

地震活動に関係した地殻変動(4)

—中部地方北西部の地震活動と尾小屋で観測された地殻変動—

田中 豊・加藤 正明・小泉 誠

CRUSTAL MOVEMENTS RELATED TO THE SEISMIC ACTIVITY IN RESTRICTED AREA (4)

—RELATION BETWEEN THE SEISMIC ACTIVITY
IN THE NORTHWESTERN PART OF THE CHŪBU DISTRICT
AND THE CRUSTAL MOVEMENTS OBSERVED
AT THE OGOYA STATION—

By *Yutaka* TANAKA, *Masaaki* KATO and *Makoto* KOIZUMI

Synopsis

Continuous observations of crustal movements have been made with tiltmeters at the Ogoya observation station since 1948.

The analysis of the observation for a long period suggests that the mean rate of ground tilts at Ogoya changed in the middle of 1959 coincidentally with the alternation of shallow earthquake sequence in the Chūbu district. The earthquakes of preceding sequence occurred in the zone of the Neodani-Fukui faulting system (*A*-region) and had the mechanism of quadrant type. On the other hand, the earthquakes of the following sequence had that of cone type or quadrant type with null vector inclined to the earth's surface and their generating area spread over the Hida-Kitamino province (*B*-region) from the *A*-region.

The most remarkable changes in the mean rate of the ground tilts appear in the direction of N25°W. This direction is almost same to that of compressional axis of shallow earthquakes and minimum principal axis calculated from the results of the retriangulation in the northwestern part of the Chūbu district. Further, these seismo-tectonical axes seem to coincide with the compressional axis presumed from the geological and morphological evidences in the district.

Besides, it is conceivable that the peculiar mode of ground tiltings related to the individual earthquakes appear principally in this direction and varies according to the alternation of earthquake sequences.

1. 緒 言

尾小屋で観測された傾斜変動については、大聖寺沖地震¹⁾²⁾³⁾、北美濃地震³⁾⁴⁾、越前岬沖地震⁵⁾などの発生に際して、異常変化が認められるつど報告され、また中部地方北西部の地震活動と尾小屋の経年的傾斜変動の関係もすでに一部発表されている⁶⁾。しかし福井地震発生を機に設置されて以来20年にわたる長期の観測結果を、尾小屋を中心にまとめたものはまだない。今回過去の観測と研究の結果を総合的に整理してその成果を再検討し、今後の研究の参考資料とするため、細倉、伊豆長岡、鳥取の報告について第4報として尾小屋観測室をとりあげることにした。

観測室は尾小屋鉾山の坑道にあるが、1957年に主観測室は別坑道に移されている。また水銀傾斜計を坑内4地点に設置して比較観測が行われたこともある。そのいずれの場合も坑道が異なれば観測された永年変化

の方向や量というものはほとんど一致しない。これは局所的な地質構造の複雑性や坑道の変形などを考えればむしろ当然のことであり、傾斜変化の観測値をそのままその付近の地盤全体の運動であると考えすることは誤りであって、地震との関係を調べる場合、むしろ一方的な傾斜変化の速度のvariety方に注目すべきである。地殻の深い部分に起因するような何らかの変動があれば、その情報は必ず上への地盤に伝えられるはずであり、深ければそれだけ広範囲に一律な影響を与えるであろう。また、たとえ原因が深いところであっても、傾斜変化というものは地表面近くの2次的な変形が主であって、その量や方向は多くの場合地質構造や地形の影響を受け、ある観測点での傾斜率が広範囲にわたって同じであるとは考えられない。同じ力が加わっても隣りのBlockでは逆方向に傾くこともありうるわけである。それ故、観測結果の解析にさいしては傾斜変化速度のvariety方に注目し、それがどのような原因によるかということをお先ず考えたい。この論文はそのような観点に立ってまとめたものである。

2. 尾小屋観測室の沿革と観測経過

1948年6月28日に起った福井大地震は、死者3,895人、全半潰焼失家屋合せて5万戸におよび、magnitudeは7.2で、その1年前に起ったmagnitude 8.1の南海道大地震に較べて地震の規模は小さいが、内陸に震央があるため、死者は3倍、家屋の損害は1.3倍にも達した。地震の数日後の同年7月初め、福井地震研究特別委員会が設けられ、国内の11の研究機関が協力して、20余りの調査項目について綿密な調査研究を行うことになった。このうち福井地震に伴う地殻変動の連続観測は、福井の周辺3カ所で行われることに決った。

東京大学地震研究所(萩原尊礼, 力武常次, 笠原慶一, 山田重平)は、福井市の東方約8kmの北郷村坂東島鉦山の廢坑に水管傾斜計と水晶管伸縮計を設置して7月8日から観測を開始し、京都大学地球物理学教室(西村英一, 一戸時雄, 細山謙之輔)は、石川県尾小屋鉦山、福井県牧谷鉦山の2カ所に、それぞれ傾斜計2成分、伸縮計1成分、磁気偏角計1台を設置し、尾小屋は7月19日から牧谷では8月3日から観測が開始された。この観測の結果は福井地震調査速報ならびにReport of the Special Committee for the Study of the Fukui Earthquake²⁾に掲載されている。同時に京都大学上賀茂地学観測所と同逢坂山観測所における福井地震前後の地殻の歪、傾斜の観測結果もまとめられている(小沢泉夫)。福井周辺での観測は主と

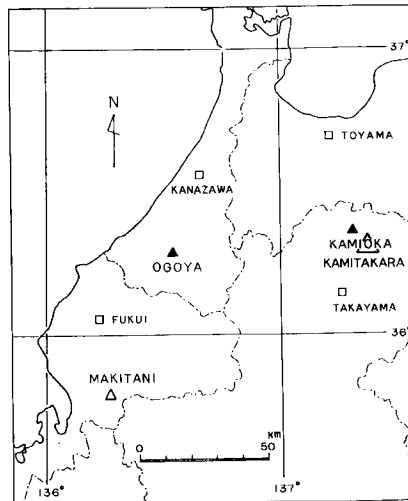


Fig. 1 Location of the observation stations (▲) for crustal movements in the northwestern part of the Chubu district

