

# 地震に伴う地殻異常変動の諸段階について

田 中 豊

## ON THE STAGES OF ANOMALOUS CRUSTAL MOVEMENTS ACCOMPANIED WITH EARTHQUAKE

By *Yutaka* TANAKA

### Synopsis

In the direction of the horizontal displacements of the triangulation points, tilt variations always show the most remarkable mode as the crust behaves over a wide area the see-saw motion decreasing amplitude and period with time, accompanying earthquakes at its peaks.

The first stage of anomalous crustal movements before earthquake corresponds to this mode, so it appears characteristically in the direction of the horizontal displacement, in other expression, it may be also the direction related to the tectonic force. The second stage is the movements of the strain concentration, so the ground tilts toward or opposite to the epicenter, relating to the earthquake mechanism. The third stage just before earthquake is the process of rapid increase of creep or beginning of fracture, perhaps foreshock-occurrence, so that the tilt variations increase their own rate in the same motion as the second stage near the epicenter, or reverse their direction at a far distance from the epicenter according to the beginning of energy release. After the earthquake these anomalous movements continue until the termination of the aftershock activities.

These stages and phenomena appear remarkably in the case of shallow earthquakes, and a little differently in the case of intermediate earthquakes.

### 1. 緒 言

1937年上賀茂地学観測所において Silica 傾斜計による傾斜変化の連続観測が開始されてすでに27年、1942年には槇峰観測所、1943年には生野観測所もあいついで発足し、福井地震後の1950年頃より Super-Invar 製の水平振り子型傾斜計に改良されると共に、尾小屋、紀州、由良などの常時観測網はいよいよ軌道にのり、さらに1957年頃から Bow-string 型伸縮計も各地に併置されて観測態勢が整えられ、現在主として西日本の16カ所で、傾斜計52台、伸縮計13台をもって地殻変動の連続観測が継続されている。その間1943年9月10日の鳥取地震 (Magnitude 7.5) 1944年12月7日の東南海地震 (Magnitude 8.0) 1950年4月26日の南紀地震 (Magnitude 6.7) の各地震において、それぞれ地震発生の約10時間前から始まる顕著な S 型の傾斜運動が認められたのをはじめとして、1952年3月の大聖寺沖地震 (以下 List 参照) および同年7月の吉野地震にも地震発生の数カ月ないし数日前にはじまる特に顕著な異常変動が観測された<sup>1)</sup>。

しかしその後約8年間は西日本、特に観測所周辺 100 km 以内には Magnitude 6.0 以上の地震は全く発生せず、ようやく1960年に至って大台ヶ原地震、翌1961年には日向灘地震、兵庫県西部郡発地震 (4月~7月、主震5月7日)、北美濃地震等あいついで起こり、さらに1962年には白浜沖ほか紀南地方に中規模地震が続発、1963年には越前沖地震の発生をみたのであるが、そのいずれにも例外なく異常変動を観測する

ことができた。観測結果の詳細についてはすでに報告したとおりであり<sup>3)</sup>、異常変動に幾つかの段階のあることもすでに示唆したところである。

さて少数例ではあるがとにかく8個の大地震について19カ所の資料を得たので、これら異常変動の間に何らかの共通性を見出し、これに普遍的な解釈を与えることは当然試みねばならぬ問題である。しかしこれらの地震は発生地域を異にし、したがってまた起震力の性質も発震機構型も異なる。特に地殻内に発生した地震と地殻下に発生した地震では当然の相違が予想されるし、群発地震の例もある。そればかりでなく震央に対する観測所の位置、つまり単に距離だけでなく、震源の深さと距離の比、**nodal-line** に対する方位がすべて異なる上に、なお地質構造の影響も大きいと考えられ、統一的解釈を与えることは容易でないと予想された。

ところが一方観測の精度が増して中小規模の地震前後にも異常変化が見出されるようになると共に、異常の開始時と終了時の双方に地震が起るなど、一つの異常変動と一つの地震が一對一に対応しないような場合も生ずるにいたって、単に個々の大地震を取扱っているだけでは異常変動を完全に説明することは不可能となり、**couple** の地震から、**group** の地震そして遂に地震活動と地殻変動の関係に着目することになった。我国のように地震活動の活発な地域では、地震のない平穏な状態などはむしろ考えられず、間欠的な測量と違って連続観測では中小規模の地震をも対象とする以上当然の決着点といえよう。

個々の地震から発展して、地震活動と地殻変動の関係を調べるためには、震央中心的な考えからはなれて、対象とする地震活動地帯に特有な意味のある方向を考えねばならない。地震活動の活発な地域が歴史的にほとんど変わらないということは、地質時代から各地震帯におそらくある特定の力が働き続けているらしいということであり、現在の地質構造も同じ力によってつくられたものかもしれないのである。その最も手近な表現が広範囲にわたる土地の水平移動であり、必ずしも **Tectonic Force** そのものを表わしていないとしてもその方向は現在の地殻変動の動きを知る唯一の鍵である。一方また **Tectonic Force** の消長を反映して観測所周辺が局所的な **Block** 運動をしているとすれば、大構造線、小断層線はさらに重要な役割を果していると考えねばならない。また造構造運動が地震を伴うとすれば背斜軸方向もまた意味をもってくる。各観測所は地下構造が不均質である限りそれぞれ地域的特性をもって地下深部の、あるいは広範囲の動きに応じているはずであるから、まずどの方向に長期間にわたって地震活動と関係のある顕著な変化が現われるかを調べる必要がある。

地殻変動の研究手段は大別して2つに分けられる。一つは水準測量、三角測量のように空間的分布を目的とするものであり、1つは傾斜計伸縮計あるいはまた検潮器の連続観測により時間的変化を目的とするものである。前者を反復測量することによって時間的変化をある程度知ることができ、また後者の観測網を密にすることにより空間的分布を知ることができる。しかし水準測量は測線の方向の二次元的な表示にとどまり後者は傾斜伸縮の絶対量を知ることが不可能に近く、それゆえ両者を結びつけることによってはじめて地殻変動の全貌が明らかになるわけである。しかし測量を必要程度に頻繁に行なうことは現状では不可能な状況であり、傾斜計伸縮計による後者の観測網は未だ空間的分布を議論するほど密ではない。

傾斜連続観測の解析をするに当たってもやはりこれに対応する2つの表示方法を用いるのが常である。まず観測された傾斜成分の時間的変化そのままを直接示す方法であるが、これでは最大傾斜の方向は全く表示できない。次に傾斜変化成分を合成して **Vector** 図を画き、空間的表示に近づくわけであるが、傾斜方向の転換を知るには極めて有効であっても、同一方向の傾斜変化速度の連続的な推移を表示することは難しい。現在の目的は、どの方向の時間的変化が最も地震活動に関係して特徴的であるかを知ることであるから **Vector** 図をさらに種々の方向に分解し各方向における傾斜成分の時間的変化を示すことによって補助手段とした。

たとえば **Fig. 1** は榎峰観測所の2成分の傾斜計観測から得られた **Vector** 図をさらに 30° づつ 6 方向に分解して各方向の成分変化を示したものである。**M** 成分は榎峰付近の水平移動の方向でありまた **Median line** の方位とも一致する。**C** は日向灘の海岸線に平行な方位で、また日向灘地震帯の延びる方向でもある。

図中④⑤…①②…は九州琉球弧の稍深発地帯に発生した深さ 60~250 km の地震の発現時を示す。これらの地震発生を契機として傾斜変化速度が変わり、このため幾つかの山谷を形成し、しかも振巾が次第に減衰するような規則正しい鋸歯状変化を数度行っているが、これが特に M 成分に顕著にあらわれている。すなわち槇峰付近では、やや深い地震の発生のたびに、水平移動の方向に階段状あるいは see-saw 運動的な変化を行なっていることが判る。

一方、個々の地震に伴う異常変化から直接この特有な方向が見出された例もある。例えば尾小屋観測所では、大聖寺沖、北美濃両地震発生のそれぞれ数カ月前、半年前に震央方向に傾く異常変動があったが<sup>4)</sup>、両地震の震央と尾小屋が偶然にも水平移動の方向に一直線に並んでいるため、見かけ上震央方向に傾いたもので、その本質は水平移動の方向にあったということが、その後発生した越前沖地震半年前の異常変動が同観測所では震央方向ではなく、同じ水平移動の方向に起っていることから判明し、これが水平移動の方向に着目する端緒にもなったことを付言しておきたい。

