

最近の地震に伴う地殻の異常変動について

(第 2 報)

西村 英一・田中 豊

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

by Dr. Sci. Eiichi NISHIMURA and Yutaka TANAKA

Synopsis

As a continuation of previous paper, observational results of crustal deformation connected with later remarkable earthquakes (Shirahama-Oki on Jan. 4, 1962, $M=6.4$ and Echi-zenmisaki-Oki on Mar. 27, 1963, $M=6.9$) were reported.

Moreover, peculiar modes of these ground-tilts and ground-strains were discussed in reference to a sequence of crustal movements related with a seismic activity in a certain restricted area.

緒 言

1960年12月末の大台ヶ原地震発生後、1961年2月日向灘地震、同年4月から6月にかけて兵庫県西部の群発地震、8月には北美濃地震と、相ついで Magnitude 6 以上の地震が起り、西日本一帯の地震活動は1960年頃を境として活発化の様相を見せはじめた。第1報¹⁾ではこれらの地震に伴う地殻の異常変動について報告したが、この第2報においては同じ形式でその後の2つの顕著地震、すなわち1962年1月4日の白浜沖地震(仮称)と1963年3月27日の越前岬沖地震(気象庁命名)を中心として、地殻変動の観測結果を述べ、さらにその異常変動の様式について、現在明らかな範囲内で解釈を与えたいと思う。

第1報の緒言において、地震に伴う地殻異常変動の確実性について、3つの条件を指摘した。第1は多数の観測所において同一時期に類似の変動が認められること、第2は1つの観測所附近に発生する多数の地震についてそれに伴う地殻変動がある特定の型を示すこと、第3は地震の発震機構、地質構造、三角測量や水準測量、あるいは岩石の破壊の問題など関連する諸研究と矛盾なく、むしろ進んで一致した解釈を与え得ること、の3つであった。

第1の条件は換言すれば地殻変動の空間的拡がりの問題であり、最近までは測量が一の手段であった。第2は地殻変動の時間的経過、および一歩進めて地殻変動の形式そのものの時間的進化の問題である。前者の例として、地震の直後については検潮記録に2、3の例があり、地震に関係した長期間の変動については南海道の大地震の際の紀伊半島や四国南端の昇降の繰返しにこれが相当する。後者はなお推測の段階である²⁾。第3は地殻変動の成因に関する根本問題で、地質学的にみた地殻運動や地質構造、地震の発震機構、岩石の変形と破壊の実験などを基礎としなければならないが、地震の原因そのものがつかめないままに相互の関連性がなく、未開発の分野である。この3つを完全に論ずることによって地殻変動の全貌が明らかになるわけであるが、測量の反復さえも不十分な現状ではなお程遠いといわねばならぬ。地殻変動の連続観測の最大の長所は密なる観測網によって第1、第2の問題を一挙に解決出来る点にある。すでに第1報において日向灘地震・北美濃地震に関連して、同じ地震帯内に発生する個々の地震に伴って同一形式の地殻変動が現

われることを示唆し、その後一連の地震系列ないしは地震活動と地殻変動の関係について報告した²⁾。ただ現在では連続観測の資料は長い所で25年、多くは10年程度のものであり観測網も余りにも少なすぎて一連の地震活動と地殻変動の様式を論ずる確定的な資料を得るに到っていない。

今回は上に述べた3つの条件のそれぞれ一部分を取り上げるにすぎないが以上述べた事柄を念頭において再び個々の地震に伴う地殻の異常変動について報告し、これらが一連の地殻運動の一部としてどう説明されるかを考えてみたい。

1. 白浜沖地震

a) 1962年1月4日紀伊半島西岸白浜沖 10km の海中に Magnitude 6.4 の顕著な地震が発生した。仮にこれを白浜沖地震と呼ぶことにする。この地震は当日中に4つの有感地震を伴った。

主震の位置は由良観測所の南々西約35km、紀州観測所の西南西約65km、潮岬観測所の西北西 55km にあり、震源の深さ約 40km である。なおこの主震の発生10日前に、さらに南西 60km に小地震が、また約4週間後に同じ場所に再びかなりの地震が起っている。（Table 1, Fig. 1 参照）

Table 1 Specifications of a series of Shirahama-Oki Earthquakes

No.	Date	Magnitude	Epicenter		Depth	Epicentral Dist.	
			°N	°E		Yura	Kishū
1	Dec. 24, 1961	4.2	33.3	134.7	40km	80km	120km
2	Jan. 4, 1962	6.4	33.6	135.2	40	35	65
3*	4,	3.8	33.6	135.3	40	45	60
4	4,	4.8	33.7	135.3	60	35	60
5	4,	4.0	33.8	135.7	20	50	25
6	9,	3.8	33.7	135.4	40	40	50
7	Feb. 1,	4.0	33.5	134.5	0	75	135
(7)*			(33.3	134.8	20	80	120)

* Mon. Rep. Earthq., Osaka Dist. Meteorol. Obs.

