

最近の地震に伴なう地殻の異常変動 について (第1報)

西村英一・田中 豊・田中寅夫

ON ANOMALOUS CRUSTAL DEFORMATION OBSERVED BEFORE SOME RECENT EARTHQUAKES (PART I)

by *Dr. Sci. Eiichi NISHIMURA, Yutaka TANAKA*
and *Torao TANAKA*

Synopsis

Some peculiar changes of ground-tilts and ground-strains were observed before and after the occurrence of recent remarkable earthquakes ——— Ōdaigahara (Dec. 26, 1960), Hyūganada (Feb. 27, 1961), W part of Hyōgo Pref. (earthquake-swarm during about three months since Apr. 12, 1961, and the main shock occurred on May 7) and Kitamino (Aug. 19, 1961).

In this paper the results of observation were reported, and characters of these anomalous ground-tilts were discussed with relation to the earthquakes. On the other hand, some inferences were made of the characteristic deformation of the earth's crust related to the occurrence of a series of earthquakes originated in some areas.

緒 言

1937年上賀茂地学観測所において地殻変動の連続観測が開始されて以来、機会あるごとに多くの観測所が増設され貴重な資料を集積して、現在まですでに四分の一世紀、その間1943年の鳥取地震から1952年の吉野地震に至る幾つかの大地震を経験し、地震前後の地殻の特異変動について幾多の研究成果を発表して来た。ところが吉野地震以後ほとんど10年近くの間、Magnitude (M) 6 程度以上の顕著な地震は西日本一帯、特に観測所から 100 km 以内にはほとんど発生せず、久しくこの種の新しい観測資料を得る機会に恵まれなかつた。しかしこの期間に防災研究所地殻変動部門としても着々と観測所の増設と観測器械の整備充実を計つて来た(1961年11月現在16カ所の観測所で総計48成分の傾斜計, 13成分の伸縮計の他、重力変化計, 磁気偏角計等による観測を続行中である)。ある意味においてはむしろこの10年近くの静穏期が、地震活動に関係した特殊な地殻変動を検出するための平常の動きを知る上に重要であつたとも考えられる。しかし1960年12月26日に至つて三重県中部に M=6.0 の大合ヶ原地震が起り、ひきつづき翌1961年2月27日には九州・四国沿岸に軽微な津波を伴つた M=7.2 の日向灘地震、さらに4月に入つて珍らしく兵庫県西部に中規模の地震が続発し、5月7日の M=5.9 の顕著地震を主震として大小30個余りの余震を伴ないつつ、7月初旬まで活動が続いた。また8月19日には岐阜県西部に福井地震(M=7.3)に匹敵する大規模な北美濃地震(M=7.2)が発生した。しかも震源の深さ 60 km のやや深い地震、海中の浅い(20 km)地震、群発地震、深さ 40 km の内陸の大地震とそれぞれ異なつた型に属するが、その震央はすべて地殻変動観測所から 100 km 以内にあり、そのおのおのについて地震に起因すると考えられる特異な変動を観測することができた。

さて観測資料を整理検討するにあつて常に問題となるのは、地震に伴なう地殻変動といつてもその信頼

性はどこまであるかということである。すでにしばしば報告^{1),12)}されている通り傾斜計・伸縮計の観測から得られた変化というものは、広範囲の地殻変動、地質構造や地形等にも関連した局地的な土地変形または浅い地盤の動き、器械を設置している場所固有の動きないしは坑道の変形などの経年的変化が幾重にも重なり合つたものである。しかも規則正しい地球潮汐の他に、周期性または回復性のあるものではあるが、気象諸要素による年周変化・日周変化・不規則で複雑な降雨・気圧・気温による変動などが加わり、これらは本来の観測対象である地震に伴う地殻変動に期待される量をはるかに上まわることが多い。もちろんこれら気象変化に由来する擾乱を避けるために地下の観測室を使用しているわけであつて、少なくとも50m以深になれば気象影響は軽減され100m以上となればほとんどその影響は認められなくなる。しかし逆に深ければ深いほど今度は岩圧による坑道の変形が増大し、求めようとする変化はその中にかくれてしまうという事態が起つてくる。ただ幸いなことに坑道の経年的変形は一般に単純な一方向的变化を行なつていて、鉦山内に器械を設置する場合でも探鉱現場から少なくとも400~500m離れており、しかも付近に坑道の少ないところを選ぶことに注意すれば、この種の一方的変形の型を推定してこれから異常変化を見出すことは極めて容易である。しかし常に地下深所に観測室を求め得るとは限らないので浅い観測室に対する気象要素の影響をぬき去ることも考えねばならない。この点を解決するために数多くの研究が行なわれてきた¹⁻⁶⁾。現在和歌山地方の微小地震に伴う地殻変動の解明のために大浦・秋葉山両観測所で行なわれている観測も現在この問題を中心に研究を続けている。しかし降雨・気圧による作用は直接影響だけでなく前回の降雨後の履歴・地下水・広範囲の気圧分布状況・局部的な気圧傾度の変化などの問題を含んで定量的な議論はなかなかむずかしい。だが量的にはともかくとしても、傾向としては常に観測所固有の型にしたがつて変化していることは過去の多くの資料から見て確かである。それ故これを完全に取り除くにはさきの研究の完成を待つとしても、ある程度まで除去することは現在でも不可能なことではない^{7,8)}。

このように、必要な精度の問題は残るが、経年変動も回復性変動もある程度までならこれを除き去つて、平常の変化状態というものから地殻の異常変動を推算することが比較的容易な場合も多い。しかし、なおこのような操作から得られた異常変動というものが、地震に直接関係のあるものであるかどうかを実証することは現在の段階では不可能である。ではその確実性をどこに求めればよいか。単に地震前後に異常変化があつたというだけでは、これが他の原因による偶然的なものか判断はできないのである。そこで必要条件として考えられることは、

第1に多数の観測所で地震の発生時をはきんで同一時期に類似の変動が認められた場合である。しかしこの場合でも大きな気圧の変動、広範囲の降雨などによるものは、ほぼ同時期に各地で同様な変化を起こすものであるからその点に注意しなければならない。

第2に同一地域に発生する、いわゆる同じ地震の巢内に起こる一連の地震は、その成因が同じものであり、類似の発震機構を備えるものと考えれば、それらに伴う地殻変動にもある特定の型を示すのではないかという考えから、観測点が一つしかなくてもその付近の多数の地震に対し何らかの類似性のある変動を示すことが認められた場合が考えられる。

ここでも注意しなければならないのは、局部的変動、あるいは坑道の変形に長期間にわたり繰り返えられるある種の現象があつて、これが偶然地震発生と時期を同じくすることがあり得るということである。

第3に地震の数も観測点の数も少ない場合でも、地震の成因・発震機構・地質構造上の問題から十分納得でき、あるいは水準測量・三角測量・潮位変動から得られた大規模で長期にわたる変動と一致するか少なくとも矛盾しない場合である。

これらがすべて満足されれば申し分ないわけであるが、このうち一つでも確認されれば、地震以外の原因が他に考えられぬ以上、観測された異常変化は地震に伴う地殻変動として相当信頼性をおいてもよいと思われる。ただ忘れてはならないのは、これはあくまで間接的証明であり、永久変動として測量にかかるほど大きな変動が浅る場合以外は実証する手段はないのである。以上の点を考慮すれば、いかなる好結果にも幾

潮岬では逆方向で、その上幾分初動引の領域に向っている傾向がある。この異常変化は、年変化の大きな潮岬においても単なる年周変化の異常とは考えられない。なおこれと期を同じくして由良の $N 60^{\circ}W-S 60^{\circ}E$ 方向の伸縮計も特異な縮みの歪を起こしはじめている。これらの変化は、由良・紀州ではいずれも10月末まで続いて、由良ではしばらく停滞の後反転、紀州ではほぼ直角に西南西向きに方向を変えて第2期に入る。

