ得るようになった。

この結果、岩倉観測所においては坑内の温度変化が他の観測所（例えば逢坂山¹⁾、大浦²⁾等）に比べてか
なり大きく、特に伸縮変化についてその影響が著しい。また、他観測所でしばしば認められる気圧勾配と
傾斜、伸縮変化の相関については、今回はそれほどはっきりわからなかった。

また、1968年8月18日午後4時12分には、 $M=5.5$ の「和知地震」をはじめとして、京都府下ではそ
の後の約一ヶ月の間に十数回の有感地震に見まれた。これらの地震との関連性ははっきりしないが、岩倉
観測所において同年6月頃から傾斜、伸縮変化量共にかなりの増加が見られた。また、8月18日の地震の直
前10時間前から急激な西方向への傾斜が認められたが、これは、直接この地震に結びつくものではなく、17
日から18日の早朝にかけて降った 100 mm を越える降雨によるものであると思われる。

また、この地震に伴って、伸縮計に $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度の永久ひずみが観測されたが、この永久ひずみ、あ
るいは階段状ひずみは破壊的大地震や淀川地震帯に起る $M=3.5$ 以上の地震の際にしばしば観測されるもの
であって、他の観測事例例えば地震波初動の push-pull 分布等と合わせて考えるとかなりの規則性を示し
ており、単に機械的な原因に基づくものとしてかたづけられないように思われる。そこで1967年6月21日に
岩倉観測所から直線距離にして、わずかに 21 km のところにある亀岡市内で起った $M=4.6$ の地震につい
て、発震機構に種々の仮定をおいた上、この永久ひずみと、Dislocation Theory に基いて Press が計算し
た residual strain fields との比較を行った。

2. 坑内温度変化に伴う熱的ひずみについて

Fig. 1 に1967年2月から1968年9月迄の観測結果を示す。図は上から、東西及び南北方向の傾斜変化、

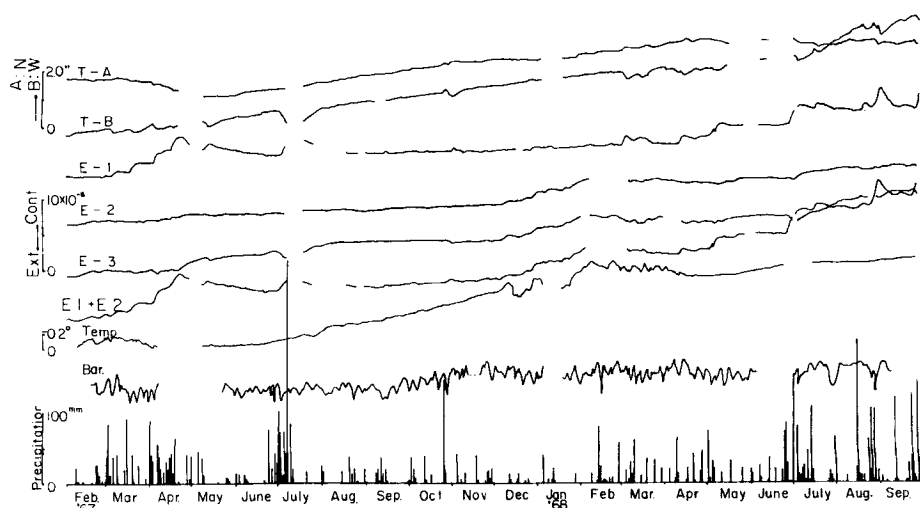


Fig. 1 Results of observation (Feb. 1, 1967–Sep. 28, 1968).