由良観測所には Benioff型 (Bow-string magnifier) 水平3成分、鉛直1成分の伸縮計が設置されている。当時南北成分 $1.5 \times 10^{-8}/\text{mm}$ 、東西成分 $0.38 \times 10^{-8}/\text{mm}$ 、北60°西-南60°東成分 $1.4 \times 10^{-8}/\text{mm}$ 、鉛直成分 $2.3 \times 10^{-8}/\text{mm}$ の感度で使用されていたが、北60°西-南60°東成分は欠測中であった。伸縮異常変化は1961年12月中頃から明瞭に現われはじめた (Fig. 1 下図参照)。南北および鉛直成分はそれぞれ伸び、東西成分は縮み変化であるが、1月に入って南北成分は縮みの傾向を見せ、東西成分は縮みを増して4日後に地震が発生した。地震と同時に南北成分は、数分以内に 2×10^{-7} の縮みを見せ、さらに約2時間後まで縮みを続け合計は 4×10^{-7} の量に達し以後伸びに逆転した。はじめの数分以内に起った急激な縮みが器械的なものでないことは次の点から推察出来る。第1に1958年に3成分の水平伸縮計を設置して以来約5年間、いわゆる記録紙上の光点の「トビ」が1度もなかったこと、つまり非常に安定した器械的ひずみのない状態で観測されていること。第2に地震後の2時間にさらに同量の縮みを続けている様子から、地震時の力がなお同じ方向に働き続けて、破壊の終了によってわい力が解消し逆転していると考えの方が妥当で、この現象は、器械的な異常とは考えられず、過去においても、また他種の器械にもこの種の器械的異常は認められないこと。第3に瞬間的な「トビ」量を入れることにより変化曲線は Elastic memory の現象の際の回復曲線と非常に似てくることである。一方東西方向の伸縮計は縮み側に推定約 1.2×10^{-7} のトビを示し Scale out しているのでこの方は判別出来ない。また鉛直伸縮計は器械的にかなり不安定な状態にあるためか記録上の「トビ」がしばしばある。この地震では切断はしなかったが錘が落下して数日間欠測が続いた。

地震後、東西成分は伸びを、南北成分と鉛直成分は縮みの変化を続けるが1月9日の地震と同時に、とく

に東西成分で曲線の型が急変する。また3成分共2月1日の地震発生と同時に異常変化が終り、本来の年変化曲線をたどることになる。このことから **Fig. 1** および **Table 1** に示した各地震は、地殻変動の上から一つの group をなす地震とみなすことが出来る。

この震央は図に示す様に、 $N60^{\circ}E - S60^{\circ}W$ の線上に分布し、南西から始まって北東に到り、ふたたび南西へと発生場所が移動している。ここに重要なのはこの線の方位であり、ほぼ紀伊半島と四国の地質構造線および過去の南海の大地震が発生したという Old fault line (または Nankai-Thrust)³⁾ に平行で、しかも紀伊半島の三角測量による水平移動の方向⁴⁾と直角をなす点にある。

傾斜異常変化は伸縮変化に比べると単調で際立って顕著なものは現われていない。由良観測所の異常変化は幾分不明瞭ではあるが、4カ月前から南下がりの傾斜をはじめ、伸縮異常の現われた12月中旬からはほぼ西北西に逆転し、地震後は再び南下りの傾斜を続け同年4月頃になっている。前後を通じ約 $1''$ の永久変動を行なったことになる。紀州観測所では気象変化が少ないのできわめて明瞭である。すなわち由良と同時期の前年9月頃から北北西に傾斜をはじめ、加速度的に増加すると同時に11月下旬からは震央方向に、さらに $1.5''$ の傾斜を加えて合計北西方向に $3.5''$ の傾斜を行ない、地震直前に少し逆転し地震後直ちに回復をはじめ、由良と同時期の4月頃には完全に旧に復するという弾性的変形を行っている。特に両観測所共地震前後を通じて三角測量による水平移動の方向と同じ方向あるいは丁度逆の方向に傾斜し、この一連の地震が発生した線にはほぼ垂直な方向であることは後に述べる越前岬沖の場合と関連して興味深い。

なお地震後南北方向が縮み、東西方向が伸びであること、量的に南北のひずみが大きいことは次に述べる紀南地震群の場合と深い関係がありそうである。潮岬観測所は年変化が大きく、また降雨による影響も著しく、異常傾斜変動は判別できなかった。

b) 紀南地方(和歌山山中, 南部)は南海道地震の余震域の一部と考えられる地域で、Magnitude 4 程度の地震が数カ月に一度は発生する頻発地帯である。由良観測所では1959年に伸縮計による観測を開始して以来、地震前後に幾つかの異常変化らしいものが認められていた。しかし不幸にもそのほとんどが降雨、少なくとも低気圧の通過のため著しく擾乱されている最中であり異常が確認できなかった。低気圧と地震の発生は単なる偶然の一致とは思われない点もあるが、この統計的問題はさておいて、白浜沖地震後同1962年3

