

井手における地殻ひずみについて

高 田 理 夫

ON THE OBSERVATION OF CRUSTAL DEFORMATION AT IDE OBSERVATORY

by Dr. Sci. Michio TAKADA

Synopsis

The observation for crustal deformation is being carried on at Ide Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University since 1951, for the purpose of studying the forecast of earthquakes. For the observation with the extensometers and tiltmeters, the secular variations in the ground-strain and ground-tilt are obtained and these annual variations are estimated. According to these results, the secular variations of the crustal deformation show the remarkable difference during the period before 1957 when compared with those of thereafter, and it appears that the annual variations change periodically.

1. 緒 言

わが国は世界にも稀な地震国であり、その被害の甚大なことは周知のところである。人力により地震の発生を阻止できない限り、発生する地震に備え、できうる限りの対策をこうじ、被害の軽減につとめねばならない。この意味において、地震を予知し、構造物の耐震化につとめることは、防災的見地より重要な課題である。しかし、地震予知は地震の発生日時・場所およびその規模を前もって指摘してこそはじめて達成されるのであり、それには今後永年の研究が必要と思われる。本来地震予知は、地震の原因がはつきりして後、発展するものであるが、原因論が確立されていない現在では、地震発生の前に現われる前駆的な現象を捉え、予知に近づくより他に良い方法はないように思われる。この前駆現象を捉えるにあたり、種々の地球物理量の観測が考えられるが、火山爆発の予知の研究や今までの大地震の経験より推して、地殻変動の連続観測により、土地の微細な隆起・沈降・伸縮・傾斜などを注意深く監視することが、最も有力な手掛りとなるように思われる。

このような見地より、京都大学では、佐々教授や西村教授らにより、20年ほど前からこれらの研究が始められ、1943年の鳥取地震や1944年の東南海地震、その後発生した数多くの大地震の際、前駆的な土地の伸縮ひずみや傾斜変化などの現象が捉えられた。以来、多くの人びとによりこれらの研究が進められ、多大の成果が挙げられている。現在防災研究所においては、佐々・西村両教授を中心に、全国22カ所に地殻変動観測所を設け、これらの研究を行なっている。

井手地殻変動観測所も、この目的のため、1950年、佐々教授の指導のもとに、地球物理学教室において、松島助教授の手により、開設準備が進められていたが、1951年防災研究所が創立されるに当り、これを譲りうけ、1952年1月より本格的な観測を始めた。爾来10年、その間南山城水害や落盤などの被害をうけたが、吉野地震をはじめ数々の地震の際の地殻の変動や落盤・付近砂防ダムの貯砂・貯水に伴ない生じる地盤の変形などに関し、多くの研究がなされてきた。

以下この10年間の観測資料を解析して得た、地殻ひずみの永年変化と年変化について記す。

2. 観測所の概況および観測計器

井手観測所は **Fig. 1** にも示したが、京都市の南々東約 25 km、東経 $135^{\circ}49.5'$ ・北緯 $34^{\circ}47.9'$ の地点、京都府綴喜郡井手町にあり、いまから約 100 年前に掘られた銅鉾山の廃坑を改修した坑道で、付近の地層は主として雲母片岩よりなる、領家コンプレックスと称される古生層である。観測所近傍の地形は **Fig. 2** に示すようなもので、近くを玉川が流れ、1953年の南山城水害の後、砂防対策の一つとして、近くに高さ約 10 m の砂防堰堤が造られた。

坑道は巾約 1.3 m、高さ約 1.8 m、全長約 120 m ある。観測室は坑道の一番奥にあり、巾約 2.3 m、高さ約 5 m で、地表下約 35 m の地点にある。観測室の室温は年間を通じて $14.6^{\circ}\text{C}\sim 15.4^{\circ}\text{C}$ の間にあり、坑道が曲折しているため、浅い割に温度変化が少ない。

現在この観測室の中には **Fig. 3** の配置図のように、垂直 1、水平 2 成分の直交三軸およびこれらの 2 成分と互に交わるように設置された斜 2、水平 1 成分、合計 6 成分により地殻の 6 つの方向のひずみを観測する六成分伸縮計、また特定の方向を比較観測する