して余震活動と地殻変動の関係を調べるために行われたもので、坂東島の観測は同年8月31日まで、牧谷では同年11月末で観測は中止され、尾小屋だけは翌1949年12月まで1年半にわたって続けられた。これが北陸地方の地殻変動連続観測の最初である。尾小屋の観測は翌1950年一時的に再開されたが10月再び中止され、1951年7月に同じ観測室に器械台などを整備して長期観測の態勢に入った。同鉱山の観測室は、当時の日本鉱業株式会社尾小屋鉱業所の坑道にあり、以後1955年まで細山謙之輔（現水沢緯度観測所）が故西村英一教授の指導の下に観測を担当し、観測の記録取替は尾小屋鉱業所地質課探査係の御厚意により継続されていた。その間1952年4月から1953年8月にかけて坑内4カ所に水銀傾斜計を設置し、同一深度で坑道が異なる場合の土地傾動の差異について観測がなされ、また1954年9月から1カ月余りの間4組の防災研P₁型携帯用傾斜計を同一坑内の合計9点に逐次移設して坑道の変形がどのように観測に影響を与えるかを調べる試みや、同じ観測室または器械台にさらに1組の水平振り型傾斜計を併設して比較観測を行なうなど（1953年11月～1954年10月）、各種の実験的な研究がなされている⁸⁾。しかし1955年3月、事情により6番坑での観測は中止されることになった。1956年には7番坑の新観測室（元火薬庫）に新しい器械台が設けられ、1957年4月12日観測は再開された。この時期までの観測は主として地球物理学教室の手で行われていたが、1955年以後は防災研究所「地殻構造および変動観測特別事業」の一部として観測は防災研究所の手に移され、1958年防災研究所に地かく変動部門が増設されて、観測はこの部門が担当することになった。1962年尾小屋鉱山は北陸鉱山株式会社に継承され、1964年10月1日観測室は正式に尾小屋地殻変動観測室として北陸鉱山株式会社と貸借契約を結び現在に到っている。記録取替は現在北陸鉱山株式会社探査係員の手で行われており、観測は近年ますます好調のうちに継続されている。

3. 観測室・観測器械・観測精度

観測室の位置、観測器械の種類と感度は **Table 1**, **Table 2** に示すとおりである。

Fig. 2 は、尾小屋銅山（北陸鉱山株式会社）倉谷坑の6番坑、7番坑および本舗坑の主要坑道と、尾小屋の観測開始以来現在までの観測室の位置を示したものである。

1955年までの観測室は地表面下260mで、もちろん何らの気象影響も認められなかったが、坑道の変形と考えられる一方的な見かけの傾斜運動は年間50"を越えていた。現在の観測室は倉谷坑の7番坑道にあり、地表面下110mで気象影響は皆無であるが、なお坑道の変形と思われる直線的な drift が年間25"に達する。そのため器械の感度を十分に高めることができず、かなり低感度で使用されている。**Fig. 3** は現在の観測室（旧火薬庫）付近の坑道と計器の配置状況である。また最近の傾斜計による記録例を **Photo. 1** に示す。

観測結果として一方的な変化は大きいですが、かなり直線的であるため異常変化を見出すことはきわめて容易であって、この点気象影響の大きな浅い坑道に較べれば条件は良いと言えよう。ただ変化量が大きいので感

Table 1 Position of observational rooms

	Latitude	Longitude	Height	Depth	Geol.	Epoch of obs.
OGOYA I (Level 6-Kurataniko)	36°17'51"N	136°33'19"E	220 m	260 m	Tertiary tuff-breccia	July, 1948~ Mar., 1955
OGOYA I' (Honpoko-Kurataniko)	36°17'56"N	136°33'04"E	230 m	280 m	Tertiary fine grained tuff	Apr., 1952~ Aug. 1953
OGOYA I'' (Level 6-Kurataniko)	36°17'59"N	136°32'57"E	220 m	240 m	Tertiary fine grained tuff	July, 1952~ Aug., 1953
OGAYA II (Level 7-Kurataniko)	36°18'09"N	136°32'56"E	160 m	110 m	Tertiary fine grained tuff	Apr., 1957~ Present

Table 2 Sensitivity of instruments (OGOYA)

	Instrument	Direc. obs.	Sensitivity	Opt. dist.	Period	Epoch obs.	
I	Super-invar tiltmeter of horizontal pendulum type	N-S	0.06"/mm	170 cm	15 sec	July, 1948~ Mar., 1955*	
		E-W	0.06"/mm	170 cm	15s ec		
	Extensometer of Sassa type (Super-invar wire)	N48°W	1.2×10^{-8} /mm	200 cm	length: 20m	July, 1948~ Oct., 1949	
	Variometer of magnetic declination		0.5'/mm	300 cm		July, 1948~ Sep., 1954*	
	Super-invar tiltmeter of horizontal pendulum type	N-S	0.06"/mm	170 cm	15 sec	Nov., 1953~ Sep., 1954	
		E-W	0.06"/mm	170 cm	15 sec		
	Portable tiltmeter (P_1)	Observations were made with four sets of P_1 at several points in the observational room.				Sep., 1954~ Oct., 1954	
	Mercury tiltmeter**	(4)	N-S	0.45"/mm			Sep., 1951~ Mar., 1955
			E-W	0.47"/mm			
		(3)	N-S	0.34"/mm			Apr., 1952~ Aug., 1953
E-W			0.32"/mm				
I'	(2)	N-S	0.39"/mm			Apr., 1952~ Aug., 1953	
		E-W	0.52"/mm				
I''	(1)	N-S	0.45"/mm			July, 1952~ Aug., 1953	
		E-W	0.45"/mm				
II	Super-invar tiltmeter of horizontal pendulum type	N-S	0.05"/mm	180 cm	17 sec	Apr., 1957~ Present	
		E-W	0.05"/mm	180 cm	17 sec		

* Observations were interrupted during the period from Oct., 1950 to Sep., 1951.

** Ref. Fig. 6.

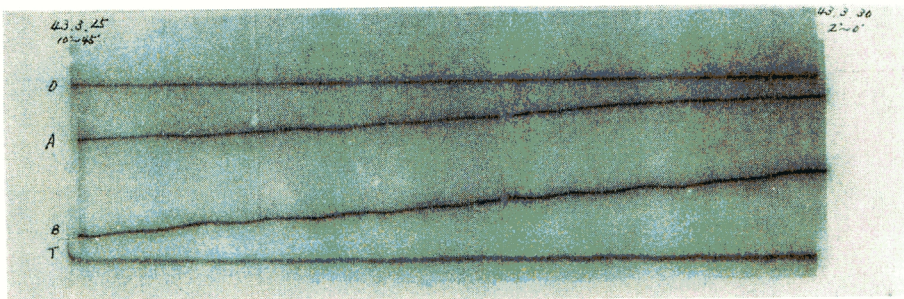


Photo. 1 Record of ground tilts observed at Ogoya

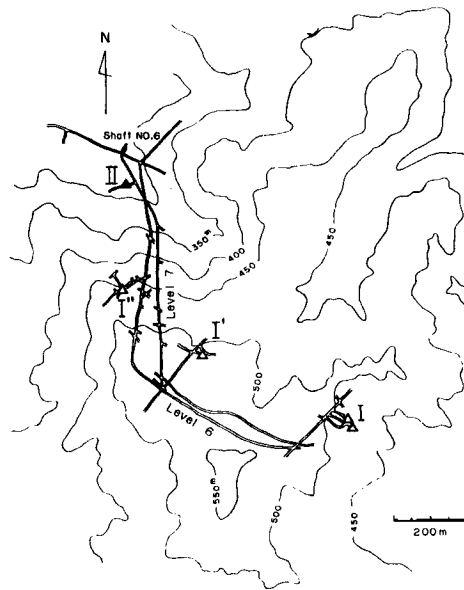


Fig. 2 Topographic map and main adit of the Ogoya mine, and position of the observational rooms