第2期における大きな特徴は、北西の初動引きの象限にある上賀茂・大浦・秋葉山、3観測所で同時期の11月21—22日頃から反時計まわりのベクトルを画くような傾斜変化を開始したことである。(秋葉山の南北成分だけにはこの変化が起こっていない。これについてはなお検討中であるが、設置後日が浅いので、今後の観測結果にまたねばならない。上賀茂では横坑と縦坑の2カ所に傾斜計を設置しているが、その両方に同じくこの変化が認められている。)大浦・秋葉山の東西及び南北の伸縮計もこの時期に大量の伸び(11月10ないし20日頃から、地震発生時には 10^{-6} の量に達す。)の変化を示し、さらに8月から異常変化をはじめた由良の $N 60^{\circ}W$ の伸縮計、この期間に伸びの変化が加わり、東西及び南北の伸縮計も伸びの変化を開始している(10^{-7} 程度)はここで問題になるのは、丁度この11月22日頃に、30~40 mm 程度の降雨があつたことである。各地に降雨があれば同時に降雨による影響が現われるのは当然であるが、これらの観測所では坑が浅いため降雨による変化は極めて急激であり、降雨後もまた極めて急速に回復するのが常である。ところが今回の変化は、上賀茂の傾斜計、由良の伸縮計等では、降雨の直前にすでに緩やかな変化を開始し、そのあと明らかに急激な雨の影響が現われている。この降雨効果は数日にしてさきの緩やかな変化を示す曲線の推定延長線上まで急速に回復し、そこで反転して先の異常変化はさらに進行を続け、開始後約1ヵ月かかつて頂点に達している。この変化の様相は平常の雨による変化とは全く異なるもので、上賀茂の各成分ごとの永年変化を見ても、30~40 mm の降雨は度々あるにもかかわらず、この期間の異常だけが、特に顕著に現われている。このような緩慢な変化の原因として、降雨による間接的な影響、たとえば地下水の異常などが考えられるが、集中豪雨ならばともかく、普通量の降雨でたまたま上賀茂・大浦・秋葉山・由良の4カ所で、同時に特殊な降雨の事後影響が起こつたと考えることは不可能である。

さてこの第2期の変化は、南西象限の潮岬では12月10日、紀州では同15日、北西象限では3カ所とも全く同時に12月20日から逆転して、やがて数日にして地震が発生したわけであるが、地震直前の1、2日前にも、降雨の激しかつた潮岬を除いて5カ所に極めて顕著な変動が認められた。しかし、丁度この時、近畿地方を気圧傾度の特に著しい低気圧が通過している。試みに同様に著しい低気圧通過のときの記録を調べると、明瞭ではないが、同様の変化を示しているようであり、これを分離して気圧に無関係と考えられる変化だけを取り出すことは不可能であつた。ただ由良の2日前の南下りの急変と、紀州の1日前の再逆転は、気圧によるものではないといえそうである。特に、紀州ではこの異常がそのままひき続いて地震後の大きな変動に移っていることは興味深い。

さて地震後、北西象限内の3カ所では、1月末までに完全に回復し、永久的変動は生じていない。南西象限では3カ所共3月末にはほぼ平常の傾斜変化状態に戻つたが、結局、由良では西南西方向に $27''$ 、潮岬は東方向に $10''$ 、紀州では南々東方向に $7''$ の永久的変動を生じた。その永久的傾斜変動の方向は震央から外向きであり、しかも押しの領域から引きの領域に向かう傾向がある。なお紀州鉾山では、このとき坑道内に漏水があり(地震前の12月24日の降雨量は現地でも20.8 mm にすぎない)、また鉾山内では、この地震前後で地下水の揚水量が急変したとのことである。永久変動量の中には幾分この二次的影響が含まれているかもしれない。

以上述べた異常変化については、なお検討の余地があるが、このような地震前後の異常変化は十分考え得ることであり、また上に述べたようにこれらの異常変化の地域による相違はどうかや地震機構との間に何んらかの関連性がありそうである。特に6カ所で同時にこれが認められたという事実は一つの貴重な資料として注目すべきであると信ずる。

多の疑問は残るわけであり、結局は観測例を集積する以外に方法はないのである。

信頼性についての以上の議論は、従来観測されたいくつかの異常変動と考えられる量（傾斜変化・伸縮変化）がそれと関係のない擾乱の量と同程度かあるいは下まわつているという事実からなされたもので、（ただし、その内の2, 3についてはその心配がないとはつきりいえる例もあるが）もし将来たとえば $M=7.5$ 以上の地震についての地殻変動を震央距離 50 km 以内で観測することができれば、おそらく上に述べた数々の心配は解消して、はつきりした前駆変動を捕らえることができると思う。このような確実な資料が多数集積されることを強く希望しているが、今回は以上のような観点に立つて議論を進めたいと思う。資料の整理が未だ完了しないので現在までに整理の終わった観測事実と、一部について興味ある解析結果の概略を述べることにする。

1. 大台ヶ原地震

1960年12月26日に起こつた大台ヶ原地震は $M=6.0$ 、震源の深さ約 60 km で、その位置と深さから考えて地震発生の1年前あるいは数ヶ月及び数日前に由良・井手・逢坂山等の観測所で顕著な異常変化が観測された吉野地震（1957年7月18日、 $M=7.0$ ）に似た発震機構をもつものではないかと推定される⁹⁻¹⁴。当時の震央から 100 km 以内の距離で、しかもこれを半円形に取り囲むようにして紀州鉾山・潮岬・由良・大浦・秋葉山・上賀茂の6カ所に地殻変動部門に所属する観測所があり、傾斜計、伸縮計による常時観測が行なわれていた。このうち紀州鉾山を除いて観測室はいづれも地表面下 30 m、あるいはそれ以浅にあるため、気象諸要素の影響を非常に大きく受けている。この種の気象変化による擾乱を取り除くための研究が進められているが、その複雑さのためにまだ定量的な解析方法は見出されていない。このような現状ではあるが、現在までの知識ではどうしても説明できない異常変化が、この地震の起こる数カ月前から各観測所に現われているのもまた事実である。これが地震に伴なう地震変動であるという確証はないわけであるが、少なくとも今のところ地震に関連した異常変化であると解釈するのが最も妥当であると思われるので、現在までの解析結果を述べて厳密な議論は、さきの問題が解決するに従つて続報で検討することにしたい。

さて6カ所の観測所で、いずれも同時期に異常変動が起こつているという事実は確かに注目値することであるが、これはまた、时期的にみて3つの段階に分けることができそうである（Fig. 1 参照）。

まず第1期は、震央の南西象限、すなわち地震波初動が押しである領域内の紀州・由良が6月から、潮岬が8月から異常変動を開始している。この異常傾斜方向には特に系統だつたものは見出せないが、震央にもつとも近い紀州では震央方向に、由良・

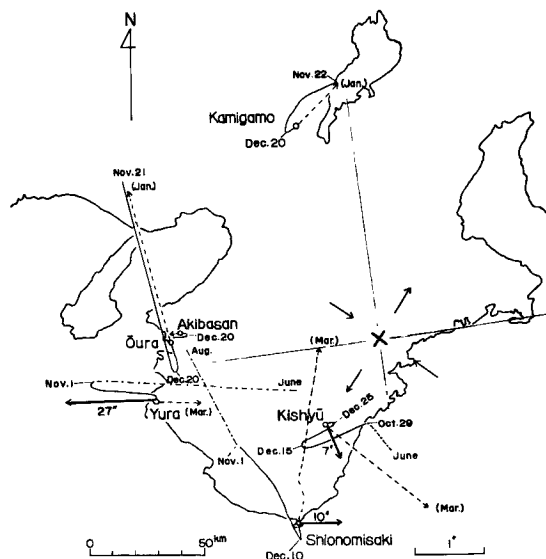


Fig. 1 Anomalous tilting motions observed before and after the occurrence of the Ōdaigahara Earthquake on Dec. 26, 1960