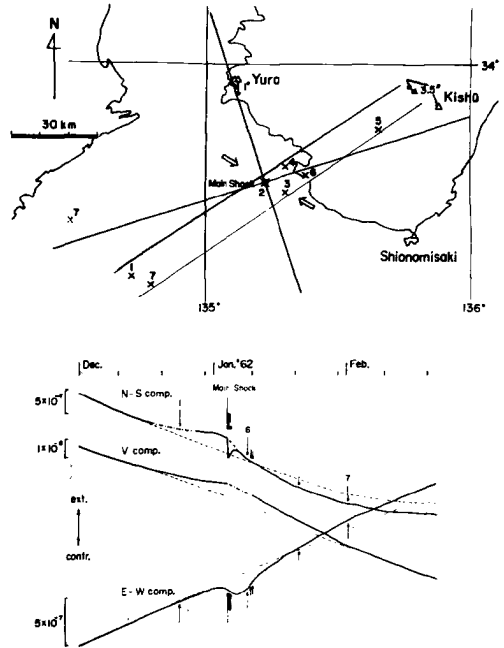


Fig. 1 Upper : Vector diagrams of anomalous tiltings observed about 4 months before the Shirahama-Oki Earthquake at Yuro and Kishū

Solid line : nodal line in main shock

Crosses : epicenter, the numerals correspond to the number of Earthquakes in Table 1

Lower : Variations of ground-strain before and after the Shirahama-Oki Earthquake observed at Yura

Arrows : the time of occurrence of earthquakes

月21日、8月19日、翌1963年7月23日にそれぞれ深さ40~60kmのやや深い地震が由良の南方20~30kmの範囲内に発生した。Magnitudeはいずれも5前後で気象庁の有感距離による規模別分類では稍顕著地震と呼ばれるものである。この地震の発生時はいずれも気圧変動の少ない時期で降雨もなく、きわだって明瞭な変動を記録した。これをFig. 2に示す。図中の点線は予想された年変化曲線である。8月19日の地震前の東西方向の伸びの様子は白浜沖地震の南北方向の変化を滑らかにした形で、かなりよく似ている。またその他の成分も各地震前後の様子が酷似している。細部にわたる説明は省略するが、これらの地震による変動が白浜沖地震と異なる点は南北方向が地震後常に伸びとなり東西方向は必ず縮みとなる点である。量的には南北方向の伸び量が東西方向の縮み量よりも大きい点は同じであり、鉛直方向の変動のみが回復している様子も白浜沖地震と同じであるらしい。傾斜変動はいづれの場合も明瞭には認められず今後の精密な解析を必要とする。

以上の3例は40~60kmのやや深い地震であるが、このほか2, 3の顕著な例がある。この地方では数日を置いて20~30km以内にはほぼ同程度の地震が起ることが多い。このときの伸縮の変化の様子をFig. 3下図に示す。この場合も先と同じく東西方向は縮み、南北方向は伸びとなっている。鉛直成分の瞬間的な伸びは器械的なものと考えられ、おそらく地震後完全に回復したものであろう。なおこれらの2つの地震の震央を結ぶ線は、位置決定の誤差を考慮に入れても先の白浜沖地震の場合とほぼ直角な方向であることも興味深い。(Fig. 3上図参照)

以上を総合して一応の解釈を与えることにする。この南海道余震域内といわれる地方に発生する地震は、少なくとも1955年以後現在までの間では上に述べたやや深い3つの稍顕著地震だけを除いて他はすべて非常に整った4象限型の発震機構を示す。過去8年間このnodal lineを画きうるすべての地震についてその主圧力方向の平面分布をFig. 4上図

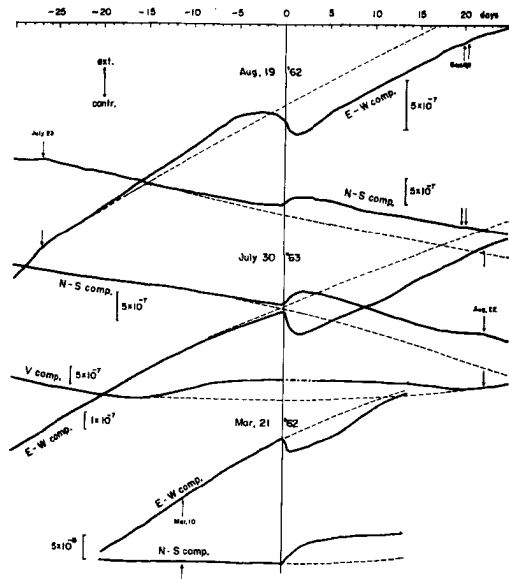


Fig. 2 Variations of ground-strain observed at Yura. Scale of abscissa means the elapsed time in days from each origin time for three major earthquakes