## 2. 水平移動方向における特徴的な傾斜変化の様式と浅発地震活動の関係

### i) 日向灘浅発地震群の活動に伴う槇峰観測所の傾斜変化

槇峰における傾斜変化の様式は水平移動の方向の成分にきわめて特徴的に現われることは前節に述べた通りである。浅発地震に関係してこの様子をさらに詳しく示したのが Fig. 2 である。下の曲線は水平移動の方向の傾斜変化であり、上は地震の Magnitude から求めた energy の平方根が弾性歪に比例するとして、 $\sqrt{E}$  の累積によって地震で解放される歪 energy の変化状況を示したものである。この変化状況から見て、この期間に発生した地震を 3 つの系列 (Sequence a, b, c) に分けることができそうである。また各系列に属する地震の発生地域は、それぞれ日向灘地震の余震域程度の拡がりをもち順次南の方に移動しているが、この点からも系列の変ったことが推察できる。この系列の転換期に地殻下のやや深い地震が発生しており、同時に水平移動方向の平均傾斜変化速度が変わっていること、さらに傾斜変化曲線には幾つかの山谷があり、系列の転換と同時に山谷の形も変わっていることを顕著な特性としてあげなければならない。加えるに系列 a においては山谷の両頂点に中規模の地震が発生しているのに対し、系列 b においては規則正しい減衰振動状の変化の山から谷にかけての期間に小規模の地震が統発している特徴がある。系列 b の第 2 の山に

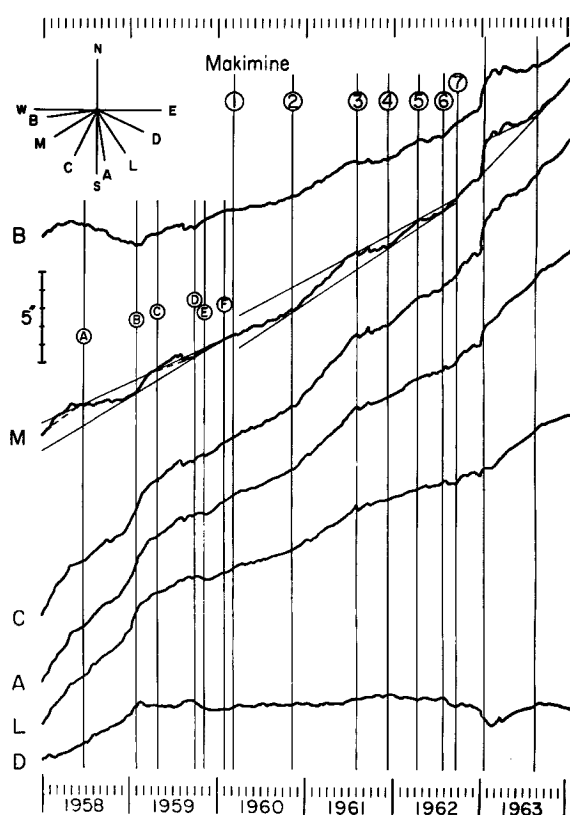


Fig. 1. Tilt variation obtained from resolving the vector diagram of ground tilt into the components of every 30° direction.

M-component is in the direction of horizontal displacement at Makimine.

2月27日の日向灘大地震とその余震群が発生しているのは興味あることで、同じ山に発生した地震だけを前震、余震というか、この系列を全部大地震の前震、余震と考えるかは、定義の問題かもしれぬが、将来前震、余震に地殻変動上からも意味づけをなすうと思えるし、大地震に伴う地殻変動の様式としても重要なことである。系列cはやや複雑であるが、系列a,bの混合型と考えてよかろう。地殻下地震の発生によって浅発地震の系列が転換することはきわめて興味深い問題であって<sup>5)</sup>、地球のUpper Mantleに、広範囲にわたる物質の動きまたは状態の変化があり、その一極点においてやや深い地震が発生する。これが周期的に行なわれその間に地殻に及ぼす深所からの刺戟状態が変わるために浅い地震の系列の転換が行なわれるものと解釈される。またこれらのやや深い地震は伊予灘あたりを限界としてそれより南西から南南西に広がる扇状地域に発生しその発生面は西に傾いている。水平移動の方向はこの面の先端部にあたる伊予灘付近から九州中国地方に向けて発散するような分布を示し、しかもこのあたりが隆起していることが知られていて、確かに稍深発地震帯と地殻変動の間に何らかの関係が考えられるが、槇峰の水平移動の方向にこの浅発地震と、やや深い地震に関係した傾斜変化の特徴的な様式が現われることは充分意味のあることと考えられる。ただこの変化はおそらくUpper Mantleに原因をもつ広範囲の地殻運動の反映として、個々の地震のMagnitudeや距離に関係なく弾性的変形を行なっているもので、もし破壊領域内で観測するならばこの形が乱れてくることは当然予想されることである。

#### ii) 美濃越前地方の地震活動に伴う尾小屋観測所の傾斜変化

Fig. 3 左上は1951年1月~1959年8月の約8ヶ年間に美濃越前地方に発生した地震の震央分布を示したものであり、右上は同じく1959年9月~1963年8月の4ヶ年間のもので、いずれも気象庁地震月報による。両者を比較すると前の8年間には、地震はほとんど根尾谷一福井の大断層付近に集中し、北美濃地方にはほとんど発生していないのに反し、1959年9月以降の4年間は、神岡、尾小屋を含む扇状地域に広がっている。Fig. 3 下にこの地方の一等三角点の水平移動方向を示したが、伊勢湾から敦賀湾に至る不連続線の東側はほぼ北向きに、西側はほぼ南向きに移動している傾向がみえ、前者の地震群(系列A)はこのようなずれによって起こされた地震と考えられ、発震機構は福井地震、大聖寺沖地震の場合と同じくquadrant-typeである。これに対し後者(系列B)は水平移動に伴う圧縮のため、あるいはその反撥によって発生したと考えられ、北美濃地震や越前岬沖地震で代表されるようなcone-typeまたはcrack-typeの発震機構をもつらしく、この期間に発生した地震は、A系列の地震の発生地域である大断層附近に震央をもつ中規模の地震でも、震央の周辺100kmにわたって初動が全部引の傾向があり、この点からもA地震系列よりはB系列に属するものと考えることができる。すなわち1959年9月頃をもってこの地域の地震系列は確かに転換

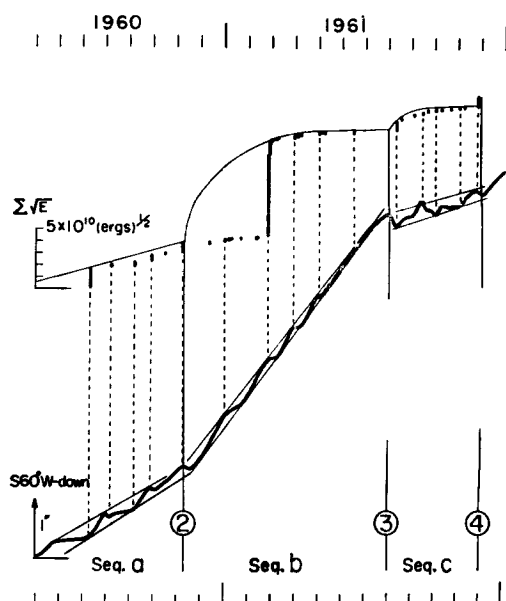


Fig. 2. Tilt variation in the direction of horizontal displacement near Mikimine and the state of strain release caused by the crustal earthquake originated in the Hyūganada. Numbers indicate the same subcrustal earthquakes as in Fig. 1.

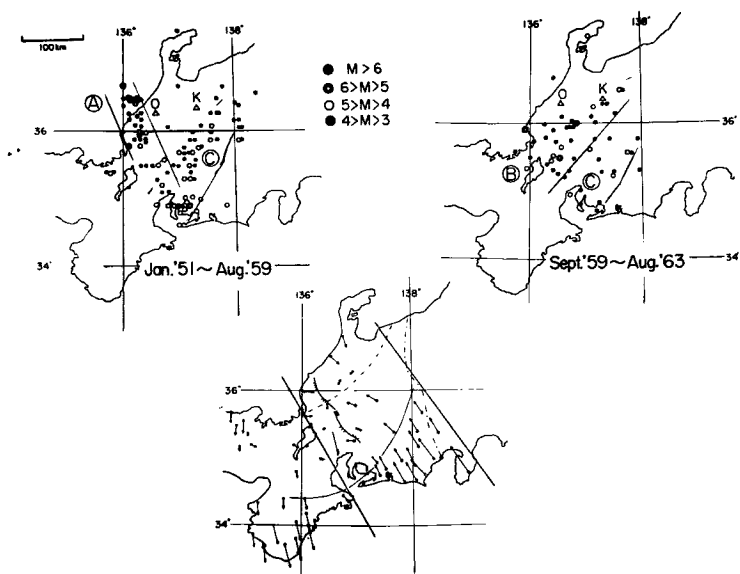


Fig. 3. Upper : distributions of epicenters in Chūbu district on two different epochs. Lower : discontinuous boundaries of horizontal displacements<sup>7)</sup> and Neodani-Fukui faults.