Chain line : First stages of anomalous changes

Solid line : Second and third stages

Broken line : Recovery stages after the Earthquake

Thick arrow : Permanent deformations

2. 日向灘地震

日向灘は震源の深さ 40 km 以浅の地震が頻発するいわゆる地震の巣の一つである。この日向灘の地震活動にも幾分の消長があり、これと地殻潮汐の振巾変化、ひいては地殻物性の状態変化との関係^{15,16)}を解明することを主目的として、宮崎県榎峰鉾山内に傾斜計を設置し、1942年以来すでに20年近く精密な観測が行なわれてきた。しかしここ数年顕著な地震もなく、特に1959年は極めて静穏であつたが、1960年7月頃から活潑化の様相をみせ、M=5以上の地震が相ついで起こり (Table 1 及び Fig. 2 参照、地震月報及び昭和36年1月~6月・日向灘・吉松地震観測表：宮崎地方気象台等の資料による。Magnitude の計算は各表ともに坪井の式によつたが、資料不足のため数値はただ規模の目安としてのみ掲載する)、ついに1961年2月27日に至つて四国・九州沿岸に約 1 m の津波を伴う日向灘地震 (M=7.2) が発生した。

現在傾斜計を設置している坑道は地表面下 165 m、気象要素による擾乱はほとんど認められず、坑道の変形と思われる規則正しい永年変化は南南西方向に1ヶ月0.4"以下で、極めて安定した好条件下にある。そのため、かなりの高感度 (記録紙上 1 mm の動きが傾斜にして、0.007"~0.009"に相当する。) で観測を行なっている。

Table 1 Major earthquakes originated in the Hyūga-nada (Jan. 1960~Oct. 1961) within about 100 km distance from Makimine

Class r : remarkable, m : moderate,
s : small felt area, l : local earthquakes respectively
u : unfelt earthquakes (Jan.~Mar. 1961)

No.	Date		Class	Magnitude	Epicenter		Depth	Epicentral distance
					°N	°E		
1	1960	Feb. 5	s	5.4	31.9	132.0	20	94
2		Apr. 16	l	4.5-5.0	32.4	132.0	shallow	57
3		July 10	l	4.5-5.0	31.9	131.9	40	90
4		Aug. 5	l	4.5	32.1	132.1	20	85
5		Sept. 4	s	5.1	32	132	20	85
6		26	m	5.6	32½	132	20	53
7		Oct. 29	l	4.0	31.9	131.5		79
8		Nov. 7	m	5.8	32.4	132.1	60	57
9		Dec. 31	l	4.4	31.7	131.6	0	100
10	1961	Jan. 6	l	3.7	31.6	131.5	0	110
11		17	u	3.7	32.4	131.5	0	25
12		Feb. 11	l	4.3	32.2	131.9	0	60
13		18	u	3.5	32.2	131.6	0	47
14		20	u	4.0	32.5	131.8	0	35
15		27	r*	7.2	31.7	131.7	17	102
16		Mar. 10	u	4.2	32.2	132.0	0	70
17		30	l	4.4	32.9	132.1	0	70
18		Apr. 4	l	4.3	32.4	132.5	0	100
19		June 9	l	4.2	31.8	132.0	0	103
20		Aug. 11	s	5.0-5.5	32.1	132.1	0	83
21		11	s	5.0-5.5	32.0	132.0	0	85
22		15	s	5.0-5.5	31.7	131.8	20	105

* Hyūga-nada earthquake

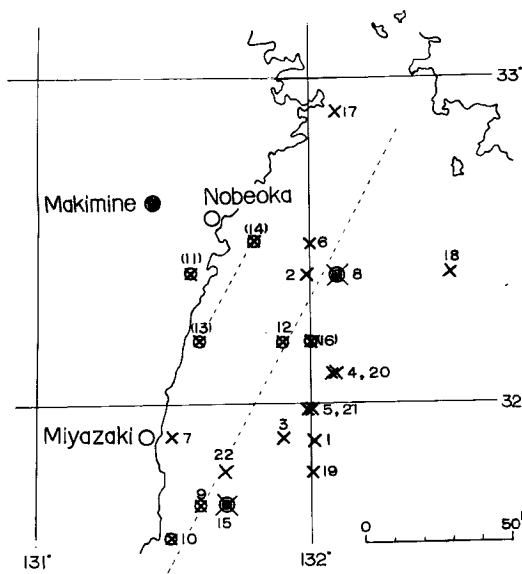


Fig. 2 Distribution of epicenters of major earthquakes originated in the Hyūga-nada (Jan. 1960-Oct. 1961, Ref. Table 1)

⊗ : Remarkable earthquakes on Nov. 7, 1960 and Feb. 27, 1961.

⊠ : Earthquakes occurred during the epoch of Nov. 7, 1960~Mar. 10, 1961

() : Unfelt earthquakes

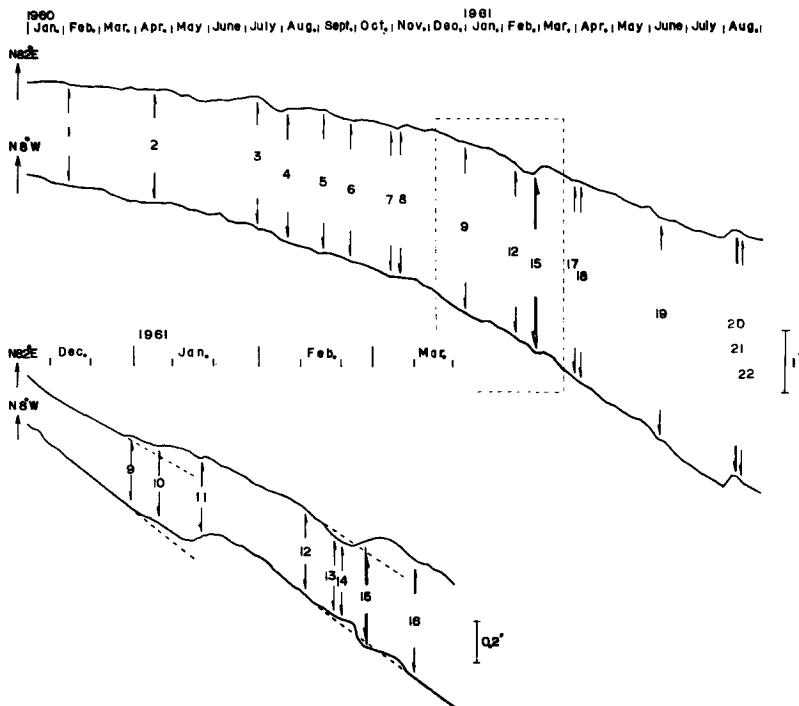


Fig. 3 Secular ground-tilting observed at Makimine, (Jan. 1960~Oct. 1961). Arrows indicate the time of occurrence of major earthquakes originated in the Hyūga-nada (Ref. Table 1)

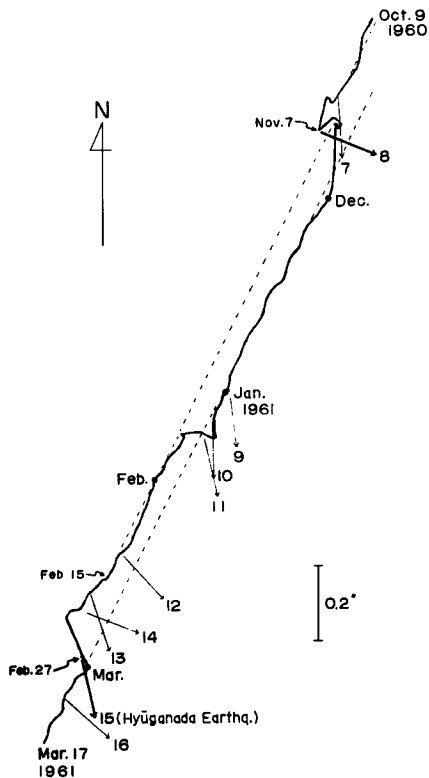


Fig. 4 Vector diagram of secular change of ground-tilt observed at Makimine. Arrows show the time of occurrence of earthquakes (Ref. Table 1) and direction of epicenter