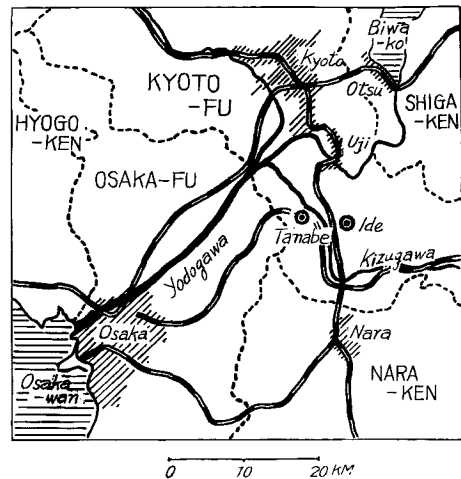


Fig. 1 Position of the observatory

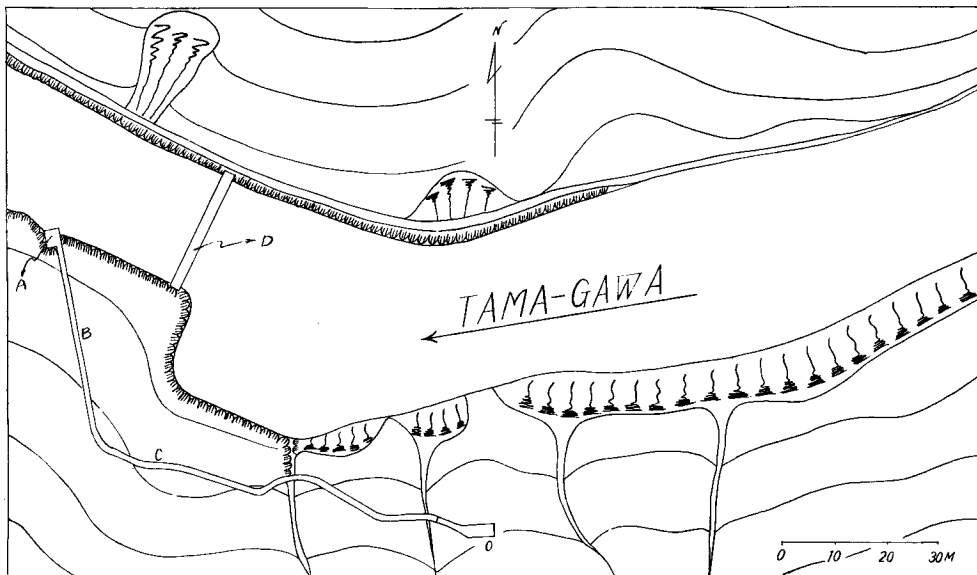


Fig. 2 Illustration of the observatory

- A : recording room B : adit
C : position set up the tele-metrical extensometer
D : Sabo-dam O : observing room

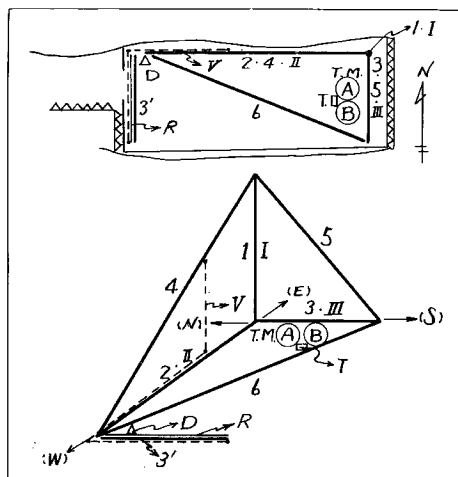


Fig. 3 Disposition of instruments interior the observing room

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 3' : super-invar-bar extensometer
 I, II, III : high magnification extensometer
 V : volume dilatation meter
 T.M. (A, B) : tiltmeter
 R : rotational strain meter
 T : thermometer
 D : discharge meter