T-A NS Component of tilting movement

T-B EW "

E-1 S21°E Component of linear strain

E-2 E21°N "

E-3 E03°N "

水平三方向 (S 21° E, E 21° N, E 03° N) の伸縮変化, 面積ひずみ変化, 坑内温度変化, 坑内気圧変化, それに上賀茂気象学特別研究所における雨量の記録を示してある。観測結果を見ると, 前回³⁾も報告したように, 傾斜, 伸縮変化共に降雨による影響が著しく大きい。また, 温度計を置いた1967年2月から5月迄と, 1967年12月から, 1968年4月迄は坑内温度変化が大きく乱されるが, これに対応して伸縮計の記録にもこの時期に顕著な変化があらわれている。細かい変化を見ると, 坑内の温度上昇が伸縮変化の“伸び”に対応しており, これら二つの量の間に time delay は殆んど認められない。なおこの温度上昇に伴って, 伸縮計の標準尺であるスーパーインヴァール棒も伸びるはずであり, これは見かけ上記録の上で土地の伸びと逆センスであられることになるが, スーパーインヴァールの線膨張係数は $1.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり, 地表の岩石のそれに比べて1桁近く小さいと考えられるから, この温度上昇に伴って伸縮計の記録上にあらわれた“伸び”は殆んど全て地表の変化量のみと考えて差しつかえない。なお, この冬から春さきにかけて坑内温度が大きく乱れる原因については, その時期が外部の温度の日変化の大きい時とは一致せず, 排水口から季節風が吹き込むためか, あるいは坑内に滲み出す地下水の温度変化によるものか, とも考えられる。

また, 坑内温度変化が伸縮計に及ぼす影響についてのもう一つの観測事実は, 記録取り換え時に見られる記録の不連続であって, そのいくつかの例を Fig. 2 に示したが, つまり記録取り換え等のために人間が坑内にはいると, 坑内の温度が高められ, 退出した後に, この上昇分は指数函数的に減少するが, この温度変化とそっくり同じ pattern が伸縮計の記録にも見られる。即ち, Fig. 2 で各々の4本の記録は上から順に, E-3, E-2, E-1 それに温度の記録である。伸縮変化は, 図の上で下向きが伸びであり, また温度変化は下向きが温度上昇をあらわす。この人間が入ることによる温度上昇は, その時の人数及び坑内に留まっていた時間等によって異なるが, 計器の置いてある床面で $0.2 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$ にも達し, これによる伸びの変化は 10^{-7} 程度であるが, 大体半日程度でもとに復する。