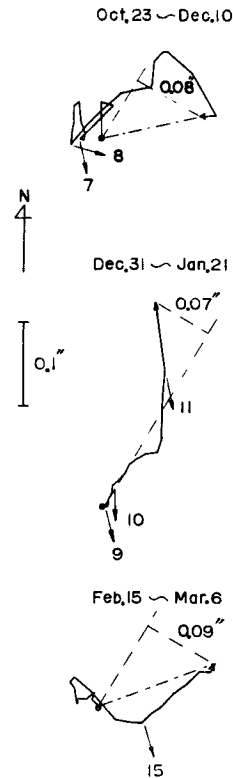


Fig. 5 Anomalous tilting motions after elimination of normal linear change, in cases of the Earthquakes on Nov. 7, 1960, Dec. 31, 1960 and Feb. 27, 1961 respectively. Chain line shows the amount and direction of tilt without recovery, numerical values represent the amount of tilt-component towards Hyūga-nada

Fig. 3 の左下図は今回の日向灘地震前後約4カ月間の詳しい傾斜永年変化曲線であるが、日向灘地震発生の12日前の2月15日頃から顕著な異常変動が起こっていることが明瞭に認められる。この曲線において平常の一方的傾動からずれた異常部分のみを取り出してベクトル図に示したのが Fig. 5 最下段である。異常変化は、2月23日に至つて逆転しほぼ震央方向に向つて $0.1''$ の傾斜を示し、地震後これとはほぼ直角に同じく $0.1''$ 程の変化があり、やがて平常の状態に戻つている。しかしこのような変化が地震と無関係にたびたび起こっているとすれば、これは地震に伴なう地殻変動であると断定することはできない。もしこの地震帯内の一連の地震が、この地域特有なある原因によつて発生するとすれば、ある程度の規模ならば、日向灘に発生する他の地震にも同様の変動が当然認められてよいはずである。それを実証するのが1960年以後の傾斜2成分の永年変化を示した Fig. 3 上図である。100 km 以内の $M=4$ 程度以上の有感地震 (Table 1 参照) を矢印で示した。個々のものについて未だ詳しい解析は行なつていないが、明らかに各地震の前後

で何んらかの異常があることが明瞭に認められる。震央の方向・距離、地震の規模によつておそらく異常の起り方は各種各様であらうが、必ず何んらかの異常を伴なっているようである。ただ問題は楨峰のように非常に安定した坑道であつても、この異常がどこから始まつてどこで終つているか判定するのはなかなか困難なことである。たとえば Fig. 2 下図(特にこの間の比較的規模の大きい無感地震をも矢印で示した。Table 1 参照)に見られるように、12月31日から相ついで3個の地震が起こり、それと同時にこれらの地震の規模と距離からいへば異常に大きすぎる変動を示している。このことは、2月27日の日向灘地震をもたらした地殻変動がすでにこの地震を契機として始まつたのではないかという疑問を起こさせる。特に12月31日及び1月6日の地震は、いずれも日向灘地震の震央と極めて接近しているので、これらの地震と2月27日の地震との間に、地殻変動の上で相互に関連性がありそうに思われるし、さらにまたその前に発生した11月7日の地震は $M=5.8$ の稍顕著な地震であるが、1960年7月以後この地震帯が活発化して以来1961年2月までの間に起こつた最大のものであり、この地震とも何か一連の関係があるのではないかという考えも生まれる。

まずこの期間の傾斜ベクトル図(Fig. 4)を見てわかるように、11月7日の地震発生直後より平常の傾斜方向から大きくずれて、ほぼ日向灘の方向に $0.1''$ 近く傾き、そこでそのまま平常の変化状態に復し永久的変動が生じたようである。ところが12月31日の地震を契機としてこの永久変動量と思われたものが、1月20日頃までにはほとんど回復したかにみえた。しかしやがて2月15日に至り、宮崎県沿岸10数 km 内(Fig. 2 No. 13, 14)に発生した数個の小規模の地震を伴ないながら、一時内陸の方に傾斜が進むかのような行動を示した後、10日余りで反転し日向灘方向に傾斜をはじめ、2月27日の地震が発生し、その直後にこの方向への傾斜は終つて再びさきの12月、1月間のベクトル図が画く線の延長上に落ち着いたのである。もつとも現在のところこのいづれが安定な状態であるかはわからない。もち論このベクトル図に点線で示した線上におちつくということは、図の上での見掛け上の偶然であるかも知れないが、この点をさらに確かめてみるために異常部分を取り出したものが Fig. 5 である。

これを見ると、11月7日及び2月27日の両地震の異常開始から完了までを結んだベクトルは両者がほとんど等しい向きと量を示している。この方向は、日向灘付近の極浅発地震を起こす水平主圧力の方向と一致するのではないかと想像される。すでに述べた通り12月31日と1月6日の地震は、後の2月27日の地震の震央の近傍に発生していたのであるが、11月7日(No. 8)から3月10日(No. 16)までの地震も No. 11, 13, 14 等の小規模の地震を除いてすべて11月7日と2月27日の震央を結ぶ線上に集まつているかのようにみえる。また2月18日から20日にかけての数個の小規模の地震は、これと平行な No. 13-No. 14 の震央を結ぶ線上に発生したように思われる。これらの線の方向は、ほぼ $N30^{\circ}E-S30^{\circ}W$ であるが、今この3つの異常変化(Fig. 5)のこの線に直角な成分を考えてみると、まず11月7日の地震後この方向(日向灘の方向)に $0.08''$ 傾き、次に12月31日の地震を契機として逆方向に $0.07''$ の傾斜を行なつて先の変動量はほぼこの間に回復し、さらに2月27日の地震の前に再びこの方向に $0.09''$ 傾いたことになる。すなわち、詳しい解析を行なつた期間(1960年10月から1961年3月まで)の日向灘の地震についていへば、これらの震央はほぼ Fig. 5 の2本の点線上に位置しており、これら一連の地震に伴う異常傾動のこの線に直角な方向の傾斜量は常にはほぼ一定であることがわかつた。それと同時に全体として地震の度にほぼ北東($N30^{\circ}E$)向きの傾斜を増している傾向も認められた。その後の地震をみると、発生地域は東に移つているようであり、Fig. 3 上図にもみられるように、これらの地震前後にも大きな異常変化が現われている。さらに1942年以来の大規模な地震についても、およその検討を行なつたところ、いずれも大なり小なりの変動を伴なっているらしいので、以上に述べた結果を基にして日向灘に発生する一連の地震に伴う特異な地殻変動に何か系統的なものを引出すことができそうである。この結果を発展させて第2報に述べたいと考えている。

3. 兵庫県西部の群発地震

兵庫県下には1949年に小被害を伴つた但馬西部の地震($M=6.5$)以後の10年余り $M=5$ 以上の顕著な

地震は全く起こっていないが、1961年4月12日に $M=4.5$ の地震が発生して以来、5月7日の $M=5.9$ の顕著地震を主震として7月上旬までの約3カ月の間に40個近くの地震(有感15個無感20個余り)が群発した(主なるものを Table 2 に示す。無感のやや大きなもの2個を含む)。

Table 2 Felt earthquakes originated in western part of Hyōgo prefecture
(Jan.~Oct. 1960)