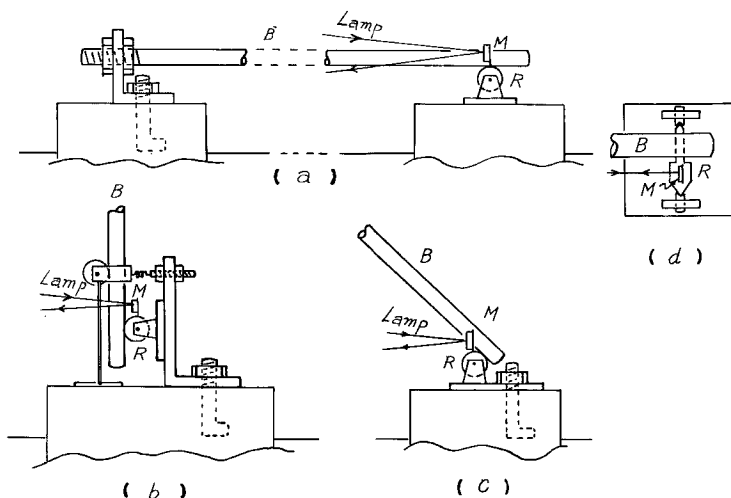


Fig. 4 Illustrations of super-invar-bar extensometers

B : super-invar-bar M : mirror R : roller

- (a) horizontal component (2, 3, 6)
 (b) vertical component (1)
 (c) sloping component (4, 5)
 (d) part of roller

ための伸縮計1成分が設置されている。これらの伸縮計は **Fig. 4** に示すようなスーパー・インヴァー棒伸縮計と呼ばれるもので、二点間の伸縮変化を、スーパー・インヴァー棒を基準物指しとし、ローラーで拡大測定するものである。また直交三軸方向のひずみをさらにくわしくしらべるための高倍率3成分伸縮計、直交三軸方向のひずみより体積ひずみを直接測定できるように設計された体積ひずみ計、2点間の傾斜変化より、振りひずみを測定する振りひずみ計などの特殊なひずみ計も設置されている。その他、土地の傾斜変化を測定するために、水平振子を用いた、Zöllner 吊り水平振子型傾斜計2成分、観測室に滲透してくる坑内

水の流量と測定する三角堰箱型流量計，坑内温度を測定するための高感度温度計などが設置されている。

別に入口より約 60 m の坑道には，スーパー・インヴァー棒伸縮計水平成分 1 台および高倍率伸縮計・坑内水流量計・高感度温度計が設置されておる。なお，ここの伸縮計は遠隔記録装置により，入口測定室においても同時に記録できるようになっている。

また坑外では，蒸発量および降雨量を同時に記録できる計器を設置し，入口測定室で記録をとつている。これらの諸計器のうち，入口測定室で記録を取つているものは，ペンあるいは打点式記録器を用いているが，坑内にあるその他の計器はすべて写真式自記録法を用い，時計仕掛けで回転するブロマイドに連続的に記録せしめている。

これらの諸計器のうち，開設以来観測を続けているものは 6 成分伸縮計で，傾斜計はそれより約半年おくれで観測を始めた。今回解析に用いた資料は六成分伸縮計により観測された土地ひずみと傾斜計により観測された土地傾動の記録であり，これらの計器の諸常数を Table 1 に掲げておく。

3. 観 測 結 果

今回記録を整理するにあたっては，毎日午前 0 時の値をその日の観測値，その月平均値をその月の観測値として，これを用いることとした。このようにして得た，地殻伸縮および傾斜変化を図示したのが Fig. 5 および Fig. 6, A・B である。図中に記した記号・番号は前掲 Table 1 に示した各計器で観測したものであり，また Fig. 5 の中の V は 1, 2, 3 のそれぞれ直角方向成分変化より求めた体積ひずみ変化を示

Table 1 List of instruments of Ide Observatory

Mark	Azimuth	Sensitivity
Super-invar-bar extensometer		
1	Vertical	$(10^{-8}/\text{mm})$ 5.54
2	Horizontal N 88°E	4.92
3	Horizontal N 2°W	10.74
4	Dip 50° N 88°E	3.46
5	Dip 66° N 2°W	2.78
6	Horizontal N 77°W	2.30
Horizontal pendulum type tiltmeter		
T.M.	A	N 45°E $(10^{-2}/\text{mm})$ 2.0
	B	S 45°E 2.0