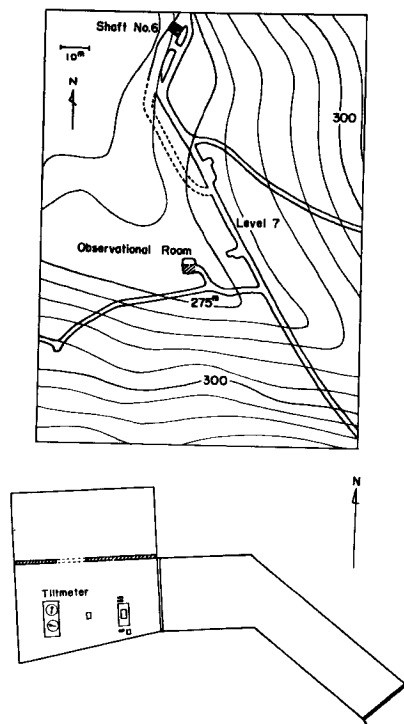


Fig. 3 Observational room and arrangement of observational instruments at present

度が上げられず、したがって精度も細倉に較べて少し悪くなる。だが観測が優秀なために記録そのものの信頼度というものは高い。第1報⁹⁾以来記している観測精度は数字の上でやや落ちるが、これは計器の感度が低いからである。傾斜計両成分とも現在の観測精度は、

$$0.05''/\text{day}, \quad 0.2''/\text{week}, \quad 0.4''/\text{month}, \quad 3''/\text{year}$$

程度である。器械の安定度は良いので、いずれ大きな記録装置と取り替えて感度を上げるようにする予定である。なお現在の記録紙巾は 88 mm, 送り速度は 1.8 mm/hour である。

1957年以後も尾小屋の観測はきわめて順調であって、欠測もなく記録の解析も容易で理想的な状態であるが、多少なりとも問題があるとすれば、感度が低いということよりもむしろ観測室が主要堅坑や幹線坑道付近にあるため、鉱内作業の必要上、鉱員休憩室の拡張工事(1959年2月, 距離 10 m, 29 m³, 75 t)や坑内車用坑道の切替工事(1966年5月, 距離 20 m)などが行われることがあるという点で、その影響があらわれるのは止むを得ぬことである。このような場合や近くで発破があるときは鉱山側から連絡があり、異常変化の検出に支障はない。

Fig. 4 の1959年と1966年の南北成分にあらわれた異常はこの工事によるものであり、1963年3月末の異常は南北成分が切断しその後原因不明の計器の不調が続いたためである。

4. 尾小屋で観測された土地傾斜の永年変化

Fig. 4 は1948年観測開始以来現在までの観測結果を示したものである。先へのべたように、1957年には観測室を7番坑に移している。この図は縮小度が大きいので、異常変化が明瞭に現われているのは1952年3月の大聖寺沖地震と1957年の福井県中部の地震だけであるが、坑道の変形がきわめてなだらかな曲線をたどっていることがわかるであろう。

Fig. 5 は旧観測室と新観測室の観測結果を Vector 図に示したもので、1959年の坑内工事による異常分だけは取り除いてある。または、Fig. 6 は先へのべた水銀傾斜計による4観測点の永年傾動の比較である。細山⁹⁾は、「観測点(1)と(2)および(3)と(4)は割合よく似た傾動を示しているが、相互には大変異った傾動を示している」とし、図に見られる斜線部分が別の地層であるため、地質構造が原因ではないかと述べている。旧観測室は(4)の観測点と同じ場所であり、水平振子型傾斜計の傾動も水銀傾斜計の結果と方向的にも等しい。しかしながら新観測室は(1),(2)と同じ地層にありながら Vector の方向は

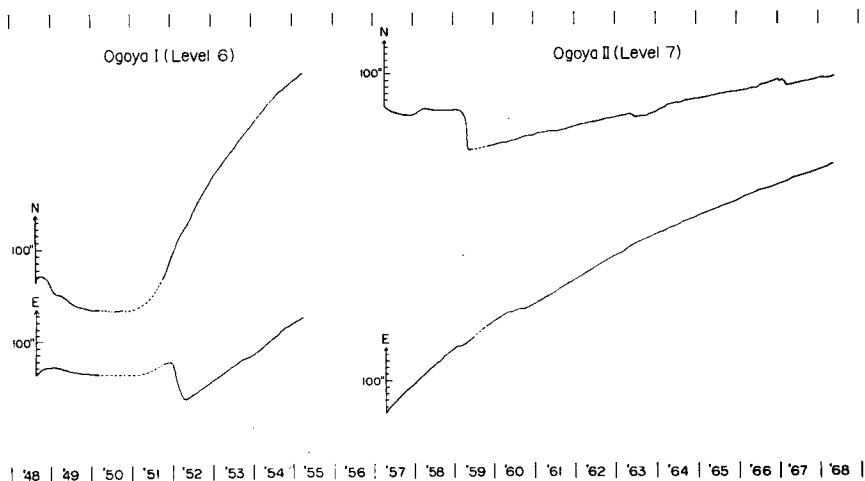


Fig. 4 Secular ground tilts observed at Ogoya

全く異なる。ただし新観測室は（１）の観測点より 60 m 下の level にあり、（２）の観測点は（１）より 10 m 上の level にある。坑道の高度差による傾斜変化方向の違いは考えるのが難しく、むしろ坑道そのもの固有の変形であると考えた方が良いと思う。それ故緒言にも述べたように、観測された永年変化そのものを地殻物理的諸現象と結びつけて議論することは全く無意味であって、傾斜速度の変化だけに留意すべきだと考えられる。傾斜速度を問題とするならば、ある観測されたものに一定の傾斜変化速度のものを加減しても構わないわけで、2 つの観測点でのそれぞれの平均傾斜速度を求めてその差を一方に加えることにより異なった観測点の 2 つの時期の Vector をつなぐことができる。この Vector 図を再びいろいろな方向の傾斜成分に分解すると、異常変動が顕著にあらわれる方向とあらわれない方向のあることがわかる。その方向の成分を図示したのが Fig. 7 である。

5. 尾小屋における異常変動の方向性

1952年の大聖寺沖地震³⁾の時、約3カ月前から尾小屋ではほぼ余震域の中心に向う方向に異常な傾斜変化があり、その方位は $N70^{\circ}W$ であった。1961年の北美濃地震³⁾では5カ月前からほぼ震央の方向に異常傾斜変化が起り、その方位は $S40^{\circ}E$ であった。1963年の越前岬沖地震⁵⁾の6カ月ほど前にもやはり異常変化が生じた。しかしその方位はやはり $S30^{\circ}E$ で、震央とは直角な方向を示していた。異常変化が起った方向というものは、こうしてみると3つの場合いずれもおよそ北西—南東に近い方向であることがわかる。たまたま震央がその方向にあったために、大聖寺沖地震、北美濃地震の場合、一見震央方向に傾斜したと思われただけではなかろうか。つまり観測所個々の、異常変化が顕著にあらわれる特定の方向があると考えても良いであろう。すなわち、観測点が震央にきわめて近く、塑性変形を起すような場合、傾斜変動も発震機構と