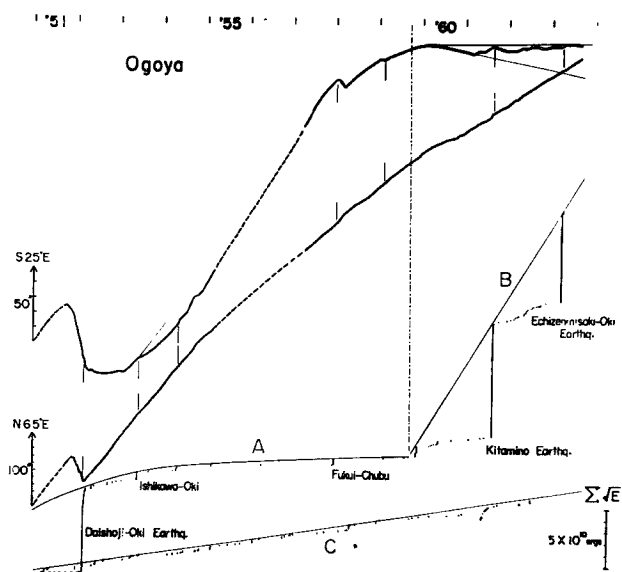


Fig. 4. Secular ground tilts in the same (S25°E) and orthogonal (N65°E) directions to the horizontal displacement at Ogoya, and the states of energy release for earthquake sequences A, B and C.

したと判断されるのである。このことはこれらの地震による energy release の状況からみても明らかである。Fig. 4 下は先の日向灘浅発地震の場合と同じく  $\sqrt{E}$  の累積をもって energy release の様子を示したもので、A 地震系列の包絡曲線の左方延長は福井地震あるいはさらに三河地震にまで連なるものである。1959 年 9 月で明瞭な折れ曲りを示しているが、同図上の尾小屋における水平移動方向の傾斜変化曲線も 1958 年頃から変化率が変わり 1959 年末には完全に折れ曲って、energy release の状況とよく一致している。これに反し水平移動と直角な方向における傾斜変化速度には全くこの様子がみられない。すなわち、地震系列が転換すれば水平移動の方向の傾斜変化速度が変わることは、日向灘浅発地震の系列転換の際の楨峰の変化と全く同じである。この系列の転換と共に個々の地震に伴う傾斜変化の様式が変わることもまた楨峰の場合と同じである。すなわち A 系列は断層を発現するような地震であるためか Magnitude に比して変動量が大きくまた地震の前後を通じて N 25° W 方向に傾斜する。これに反し、B 系列では北濃地震、越前岬沖地震共に大聖寺沖地震に比べて規模が大きいかかわらず震央距離を考慮に入れても変化量は小さく、傾斜方向は地震のたびに A 系列と逆方向の S 25° E に傾く。

B 系列の部分を拡大したのが Fig. 5 であり、energy release の状況と対比させるため年間 7" の平均傾斜量を加えてある。北濃、越前岬沖両地震の間に中小規模の地震が頻発しているが、これらの地震群は尾小屋のごく近くに発生したもので、特に影響の大きいと思われるものは点線で結んである。近距離に起こったために傾斜変化曲線の方の中央の山が特に大きく現われたと考えるならば、energy release の形と傾斜変化曲線とは全般的にはよく似ているとみなすことができよう。ここで傾斜変化曲線が仮に図中の鎖線をたどっておれば、北濃地震前には異常変化がなく、土地の変動は energy release の場合だけに現われるということになる (第 3 節 i) 参照)。一方見方を変えれば、楨峰の場合と同じく尾小屋でも、随伴して起こる地震の距離や Magnitude に関係なく次第に週期振巾の減少する see-saw 運動の頂点に地震が発生し、越前岬沖地震はこの運動の終結点に起こったと解釈することもできよう。どちらがより適切であるかは、その後の様子を見なければ判らない。いずれにせよ総合的にみて楨峰の場合に比べ大規模であるが全く同様に系列の転換時に平均傾斜速度が変わり個々の地震の様式が変わりこれらがすべて水平移動の方向の傾斜変化に顕著であることが結論できる。

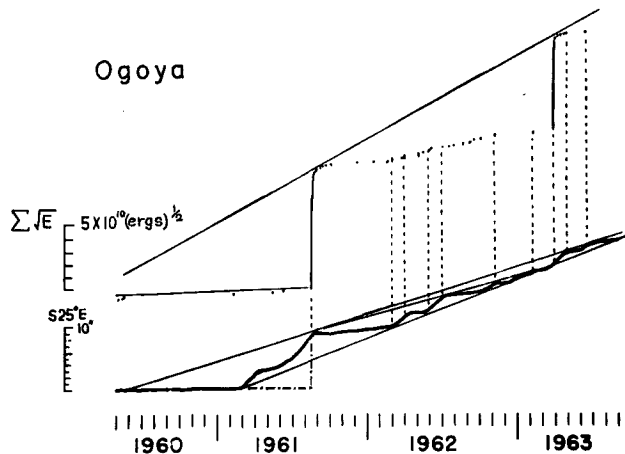


Fig. 5. Tilt variation (Lower) in the direction of horizontal displacement, added the constant rate of 7"/year to the real secular variation for comparison with the state of energy release (upper) caused by the earthquakes of sequence B.

### iii) 紀南地震群の活動に伴う由良観測所の伸縮変化から予想される傾斜変動

由良の傾斜変化、伸縮変化は共に年変化や降雨時の変化が大きいので長期間の変動については解析が難しくまだ完了していないが、地震直前直後の伸縮変化についてはすでに発表したとおりであり<sup>2)</sup>、これからやはり水平移動の方向に特徴的な動きのあることが推定できる。すなわち紀南地方の中小規模の地震発生前後の由良観測所における伸縮変化は、Magnitude 6.4 の特に大きな白浜沖地震以外はすべて南北方向に伸、東西方向が縮であり、伸量は縮量に比して非常に大きい。これは歪楕円の主軸の方向が常にほぼ南北方向にあることを意味し、この地域の水平移動の方向に一致する。さらに、これらの地震の発震機構はほとんど *quadrant-type* であるが、主圧力の方向からみて白浜の南方を東西に走る北下りの平面の北上側に発生する地震では常に南北方向に引張の型、南下側では南北方向に圧縮の型であると考えることができる。これは紀伊半島の南向きの水平移動量が南部で大きく北部で小さいという事実、また由良において地震後常に南北伸である観測結果と一致する。そして白浜沖地震のみが圧縮による地震の発生する南下層内にありながら引張型であり、この時の由良の伸縮変化も南北縮東西伸で他の中小地震と逆であることからこれらの反発として発生したものと解釈される。要するにこのことから南北に近い方向に *Tectonic Force* が働いているらしいことが想像され、伸縮変化の主軸の方向も同じくこの方向であることから、傾斜変化もおそらくこの水平移動の方向に段階的に変化し時として回復するという様式をもつものと推定される。

### iv) 飛弾・北美濃地方の地震に伴う神岡観測所の傾斜変化

神岡観測所における永年傾斜変化の解析も未だ完了していないが、前論文においてすでに以下のことを指摘した。(前論文<sup>2)</sup> Fig. 9 および第4節 a) 神岡観測所の項参照) 神岡の *Vector* 図はある期間にはほぼ東向きの成分が加わり階段状に東に移動している。1958年2月と1959年1月の2つの地震は平常の状態から東に折れ曲がり始めたところに発生し、1959年11月13日の地震と北美濃地震の場合は折れ曲がりかほとんど終わったところ、すなわち平常に復する直前に起きている。この相違は本節 ii) で述べたように1959年9月頃に系列の転換したことと一致するものと思われる。前論文では水平移動の方向の傾斜変化を求める方法を行っていないので、単に *Vector* が地震前後で波型の変動をしていることから判断したのであり、おそらく