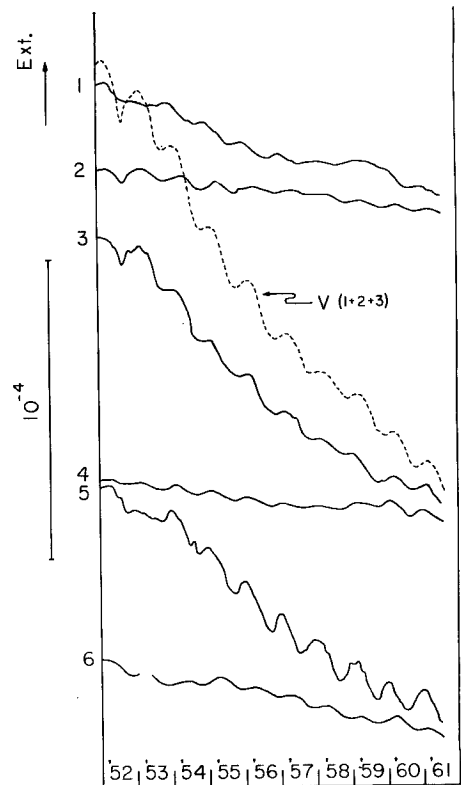


Fig. 5 Variations of linear strains and volume dilatation at Ide
— : linear strain
--- : volume dilatation

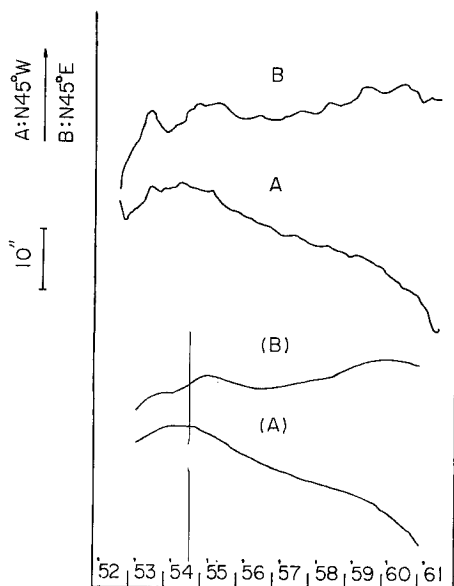


Fig. 6 Variations of the ground-tilt [A, B] and those secular variations [(A), (B)] at Ide

したものである。傾斜変化をさらにわかりやすくするため、Vector 図を作り Fig. 7 に●印で示しておいた。なお、前にも述べたように1953年8月から1954年3月までの期間は南山城水害の被害復旧のため欠測しており、それ以外の年の、その期間の変化を平均したもの求め、内挿し、変化曲線を結んでいる。これらの変化を見れば、いずれも周期性をもつ年変化の存在が認められる。したがって、これらの変化より永年変化と年変化を求めることとした。

その方法として、一般によく用いられる、13カ月移動平均法を用いた。このようにすれば、13カ月より短い周期をもつ変化、すなわち1年周期をもつ年変化は除去され、変化曲線は平滑化される。したがって、この平滑曲線は永年変化を示すものと見て差しつかえない。この永年変化曲線と観測曲線との差をとれば、この中には、13カ月より短い周期の変化、すなわち年変化が含まれていることとなる。とくに当観測所においては、5月から8月なかばまでの降雨期にその影響が大きく現われるため、これを除く目的をもって、さらに5カ月ごとの移動平均法により平滑化した。このようにして求めたものは一応年変化と見なせるわけである。