岩倉観測所のような狭い坑道では人間という発熱体はいることにより簡単に坑内温度が上ってしまう。

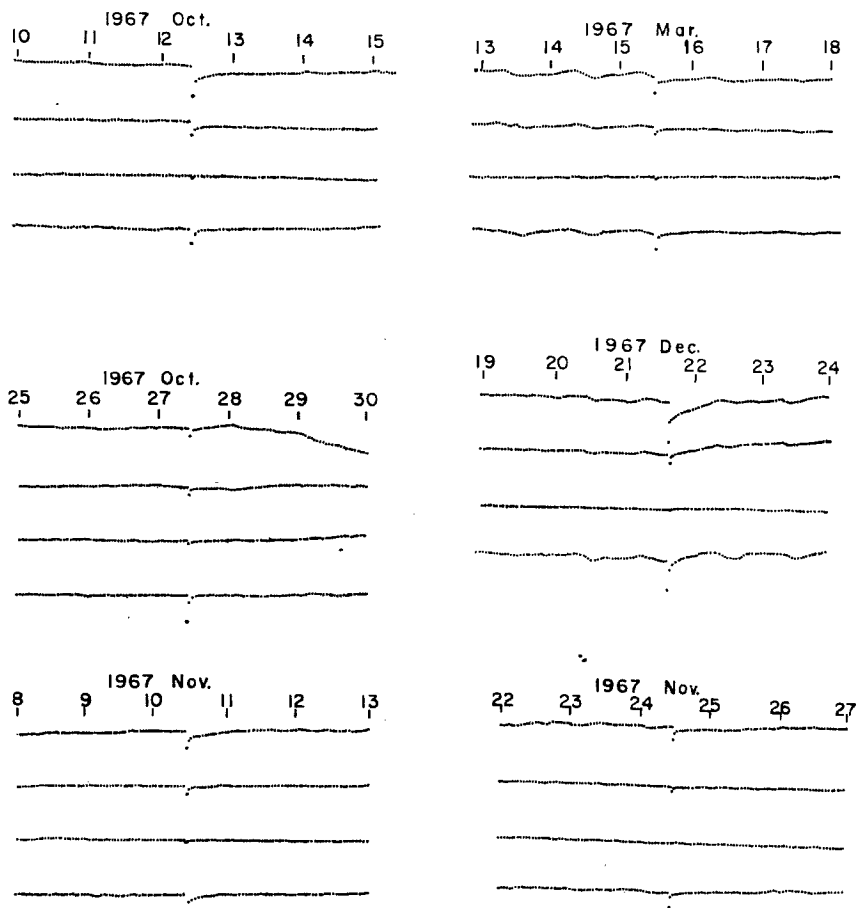


Fig. 2 Disturbances of the room temperature and linear strains caused by the heat of observers.

このことは記録を読みとる際に十分注意を払わなければならない。

3. 京都周辺の地震とその前後の地殻変動について

1968年8月18日午後4時12分に京都府北部の和知町付近で $M=5.5$ 程度の中規模地震があったが、この後約一ヶ月間にわたって、京都地方では有感地震が続いた。**Fig. 1** を見ると同年の6月頃から降雨、坑内温度等の影響を除外して考えても、傾斜、伸縮変化量がそれ以前と比較して著しく増加しているように見える。即ち、傾斜量は急激に西方向への変化が増大し、また伸縮量は、降雨の影響が少なくなる面積ひずみの量で考えてみてもこの頃から大きな“縮み”を示している。またこの地震の際の初動の push-pull 分布から nodal line を引いてみると、岩倉観測所は push の領域にあるのも興味深い。なお、1968年1月19日から同年9月28日迄の傾斜変化のベクトル図を **Fig. 3** に示した。またこの和知地震の直前及び直後の変化については **Fig. 4** にその前後2週間の原記録を示しておいた。**Fig. 4** には、また8月27日午後9時58分に京都市の南 10 km 付近で起った $M=3.0$ の地震も含まれている。記録を見ると、18日の和知地震の10時間程前から西方向への傾斜変化が異常に大きくなり、地震後には反転して東方向へ下っている。そして

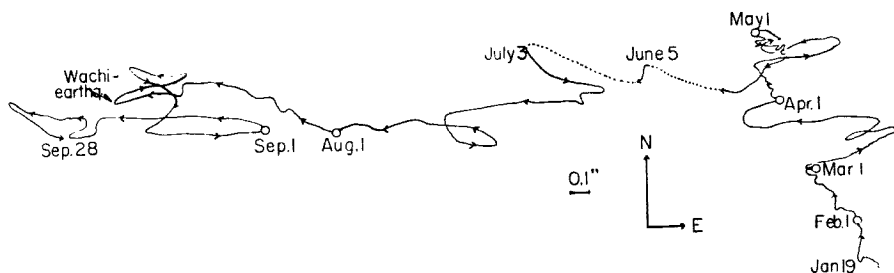


Fig. 3 Vector dia gram of ground tilt (Jan. 19-Sep. 28, 1968).