Table 2 Specifications of Earthquakes shown in Fig. 2

No.	Date	Magnitude	Epicenter		Depth	Epicentral Dist. Yura
			°N	°E		
1	July 23, 1962	4.4	33.8	135.0	40km	20km
2	Aug. 19,	5.0	33.7	135.3	40	30
3	Sept. 8,	4.5	33.8	135.1	30	15
4	9,	4.2	33.8	135.3	—	25
5	July 30, 1963	5.0	33.8	135.0	40	20
6	Aug. 22,	4.0	33.7	135.4	—	40
7	Mar. 10, 1962	4.0	33.7	135.0	0	25
8	21,	4.9	33.7	135.1	60	25

に示した。(資料は気象庁地震月報および大阪管区地震月報による。) 方向決定の誤差は $\pm 5^\circ$ 以下である。これによると1つの例外を除いて、すべて $N20^\circ E - S20^\circ W$ 、またはそれと直角方向に近く、主圧力の方向が大別して2種に分れる。このことは垂直分布を見ればなお明瞭である。Fig. 4 下図は $N20^\circ E - S20^\circ W$ の方向の断面に震央の位置を投影して深さによる主圧力方向の分布を示したものであるが、 $N20^\circ E$ 方向下りて地表面と $20^\circ \sim 30^\circ$ をなす平面により南下層・北上層2つの領域に区分され、北上層の地震は東西の圧力というよりむしろ南北の引張により、南下層は南北の圧縮によって起ったと考えるのが適当であろう。Fig. 4 下図では主圧力の方向との誤差を少なくするために $N20^\circ E$ の方向に断面を取ったが、初動分布から得られた主圧力の方向と Tectonic Force の方向は必ずしも一致しなくてもよいかから Tectonic Force の方向を考慮に入れるならば断面の方位はむしろほぼ南北にとるのが適当と思われる。この場合には境界面は紀伊水道の東側と西側とで位置がずれる傾向があり、西側が少し北に移動し傾斜角も 50° 位に増す。いずれにしても四国地方の地質構造はほぼ北下がりの Dip を持つことが知られているからこの地域におけるこの様な境界面は地質構造と矛盾はなくむしろ一致を示すものである。図に点線で示す様にこの南側にもう1つの境界面

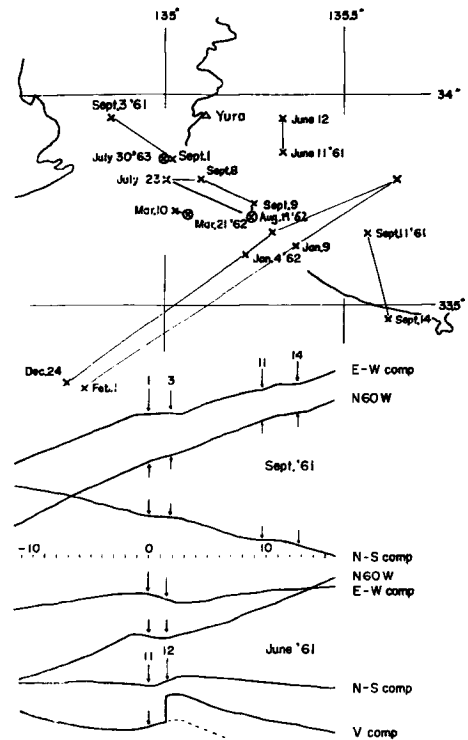


Fig. 3 Upper : Distribution of epicenters (Ref. Tables). The lines connecting two or more epicenters show a group of earthquakes
Lower : Typical variations of ground-strain accompanied with a couple of earthquakes

Table 3 Specifications of three couples of earthquakes shown in Fig. 3 (Lower)

No.	Date	Magnitude	Epicenter		Depth	Epicentral Dist. Yura
			$^\circ N$	$^\circ E$		
1	Sept. 1, 1961	4.5	33.9	135.0	0km	15km
1'	3,	4.0	34.0	134.9	40	25
2	11,	4.0	33.7	135.6	40	55
2'	14,	4.0	33.5	135.6	20	70
3	June 11, 1961	4.0	33.9	135.3	40	25
3'	12,	4.0	34.0	135.3	0	20

が存在するかも知れないが明らかではない。ただ◎で示した白浜沖地震が第2の境界面附近に発生しており他の地震の際と伸縮方向が逆になっていることに意味がありそうである。三角測量の再測による最近数10年間の水平移動の大約の方向と量を矢印で示した。由良から北の方は移動量の差は小さいが南に行くにしたが