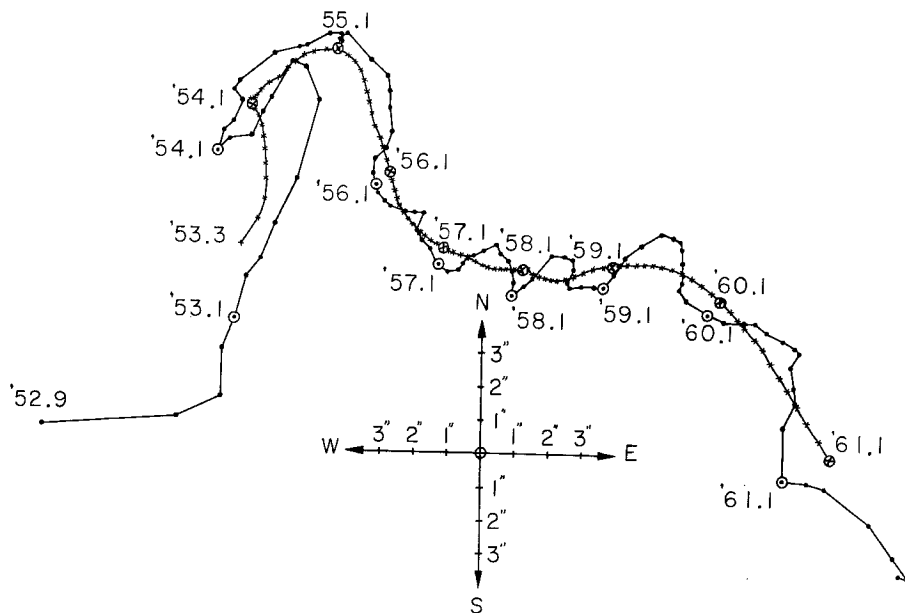


Fig. 7 Variation of the ground-tilt (—•—) and secular variation of it (—×—) at Ide

このようにして求めた地殻伸縮の永年変化を Fig. 8 に、地殻傾斜のそれを Fig. 6, (A)・(B) に、傾斜 Vector 図を Fig. 7 に×印で示した。また、地殻伸縮の年変化を Fig. 10 に、地殻傾斜のそれを Fig. 11 に、傾斜 Vector 図を Fig. 12 に掲げた。これらの図において、地殻伸縮永年変化は、前述のような処理法をとっているから、厳密に言えば、信頼できる期間は1952年7月～1953年2月と1954年9月以降であり、1953年3月～1954年8月の間は欠測のため不確実となつている。1952年6月以前の期間は処理できないので、1952年7月～1953年2月の間の変化を外挿したため、これまた不確実となつている。傾斜永年変化に

については、観測開始が1952年9月であり、信用できる期間は1954年9月以降である。年変化においては、信用できる期間は伸縮変化では、1952年9月～12月と1954年11月以降、傾斜変化では1954年11月以降となる。したがって、永年変化・年変化ともに1955年以降の変化については、信頼することができる。

このような見地よりすれば、地殻伸縮・傾斜の永年変化は、ともに1957～8年頃を境にして、その前後の期間の変化速度や様子が異なっている。このような変化は、井手観測所だけで認められているのではなく、井手より約20kmはなれた逢坂山観測所でも観測されており、小沢教授の発表された、逢坂山観測所のN38°E方向の水平地殻伸縮の永年変化図を掲げると、Fig. 9 のようになる。この成分と最も似た、井手観測所の成分は3(N2°W)で両者を比較すると細部にわたつてよく似通っている。すなわち、両者ともに1957～58年頃迄はある収縮速度をもつて収縮してきたが、この年を境にして、以後収縮速度は減じている。しかも1957年以前の異常変化の模様も両者よく合致しており、この異常変化は1952年7月の吉野地震に関係する地殻ひずみと考えられる。また1959年頃より異常変化が認められている。一方傾斜計による地殻傾斜の変化図を見ても、同様1959年以後における、永年変化には特異な変化が認められる。これらの異常変化は地震に関連した、すなわち昨1960年12月26日の大台ガ原

地震の前駆的な変化と見ることもできるが、これを断定するにはまだまだ検討を加えねばならない。いずれにしても、京都付近においては、1958年頃を境にして、地殻変動の模様がことなつているとは言えると思う。

次に、年変化について見るならば、地殻伸縮は、年によりその振巾に差はあるが、規則正しい周期性が存在している。いま観測の全期間を通じての平均年変化ともいふべきものを示すと

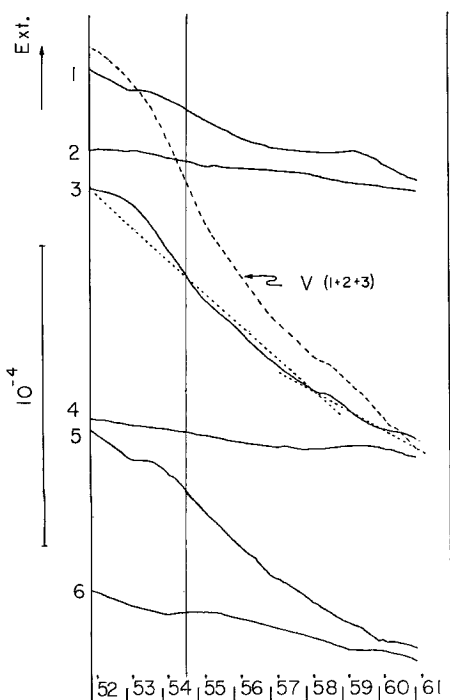


Fig. 8 Secular variations of the ground-strain (—) and volume dilatation (-----) at Ide