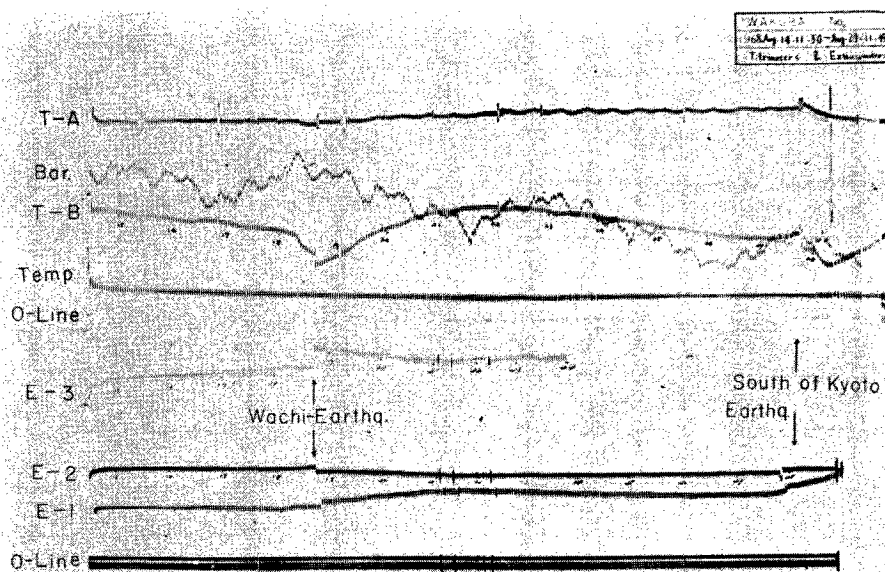


Fig. 4 Several days of recording before and after the occurrence of Wachi earthquake of Aug. 18, 1968.

この東下りの傾斜は23日を peak にまた西下りに変っている。しかしながらこれらの急激な傾斜変化に先だって、8月17日から18日の早朝に、京都地方は 113 mm に達する降雨に見まれており、これらの傾斜変化も地震と直接結びつけて考えるよりもこの降雨による影響と考えた方が良さそうである。岩倉観測所に於ける降雨の傾斜変化へのきき方は、雨が降ってから半日ないし1日後に最初の peak があらわれ、その後急に向きが変わって約3日後にあらわれる第2の peak まで続き、そこでまた反転して次第に平常に戻ってゆく。降雨による傾斜変化の一例として、1968年7月16日に 64 mm の降雨があった前後の傾斜変化を Fig. 5 に示すが、これと8月18日前後の傾斜変化はよく似た形を示している。また8月27日の地震の際にも、これと前後してかなりの雨が降っており、直接地震に結びつく変化はわからなかった。

また、この地震の際に伸縮計には E-1: -2.4×10^{-7} , E-2: 0.9×10^{-7} , E-3: -2.9×10^{-7} の永久ひずみが観測されたが、過去何度か破壊的大地震や、淀川地震帯で起った中規模地震に際してこのような永久ひずみが観測された。特にこれらの中で、1967年6月21日の亀岡市内に震源を持つ M=4.6 の地震は、岩倉観測所からわずか 21 km のところに起ったもので、この時観測された永久ひずみについて、他の観測所の

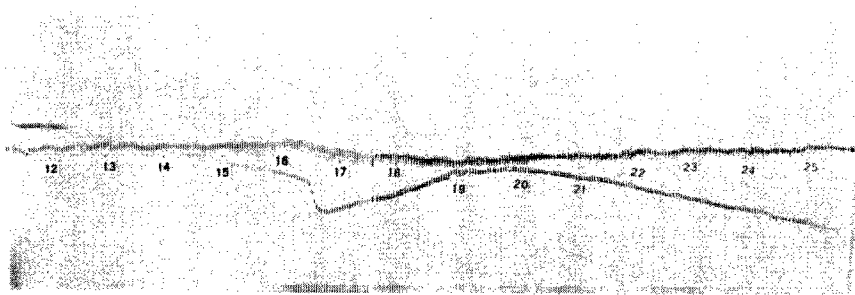


Fig. 5 An example of tilting movement before and after the precipitation.