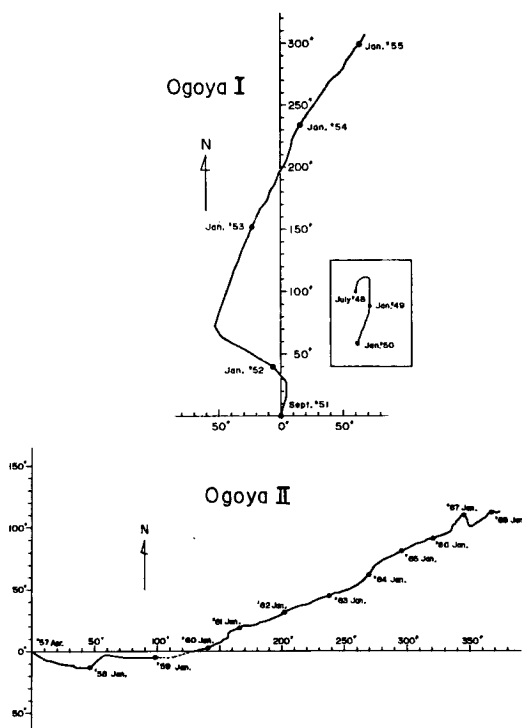
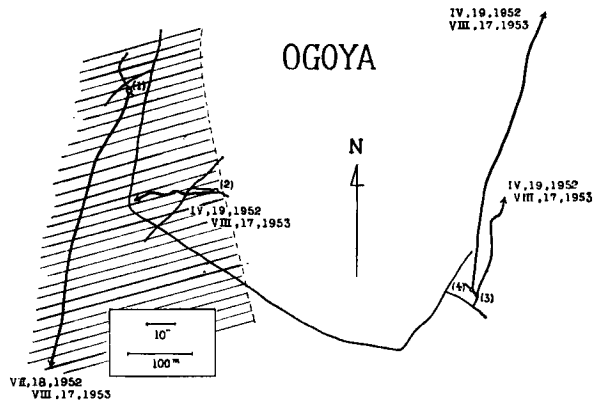


Fig. 5 Vector diagram of ground tilts observed at Ogoya I (Upper) and II (Lower)



(1), (2), (3) and (4) are the number of mercury tiltmeters respectively, and the dotted line indicates a boundary of two layers.

Fig. 6 Secular tilting motions of the ground observed with the mercury tiltmeters (after Hosoyama)

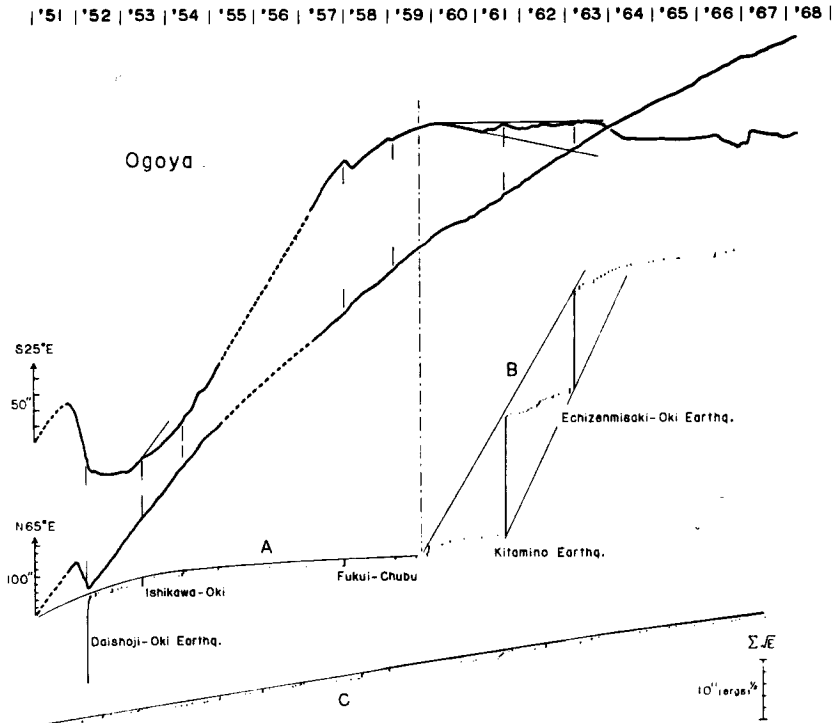


Fig. 7 Secular ground tilts in the S25°E and the N65°E directions at Ogoya, and modes of energy release for shallow earthquake sequence A, B and C

十分関係の深い方向性を示すであろうし、地震の直前直後震央付近の破壊に直接関係のある時期には、かなり遠方でも、傾斜変化は震央方向を向くかあるいは逆方向をむく可能性がある。しかしながら観測点が塑性変形の領域外にあるときは、歪の集中とは無関係に、むしろそのような歪の集中を起させるような力の方向すなわち Tectonic Force の働く方向に異常変化が起るであろうし、観測点がこのような歪の集中領域にあ

るような確率はむしろ少ないのであるから異常変化の大部分はこのような力の働き続けている方向に起り、しかもこのような力というものは短期間にそう変動するものではないから、結局はある観測点には異常変化の出やすい特有の方向というものがあるであろう。すでに解析を行った結果では、九州の楨峰観測室では南 30°ないし60°西の方向、紀伊半島の由良観測室ではほぼ南北方向、宮城県細倉観測室ではほぼ東西の方向であり、由良⁵⁾、細倉⁹⁾は Tectonic Force の働いていると考えられる方向と一致しているし、楨峰⁶⁾は Median line の方向ないし日向灘の海岸線に沿う方向にあたり、十分に意味のある方向である。尾小屋で観測された傾斜 Vector も、8 方向の成分に分解したところ予想通り S25°E の方向の成分にきわめて顕著な異常変化があらわれ、それに対しそれと直角方向の N65°E の方向には大聖寺沖地震時をのぞいてほとんど直線的な動きしかあらわれていないことがわかった。この結果は、この方向そのものが器械を設置した方向ではないために、この異常変化が決して器械的なものではないということを証明し、観測の信頼度を一層高めるものであると考えられる (Fig. 7 参照)。

6. 中部地方北西部の地震活動

Fig. 7 の下に中部地方北西部を A, B, C の3地域に分け (Fig. 8 参照), それぞれの地域について地震の energy の平方根が歪に比例するものとして, \sqrt{E} の値を累積したものを併示した。ただし後にのべる