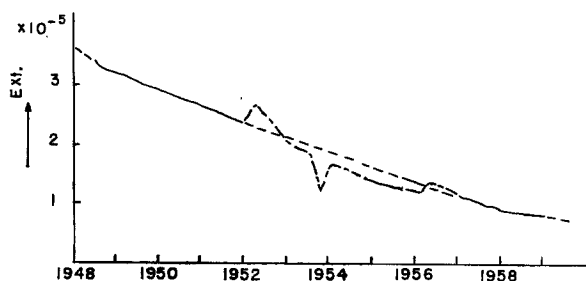


Fig. 9 Variation of the linear strain observed by I. Ozawa at Osakayama

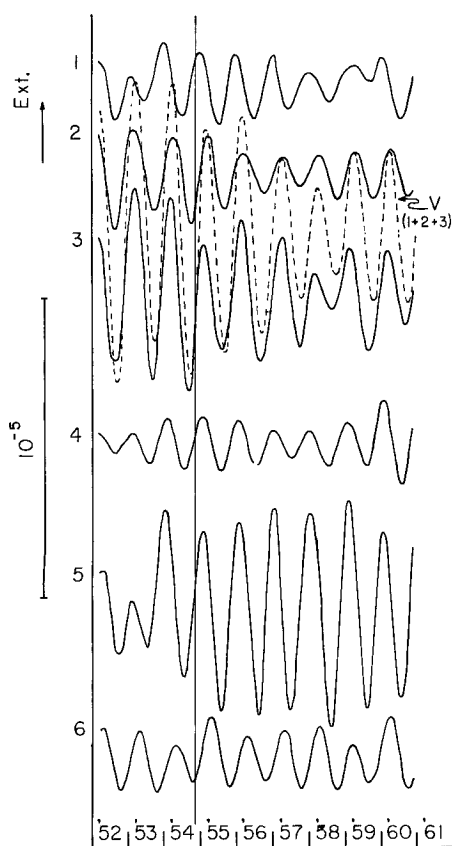


Fig. 10 Annual variations of the ground-strain (—) and volume dilatation (-----) at Ide

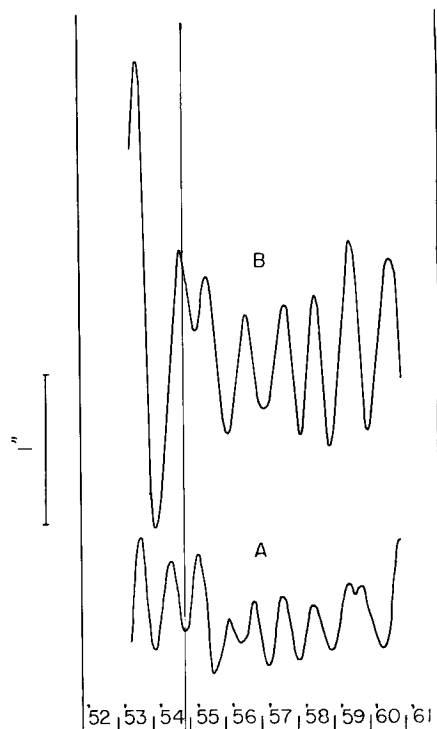


Fig. 11 Annual variations of the ground-tilt at Ide

Fig. 13 のようになり、いずれもきれいな調和振動曲線をなしている。これを見て気付くことは、成分により phase にずれがあることである。1・4・5 という垂直および斜の成分のひずみは 1 月に maximum となり、2・3・6 という水平成分は 4 月頃に maximum となり、この間に約 3 カ月のずれがある。このような方向による phase のずれが、何に起因するものか今後検討する必要があると思われる。

地殻傾斜の年度化は、伸縮のそれに比べると、周期性が幾分劣るようであるが、平均年変化は Fig. 12 の (M) に示したように、大体南西から北東方向に周期的な傾動を示している。