No.	Origin Time			Class	Magnitude	P-S Time					
						Himeji	Tottori	Okayama	Toyooka		
		d	h	m							
1	1960	Apr.	12	06	11	<i>l</i>	4.5	2.7 ^s	8.4 ^s	8.0 ^s	7.3 ^s
2			12	06	34	<i>l</i>	4.2	2.6	8.0	8.5	—
3			12	06	44	<i>s</i>	4.9	2.9	8.4	—	11.7
4			18	05	42	<i>s</i>	4.5	2.6	8.2	8.0	7.7
5			18	19	54	<i>s</i>	4.0	2.9	8.0	8.0	7.7
6		May	7	21	14	<i>r*</i>	5.9	3.2	6.1	9.0	8.3
7			7	21	20	<i>m</i>	5.2	3.3	6.4	9.0	—
8			7	21	33	<i>l</i>	5.0	3.4	6.7	8.0	7.6
9			7	21	37	<i>l</i>	4.8	4.1	6.5	8.0	—
10			7	23	27	<i>l</i>	4.7	2.8	7.1	8.0	7.7
11			12	11	52	<i>l</i>	4.4	3.7	—	8.0	7.2
12			18	15	30	<i>l</i>	3.7	4.3	7.4	8.0	7.8
13			30	15	38	<i>s</i>	4.2	3.6	—	8.0	7.2
14		June	2	15	17	<i>l</i>	4.3	2.8	8.1	8.3	7.8
15			2	16	30	<i>u</i>	—	3.2	8.1	8.4	7.6
16			28	23	42	<i>l</i>	3.6	3.9	7.4	8.2	7.5
17		July	9	11	49	<i>u</i>	—	3.9	7.4	7.6	7.4
18		Oct.	15	00	08	<i>s</i>		N 35.1° E 134.6°			

* Main shock

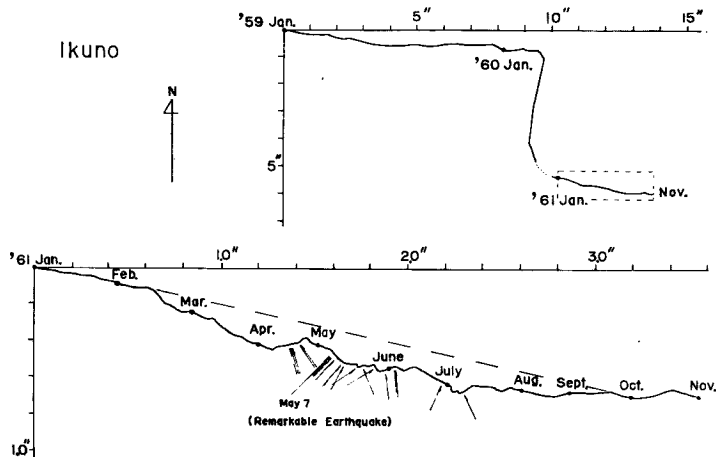


Fig. 6 Vector diagram of secular change of ground-tilt observed at Ikuno. Arrows indicate the time of occurrence of earthquakes in W part of Hyōgo Pref.

これらの地震の発生地域から北東約 20 km に生野観測所がある。傾斜計は現在、地表面下 180 m の坑道に設置されているが、1943年以来、鉾山内各所で種々の観測¹²⁾が行なわれており、特に1943年9月10日の鳥取地震の10時間前から起つた特異な S-type の傾斜変動は地震前の異常変動の顕著な例として知られている^{10-13,17)}。この観測所においても気象要素の諸影響はほとんど認められず、月平均傾斜量は約 0.7" (楨峰の2倍程度)で、南東東方向に傾斜を続けているが、比較的安定した状態にある。しかし、**Fig. 6** の上図に見られる通り、1960年5月頃より11月にかけて非常に大きな変動を行なっている。つまり平常の変化の上に南東方向への大きな傾斜変化が加わったものと考えられる。しかし、この付加的な傾斜変化が、丁度今回の群発地震の震央方向と合致するとはいえ、これがこの地震群に関連した傾斜変動であるという積極的な証拠は何もない。現在、なお解析中の高感度の他の2成分の傾斜計

にも同様にあらわれていることから、器械及び設置台の影響でないことは明らかであり、また 400 m 以内ではこの期間中探鉱も行なわれず、何らの異常も認められないとのことであるから、この変動はいまのところ全く原因不明である。そこでこの変化についての議論はひとまず保留して、この傾斜ベクトルの1961年1月以降の分を詳細に調べてみることにする (**Fig. 6** 下図参照)。図中の矢印は、主な地震の発生時を示す。この図でも明らかのように、2月16日からやや南向きの傾斜が加わり、少なくともこのときから異常が始まったと考えられる。これが4月6日頃まで続き、やがて逆転して1週後に第1群の地震(有感地震5個)が発生している。そして約25日の間隔をおいて、再び南向きの傾斜を開始した直後に、主震(M=5.9)の顕著地震が発生、当日中に10数個の余震を伴ない、6月2日までに合計約20個(有感地震9個)の第2群の地震活動が続く。これで活動は終了したかに見えたが、再び6月19日頃から南向きの異常傾動を始め、6月28日と7月9日に2個の小地震が発生、その後10月15日の地震まではほぼ静穏である¹⁸⁾。

以上述べたことで明らかであるが、さらにわかりやすくするために異常部分だけを取り出してベクトル図に示した (**Fig. 7**)。ただしこれは1959年1月から1960年5月までの変化を参考に、特に1月から2月16日までの変化を正常な変化期間と仮定し、この方向と量で平常の変化状態が続いているものと推定して、それからのずれを取りだしたものである。これから明らかになることはさきに述べた3つの地震群が発生時期からではなく、傾斜運動と傾斜方向の面からも極めて明瞭に分離されているということである。つまり、一方的異常変化が停滞して特に複雑な変化をしている最中に地震が頻発し、一方的な異常量が増して変化が単調になると地震が起らなくなり、再び停滞を始めると地震が発生するということである。その間の一方的変化量の違いは、平穏期間4月18日から5月7日まで19日間に 0.08"(0.004"/day)、5月7日から6月2日までの第2群活動期27日間に僅か 0.04"(0.001"/day)、次の平穏期6月2日から6月28日まで25日間に 0.1"(0.004"/

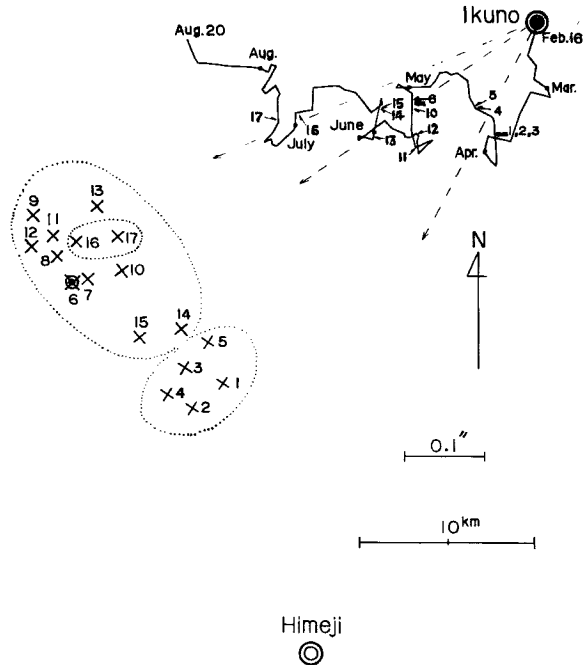


Fig. 7 Anomalous changes of ground-tilt and distribution of epicenters of earthquake-swarm in W part of Hyōgo Pref. (Ref. Table 2)

day), という結果になった。

こうしてみると, 3群の地震の間にそれぞれ何か特徴がありそうである。阿武山地震観測所の岡野・渡辺両氏から頂いた資料によれば, 5月の地震は4月の地震に比べて, 震央の位置が北にづれているとのであつた。そこでこれを参考として, 大阪管区気象台から頂いた資料を基にして, 大ざつぱに14個の地震について震央の位置を求めたのが Fig. 7 に示した震央の分布である。これをもて明らかに2つ3つの群に分けられるようである。ところで異常ベクトル図は先に述べたような平常状態における変化の方向と量を仮定しての話であるから, 平均傾斜量の仮定を変えれば, 当然, 残余の異常ベクトル図の形は変わってくるわけである。もし1月1日~2月16日間の傾斜変化量を用いることが正しいとすれば, 図の点線で示したように第1群, 第2群, 第3群の地震群発生時には平均の傾斜方向は (Fig. 6 の破線), それぞれ大約震央の方向を指していたといえる。この点に関しては, 仮定の上立つた議論であるから, 単なる推測にすぎないが, 平常状態として不自然にならない範囲の平均傾斜量をとる限り, 地震が群発する間は異常変化は停滞し複雑となり, それが2つ又3つの群に分離されることは事実のようである。個々の地震前数日以内の異常傾斜については目下詳しく解析中である。