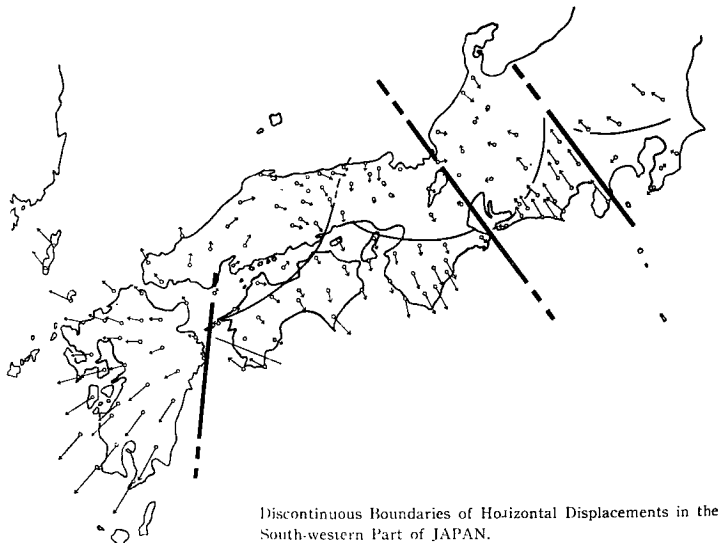


Fig. 6. Reference figure quoted from Inoue's Paper<sup>2)</sup>

水平移動の方向(NE-SW)に特徴的な変化を行なっているものと考えられる。なお神岡観測所の北約5kmにENE-WSWに走る跡津断層があり、数十万年前から大地震を伴って繰返し活動していることが報告されている<sup>9)</sup>。神岡の場合はこの断層の影響が大きいかとも考えられるが、階段状あるいはsee-saw運動の一方の極点で地震が発生し、おそらく系列の転換と同時に他方の極点に発生時期が移ったものと想像される。これについては解析の完了次第詳細の予定である。

### 3. 浅発地震に伴う異常変動の段階

大地震前の異常変動が決して単調なものではなく複雑な経過をたどって地震に至ることはすでに発表した通りであり、これを整理すると幾つかの段階に分けることが出来る。各観測所の計器の感度も異なり、震央距離も違うので同じ地震についても異常変化の発現時は一致しないのは当然であるが、その各段階における変化の増加状態、傾斜方向などからみておよそ3段階に分けることができる。この他大台ヶ原地震のとき紀州等で観測された1, 2日前からの、あるいは鳥取地震のように約半日前からの、地震直前から直後に続く異常変化が認められるが、これは地震時の急激な変動にそのままつながらぬものらしい。しかし震央に極めて近いあるいは特に大きな地震の場合で、器械も高感度で設置場所の気象要素による変化の少ないところでなければ認め難いと思われ、ここでは詳しくは触れない。以上の3段階と地震後の段階を分類してListに示した。長期間の解析が各観測所について未だ完了していないので傾斜変化量や第1段階の開始日等は暫定的なもので解析完了後訂正されることがあり得る。また異常変動の観測された地震はこれだけにとどまらず、多くの中小規模の地震前後にも観測されている。これらは単一の地震に伴うと解釈できぬ場合もあり、また変動量も小さいので段階に分けることが不可能な場合もあり報告は次回に譲りたい。

Fig. 7は浅発大地震に伴う異常傾斜変化をぬき出してVectorで表わしたもので、Vector上の●印は地震発生時を示す。数字は異常3段階の発現日と異常変化の終了日を地震発生日からの日数で記したものである。また矢印は観測所付近の水平移動の方向を示す。地殻変動を取り扱う場合には震央の位置よりもむしろ余震域あるいは一連の地震による破碎帯のような拡がりまたはその方向が重要な意味をもってくると思われるので点線で併示した。

さてこれらの個々の地震に伴う異常変動と第2節に述べた水平移動の方向における特徴的な傾斜変化の様式とがどのように結びつき異常の各段階がこれに対していかに解釈しうるかを次に述べる。

#### i) 地震に伴う異常傾斜変化の第1段階

Fig. 7の各Vector図の最初の部分を見ると、水平移動の方向を示す矢印を二つ画いた生野を例外として、大聖寺沖地震の場合の尾小屋と越前岬沖地震の場合の上賀茂が、水平移動の方向と約30°ずれているだけで、四つの地震に際し、6観測所で異常傾斜の方向が水平移動の方向と全く一致している。これは異常変化だけを抽出する際の誤差、地形による影響、水平移動の地域的異常などを考えればむしろ驚くほどの一致である。大聖寺沖地震の場合の尾小屋における異常傾斜方向が北美濃地震や越前岬沖地震の場合と逆方向であるのは系列の違いのためであることはすでに述べたとおりであり、30°の誤差が生じたのはFig. 4の水平移動に直角な方向の成分にもこの地震の場合に限り大きな変動が現われている結果であって、余震域に近いために震源域の大きな変動の影響を直接非弾性変形として受けたためと考えられ福井地震の場合と同様に海中に断層を生じたのではないかと想像される。白浜沖地震の際の紀州観測所の傾斜変化が水平移動の方向にありながら由良と逆方向であるのは、白浜沖地震の前震余震が東北東-西南西方向に並び、南海Thrustと平行な破碎帯のようなものを形成していて、由良と紀州がそれを挟んで位置するためと想像され、特に紀州が震央より遠いにもかかわらずこの破碎帯に近いこと変化量が大きい、しかし弾性変形で、完全に回復していることを併せ考えれば、水平移動の方向というものがさらに重要な意味をもってくると思われる。上賀茂・生野観測所付近は参考図Fig. 6を見てもわかるように水平移動の非常に少ないところで、近畿北部は全体として南に移動すると同時に舞鶴を中心として反時計回りに回転している傾向がみられる。このように水



List of anomalous tiltings observed before and after the remarkable earthquakes.

Earthquake Origin date	Magnitude Depth Mechanism	Observatory Epicentral Dist.	Beginning time (days before)			Ending time (days after)	Total amounts
			1st stage	2nd stage	3rd stage		
Daishōji-Okii Mar. 7, 1952	6.8 Quadrant-type	km Ogoya 40(25)	90	30	10	10	55"
Hyūganada Feb. 27, 1961	7.0 Quadrant-type*	Makimine 120(60)	50	12	4	10	0.1"
Kitamino Aug. 19, 1961	7.2 Cone(Crack)-type	Ogoya 40(20) Kamioka 60(50)	170 180	50 50	15 15	10 5	10" 3"
Shirahama-Okii Jan. 4, 1962	6.4 Quadrant-type	Yura 35(35) Kishū 65(25)	120 120	20 40	7 3	120 120	1" 3.5"/**
Echizenmisaki-Okii Mar. 27, 1963	6.9 Cone(Crack)-type	Kamigamo 80(70) Ogoya 90(80) Ikuno 110(95)	180 180 180	60 70 60	15 15 10	40 40 40	1.8" 4.5" 1"
W part of Hyōgo (Earthq. swarm) May 7, 1961	5.9 Quadrant-type	Ikuno 30(20)	300 [280]	75 [55]	30 [10]	130 [70]	4"
Yoshino July 18, 1952	7.0 Cone-type	Kishū 60(20) Yura 80(35) Kamigamo 80(60)	? ? 400	150? — —	15 15 15	5.5 years***	100" 50" 4"
Ōdaigahara Dec. 26, 1960	6.0 Cone-type	Kishū 40 Shionomisaki 90 Yura 90 Akibasan 90 Ōura 90 Kamigamo 100	200 — 200 — — —	110 120 110 30 30 30	10 20 20 5 5 5	180 30 15 40 40 40	10" 3" 27" 0.2"/*** 3"/*** 1"/***