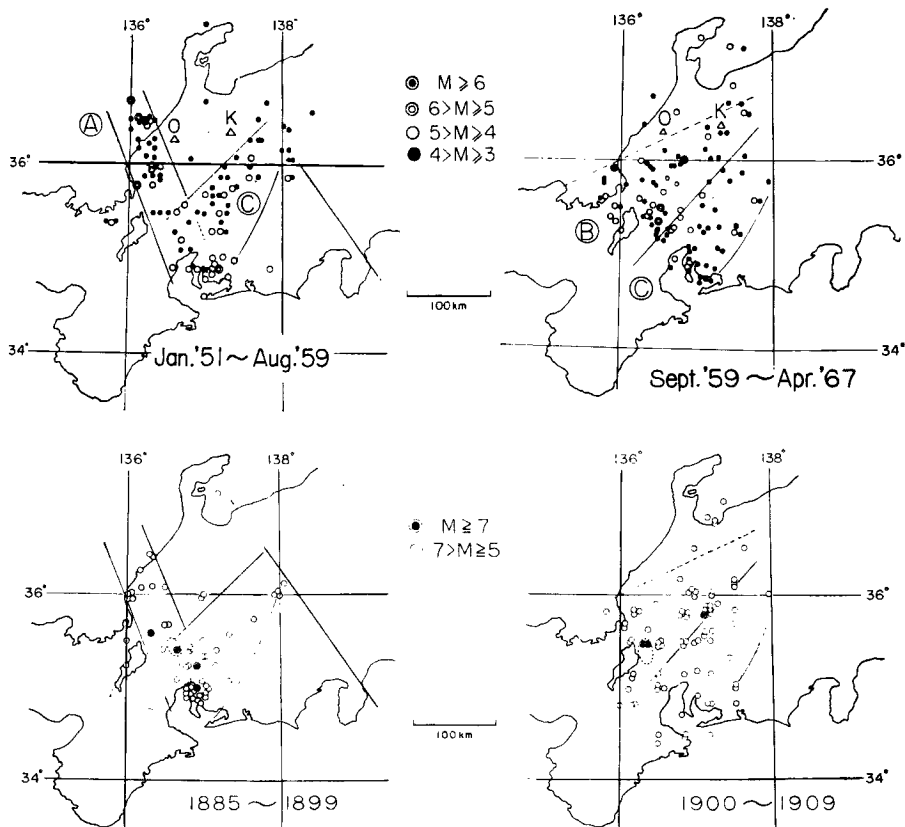


Fig. 8 Distribution of epicenters in the Chūbu district for two different periods of seismic activities
Upper: 1951~1967, Lower: 1855~1909

ように、A、B は領域が重なっているので、一先づ A、B 領域を一つにして累積したものである。資料は気象庁および気象協会地震月報を用いた。

Fig. 7 に明らかなように、C 地域での歪 energy の放出はほとんど同じ率で行われており、その上距離も遠いので、この地域に発生する地震は、尾小屋の観測には何らの影響も与えないと考えてよいであろう。

さて、A、B 地域の歪 energy の放出状況を見ると、1959年8月末（あるいは1961年中期）をもって一応大きく変っているように見える。そこで1951年1月から1967年4月末までの間に中部地方北西部に発生した地震の震央分布を1959年8月末をもって前期と後期に分けて2つの図に示したのが Fig. 8 上図である。ここで極めて明瞭なことは、1959年8月以前の地震の震央は、根尾谷福井断層系付近に集中して飛騨地方にはほとんど発生していないにもかかわらず、1959年9月以降は震央が飛騨地方にまで広がっていることである。1961年以降地震月報の記載方法が変って、多少小さい地震が増えた傾向にあるが、大勢に影響はない。また、期間は前期が8年8カ月、後期が7年8カ月で、その差も1年だけであって、この傾向は疑いのないものであろう。とくに、後期でも根尾谷周辺には地震が発生していて、これを B 系列に入れることに疑問があるかも知れない。しかし後期には、越前岬よりも北には地震が全く発生していないという事実と発震機構を考慮して、A 領域に発生した地震でも、後期には B 系列に入れることにした。

Fig. 9 の左上図は、1959年8月以前 (A 系列) の地震のうち、大聖寺沖地震を除いた12個の比較的大きな地震の押し引き分布を、方位を同じくして重ね合わせたものである。F-series としたのは、energy の放出状況から見て、A 地震系列は少なくとも、福井地震から始まると考えられるからである。

右上図は B 系列の地震のうち北美濃地震と越前岬沖地震を除いた15個の地震の押し引きを重ね合わせたものである。福井 (A) 系列の場合、北西側が海になる場合が多いので、この部分の分布は明瞭ではないが、一応 null vector が鉛直に近い四象限型であると考えてよかろう。それに対して、北美濃 (B) 系列は、2つ

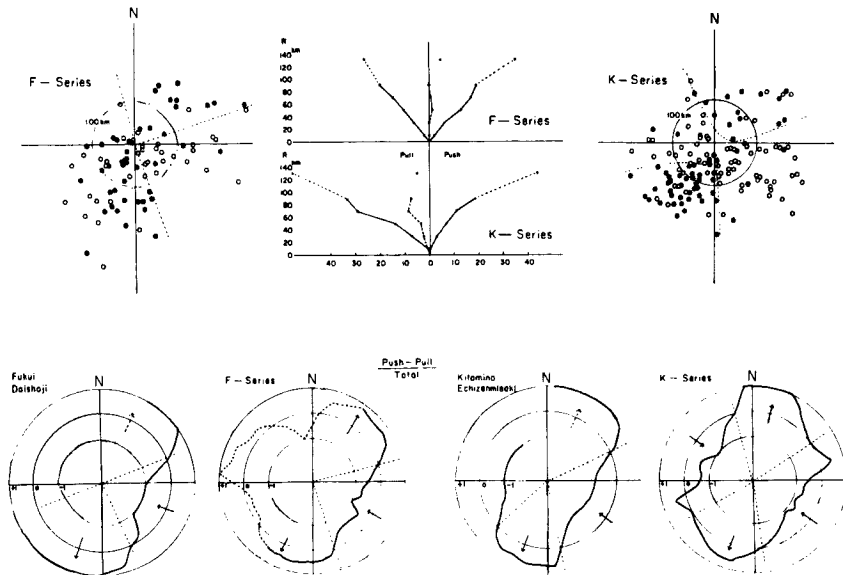


Fig. 9 Upper right and left: push-pull distribution of initial motions in earthquakes of K-series and that of F-series
 Upper Middle: Difference in numbers of push and pull according to the epicentral distances between the two earthquake series
 Lower: Directional differences in the ratio push-pull to total

の nodal line を90°の角をもって引くことは先づ不可能で、点線で画いたような双曲線に近い型となる。上中図は、震央から 100 km 以内の押しの数と引きの数とその差を 20 km 間隔でとったもので、100 km 以内に限ったのは、日本海伊勢湾の海域が含まれて分布が片寄るからである。しかしむしろ、分布の片寄る可能性のない B 系列の方が、圧倒的に引きが多い。すなわち、100 km 以内で引きの数が多いということは、発震機構が円錐型であるか、象限型であるとしても、null vector が A 系列の場合よりかなり傾いていることを示唆するものであろう。

下段の図は、震央を中心として30°の角をなす領域内の押し引きの割合を、方位別にあらわしたもので、領域は10°ずつずらせて重ねてある。それ故、nodal line の付近では、本来は1から-1にとぶはずであるが、10°ずつ重ね合わせてあるのでなだらかな形になっている。