4. 北 美 濃 地 震

8月19日岐阜県西部に起こつた北美濃地震は, $M=7.2$, 震源の深さ 40 km で, その規模は福井地震の $M=7.3$ にほゞ等しい。震央の北西約 40 km に尾小屋, 北東約 60 km に神岡の両観測所がある。尾小屋は1948年, 神岡は1952年以来傾斜計による地殻変動の観測が行なわれている¹⁾。特に尾小屋では1952年3月7日の大聖寺沖地震 ($M=6.8$) の際に3カ月前から, 特に8日前から特異な変動が観測されたことは, すでに報告した通りであるが^{10-14), 19), 20)}, 1957年4月に都合により現在の坑道に移設された。また神岡は1957年8月末に器械の移動が行なわれたので, それ以後の変化を Fig. 9, Fig. 10 に示した。またこの期間における両観測所から 100

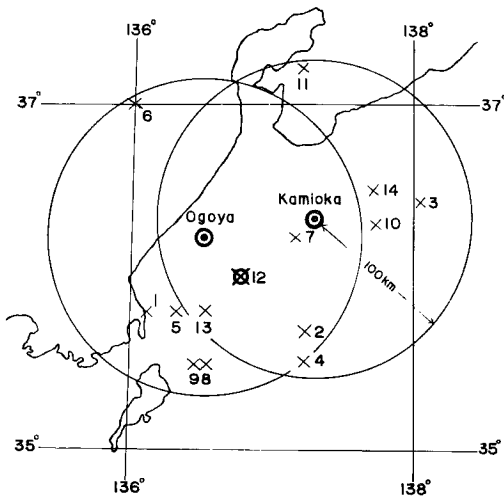


Fig. 8 Distribution of epicenters of major earthquakes within the limits of 100 km from Ogoya and Kamioka (Ref. Table 3)

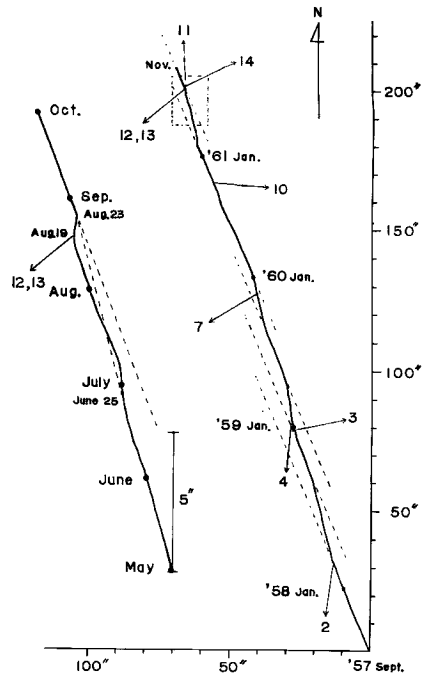


Fig. 9 Vector diagram of secular change of ground-tilt observed at Kamioka. Arrows show the time of occurrence of earthquakes and direction of epicenter

Table 3 Major earthquakes (Apr. 1957~Oct. 1961)
within 100 km distance from Ogoya and Kamioka respectively

No.	Date	Class	Magnitude	Epicenter		Depth km	Epicentral distance	
				°N	°E		Ogoya km	Kamioka km
1	1957 Dec. 31	m	5.3	35.8	136.1	about 20	59	—
2	1958 Feb. 9	s	4.7	35.7	137.2	0	87	71
3	Dec. 27	l	5.1	36.45	138.05	shallow	—	68
4	1959 Jan. 21	s	4.0?	35.5	137.2	40	—	90
5	Feb. 19	s	4.0?	35.8	136.3	about 20	50	—
6	May 8	u	—	37.0	136.0	360	95	—
7	Nov. 13	s	4.7	36.25	137.15	0-10	58	17
8	20	m	4.8	35.5	136.5	0-10	79	—
9	1960 May 16	s	4.1	35.5	136.4	0-10	80	—
10	Oct. 4	r	† (330 km)	36.3	137.7	220	(109)	39
11	1961 Aug. 10	s	—	37.2	137.2	0	—	95
12	19	r*	7.2	36.0	136.8	40	34	60
13	19	m*	—	35.8	136.5	40	47	90
14	19	s	—	36.5	137.7	0	—	41

* Kitamino earthquake and the after shock
† Max. distance of human feeling

km 以内の主な地震 (地震月報による) は Table. 3 及び Fig. 8 に示す通りである。

a) 神岡観測所

現観測室は地表面下 400 m で気象要素による変化は全く認められないが、岩圧による坑道の変形と思われる傾動は、月 3~4" に及び、楨峰の場合の10倍に達するが、北北西に極めて規則正しい傾斜変化を続けている。しかし詳細にこのベクトル図 (Fig. 9) を調べると、点線で示したように、ある期間には東向き成分が加わり階段状に東に移動していることがわかる。これが年変化でないことは直ちに了解できるとしても、何か坑内の特殊状況による変化ではないかという想像も起こる。しかしいまこの期間の神岡から 100 km 以内の主な地震 (Table 3) を図に記して、これらの地震と異常変動との関係を考えてみる (矢印の方向は震央方向を示す)。1960年末までに 5 個の地震があげられるが、1958年12月の地震は極めて浅い局地震であり、1960年10月4日の地震は顕著地震で距離も 39 km であるが、深さ 220 km の深発地震で、観測点がほとんど震源の真上といつてよい場合に当たる (これについては後に述べる)。この 2つを除くと残りの 3つの地震は、いずれも岐阜県下の地震であり、震央方向から見ると1958年2月9日の地震と、1959年1月21日の地震はほぼ同じ場所に起こっており、1959年11月13日の地震は $M=4.5$ 足らずであるが、距離はわずか 17 km 震央方向は今回の北美濃地震とほとんど一致している。神岡のベクトル図を今一度検討してみると、1958年2月と1959年1月の2つの地震は正に平常の状態から折れ曲がり始めたところに発生し、1959年11月13日の地震は折れ曲がりかほとんど終つたところ、すなわち平常に復する直前に起つている。これは後に述べるように北美濃地震の場合と同じ起り方である。この3つの地震は10ないし11カ月の等間隔をへだてて起つており、その前後で波型の変動をしているのは事実であり、最後に21カ月を経て今回の北美濃大地震が起こっている。その間に約13カ月にわたつて珍らしく平穏な状態が続いたわけである。これらの事柄は岐阜県中北部地方に発生する地震の性質を示すものではなからうか。なお、これらの各地震の直前の異常については、まだ充分検討する余裕がなかつたがいま述べたような単純な変動のみでなく、詳細に見ればもつと複雑な異常を含んでいるようである。これについては改めて報告する予定である。

b) 尾小屋観測所

さきに述べた通り1957年4月に地表面下100mの位置に観測室を移動したため、現在では大聖寺沖地震当時の傾斜方向と異なつた平均傾斜方向を示しているが、これはおそらく坑道の変形によるものであろう。平均傾斜量は月約4"である。さて尾小屋における傾斜ベクトル図(Fig. 10)は神岡と違つて一見極めて複雑であるかのように見える。しかしこれを分析すると、まづ1957年10月から1958年4月までの異常は1957年