\* with horizontal polar axis

\*\* recovery

\*\*\* active period of Yoshino Earthquake Series

( ) the shortest distance from aftershock area

[ ] days from the first or the last shock of Earthquake swarm

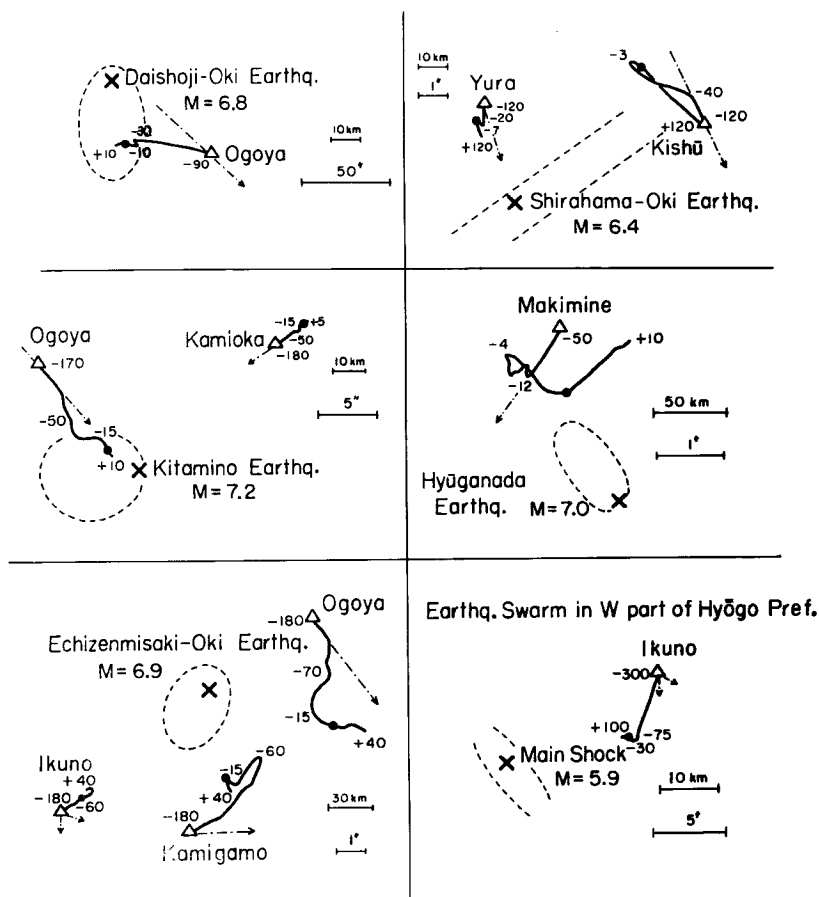


Fig. 7. Vector diagram of anomalous ground tilts accompanied with remarkable earthquakes. Numerals indicate the beginning days of three stages before the occurrence of earthquake and ending days of anomalous tilts. Solid symbols indicate the time of earthquake occurrence. Dotted ellipses and lines show the aftershock area and the originated area of swarm or series of earthquakes respectively. Chain arrows show the direction of horizontal displacement at each observatory.

平移動の小さい地域は、むしろ周辺地域に発生する個々の地震の変動によって左右されることが大きいと思われる。越前岬沖地震の震央あたりを通り伊勢湾に抜ける水平移動不連続線に向かって傾いていると考えた方が良いかも知れない。しかし総合的にみて越前岬沖地震におけるこの生野の変化だけが水平移動の方向と  $60^\circ$  ほどずれている以外は異常変動の第 1 段階は水平移動の方向に起っていると結論してよさそう。

異常変動の第 1 段階がまず水平移動の方向に起こることがわかったが、これが第 2 節に述べた水平移動の方向における特徴的な様式をもつ傾斜変化とどう関係づけられるかが問題である。一言でいえば、第 1 段階は see-saw 運動または階段状変化の山から谷へ、あるいは谷から山へ移る過程であり、平均傾斜変化からのはずれに相当する。この山谷を see-saw 運動のような弾性的回復性の運動と考えるか、あるいは階段状の塑性的非回復性の運動と考えるかによって、平均傾斜変化からのずれである異常変動量の判定に相違がでて

くる。地球の Upper Mantle に原因をもち地震系列全体の活動に随伴する長期間の階段状の変化の上にさらに個々の地震に伴う see-saw 運動的な、あるいは階段状の運動が重なっているのか、個々の地震に伴う階段状の変化が積み重なって大規模な階段状の変動となっているのかは現状ではわからない。これは地震系列の転換期ごとに水準測量を行ない、また個々の地震に伴う変動の山谷両頂点で測量をする以外に判断の下しようがない。いいかえれば現在の長間隔の水準測量の結果と連続観測から得られた個々の地震に伴う変動量と比較することは全く無意味であると考えられる。傾斜計による連続観測においては傾斜変化速度の増減だけに着目しなければならない。いずれにせよ第1段階の異常変化は、日向灘、北美濃、越前岬沖の3地震では水平移動方向への傾斜変化速度漸増、大聖寺沖地震は急減の動きと解釈することができる (Fig. 2, 4, 5 参照)。このことは第2節でも述べたとおり、個々の地震の規模や距離とは関係なく、かなり広範囲にわたる運動、また地殻下の大きな動きの反映と考えられ、ある地震発生域に長期間にわたって energy が蓄積され、その影響が変動として地表面に現われ始めた段階であると想像される。List に示したように、この段階は地震発生の数カ月から半年前位から起こり、地震の頻度、つまりは see-saw 運動の周期の長短によって異なり系列の初めでは長く、終りでは短く、また系列が変われば発現期間も異なるものと考えられる。

### ii) 地震に伴う異常傾斜変化の第2段階

Fig. 7 の第1段階を示す Vector は、日向灘地震の場合は短く約40日後、大聖寺沖地震では60日後、その他は約80日から120日後に方向を転換する。つまり地震の約1, 2カ月前から水平移動方向の異常傾斜の上にさらに別の傾斜変化が加わる。大聖寺沖地震の尾小屋、日向灘地震の槇峰、越前岬沖地震の上賀茂・生野、北美濃地震の神岡の場合は震央と反対方向に、白浜沖地震の紀州・由良、北美濃地震と越前岬沖地震の尾小屋、兵庫県群発地震の生野の場合は震央方向への傾斜変化が現われる。さらに北美濃地震の場合には尾小屋・神岡とも水平移動方向と震央方向とが一致しているために Vector の方向転換は現われないが、そのかわり震央方向に対し直角な方向に異質の微量な振動的変化を行なっていることが認められる。また越前岬沖地震の生野と白浜沖地震の由良の場合も第1段階の傾斜方向と震央方向が一致しているので第2段階は明瞭ではないが、生野では60日前から停滞していて逆方向の要素が加わり、由良では急増して震央方向の傾斜が加わったことが認められる。以上を総合すれば第2段階では震央方向あるいは震央と逆方向の傾斜変化が加わり、Vector の方向転換が行なわれる。水平移動方向と震央方向が一致したときは多少不明瞭な場合もあるが例外はないようである。つまりこの段階は第1段階の水平移動の方向の傾斜によって表わされる広範囲にわたる地殻内の歪 energy の蓄積から、さらに将来地震が発生するであろうところの地殻内の弱い所、地質構造上特に不均質あるいは不連続な所に歪が集中する状態に移ったことを意味すると思われる。それ故これは個々の地震に直接関係のある変動で震央中心的な動き、すなわち震央方向あるいは逆方向、Nodal line の近くでは場合によっては直角方向に傾斜を行なうと考えられる。詳細に調べれば発震機構に関係がある筈であり、現在のところ複雑な動きのために第2段階の判然としない兵庫県群発地震の際の生野と越前岬沖地震で丁度 nodal line 上にある上賀茂の二つを除けば、日向灘地震の場合の槇峰だけを例外として他の7観測所の例では引の領域内では震央と逆方向、押の領域内では震央方向へ傾斜するという結果が得られている。しかし震央距離によって異なる可能性もあり発震機構型にも左右される筈であるから初動の押引に関係した現在の結果はむしろ偶然の要素が強いように思える。

### iii) 地震に伴う異常傾斜変化の第3段階

第2段階の震央中心的な傾斜変動は地震発生の約2週間前位から数日前位の間にかけ再び逆転する。この様子は日向灘地震の際の槇峰の傾斜変化に特に明瞭で第2段階のゆっくりした震央から逆方向への動きから急激な震央方向への傾きが変わる。日向灘地震、白浜沖地震の場合期間はかなり短かくわずかに1週間ないし数日前に始まるが、越前岬沖地震の場合は15日前に起こりこれも極めて明瞭である。北美濃地震の場合だけは不明瞭でむしろ第2段階の変化が急増する傾向にある。兵庫県西部群発地震の場合は活発時には停滞して複雑な運動をし、震央が北西に移動するにつれて西方に傾斜し頗発時には再び停滞する。このようなこと

を 7 月の活動終了時までには 3 回繰り返しているの逆転の様子は明らかではないが最初の地震についてみるならば約 10 日前に逆転が起っている。この傾斜の逆転現象はおそらく歪の集中が極限に達しすでに小破壊を開始したために震源域からかなり離れた弾性変形の領域においては小破壊による **energy release** の開始と共にすでに回復の過程に入ったとみるべきであろう。おそらく前震活動はこの時期に活発化するのではないかと想像され、微小地震の観測と合わせれば興味ある結果が期待できると思われる。震源域の近く、おそらく塑性変形領域内では、岩石の破壊の実験の際みられるように小破壊と共に **Creep** 現象が急速に進行し、破壊に至るもので北米濃地震の 1 例しかないが、おそらく震央近くでは第 2 段階の異常変化が逆転ではなく急増するものと考えられる。