このような規則正しい年変化が何によつて引き起こされるかをしらべるため、普通常識的に考えられる気象的な要素との比較を試みた。その一つとして、当観測所から約 5 km はなれた田辺町にある京都府立農業試験場山城支場の降雨量・地表面温度・地下 5 cm の地中温度の観測資料を借用し、地殻ひずみに施したと同様な処理を行なつた。その結果を図示したのが Fig. 14 であり、図中の P は各月の総降雨量をその月の全日数で割つた月平均日降雨量で示した降雨量年変化である。振巾の差や周期性は認められるが、smooth な sine curve にはならない。しかし、これを平滑して前掲の地殻伸縮・傾斜永年変化と比較してみると、伸縮計 3 とよく似た変化をしており、5 カ月以下の短周期の降雨効果を除いても、なお降雨による影響があるのかも知れない。また T_0 、 T_5 はそれぞれ地表・地下 5 cm の地中温度であり、点線は観測値、実線はそ

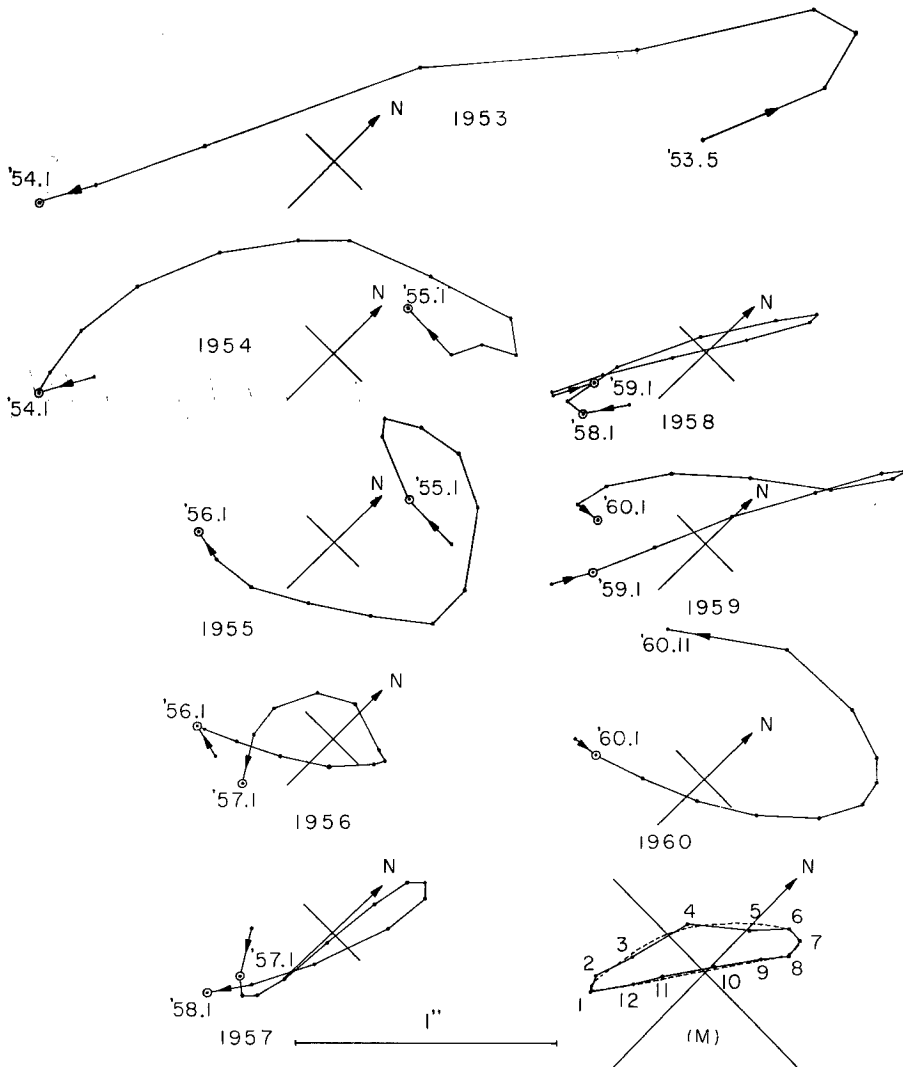


Fig. 12 Annual variations and mean annual variation (M) of the ground-tilt at Ide