記録も合わせてその性質を調べて見た。

4. 地震に伴う急激なひずみ変化について

Fig. 6 に1967年6月21日午後9時9分に亀岡市内で起った $M=4.6$ の地震の際に岩倉観測所で得られた永久ひずみの記録を示す。その量は E-1 で 3.90×10^{-7} の“伸び”，E-2 で 7.8×10^{-8} の“伸び”，E-3 で 2.9×10^{-8} の“縮み”であった。これらからひずみの楕円を描いてみると **Fig. 10** の実線のようになる。

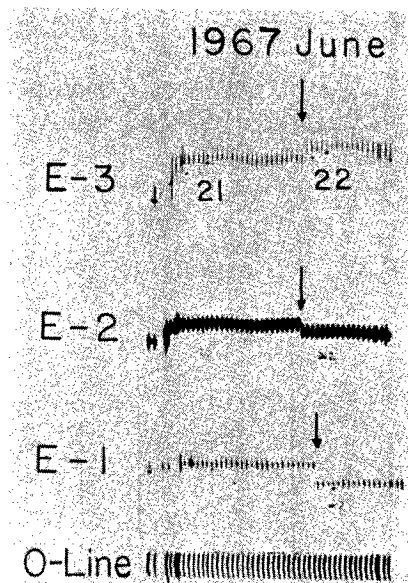


Fig. 6 Residual strains written at Iwakura for Kameoka earthquake of June 21, 1967.

この地震の時の各地気象台，阿武山地震観測所，鳥取，和歌山微小地震観測所における記録から P 波初動の push-pull 分布を求めてみると **Fig. 7** に示すように，殆んど例外なくきれいに NE-SW, NW-SE 方向の 2 本の直交する nodal line で分けられる。これはこの地域に起る微小地震の場合⁴⁾と全く同様である。

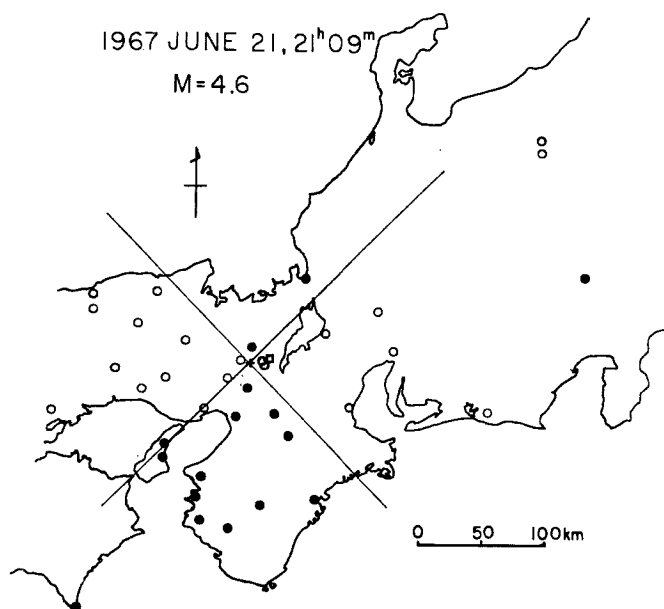


Fig. 7 Distribution of the first P motion, ○; Rarefaction, ●; Condensation. □; Iwakura obs..

また、この近くには西山断層の分岐と見られる亀岡断層が、震源付近ではほぼ $N 45^{\circ} W$ に走っている。この亀岡断層は第三紀以後の新規構造運動に属し、その活動は現世に至るまで続いているとされている⁵⁾。

いま、この地震の発震機構のモデルとして nodal line の一方向にすべり断層面を考えるなら、 $N 45^{\circ} W$ 方向にすべったと考える方が自然である。

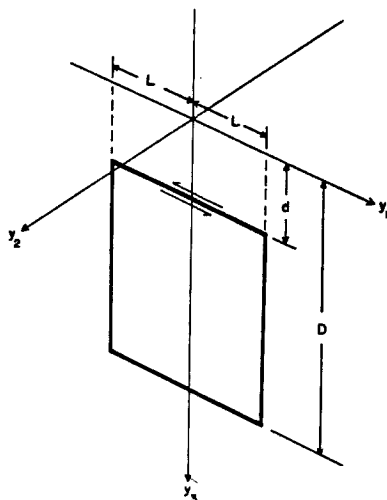


Fig. 8 Dimensions of the rectangular dislocation surface (after Chinnery).