#### iv) 地震時の変動および地震後の異常変動終了段階

地震時の急激な変動の例は白浜沖地震の際由良の伸縮計に地震時から約 2 時間つづく急激な縮変化が認められただけで、これについては前論文<sup>3)</sup>で **Elastic memory** の現象の際の回復曲線と関係づけて説明した。傾斜計で地震時の急激な変動が観測された例が鳥取地震の際の生野以外にごく少ないのは第 1 に大地震の震源域において観測されたことがないためであり、先の **Magnitude 6** 以上の浅発大地震で、震央の比較的近いのは白浜沖地震の時の由良の **35 km**、大聖寺沖地震及び北米濃地震のときの尾小屋のそれぞれ **40 km**、余震域までの最短距離を考慮に入れても北米濃地震の際の尾小屋の **20 km** である。第 2 に地震時の震動による **scale out**、および光点のトビのある場合はすべて器械的なものとして除いていることも注意しておかねばならない。この中には実際の瞬間的な急激な変動が含まれていたかもしれないが現在のところ識別することは不可能である。地震後異常変動は直ちに終了するものではないことは大地震後の測定の結果でも明らかであり、地震後も地震直前と同じ方向の変動を続けるが、ある永久変動量を残して平常状態に復する場合、ある程度回復する場合、完全に回復する場合などがある。

**Fig. 7** の **Vector** 図から判断すると、大聖寺沖地震、北米濃地震、越前岬沖地震、日向灘地震等余震を伴った **Magnitude 7** 前後の地震では第 3 段階の変動をそのまま余震活動の終了時まで続けるものと思われる。すなわち地震時の急激な大変動のない比較的遠距離においては前震の発生から余震の終了時まで **energy release** の続いている間は同じ変動を続けていると解釈してよさそうである。終了段階は徐々に収まるので終結の時期はあまり明瞭ではない。しかし余震活動は一度減衰して、後再び一時的に活発化することが多い。このことは大聖寺沖地震、北米濃地震、日向灘地震についてすでに前論文<sup>4)</sup>の図中にも示したのでこれを参照すると、異常変動の方は余震の再活発化の時期には終了しているかのようである。もし **Benioff**<sup>5)</sup> の云うように余震に 2 段階があり前の **group** が **compressional creep** の回復によって起り後の **group** が **shearing creep** の回復によって起るとするならば、傾斜異常変化は **shearing creep** の回復には無関係であるということになる。このような事実が確認されればまた新しい問題を提供することになるが今のところ観測の精度の上からさほど明瞭ではない。

なお槇峰では日向灘地震発生と同時に傾斜方向を転換しているように見えるが、これは第 3 段階の変化がなお進行する一方、第 1 段階の水平移動方向の傾斜の回復が急速に行なわれているためであって、第 1 段階の回復は水平移動方向の傾斜変化曲線の山から谷へかけての動きに相当する。第 2 節 i) で述べたように系列 **b** では小地震が山から谷にかけて発生しているのは日向灘地震の余震発生の場合も同様であって第 3 段階の進行と第 1 段階の回復とが同時に行なわれこの間に小地震が発生しているのは興味深い。また白浜沖地震の際の紀州の傾斜変動は完全に回復していることは明らかであるが、その他の場合はこれが永久変動として残ったかどうかは先に述べた通り適当な時期に測量を行わない限り判定できないし、また微量量であるため測量を行っても確認できるか否かも疑問である。ただ傾斜変化は伸縮変化のように歪を直接観測するのではなく、歪力による地表面の二次的変形であるため地質構造、地形等によりその変動量が地域的に非常に異なる上、場合によっては相隣る地域で逆方向に傾斜する場合も考えられることに注意し、傾斜の絶対量ではなく傾斜変化速度が変る現象のみに着目したい。

#### 4. 地殻下地震に伴なう地殻変動の諸段階

緒言に挙げた8つの大地震のうち地殻内に発生した6つの場合について、地震前後の諸段階が一応現在の諸資料から何とか統一的解釈を与えることができそうなことを示した。しかし残る2つ、吉野地震および大台ヶ原地震にはこの解釈があてはまらない。しかもこの2つはいずれも深さ70kmと60kmの地殻下に発生したやや深い地震であることに注目したい。西日本において地殻下地震の発生する場所は、志摩半島から若狭湾に抜ける深発地震帯は別として、一つは紀伊半島、一つは伊予灘から南々西にのびる九州琉球弧稍深発地震帯の二つである。吉野地震、大台ヶ原地震は前者に属し、日向灘浅発地震系列の転換時に発生するやや深い地震は後者に属する。これらの地震前後の異常変動が浅発地震の場合とどう違うかについて以下に述べる。

##### i) 吉野地震系列と地殻異常変動の様式

紀伊半島中央部に1952年から1956年にかけて発生した一連の地殻下地震を吉野地震系列と呼ぶことにする<sup>4)</sup>。これらが一つの系列をなすことは、これらの地震前後の地殻変動の様式から先ず想定されたものであるが、その他期間、発生地域、発震機構、energy releaseの状況を総合した上での判断である。第1に紀伊半島内には1926年に深さ70kmの地震が発生しているが、以後約25年間ほとんど地殻下地震が起っていないのに反し、1952年以後の4年間には吉野地震を含めて8個の地殻下地震が発生している。第2に発生場所は深さ60~80kmであるが深さと同程度の広がりをもつ60×40kmの狭い地域に密集している。第3に発震機構がすべてcone-typeであるばかりでなく、cone軸の方位まで一致している。これは同じ起震力によって起った一連のものであることを意味する。第4にこれらの地震によるenergy releaseの状況が、岩石のcreep実験でlog tにより表わされる弾性流動変形の状況と一致する。しかしもっとも決定的な事実はやはり地殻変動の様式であり浅発地震の場合と非常に異なる。Fig. 8に吉野地震前後の傾斜変化を1例として示すが、他の同系列の地震の場合も全く同様である。すなわち、やや遠距離にある上賀茂は別として、由

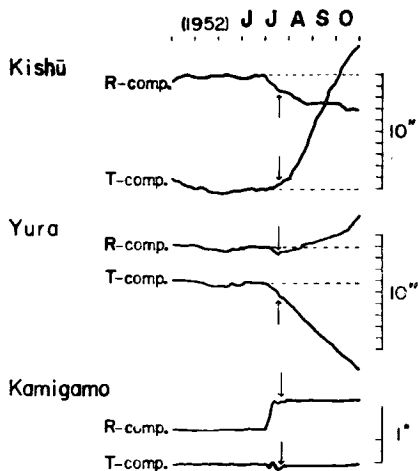


Fig. 8. Tilt variation in radial (R) and transverse (T) components to the epicenter of the Yoshino Earthquake at Yura, Kishū and Kamigamo.

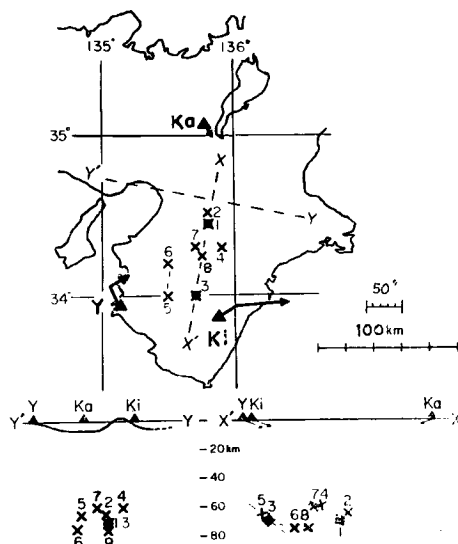


Fig. 9. Distribution of epicenters of the Yoshino Earthquake Series and vectors of anomalous tilting during its active period.