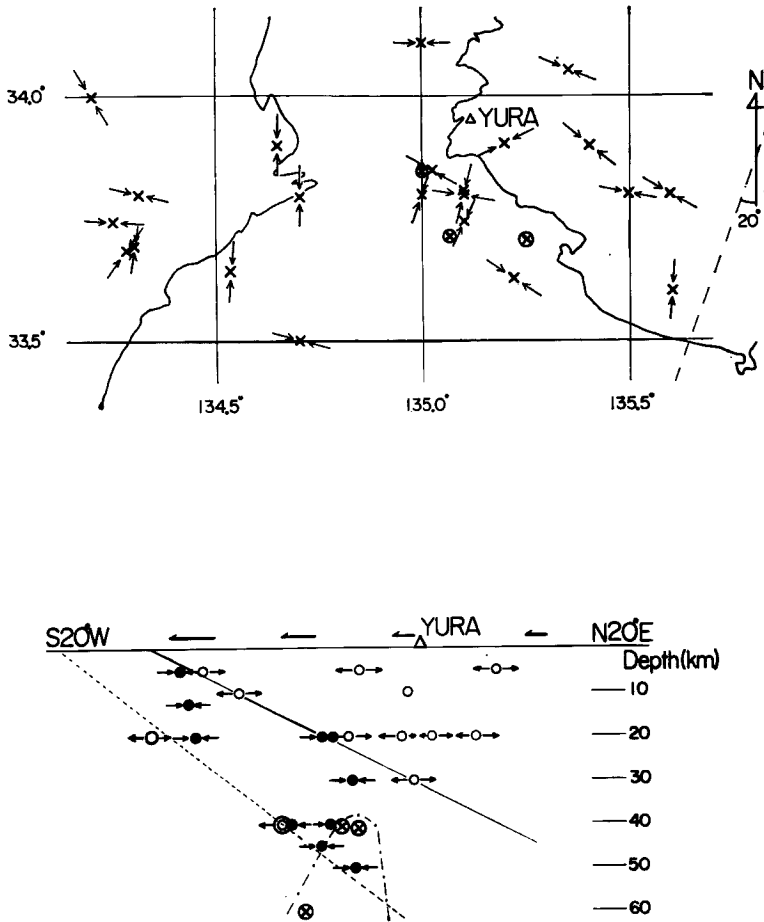


Fig. 4 Upper : Direction of maximum pressures for major earthquakes occurred during a period of 1955~1963

Lower : Vertical distribution of earthquake (the same to upper) hypocenters having maximum tension ○ and compression ● in azimuth of cross section respectively. ⊗ : Non-quadrant type

って大きくなっている。この運動が現在も継続しているか、逆転しているかはわからないが継続しておれば南または南々東の方向に伸びていることを意味し、北上層内の地震の発震機構と、地震後常に南北方向に伸びていることが説明できそうである。南下層内は北上層の南への移動により圧縮されたと思われる（さらに南にある層の Under thrust も考えられる）、この部分に発生する地震の初動分布は押し引きが逆になるが地殻変動上の効果は同じものとみられる。さらに白浜沖地震が特に大きく、しかも南下層内に起こりながら南北に引張る型であることからみて、これらの中小地震に対する反発または逆に白浜沖地震に対し他の小地震がこのひずみの回復のために発生したか、いずれが主であり従であるかは今後の判定にまたねばならないが、この地震の場合だけが南北方向に縮みであることの説明になると思われる。すなわち、この地域の地殻は地震のたびに縮み縮み伸び、縮み縮み伸びの傾向を繰返しつつ水平移動と昇降運動を行なっているので

はないかと想像される。さらに南方の南海地震の震央附近に Magnitude 6 程度の地震がかなり発生している。これらを総合して近く報告する予定である。

2. 越前岬沖地震

a) 1963年3月27日若狭湾北東部に Magnitude (M) 6.9 の顕著地震が発生した。気象庁によりこの地震は通称越前岬沖地震と呼ばれることになった。その規模は1961年8月19日の北美濃地震 (M = 7.2) にはおよばないが、1952年3月7日の大聖寺沖地震 (M = 6.8) を上まわるものである。余震活動はかなり活発で3月末までの5日間に総顕著2、その他の有感地震14(速報による)を数え、その後も5月初めまで微小地震が続いた模様である。余震域はほぼ南西に広がる楕円で余震域面積はおよそ650~700km²程度と推定される。本震の震央から北東90kmに尾小屋観測所、南々西50kmに上賀茂観測所、南西110kmに生野観測所がある。余震域での地殻変動が特に大きいものと考えれば、余震域の南西限から上賀茂および生野両観測所までの距離はそれぞれ70km、95kmとなる。(Fig. 5 参照)

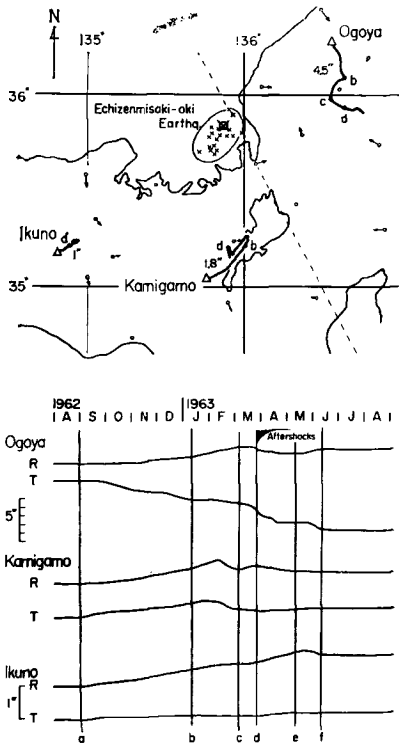


Fig. 5 Upper : Vector diagrams of anomalous tiltings observed at Ogoya, Kamigamo and Ikuno