れより求めた年変化曲線である。きれいな sine curve となっており、地殻伸縮・傾斜の年変化の振巾変化と関連づけるのは無理なような気がする。このように、地殻ひずみの年変化を、ただ一つの気象要素より説明することは到底できないことであり、いろいろ他の要素も複雑に混じり合つて生じるものと思われる。これらについては、今後の研究により逐次解明して行きたいと思う。

4. 結 語

以上井手観測所の10年間の観測資料を用い、永年変化と年変化を分離して見たが、永年変化には、地震発生の相当前より異常な変化が現れてくるようであり、年変化には年による振巾の差が、はつきりと現われるが、規則正しい週期性のあることが認められた。したがって、地震予知の立場よりすれば、永年変化を注意

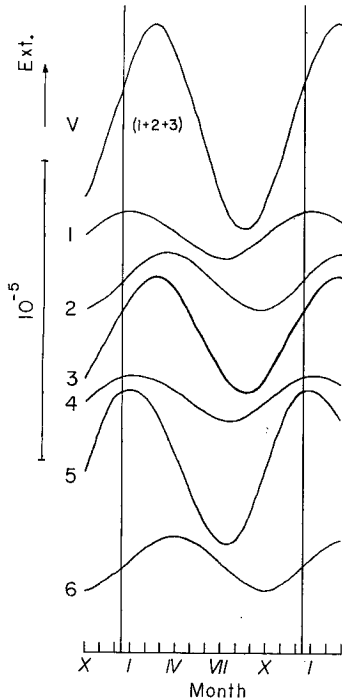


Fig. 13 Mean annual variations of the ground-strain and volume dilatation at Ide

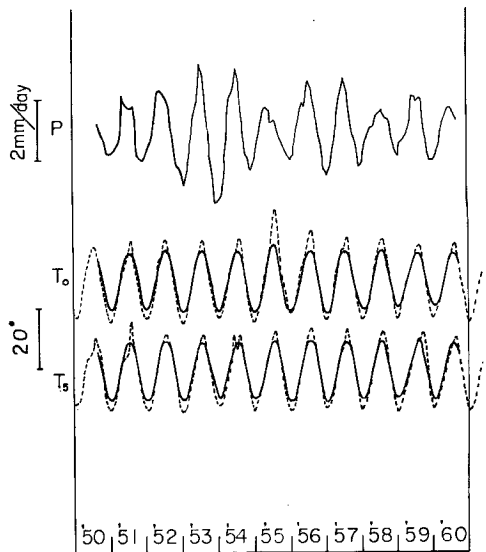


Fig. 14 Annual variations of the precipitation and the temperature at Tanabe

P : precipitation

T_0 : temperature on the ground surface

T_5 : temperature at 5 cm depth from the ground surface

— : annual variation

----- : observed value

深く監視することにより、相当以前より地震の発生を予想することもできると思われるが、前述のような方法で永年変化を求める限り、半年位前までの変化より知ることができない。もし何らかの方法で、年変化を推定することができるならば、観測の行なわれた日までの永年変化がわかり、予知へ一歩近付けるものと思われるので、年変化の本性を究明することは地震予知を達成する上においての、一つの大きいかぎと言える。

終りに当り、本研究を行なうについて、終始御指導・御鞭撻を賜わつた、防災研究所長佐々憲三教授に厚く御礼を申し上げる。逢坂山観測所の貴重な資料を貸与下され、御助言をいただいた小沢泉夫教授・京都府立農業試験場山城支場の気象観測資料を下さつた大槻薫支場長に深甚なる謝意を表す。なお、観測資料の整理や計算を手伝つて下さつた土屋祥子氏に厚く御礼申し上げるとともに、御助言・御鞭撻を賜わつた吉川宗治教授に、御支援・御激励をいただいた吉川圭三・西正男・中野正吉の所員の方がたに、また観測所の設立にあたられた松島昭吾助教授、計器の製作や観測の御手伝をいただいた森本喜一郎・小林年夫・多中勝美・藤井伸三の皆様には謝辞を申し述べる。

参 考 文 献

- 1) 佐々憲三：地震予知に関する2,3の問題（Ⅱ）（地殻変動観測について），京大防災研究所創立5周年記念論文集，昭31，pp. 3-7.
- 2) 小沢泉夫：逢坂山における地殻変動の観測，京大防災研究所年報，第3号，昭34，pp. 148-153.