良・紀州・両観測所では地震発生と同時に傾斜変化速度が急変する。そして次の地震発生まで長期間に徐々に変化速度が変わってゆき、次の地震発生と共に再び急変する。由良・紀州共その変化曲線は丁度対数曲線の上に cycloid が重なった形で系列の終了まで続く (Fig. 10 参照)。この様式が浅発地震と異なるだけでなく異常傾斜方向は水平移動の方向と全く関係のないことは特に重要である。これはこの地方の浅発地震とは全く別の原因で発生したことを示唆する。先ず震央の分布は Fig. 9 にみるとおり、 $XX'$  軸およびそれと平行な線上に集る。 $XX'$  軸はまたこれらの地震の nodal hyperbola の軸の方向とも一致する。この  $XX'$  の東側にこれと平行して新造山運動の背斜軸があり、ここにはこの地震系列発生地域とほとんど同形同面積の大峰貫入体が存在する<sup>9)</sup>。これらの発震機構と地質学上の資料を合せ考えれば Magmatic Intrusion が原因していると考えることができそうである。異常傾斜変動は丁度この傾斜軸で隆起し両翼が沈降したことを示している。°Fig. 9 の Vector の折れ曲り点は No. 5, 6 の 2 個の地震の発生時と一致する。すなわち No. 5, 6 の地震発生と同時に背斜軸の西翼が一層沈降し、最終的には Fig. 9 左下のような形になったと思われる。

このように吉野地震系列による地殻変動は浅発地震の場合と全くその様相を異にしているが、地震の約 2 週間前に浅発地震の第 2 あるいは第 3 段階に相当する微傾動のあることに注目しなければならない (Fig. 8 参照)。この傾動は北側の上賀茂では震央方向、南側の紀州と由良は震央に対し逆方向であるが nodal hyperbola の軸から遠い由良では、軸に対しやや外向きの方向に傾斜している。つまりこの吉野地震の場合にもやゝ広い地震系列発生地域の歪蓄積と同時に、震央付近の歪集中が発震機構に関連して考えられる。なおこの広い地域の歪蓄積とその影響がいつ頃から地表面に傾斜として出現して来たかは由良・紀州の観測所がこの前年に発足したところなのでわからないが、上賀茂の傾斜変化からみると約 400 日前から異常が現われていると推定できる。なお上賀茂および由良・紀州の  $YY'$  軸方向の傾斜変化はこの系列の終了した 1956 年末から回復に向い、1962 年末までにほとんど回復しているが、 $XX'$  軸方向の傾斜変化は Fig. 10 にみられるように永久変動として残ったようである。

## ii) 九州琉球弧稍深発地震系列と地殻変動の様式

この地震系列と積峰の地殻変動の様式とはすでに第 2 節 i) に述べた通り吉野地震系列の場合と異なり水平移動方向の平均傾斜速度の変換時に発生し、同時に浅発地震の系列転換が起ることから浅発地震の発生と密接な関係があるらしいことがわかってきた。長期間にわたる変動の様子は模式的に Fig. 10 に示す。やや深い地震にも系列の転換があるらしく、それに応じて長期間の平均傾

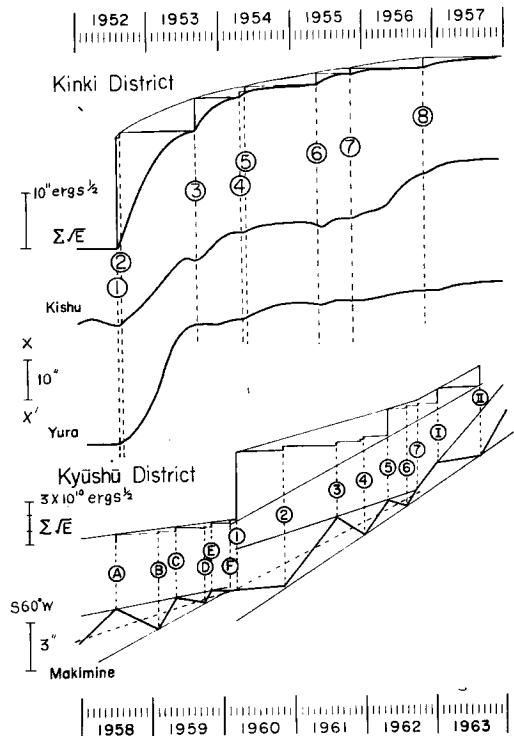


Fig. 10. Upper: States of the energy release for the series of the Yoshino Earthquake and tilt variation in the parallel direction to  $X-X'$  at Yura and Kishū.

Lower: States of the energy release for the subcrustal earthquake sequence in the northern part of Kyūshū-Ryūkyū Arc and tilt variation in the direction of the horizontal displacement at Makimine.

斜速度もまた変っているし、振巾と周期を減ずる様子は浅発地震の場合より一層規則正しく行なわれている。この詳細については他の論文を参照されたい<sup>5)</sup>。ここで特に注意したいことは、吉野地震系列の場合と比べて長期間の変動の形は非常に異なるが地震を契機として傾斜変化速度が急増し非常に緩慢な運動が次の地震発生までかなり長期間にわたって続くという、浅発地震とは違ったやや深い地震だけの共通点があることである。

さらに槇峰のほとんど直下に発生した2個の地震前後で非常に顕著な弾性的変形を行なっていることに注目しなければならない。すなわち1950年9月16日槇峰の北方わずか10 km、誤差を考えればほとんど真下110 kmに顕著地震が発生している。この場合も水平移動の方向に急激な平均傾斜変化速度の転換が現われているが、それに重なって丁度1カ月前から水平移動と直角な方向に、これはまた槇峰の東側を通るこの地震の nodal line (極軸が水平な quadrant-type) と直角な方向でもあるが、約5"の傾斜を行ない地震と同時に反転し、この変化だけは2ヶ月後に完全に回復している。また1961年8月1日槇峰の同じく北方 (Fig. 10 中 No. 3 の地震) 約35 kmに発生した深さ100 kmの地震の際には水平移動の方向に、同時にまた震央と反対の方向でもあるが、同じく1カ月前から0.2"の傾斜を行ない地震と同時に反転し、1週間後に回復している。これと全く同じ様式の傾斜変化が1960年10月4日中部地方に発生した深さ220 kmの顕著地震の際尾小屋で観測された。この場合も2ヶ月前から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反転し約2カ月で完全に回復していることはすでに前論文に報告した通りである<sup>3)</sup>。深い地震の前後にはこのように個々の地震に伴って1~2カ月前から単調に増加し、地震と同時に回復に向い1週間から2カ月位の間に完全に回復する弾性的変形を行なっている例がある。これがやはり吉野地震の場合のように第2, 3段階に相当するものかどうかは現在のところ不明である。しかし深い地震の場合でも個々の地震と直接結びついた変動が認められこれが変動の最終段階を形成しているらしいことを示唆しておきたい。

### iii) 大台ヶ原地震と異常傾斜変化の諸段階

地震前の異常変化が時期的にみて幾つかの段階に分れることが明瞭に認められたのは大台ヶ原地震が最初であり、すでに報告<sup>2,4)</sup>したところであるが、若干訂正すると共に簡単にまとめておく。

まず発震機構は吉野地震の場合と同じく cone-type であると思われる。しかし吉野地震と同地域で、同程度の深さ、同様の発震機構をもつにもかかわらず、現在のところ吉野地震系列とは全く違った単発地震と考えられ、地殻変動の様式も吉野地震の場合と非常に異なる。一般に深い地震には急激な変化は伴わないが Magnitude の割には遠方まで影響を及ぼすということが考えられ、この単発の大地震でしかもやや深い地震という特殊性のためか、その影響は近畿地方のかなり遠方にまで及んでいて、各地の傾斜変動の様式は発震機構と密接な関係があるらしい。南西の初動押の地域にある紀州・由良・潮岬の変動はかなり大きく、由良では Median line の影響も量的に作用しているのではないかと考えられるが、第1段階は約200日前からこの押の領域だけに起り、震央から逆方向でしかも nodal hyperbola の軸を隆起の背軸とし hyperbola の頂点あるいは焦点あたりが最も隆起したような傾向がみえる。この領域の第2段階は約120日前から起るが、第1段階との方向的な差は余りなく変化の速さが少し変わるだけである。初動引の領域の上賀茂・秋葉山・大浦では第1段階は現われないが、第2段階は約1カ月前から起り、傾斜方向は震央に対し直角方向で Vector は反時計回りに向く。最も顕著なのは第3段階で第2段階の動きが押引両地域のすべて、6カ所の観測所とも逆転し、押領域では震央方向に傾き、潮岬・由良では約20日前、紀州では10日前、上賀茂・大浦・秋葉山では6日前である。なお紀州では地震発生の前日から再び逆転し、地震と同時にこの動きが急増し、地震後約6カ月間続く。紀州以外では地震後40日以内に平常状態に戻り、初動引領域内は弾性変形で完全回復するが、押領域内では永久変動が残る。由良は地質構造上の影響が異常に大きいらしい。非回復性変動量を Fig. 11 下に Vector で示す。

以上の記述はなお複雑であるが、震央と紀州・潮岬両観測所がほぼ nodal hyperbola の軸上にあるとみて、両観測所の各月毎の異常傾斜量に比例するように地表面の変形の過程を模式的に示したのが Fig. 11