下左端は、福井地震と大聖寺地震を重ねたもので、2番目は左上図と同じもの、3番目は北美濃地震と越前岬沖地震を重ねたものであるが、この場合だけ、越前岬沖地震の初動分布を南北を対称軸として東西を入れかえてある。これは両地震の押し引き分布の型が非常によく似ていて、ただ震央を通る経線を軸にして裏返しにすれば完全に一致することに気付いたからである。右端は、右上図と同じものである。この4つの図を比べると、福井大聖寺沖地震の系列と、北美濃越前岬沖地震の系列の差がきわめてはっきりと表現される。

ここで1959年9月以後、根尾谷付近に発生した地震は、A 地域内に発生しているにもかかわらず、かなり大きな地震の押し引き分布をみると、北美濃型であることから、A 系列は全く B 系列に転換してしまったということが想像できるのであり、Fig. 7 に戻って、A 系列と B 系列の転換期を 1959年8月末としたのは、その直後の59年11月、60年5月の地震がいずれも北美濃型の発震機構を持つと考えられるからである。

このように、震央の分布域、発震機構、energy の放出状況のいずれから見ても、1959年8月頃を境として地震系列の転換があったことは事実のように思える。それではこのような例が過去にも見出されるかを調べてみた。その結果が、Fig. 8 の下図である¹⁰⁾。左側は1885年から1899年までの10年間で濃尾地震を含んでいるが、余震と思われるものは省略し、点線の楕円で示してある。右図は1900年から同じく10年間をとったもので、1951年以後の状況と全く同じことが云えるであろう。1910年以後1945年の三河地震までの約35年間は、極めて静穏な状態が続く。三河地震の3年後に福井地震が発生しているから、むしろ三河福井地震系列というべきかも知れない。つまり、A 系列 B 系列が中間に静穏期をはさんで何度も繰返えされているのかも知れない。もし周期があるとすれば、60年程度ということになるであろう。面白いことには、この地方では濃尾地震の72年前の1819年に桑名地方に magnitude 7.4 の地震が発生していて、以後大規模な地震が起っていないことであって、60年70年程度の周期をもってこのような系列の転換が起っている可能性があるようである。

7. 地震系列の転換と平均傾斜速度の変化

1959年8月頃に中部地方北西部に地震系列の転換があったと仮定して、尾小屋の傾斜変化をみると、Fig. 8 で明らかなように、異常変化の現れる特定方向である S25°E の成分には、ちょうど同時期に大きな傾斜速度の変化があったことが認められる。しかしそれと直角な N65°E 方向には全く何の変化もあらわれていない。もし N25°W-S25°E の方向がこの地域の Tectonic Force の方向であるとすれば、何らかの原因でその力の働き方が変わったと見てよいのではなからうか。例えば、まず、伊勢湾、敦賀湾を結ぶ線、すなわち、根尾谷・柳ヶ瀬断層付近で、東日本と西日本とが相対的な横ずれをおこすような力が働いていて、ずれ歪の集中が起る。このことは、笠原・杉村¹¹⁾ (Fig. 10 参照) が三角測量再測の資料から計算した maximum shear が、この付近でかなり大きく、また急激に変化していることから想像できる。この付近に発生する地震、すなわち、A 系列の地震は、四象限型であるが¹²⁾、このようなずれの力が働いて発生し、左ずれの

断層を伴うことが多いのであろう。次にこのずれの歪が解放されても、ちょうど B 系列の地震が発生したあたりに圧縮による歪が残る。それ故、A 系列につづく北美濃地震系列は圧縮あるいは反作用的な引張によって起った系列ではないかと想像されるのである。同じく笠原・杉村によって計算された Dilatation がこの地域で負の最大値を示していることもこれと合致する。また第四紀始め以来の等隆起線 (Fig. 11 参照) がこのあたりで圧縮方向に直交して走っているのもその間の関連性を示唆しているようである。このこのような事実を考えれば、尾小屋の平均傾斜速度の変わる方向が $N25^{\circ}W-S25^{\circ}E$ であることは、たしかに Tectonic Force の方向とその消長を反映しているものと考えられる。

Fig. 12 は尾小屋鉾山村付近の簡単な地質図 (北陸鉾山株式会社: 尾小屋鉾山概要) であるが、観測室の北

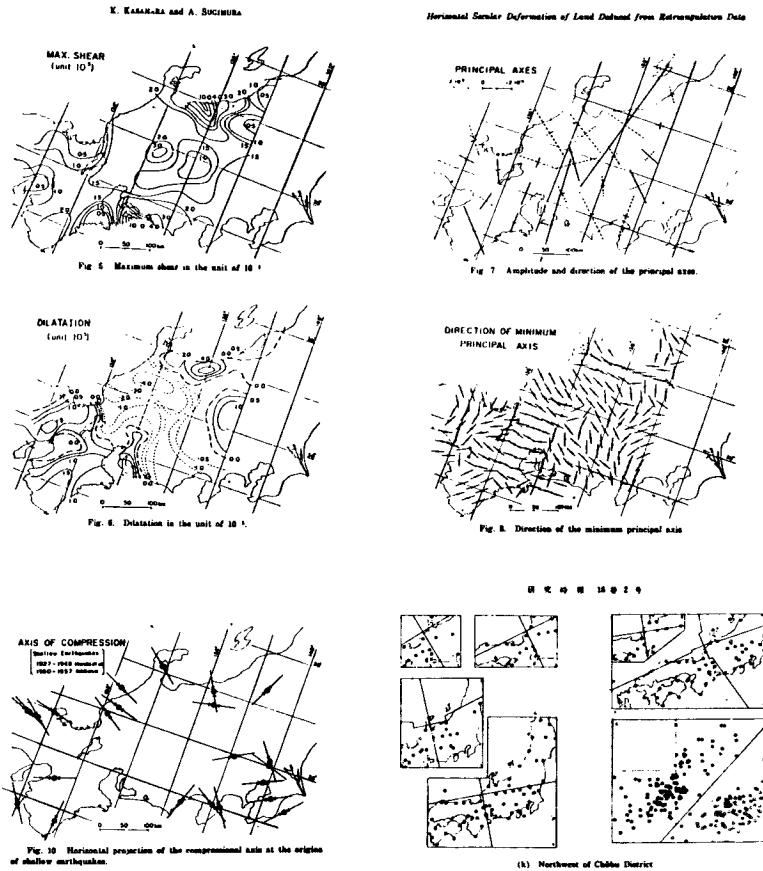


Fig. 10 Upper left : Maximum shear in the unit of 10^{-5}
 Upper right : Amplitude and direction of the principal axes
 Middle left : Dilatation in the unit of 10^{-5}
 Middle right: Direction of the minimum principal axis
 (after Kasahara and Sugimura)¹¹⁾
 Lower left : Horizontal projection of the compressional axis at the origins of shallow earthquakes (compiled by Kasahara and Sugimura)¹¹⁾
 Lower right : Distribution of initial motion of P wave in the northwest of Chubu district (after Ichikawa)¹²⁾