Arrows : horizontal displacements for the latest several ten years

Broken line : discontinuous boundaries of horizontal displacements

Lower : Ground-tilting at each observation station in radial (R) and transversal (T) components to the epicenter of the Echizenmisaki-Oki Earthquake

この地震によると思われる異常傾斜変化は尾小屋においてはきわめて顕著であり、また上賀茂も地表面下10mの浅い観測室であるにもかかわらず一方的永年変化の少ないせい、かなり明瞭な異常を示しており、特に2月中旬頃から顕著な変動を行なっている。生野観測所は深さ180mの坑道内にあり、上賀茂、尾小屋に比べて非常に安定した観測室であるため、遠距離で傾動量が微量であるにもかかわらず同時期に同じ様な異常変動を示している。3観測所の異常傾斜変動の共通性を調べるためVector図をさらに震央方向(Rは震央方向下り)とそれに直角な方向(Tは震央に向い右側下り)に分解したのがFig. 5下図である。異常変動は3カ所とも1962年9月初旬から起っているが、変化の様子から見て大台ヶ原地震の場合と同様に地震前の変動を3つの段階に分けることができる。すなわち第1期(a)は1962年9月頃にはじまり、傾斜変動

量は単調に増加している。1963年1月にはじまる第2期〔b〕には尾小屋では震央方向に急増、生野では停滞、上賀茂では急増後反転している。直角方向の傾斜成分は第2期では変動が少ない様である。第3期〔c〕は地震発生の約半月前から、尾小屋では震央と逆方向に、上賀茂では震央方向に再逆転している。生野では第3期の様子は明瞭ではないが、第2期に入って震央方向に停滞していた傾斜変化が10日ほど前から再び変化速度を回復し、地震に到る。傾斜方向の変化は Fig. 5 上図の Vector 図において一層明瞭である。

第1報の北美濃地震の場合¹⁾にも述べたようにこれらの段階はひずみ Energy の蓄積、降伏点から破壊の開始の各段階を示すものと思われるが、ひずみの蓄積がいつから始まったかは明瞭ではない。しかし Vector 図からかなり顕著な事実が認められる。すなわち国土地理院の三角測量から得られた最近数10年間の水平移動量を Fig. 5 上図に矢印で示したが、中部地方の南部は北へ、北陸地方は南へ移動し、尾小屋の南方ではわい力の集中が行なわれている様である。北美濃地震はこの部分に発生している。また近畿地方北西部では南へ移動しているが、生野の東方から琵琶湖附近にかけては東方に移動し舞鶴では不動である。この傾向が現在でも続いているか或いは逆転しているかは不明であるが地震前第1期の異常傾斜方向が3観測所共この水平移動の方向と一致しているのは興味あることである。しかも第2期において尾小屋では震央方向に、上賀茂では震央と逆方向に傾斜し、生野では停滞（または反転）を行なっている。つまり第1期は広大な地域の緩慢な永年変化によるひずみ Energy 蓄積の最終段階または一期限であり、第2期はこれにより地殻内の弱い部分にわい力の集中が起ったためその集中心を中心とした異常変化であり、第3期はすでに降伏点に達したか、あるいは破壊の開始であると考えられる。地震後異常変化速度は減少するが、なお同じ変化傾向をたどり、ほぼ余震活動の終るまで続いているのは大聖寺沖地震、日向灘地震、北美濃地震の場合と同様である。（なお Fig. 5 下図の5月～6月間の尾小屋、生野の変動は他の地震による影響であることも考えられる。）しかも震央方向の第2期の傾動だけが回復しているのは興味ある点である。

b) 第1報においてすでに地震活動と傾斜変動の関係について示唆を与えておいたが、わずか2年間に北美濃地震と越前岬沖地震の2つの大地震が80kmの近距離に発生していることを考えれば、これら一連の地震活動と、この間の地殻変動の関係について総合的に報告しなければ、越前岬沖地震の際の地殻変動の全貌がつかめないで次にその概略を述べる。