上である。第2期の終り11月末頃までは震央あるいは *hyperbola* の頂点あたりを中心として直線的に増加したものが第3期の逆転期に入って隆起地帯が震央より遠方の方にまで拡がり震源の深さと同程度の距離(60 km)あたりで膨れ上って震央付近ではやっともちこたえているような形を示し、地震と同時に震央距離60 kmあたりを *node* としてはわかえりをしているようにみえる。震央付近の変動量はわからないが、*nodal cone* 軸の地表面となす傾きから考えれば、紀州辺りが最も変動量が大いのではないかと想像される。紀州・潮岬の永久傾斜変動の方向は、水平移動の方向とはほぼ一致しているが、由良の傾斜方向と考え合せると、水平移動方向というよりもやはり *hyperbola* の頂点または焦点を中心として隆起したと考えるのが妥当であろうと想像される<sup>10)</sup>。

### 5. 結語—地震に伴う地殻変動の諸段階と地震予知の可能性の問題

以上のように浅発大地震の場合、異常変化の第1段階では水平移動の方向にその地震系列特有の様式をもった異常変化が現われるが、これは広範囲にわたって長期間歪 *energy* が蓄積していく反映であると想像される。第2段階は震央中心的な動きであって歪の集中を示し、第3段階は *creep* の増大または破壊の開始であり第2段階の動きが急増または逆転する。地震後は余震活動の続く間は同じ変動を続けることは確かなようである。第

1段階の動きは、地域的な特性また地震系列による特性にしたがって期間の長短や規模の大小が異なることがわかったし、その他の点でも現在の知識と資料により一応共通性を見出すことができた。これに対し地殻下に発生する地震では、紀伊半島の場合、地震群の発生地域または単発地震の震央を中心とした隆起沈降現象が認められ、岩漿溜のようなある限られた *energy* 源での *energy accumulation, release* の過程に対応して、地震発生域を源とした傾斜変動の数段階が現われる。しかし一方、同じ地殻下地震でも九州地方のやや深い地震では、変化の規模や形に似たものがありながら、水平移動の方向に特徴的な動きがありこの点浅発地震と極めて密接な関係があると思われるが、この大規模な変動は決して個々のやや深い地震に直接伴ったものではないらしい。しかし近距離の顕著な地震の場合には第2, 3段階に対応するような個々の地震に伴う動きもみられる。以上述べたことは長期間の観測の結果でこの意味では信頼性は大きい、大地震の例が少ないので、この共通性について断定的な結論を出すのは非常に危険である。しかし何らかの統一的理解を考えるならば現段階としては、このように考えるのが諸事実に対してもっとも矛盾なく妥当であると思われる。

さてもしこれらの仮定がある程度正しいとすれば、水平移動の方向に異常が起れば、地域的な特性によって異なるとしても、半年後か数カ月後に中規模以上の地震または地震群の発生が予想され、同一地震帯に数

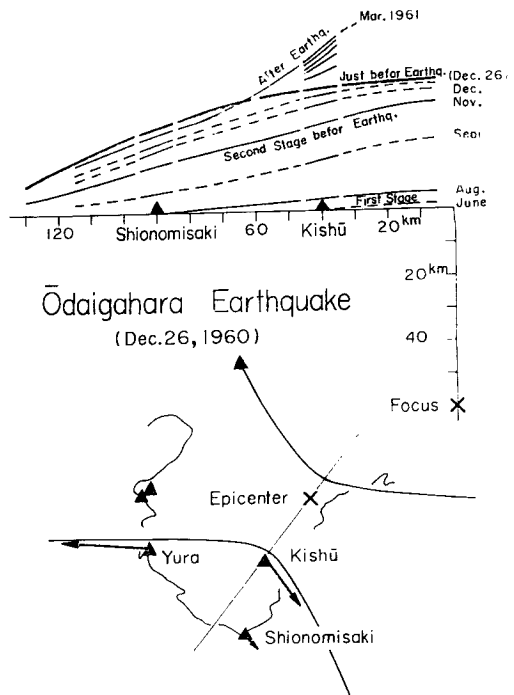


Fig. 11. Upper: Process of surface deformation caused by the Odaigahara Earthquake supposed from the tilt variation in the direction to the epicenter at Kishū and Shinomisaki, Lower: The vectors of permanent tilting. Solidlines show the nodal hyperbola and its axis.



カ所の観測所があれば傾斜 **Vector** の転換方向からおよその震央位置を予測でき、また傾斜変化の逆転あるいは急激な増加があれば2週間以内に大地震の発生することがわかり、同時に微小地震でも急増すればますますこれが確実なものとなり、地震の規模は地震系列の転換からの経過時間や **energy release** の状況から **strain accumulation, strain release** の予想曲線を画いておきそれから推定する。このように云えば簡単であるが、これは結果論にすぎない。第1に水平移動の方向に大きな異常が始まったとしてもこれが大きな系列の転換によるものか、あるいはやや深い地震によるものか、破壊的大地震によるものかの判断がつかない。方向が転換したとしても **nodal line** の近くでは直角方向にむく可能性もあり、また地震系列の様式が変わったのかもしれない。それに系列転換の最初に大地震が起る可能性が大きいとすると、系列が転換したかどうかとも判然とせず、新系列の **energy release** の状態や地殻変動の様式も不明で、またどのような発震機構をもっているかも予想できぬうちに最も予知を必要とする大地震が発生するということになりかねない。今後多発地帯では浅い地震同志は影響し合って **mode** が変様し、浅い地震と深い地震の場合は重なり合うという例が見出されるかもしれないが、もし数種の系列がくり返し交替して続くなれば、さらに長期間の観測結果から、系列の転換を判定する可能性は充分にある。しかし現在までに観測された異常変化程度の微小な変化しか望み得ないならば、地震予知を具体化するためには多数の観測点の状況が刻々にわかるような、遠隔播送式の **system** を確立し、各種の資料を刻々に整理してゆかぬ限り現有の観測器械では予知は不可能であることを付加しておきたい。

この論文は、故西村英一教授の御指導の下に行なった従来の研究結果を総合的にとりまとめたものである。地殻異常変動の諸段階から、地震予知の可能性に及ぶ問題は1963年の秋頃にその端緒を得て当時病床にあった故教授と話し合ったものである。ありし日の教授を追想しここに故教授の生前の懇切なる御指導に改めて感謝すると共に御冥福をお祈り申し上げたい。また研究上の一切の便宜は地殻変動部門主任一戸時雄教授より与えられたもので、教授の御教示と御鞭撻に、同時にまた部門一同の御協力に深く感謝する次第である。なお長期間の観測の結果は、16カ所に及ぶ各観測所で直接観測に当られた多くの方々、観測に便宜を与えて頂いた各鉦山会社の御協力、器械製作に、記録の解析に当られたの方々、これらの大勢の人々の御甚力によって成ったもので、決して個人の力になるものではないことを想起したい。なおこの論文が完成の運びになったのは長谷川久子嬢、小林誠・山田勝両君の御助力によるものであったことを付記しておく。

#### 参 考 文 献

- 1) Nishimura, E. : Anomalous Tilting Movement of the Ground Observed Before Destructive Earthquakes, Rep. 1st Internat. Symp. on Recent Crustal Movements, Leipzig, 1962, pp. 214-234.
- 2) Nishimura, E., Tanaka, Y. and Tanaka, T. : On anomalous crustal deformation observed before some recent earthquakes (Part I), Disas. Prev. Res. Inst. Ann., No. 5, 1962, pp. 28-43.
- 3) Nishimura, E. and Tanaka, Y. : On anomalous crustal deformation observed before some recent earthquakes (Part II), *ibid.*, No. 7, 1964, pp. 66-75.
- 4) 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., Kyōto Univ., No. 2, 1963, pp. 173-186.
- 5) Tanaka, Y. : The Relation between Crustal and Subcrustal Earthquakes inferred from the Mode of Crustal Movements, *ibid.*, No. 4, 1964 (in Press).
- 6) 松田時彦, 杉村新 : 活断層から推定される中部日本の水平主応力分布, 1964年5月地震学会春季大会講演要旨.
- 7) Inoue, E. : Land Deformation in Japan, Bull. Geograph. Survey Inst., Vol. VI, part 2-3, 1960,

pp. 73-134.

- 8) Benioff, H. : Earthquakes and Rock Creep, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 41, 1951, pp. 31-61.
- 9) Saeki, H. : On the Relation between Neogene Tectonic Movement and Ore Deposit in South Area Peninsula (Ishihara Sangyo Kaisha, Ltd.).
- 10) 石本巳四雄 : 地震初動方向分布と地変, 地震とその研究, 古今書院, 1935, pp. 161-168.