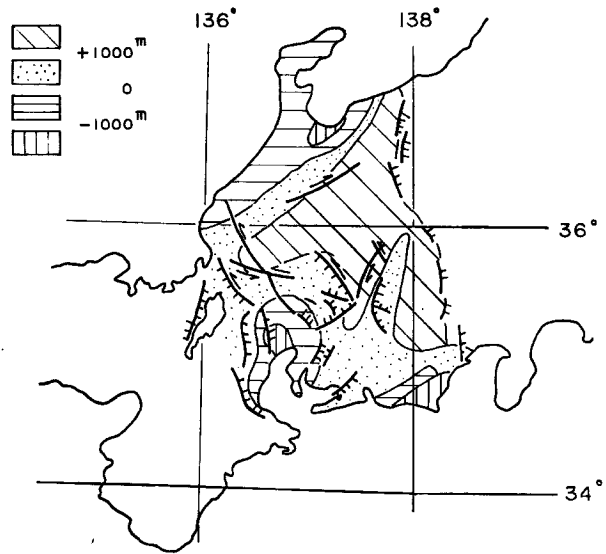


Fig. 11 Vertical movements of the earth's crust during the past two million years and location of active faults in the Chūbu district (after Sugimura, Kaizuka et al)

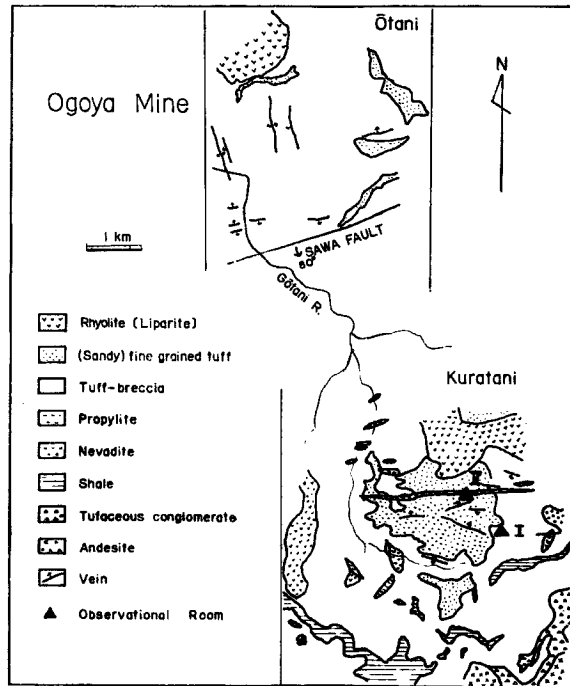


Fig. 12 Geologic map of the Ogoya copper mine

方に沢断層という南落ちの正断層があり、このあたりの岩脈の方向はほぼこれに平行と直交の二つの系に分れて、この断層の発現した時期には、N20°W に引張力が働いたものと思われる。また沢断層の北側の数条の褶曲軸もほぼ断層線に平行である。それ故、尾小屋付近が上にのべた広域運動から孤立した特別の地域ではなく、過去においても中部地方全般と共通した力が働き続けていたものと考えてよいであろう。この傾斜速度の変化が中部地方のかなり広い範囲にわたって起ったらしいことは、神岡の傾斜変化にも同様のことが起っていることからわかる。Fig. 13 上図は尾小屋の月毎の総傾斜量 φ_t と各月の平均傾斜方向の変化を示したものである。1957年に観測室を変えたので、1955年以前と57年以後では傾斜方向の変わり方が逆になっているが、これは坑道変形の違いによるものであって、元来は連続的なものと考えてよい。傾斜方向は1959年末で大きく変わっているのは明らかであるが、これは必ずしも傾斜方向が変わったのではなく、一定量の drift. がある場合ある方向の傾斜量、すなわち、この場合 N25°W—S25°E 方向の傾斜変化量が変ったこ

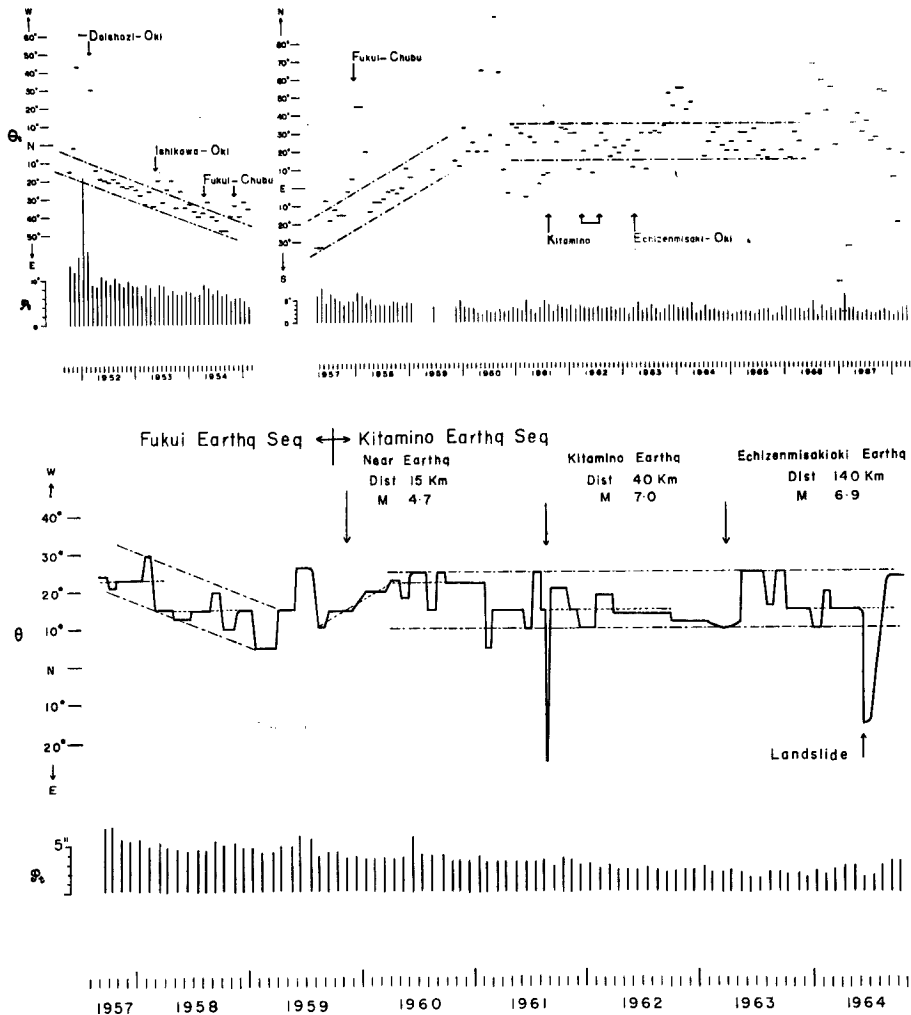


Fig. 13 Variation of direction (θ_t) and change of total amount (φ_t) of ground tilts per a month at Ogoya (Upper) and Kamioka (Lower)