越前岬沖地震の初動分布は北美濃地震の場合と非常によく似て共に複雑であるが、4象限型ではなく円錐型か、あるいはむしろ共に Crack type²⁾ と考えるのがもっとも簡明である。いづれにしろこの2つの地震の発震機構は同じようなものらしい。また余震域の拡がりも、同じ地方に起った福井地震、大聖寺沖地震ではほぼ南北に広がっていたのに反し北美濃地震、越前岬沖地震はともに西方または西南西の方向に広がっているのも意味がある様に思える。すなわち福井地震、大聖寺沖地震は象限型の初動分布を示し、ずれによって断層を生ずる型のものであり、少なくとも1951年～1959年8月間に地震は根尾谷断層から福井断層および大聖寺沖附近に集中しているのに反し、1959年9月以降は地震はむしろ尾小屋の南方、先の水平移動の集中心あたり、Fossa Magna 上の一点を要として南西から西南西に扇形に広がる地帯に発生している。しかも、この期間に発生した地震の初動分布は、明瞭ではないが少なくとも震央の近くではすべて引きの型（Cone-type または Crack-type）であり北美濃・越前岬沖地震の分布に似て圧縮または引張により発生し Shear によるものではないらしい。地震波動 energy の平方根がひずみに比例すると考えてこれを累積するとこの曲線は明らかに1959年9月頃に大きく折れ曲る。同時に尾小屋の S25°E すなわち水平移動の方向における一方的永年傾斜変化速度が急変している。これらの事柄は明らかにこの時期（1959年末）を境として2つの地震系列に分れるものであることを示している。この第2の系列を仮に北美濃地震系列とすると、この間の永年傾斜変化の Vector 図は Fig. 6 に示す通りである。またこの間に発生した地震を Table 4 に掲げた。Fig. 6 からわかる様に北美濃地震・越前岬沖地震はいずれも S25°E の方向の傾斜が頂点に達したときに発生している。なお、その間にも1962年3月から7月にかけて尾小屋附近に同系列の小地震が発生しているが、ここにも2つの頂点があることが認められる。しかも地震前後の S25°E - N25°W の方向の傾動変化は反復または階段状の変動を行ないながら、次第に収斂している様である。北美濃地震・越前岬沖地震の半年あるい

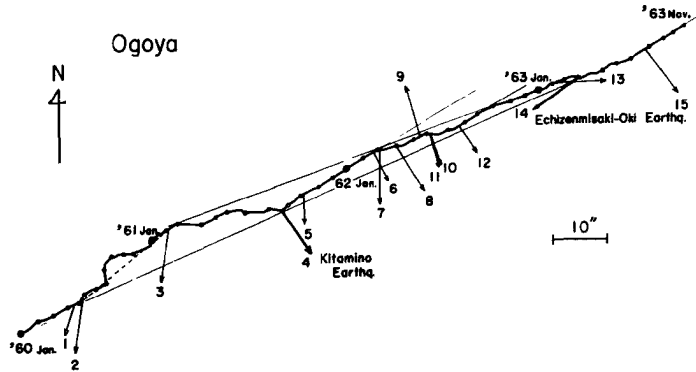


Fig. 6 Vector diagram of secular change of ground-tilt observed at Ogoya.
Arrows show the time of occurrence of earthquake and direction of the epicenter

Table 4 Major earthquakes (Jan., 1960~Oct., 1963)
within 100km distance from Ogoya

No.	Date	Magnitude	Epicenter		Depth	Epicentral Distance
			°N	°E		
1	Apr. 18, 1960	4.0	35.9	136.4	20km	45km
2	May 16,	4.2	35.5	136.4	0-10	85
3	Feb. 11, 1961	4.2	35.5	136.4	40	90
4*	Aug. 19,	7.2	36.0	136.8	0	35
5	Oct. 7,	4.0	36.1	136.6	20	20
6	Feb. 25, 1962	4.0	36.0	136.8	0	40
7	Mar. 5,	4.4	35.7	136.6	20	70
8	Apr. 1,	4.3	35.6	137.1	20	85
9	May 11,	4.8	36.7	136.4	0	45
10	June 4,	4.0	35.9	136.7	0	40
11	〃 4,	4.0	35.9	136.7	20	40
12	July 19,	4.0	36.0	136.8	0	35
13	Feb. 9, 1963	4.2	36.3	137.7	10	100
14**	Mar. 27,	6.9	35.8	135.8	0	90
15	July 24,	4.2	35.8	137.0	20	70

* Kitamino Earthq., ** Echizenmisaki-Oki Earthq.,
their aftershocks were omitted.

は数カ月前からの傾斜変動はこの see-saw 運動の一部であると考えられる。ただこの see-saw 運動が回復性のものか、地震のたびに永久変動として残っているのかはこの地震系列が完全に終了し次の系列が始まるまでわからない。これらの事実については別の機会に詳しく述べる予定である。