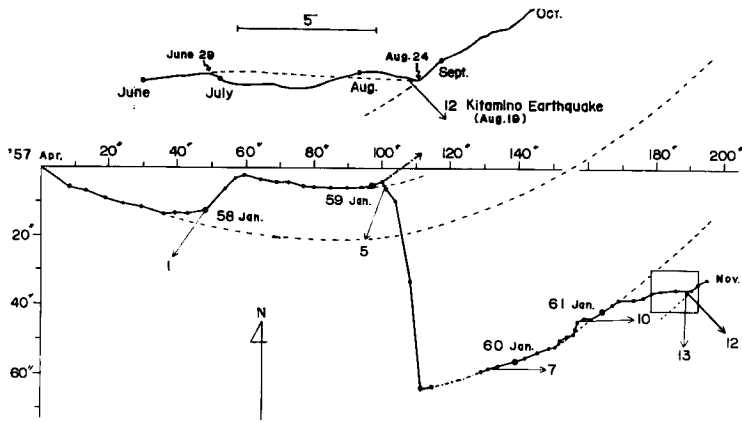


Fig. 10 Vector diagram of secular change of ground-tilt observed at Ogoya. Broken line shows the usual tilting motion. The large anomalous change observed during Feb. to June 1959 was caused by the excavation of adit near (10 m) the observation room

12月31日に尾小屋から南東60kmに起こつた福井県中部の稍顕著地震によるものであると考えることができる。すなわち地震の約3カ月前から震央と逆方向の傾斜を開始していて、この傾向は1959年2月の福井県のはほぼ同じ所に起こつた小区域地震(M=4.0?)に1カ月前から同様に現われている。ただ残念なことにこの地震の約半月前に観測室からわずか10mの所で坑道の拡張工事が行われたため60"にも達する大変動があり(1959年2月~6月, Fig. 10に鎖線の矢印で方向を示す), その後の変動を確かめることができなかつた。図中矢印で示したのは、70km以内の地震のみであるが、唯一つ11月13日(No. 7)の地震だけは異常が現われていないように見える。実際にはこの前に珍しく欠測が約3ヶ月続いたのと、平常の傾斜方向がこの地震の震央方向と一致しているため認めにくい、10月の傾斜量が少ないところからみるとあるいは震央と逆の方向の傾斜変化があつたのではないとも考えられる。それはとにかくとして福井県下の2つの地震は、地震前の変動しかわからないが、非常に似た傾向を示しているらしい。次に1960年10月前後に非常に明瞭な異常がある。この頂点のところに、震央距離109kmであるが顕著な深発地震(No. 10)が発生している。この異常変化は2カ月前から単純に震央と逆方向に傾斜し、頂点に達して地震が起こり地震と同時にこれが約1, 2カ月で完全に回復しいままでの浅い地震の場合と異なり永久変動を残していない。この震源の深さ220kmに対し尾小屋の震央距離は丁度深さの半分にあたるので、もし震源において単純な圧力の増加、球状の膨脹があれば傾斜としては最も大きく現われる距離であり、さきに神岡の場合に述べたように、わずか39kmしか離れぬ神岡でそれほど明瞭でないということは、震央の直上にあるため傾斜として現われにくいということがあるのではなからうか。100km以内の他の地震は、No. 2はNo. 1の直後、No. 6は坑内異常の最中、No. 8はNo. 7と重なり、No. 9は図でも明らかに北向きの異常が認められるが煩雑になるので矢印を省いた。さて以上述べた異常変動を取り除き永久変動分を差引いて図の点線のように一本の線につなぐと極めて単調な曲線を画くことがわかる。これが坑道の正常な永年変形の形であると

考えてよからう。

c) 北美濃地震数カ月前

神岡ではさきに述べた通り13カ月間の異常に静穏な時期を経て1961年2月10日頃よりほぼ北東の方向の異常変化を開始した。この一方的な異常変動は8月19日の北美濃地震発生直後まで続き、その量は約3"に達し8月24日以後平常の傾斜方向と傾斜量に戻り、この3"に達する異常量は回復の様子をみせない。全く同様に尾小屋では3月3日よりさきに述べた平常曲線からの大きなずれを見せはじめた。そして神岡の場合とは逆に、ほとんど真直に震央の方向に向って傾斜を行なった (Fig. 11)。しかし4月末頃この異常傾斜は一時南に方向を変えた。その直後に丁度その方向に当たる岐阜県南部に局地的な小地震 (4月25日、尾小屋

より 55 km 神岡より 85 km、北美濃地震約2時間後に発生した余震とほぼ同じ位置)があつた。はたしてこの乱れがこの地震によるものかどうか判定する方法はないが、時期と傾斜方向から考えて全く偶然に一致したとは考えられない。6月末までのこの影響のためか南向きの成分が加わっているが、その後は再び真直に北美濃地震の震央方向に傾斜を続け、これが地震発生時までに約10"の異常量に達している。

d) 北美濃地震数週間前

尾小屋・神岡でそれぞれ震央方向とその逆方向に数カ月にわたる異常変化のあることは以上に述べた通りであるが、これは長期間の異常変化を知るために単調な線で平滑化したもので、実際の変化はこれにさらに波型の振動的変化が重なっている。尾小屋では地震発生時の約50日前の6月29日頃から、神岡では6月25日頃から、震央方向と直角な方向の顕著な振動的変化を行なっている。これは Fig. 10 上図及び Fig. 9 左図の詳細なベクトル図にも極めて明瞭である。この部分だけを取り出したものが Fig. 12 である。この著しい特徴は神岡、尾小屋においてともに地震発生時にはほぼ震央方向に尾小屋で約0.35"、神岡では0.27"の傾斜をしていたということである。これは神岡においては地震発生時には大きな変動に対して微小な反転をしていたということであり、尾小屋においては直前に震央方向の傾斜の速度が増していたことを意味する。

以上のように神岡、尾小屋ともに地震の約半年前からそれぞれ震央方向と、震央と逆方向の大きな異常変動があり、1、2カ月前からさらに振動的な傾斜変動が始まっていることが明らかとなつた。この二つの時期は、地震発生前の地殻内に歪のたまる状態と地震直前の地殻内の異常のそれぞれの段階を示すものではなからうか。そして現在までに発表されている数カ月、数週間、数日、数時間前の変動の多くは別々の地震において見出されているが、事実は距離と方向の違いによつてはこれらの各段階のいずれかが明瞭にとらえられ、あるいは重なり合つて複雑に見える場合があるのではなからうか。さきの大聖寺沖地震の例は今回の地震と

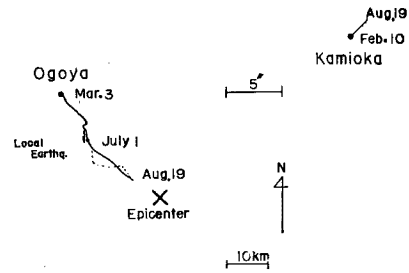


Fig. 11 Vector diagrams of anomalous tiltings observed within several months before Kitamino Earthquake at Ogoya and Kamioka

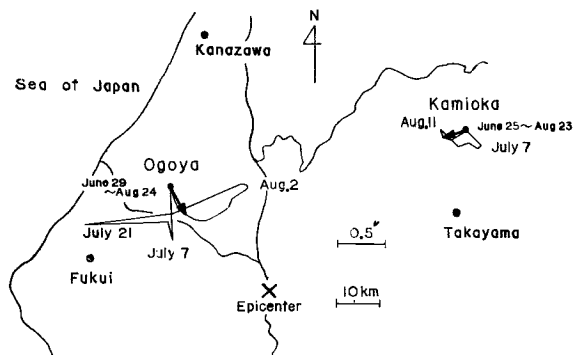


Fig. 12 Vector diagrams of anomalous tiltings observed about 50 days before the Kitamino Earthquake at Ogoya and Kamioka. Thick arrows show the anomalous tilting at the time of occurrence of earthquake