とによる Vector の方向転換であって、Fig. 7 の結果と全く同じものである。Fig. 13 下図は同じく神岡観測室の場合で、ただ傾斜方向の変化 (θ) は、月平均ではなく連続的に示したものである。詳細な説明は省略するが、問題は岐阜県神岡においてもほとんど同じ時期に同じ現象が起っていることであって、これはこの傾斜速度の変化が中部地方北西部のかなり広い地域について共通の現象であったことを示すものである。さらに、細倉では特徴的な変動を示す方向がほぼ東西であって、その地域の浅発地震の主圧力の方向と一致していたのと同じく、尾小屋付近でも地震の主圧力の方向は、やはり $N25^{\circ}W-S25^{\circ}E$ 方向とほとんど一致するという点を強調しておきたい。

8. 個々の地震に関係した地殻変動の様式の転換

1959年を境として、地震系列が転換したとすると、それぞれの系列に属する個々の地震に関係した地殻変動の間に様式の変化がないであろうか。宮崎県楨峰の観測では、日向灘地震の系列の転換と同時に、個々の地震に伴う地殻変動の様式は明らかに変わった。それと同じことが尾小屋の場合でも云えそうである。Fig. 13の系列転換前、地震前後に θ が平均の値よりも北西側に飛出して、特に観測室を変えた前後でもこの傾向は同じである。それに対して、北美濃地震系列では南東側に飛出している。すなわち、A系列の地震では、地震のたびに北西に傾斜するに対し、B系列では逆に南東に傾斜するという大きな差異がみられる。またA系列の地震の大きなものは、潜在的ながらも、断層を伴ったような地震が多い。換言すれば、magnitude に比べて地殻変動量が大きいものに対し、B系列の地震は、北美濃地震がそうであったように magnitude に対して地殻変動量が少ないのではないか。尾小屋の観測結果によれば (Fig. 7 参照)、大聖寺沖地震の場合、震央がかなり近く、塑性変形的な変動があらわれていようであるが、例えば1957年の福井県中部の地震は、magnitude 4.9 であるのに、北美濃地震 ($M=7.0$) 直前の変動に匹敵する程度の変化を見せている。A系列に属するその他の地震でも、地震直前直後の変化というものはB系列よりも全般的にかなり顕著にあらわれている。これはA系列の原因がずれの運動に関係しているに対し、B系列は圧縮または引張によるという起り方の違いを反映しているのではなからうか。また北美濃地震、越前沖地震の余震の減り方が急速であったことも¹³⁾、これらの事柄と何らかの関係がありそうに思える。

9. 結 語

以上の結果を総合すれば、中部地方北西部で1959年8月頃を境として、地震系列の転換が起ったということが、震央分布状況の変化、その前後で発震機構上に差異があること、energy の放出状態が変わったことから推定され、ちょうど同じ時期に尾小屋の $N25^{\circ}W-S25^{\circ}E$ 方向の傾斜速度に大きな変化があった。そして、地震系列が変われば、その系列に属する個々の地震に伴う変動も様式が変わることがわかった。この $N25^{\circ}W-S25^{\circ}E$ 方向は、このあたりの地震の主圧力の方向とも一致するし、地質学上から推定される構造軸の方向とも関係があるようであり、三角測量の結果から求められた歪主軸の方向とも一致する。傾斜速度の変化は尾小屋だけでなく神岡でも同じ現象が認められるので、おそらく中部地方北西部のかなり広い範囲に共通する現象と考えてよからう。以上のような現象は、三陸沖の地震活動に対する細倉の傾斜変化、日向灘の地震活動に対する楨峰の傾斜変化の場合にもあり、似た結果が得られている。しかし、この両地震帯の系列転換の周期はかなり短いに対し、この地域では単なる推定であるが、60~70年位の周期があるのではなからうか。以上が20年にわたる長期観測の総合的な結論である。

1969年には鯖江地殻変動観測室も観測開始の運びとなり、この地域の地殻変動観測はようやく充実することになった。20年間の観測結果が単なる仮説の提起に止まることなく、今後鯖江の観測と合わせてこれを実証し、あるいはさらに発展させるべく、今後も精密な観測が継続されることを期待するものである。

尾小屋の常時観測の記録取替および器械の調整は、日本鉱業株式会社尾小屋鉱業所探鉱課探査係、1962年以後は北陸鉱山株式会社探査係の各位の御協力によって行われたものであり、尾小屋鉱業所の代々の所長

各位ならびに北陸鋤山社長殿以下社員御一同の御援助と御理解の賜物である。ここに厚く感謝の意を表する次第である。また観測の成果は一重に故西村英一教授、一戸時雄教授、岸本兆方教授、細山謙之輔水沢緯度観測所地象課長、伊藤芳朗関東学院大学教授等、恩師先輩の方々の御努力の積み重ねであり、あるいはまた御指導の結果であると信じている。

なお本論文作成に御協力下さった地球物理学教室の中村佳重郎、藤森邦夫両氏に御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Nishiniura, E. and Hosoyama, K.: On Tilting Motion of Ground observed before and after the Occurrence of an Earthquake, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 34, No. 4, 1953, pp. 597-599.
- 2) Nishimura, E.: Anomalous Tilting Movement of the Ground Observed Before Destructive Earthquakes, Rep. 1st Internat. Sym. on Recent Crustal Movements, Leipzig, 1962, pp. 214-234.
- 3) Nishimura, E. and Tanaka, Y.: On Peculiar Mode of Secular Ground-Tilting connected with a Sequence of Earthquakes in Some Restricted Areas, Special Contrib., Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 2, 1963, pp. 173-186.
- 4) 西村英一, 田中 豊, 田中寅夫: 最近の地震に伴なう地殻の異常変動について (第1報), 京大防災研年報, 5号 A, 1962, 28-43頁.
- 5) 西村英一, 田中 豊: 最近の地震に伴なう地殻の異常変動について (第2報), 京大防災研年報, 7号, 1964, 66-76頁.
- 6) 田中 豊: 地震に伴なう地殻異常変動の諸段階について, 京大防災研年報, 8号, 1965, 91-108頁.
- 7) Tsuya, H.: Report of the Special Committee for the Study of the Fukui Earthquake, 1950.
- 8) 細山謙之輔: 土地傾動の永年観測について, 京大防災研創立5周年記念論文集, 1956, 20-27頁.
- 9) 田中 豊, 加藤正明, 小泉 誠: 地震活動に関係した地殻変動(1) - 東北日本外帯の地震活動と細倉で観測された地殻変動 -, 京大防災研年報, 10号A, 1967, 123-140頁.
- 10) 日本付近におけるおもな地震の規模表 (1885年-1950年).
- 11) Kasahara, K. and Sugimura, A.: Horizontal Secular Deformation of Land Deduced from Retriangulation Data, I. Land Deformation in Central Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, 1964, pp. 479-490.
- 12) 市川政治: 日本付近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二, 三の問題, 研究時報, 18巻, 2号, 1966, 1-154頁.
- 13) Mogi, K.: Regional Variation of Aftershock Activity, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 45, 1967, pp. 711-726.