結 語

第2報の内容を要約すれば次の通りである。(1) 由良から距離35kmに発生した白浜沖地震をはじめ、

20~30km 以内に起ったその他の3つの稍顕著地震（いずれも $M=5.0$ 深さ 40~60 km）の際に、由良の伸縮計により今までに類を見ないくらい顕著な異常変化が観測された。この変化が地震による地殻変動であるということは疑い余地の全くないもので、現在の観測設備をもってすれば、今後資料を重ねることはあってもこれ以上明瞭なものは望み得ないとさえ考えられる。今後は資料を累積することにより、この変動の様式を詳しく分析する予定である。なお最近の2年間に特に顕著な4例を得たのは由良の南方 30km 以内に $M=5$ 以上の地震が頻発したため、観測条件が変わったのではないことを付言しておく。（2）断層の生ずる時間や地震と同時にきわめて短時間に起こる大変動の生起する時間については、1、2の体験例と、少数の検潮記録の例しかなかったが、今回白浜沖地震に際し伸縮計の南北成分が数分以内に 2×10^{-7} 程度の縮みひずみを示し、さらに地震後約2時間にわたってほぼ等量の同じ縮みの変化を続けたことは、この問題に1つの新しい資料を提供し得たと思う。また、その後の変化の様子が Elastic memory の現象の際の回復曲線と全く同じであることも興味深い。（3）以上の外に数例を加えて、これらの伸縮変化は、紀伊半島の一連の地殻変動、おそらくは南海道の大地震による紀伊半島や室戸岬の昇降運動および水平移動と密接な関係にあると思われるが、中小規模の地震のたびに南北に伸びの変化を示し、少し南寄りに発生するやや大きい規模の地震で逆に南北方向に幾分縮みを回復する。この様な運動を繰返しながら、次の南海道の地震に到るのではないかということが発震機構や測量による地殻運動の様子や地質の構造線の方向などを参考資料として推定できそうである。ただ由良観測所の伸縮計の年変化の振幅が 10^{-6} の order であるから、なお精密な解析を行わなければ長期間の変動様式は伸縮計の記録からはわからない。（4）越前岬沖、白浜沖両地震前後の傾斜変化にはかなり一般性のある変動形式が認められた。すなわち大台ヶ原地震の場合¹⁾と同様に地震前の異常な傾斜変動は3つの段階に分けることができる。第1期はやや単調な変化でその傾斜方向は地殻の長期間の水平移動の方向と一致している。第2期は2~3カ月前から震央方向または震央と反対の方向に傾斜する。第3期は地震直前半月以内くらいから再び反転するか傾斜変化速度を急増する。これらの時期や量については地震の性質や震央距離によってそれぞれ異なるものであろうが、第1期はひずみ energy が広範囲にわたって相当に蓄積されてきたことを示し、第2期はひずみがある地点に集中してきたことを示し、第3期はすでにこの部分の岩石が降伏点に達しさらに小破壊が発生しはじめたことを示すのではないかと想像される。

しかし、これらの解釈についてはなお資料不足のため想像の域を出ないものもあり、また地震発生後日も浅いので、これが回復性のものなのか、塑性変形であるかも決定できない。また測量と違って必ず器械設置場所個々の一方的変動が含まれているので、地震のたびに一方向に傾斜し、あるいは伸びているといっても地震前後以外の長期間には緩慢な逆向きの変動を行なっているかも知れない。この問題は今後の測量の反復と合わせなければその絶対的な動きはわからない。

なお、今後も大地震発生のために続報を発表する予定であるが、この種の報告は長期間の変動の一部を取上げている以上、速報的性格を含むものであることを申し添えておきたい。

終りに、観測上また資料解析上にあらゆる御便宜を与えて頂いた地殻変動部門主任一戸時雄教授にこの機会に謝辞を申し述べたい。また由良観測所の運営に最大努力を払っておられる新屋兼次郎氏をはじめとして各観測所で直接記録取替、器械調整に当たっておられる方々の日頃の御尽力に感謝すると同時に、観測に、あるいは資料解析に直接あたっている小林誠、山田勝両君および長谷川久丹子、松村律子両嬢に改めて謝意を表する次第である。

なお、1962年3月以降の地震資料は気象庁地震課並びに大阪管区気象台の御好意により月報発行前に特に提供いただいたものである。

— 以上 —

参 考 文 献

- 1) Nishimura E., Tanaka Y. and Tanaka T. : On Anomalous Crustal Deformation Observed before Some Recent Earthquakes (Part I), Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Annuals, No.

- 5A, 1962, pp. 28-43.
- 2) Nishimura E. and Tanaka Y. : On Peculiar Mode of Secular Ground-Tilting Connected with a Sequence of Earthquakes in Some Restricted Areas, Geophysical Papers Dedicated TO PROF. KENZO SASSA, 1963, pp. 365-378.
 - 3) Sawamura T. : Relation Between the Activities of the Outer Earthquake Zone in South-western Japan and the Geologic Structure and Crustal movements of Shikoku and its Vicinity, Research Reports of The Kōchi Univ., Vol. 2, No. 15, 1953, pp. 1-46.
 - 4) Inoue E. : Land Deformation in Japan, Bull. Geograph. Survey Inst., Vol. 6, Parts 2-3, 1960, pp. 73-133.
 - 5) Nakano S. : The Crustal Deformation due to the Source of Crack Type (1), Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull. No. 62, 1963, pp. 1-44.