極めてよく似ており、地震の数カ月前と約10日前の二段階に分れるようでありしかも地震直後急速に異常変動が収まっているが、大きな永久的変動を残しているようである。なお北米濃地震の初動分布は、震央と尾小屋を結ぶ方向を軸とした双曲線型となり、神岡は震央を通つてこの軸とほぼ直角な線上にあり、2時間後に起こつた稍顕著の余震(No. 13)の震央は、大体この延長上にある。神岡と尾小屋における半年前の異常が逆方向であるのはこのような発震機構に結びついた観測点の方向に原因するのではないかと考えられる。

結 語

吉野地震(1952年7月)以後10年近く西日本に大地震が起こらなかつたので、それに伴う地殻の異常変動を観測する機会もなかつたが、1960年末から1961年夏にかけて、大台ヶ原地震・日向灘地震・兵庫県西部群発地震・北米濃地震と $M=6.0\sim 7.2$ の地震が相ついで起こつた。観測設備もおいおい充実し、平穏状態における土地の永年変化の長期にわたる資料も蓄積して、その安定した様相も明確になつたおりから、これらの地震の発生地近傍の各観測所で、極めて明瞭な特異変動を観測することができた。

特に大台ヶ原地震では震央距離 40 km の紀州をはじめとして、震央を半円形に取り囲む 6 カ所の観測所のすべてに、時期的に 3 段階に分かれる特異な土地の傾斜・伸縮変化を検出することができ、初動の押しの領域内の 3 カ所では大きな永久変動量のあることが確認された。

北米濃地震では北西 40 km の尾小屋・北東 60 km の神岡の両観測所において、ともに 2 期の段階に分かれる顕著な異常変化を観測することができた。この 2 つの結果は吉野地震・大聖寺沖地震の例においても推定されるように、異常変化の中に数カ月・数十日・数日の各段階のあることが、いずれも 2 カ所以上の観測所で観測されたという信頼性ある実例によつて、ある程度確められた。この現象は地震エネルギーの蓄積される状況と、地震直前に破壊の限界近くに達した震源附近の異常を暗示し、発震機構との関連性をも表わしているように考えられる。

日向灘地震についても変化の各段階というものを考えるならば、約 2 カ月前と 10 数日前と数日前とにわけることができそうであるが、興味はむしろ、特に安定した理想的な観測室における観測結果を激密に解析した結果として、今回の顕著地震のみならず、ある程度の規模で、ある範囲内に起こつたすべての地震に大なり小なりの変動を伴うことが認められ、しかも日向灘に発生する一連の地震について、相互に関係のある特徴的な地殻変動を推測し得たことにある。

兵庫県西部の群発地震では、わずか 20 km 離れた生野観測所で、群発地震に特有と考えられる傾斜異常を観測し、これを個々の地震に対してではなく地震群に対する別種の変動傾向とみて、これからこの地震群が 2 つないし 3 つの群に分けられることがわかつた。

この 4 種の地震の前後の変動だけでなく、いま一つの収穫は、この解析に当つて最近の永年傾斜変化を再整理して調べたところ、これらの大地震の場合に較べてもち論程度こそ小さいが、ある距離以内で、ある程度の規模の地震が同一地域に起こる場合、ほぼ同傾向の異常を伴うことが日向灘の地震だけでなく、岐阜県・福井県下の地震を例として予想されるに至つたことである。

終わりに当つて、資料を御提供頂いた大阪管区気象台・福岡管区気象台・宮崎地方気象台並びに阿武山地震観測所の岡野・渡辺両氏に謝意を表する次第である。またこの機会に、日頃各観測所で器械の調整、記録の取替えに御甚力下さつている方がたの並々ならぬ御厚意と、器械の設計・製作・修理に当つておられる津島・鈎・松尾の諸氏の御労苦と、記録の解析を行なわれた小林・山田の両君、長谷川・松村の両嬢の御協力に対し厚く御礼申し上げたい。

参 考 文 献

- 1) K. Hosoyama : On the Observation of Secular Phenomena of the Tilting Motion of the Ground, Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., A. Vol. 28, 1957, pp. 253-282.
- 2) K. Sassa : Some Problems on the Forecasting of the Earthquake (II), Dis. Prev. Res. Inst.,

- Kyoto Univ., Bull., Memorial Issue of the Fifth Anniversary, 1956, pp. 3-7.
- 3) I. Ozawa : On the Observations of Strain of the Ground Surface Using by Invar-wire and Invar-bar Extensometer, and Effect of the Rain-fall to the Change of the Ground surface, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 3, 1950, pp. 69-74.
 - 4) M. Takada : On the Observation of the Crustal Deformation and Meteorological Effect on it at Ide Observatory, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 23, 1958, pp. 2-12.
 - 5) I. Ozawa : On the Observations of Crustal Deformation at Osakayama, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Annuals, No. 3, 1956, pp. 148-153.
 - 6) I. Ozawa : On the Strain of Earth-crust Observed in Osakayama-tunnel, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 2, 1949, pp. 115-121.
 - 7) I. Ozawa : On the Observation of Crustal Deformation at Osakayama, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull., Memorial Issue of the Fifth Anniversary, 1956, pp. 14-19.
 - 8) I. Ozawa : On the Observation of Changes of the Earth-crust in the Time of Earthquakes, Zisin, Vol. 8, 1955, pp. 45-47.
 - 9) M. Takada : On the Crustal Strain Accompanied by a Great Earthquake, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 27, 1959, pp. 28-46.
 - 10) K. Sassa and E. Nishimura : On Phenomena Forerunning Earthquakes, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 13, 1956, pp. 1-8.
 - 11) E. Nishimura : Some problems on Tilting Motion of the Ground, Comm. Obs. Roy. Belg., No. 142, S. Geoph., No. 47, 1958, pp. 100-110.
 - 12) K. Hosoyama : On Secular Observation of Tilting Motion of the Ground, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull., Memorial Issue of the Fifth Anniversary, 1956, pp. 20-27.
 - 13) K. Sassa and E. Nishimura : On phenomena forerunning earthquakes, Publ. Bur. Centr. Séism. Intern., Série A, Travaux Scientifiques Fascicule 19, (Mém. présentés à l'Assemblée de Rome, 1954), pp. 277-285.
 - 14) K. Hosoyama : On a Mercury Tiltmeter and its Application, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 6, 1953, pp. 17-25.
 - 15) E. Nishimura : On Earth Tides, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 31, 1950, pp. 357-376.
 - 16) E. Nishimura : On Change of State of the Materials in the Earth's Crust with Relation to Seismic Activity, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull., Memorial Issue of the Fifth Anniversary, 1956, pp. 8-13.
 - 17) K. Sassa and E. Nishimura : On Phenomena Forerunning Earthquakes, Trans. Amer. Geophys. Union, 32, No. 1, 1951, pp. 1-6.
 - 18) M. Ishimoto and R. Takahashi : Séismes d'Ito et l'observation sur les variations de l'inclinaison de la surface terrestre, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 8, 1930, pp. 427-459.
 - 19) K. Hosoyama : Characteristic Tilt of the Ground that Preceded the Occurrence of the Strong Earthquake of Mar. 7, 1952, J. Phys. Earth, Vol. 1, 1952, pp. 75-81.
 - 20) E. Nishimura and K. Hosoyama : On Tilting Motion of the Ground Observed before and after the Occurrence of an Earthquake, Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 34, 1953, pp. 597-599.