steketee^{6),7)} は半無限弾性体の内部の任意の曲面 Σ 上の点 P における任意のくいちがい, $U_i(P)$ が与えられた時の Σ 上にない任意の点 Q における変位 $U_K(Q)$ は

$$U_K(Q) = \iint U_i(P) G_{Kij}(P, Q) \nu_j d\Sigma_P$$

と表わされることを示したが, さらに横ずれ断層の模型に対する $G_{12}^K(P, Q)$ を求めた。Chinnery⁸⁾ はこれを基礎にして, **Fig. 8** のように Σ が長方形でその上では変位 $U_i(P)$ が一定であるような横ずれ断層について面積分を行ない, 地震断層付近の displacement field を計算したが, Press⁹⁾ はさらに断層からもっと遠い場所における static な displacement, strain, tilt field の pattern を具体的に図示した。その中の strain field を **Fig. 9** に示す。

今回の $M=4.6$ の亀岡市の地震の場合, 断層の dimension を $2L=2\text{ km}$, $d=0$, $D=1\text{ km}$ として, さらに断層は地表に垂直で, $N=45^\circ\text{E}$ 方向の Strike slip とし, $R=21\text{ km}$ として Press の求めた Strain field から, 岩倉観測所において, くいちがいの弾性論から予想されるひずみの楕円を求めて見ると, **Fig. 10** の点線のようになる。**Fig. 10** に実線で書かれた観測値と比べてみるとひずみの方向性はかなりよく一致している。しかしその大きさを観測値に合わせるためには断層面における変位を 3 m としなければならないが,

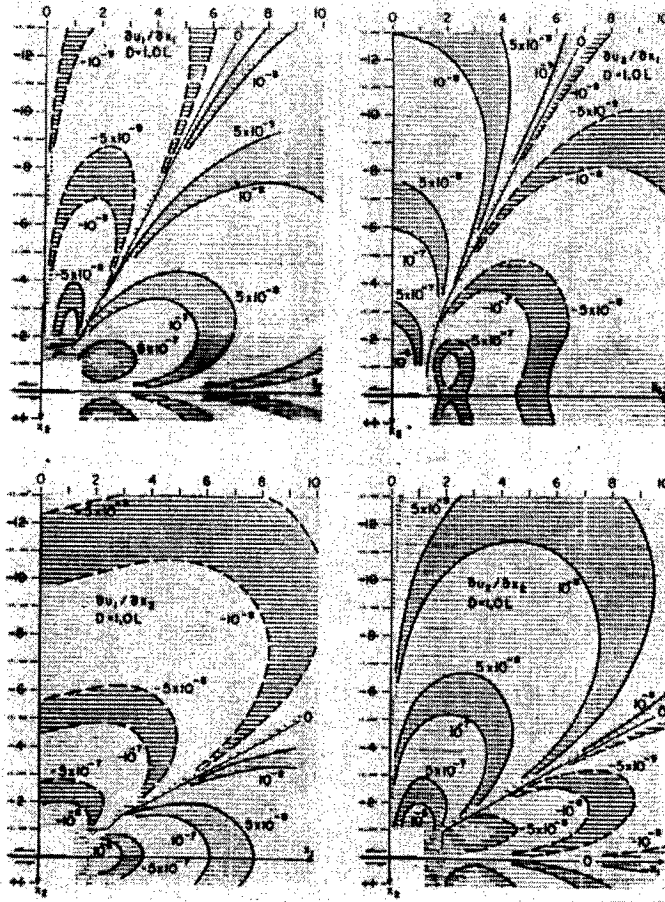


Fig. 9 Strain fields for strike slip faults with $D=1.0L$ (after Press).

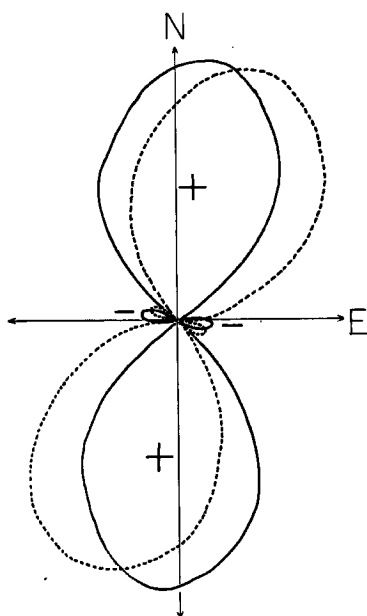


Fig. 10 The strain ellipse, a solid line; observed, a dotted line; theoretical.

これは少々大きすぎる。いま、 $d=0$ 、即ち断層が表面に出ているとして計算したが、実際には、気象庁で求めたこの地震の震源の深さは 10 km であり、断層面をもっと深くしてやればますます U の値を大きくしなければならなくなる。このことは観測値が大きすぎるのか、あるいは Aki¹⁰⁾ が述べたように地表のごく近くに decoupling layer が存在するのかもしれない。

なお、この地震の際に震源から 56 km 離れた屯鶴峯観測所でも伸縮計に 10^{-8} 程度の永久ひずみが観測されたが、この観測値にもとづくひずみの楕円の主軸と計算値のそれは約 50° 異っていた。当時天ヶ瀬観測所 ($R=29$ km) は記録がとれておらず、また、上賀茂観測所 ($R=17$ km) 及び逢坂山観測所 ($R=25$ km) における当時の伸縮計の記録も見せていただいたが、いずれもくいちがいの弾性論から求められる residual strain として説明のつく、はっきりした変化はわからなかった。

しかし、これら観測所に比較的近いところで永久ひずみを伴う $M=4$ 前後の地震はかなり多くあるので、これらについて、多くの観測所の記録を合わせた上、改めて詳細な検討を加えてみたい。

おわりに、終始ご指導いただいた高田理夫教授、有益な助言をいただいた小沢泉夫教授、田中寅夫助教授、観測の上でご援助願った山田勝枝官に深甚なる感謝をささげます。

参 考 文 献

- 1) 小沢泉夫：逢坂山における地殻の歪の観測，防災研究所研究報告，第 2 号，1949，pp. 115—121.
- 2) 西村英一，岸本兆方，田中寅夫：和歌山における局所地震前後の微細土地変動の研究（第 1 報），京都大学防災研究所年報，第 5 号 A，1962，pp. 44—56.
- 3) 竹本修三：京都岩倉における地殻変動観測（I）—降雨の伸縮計，傾斜計に及ぼす影響について—，京都大学防災研究所年報，第 10 号 A，1967，pp. 157—163.
- 4) 岡野健之助，平野 勇：京都周辺に発生する微小地震（2），京都大学防災研究所年報，第 9 号，1966，pp. 21—26.
- 5) 上治寅次郎：京都近傍地質誌，地下資源研究所，1961.

- 6) Steketee, J.A.: On Volterra's Dislocations in a Semi-Infinite Elastic Medium, Can. J. Phys., Vol. 36, pp. 192-205.
- 7) Steketee, J.A.: Some Geophysical Applications of the Elasticity Theory of Dislocations, Can. J. Phys. Vol. 36, pp. 1168-1198.
- 8) Chinnery, M.A.: The Deformation of the Ground around Surface Faults, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 53, pp. 921-932.
- 9) Press, F.: Displacements, Strains, and Tilts at Teleseismic Distances, J. Geophys. Res., Vol. 70, No. 10, pp. 2395-2412.
- 10) Aki, K.: Seismic Displacements near a Fault, J. Geophys. Res., Vol. 73, No. 16, pp. 5359-5376.