

地震活動に関係した地殻変動 (5A)

—近畿地方北西部の地震活動と生野で観測された地殻変動—

田中 豊・小泉 誠・加藤正明

CRUSTAL MOVEMENTS RELATED TO THE SEISMIC ACTIVITY IN A RESTRICTED AREA (5A)

—Relation between the Seismic Activity
in the Northwestern Part of the Kinki District
and the Crustal Movements Observed
at the Ikuno Station—

By Yutaka TANAKA, Makoto KOIZUMI and Masaki KATO

Synopsis

The vector of secular ground tilts observed at Ikuno changed its direction gradually twice between 1951 and present. The first turning occurred extending from 1955 to 1957 and the second reverse one began in 1964 or 1965. The directional turnings of tilting movements were more distinctly observed also at Kamigamo in 1956 and 1964.

On the other hand, time variation of distribution of epicenters and of rate of energy release shows that the shift of seismically active region in the northwestern part of the Kinki district coincided with those turnings.

Further, it is conceivable from a construction for the results of geodetic surveys and the state of seismic activities that a similar phenomenon occurred in the district around 1925 on a larger scale.

From these matters, a close relation between the mode of gradual crustal movements and the transition of seismic activities may be confirmed.

The other problems of the Ikuno station will be reported in the next paper of this series.

1. 緒 言

1964年4月鳥取微小地震観測所が設置されて以来、近畿地方北半部の微小地震観測網も逐次充実して、精密な観測が実施されているが、その成果として微小地震の震央分布の様相が次第に明確となり、発生の地域的特徴が地体構造、とくに活断層と関連づけて考えられるようになった^{1)~5)}。同時にこの地域の地震が微小地震から大規模地震にいたるまで、起震力の方向がほぼ東西であることが判って、これと tectonic force との関係も議論される段階に達した。一方この地域の地質学地形学的尺度の地殻変動は、第四紀地殻変動の研究が進むにつれて、その機構を問題とするようになり、とくに大阪市大藤田和夫によって、西南日本における第4紀中頃の応力場の転換が論ぜられ^{6),7)}、中央構造線付近の右ずれ水平移動や、山崎、三峠両断層の左ずれと六甲 Thrust の右ずれ傾向が、東西方向の圧縮応力場による新しい運動を示すものとして、これが現在常時活動中の地殻内現象である微小地震の震央分布やその起震主圧力の方向性などの観測事実と一致すると指適されるに至って、地質学地形学と地震学測地学との共同研究の場が開けてきたように思われる。ここに、長期の地殻変動と現在の地震現象を直接結びつけるために、現在進行中の地殻変動、すなわち測地

学的な地殻変動の解析はこの総合的研究の一端として不可欠な問題となって来た。本稿ではまず連続観測としては比較的長い期間の地殻変動と地震活動の関係を、一部は測地測量の結果をも参考としてまとめた。

生野地殻変動観測室は、1943年6月に、佐々憲三名誉教授と故西村英一教授の手により、生野鉱山内地表面下720mの坑道内に設けられたもので、水平振り型傾斜計などの計器設置の3カ月後に起った鳥取大地震に際して、地震発生前後の異常変動⁹⁾が、世界でも初めて観測されたという地殻変動連続観測史上有名なところである。その後1951年1月に観測室は現在の金香瀬坑本坑に移され、観測は三菱金属生野鉱業所の御厚意により現在も好調のうちに継続されている。

なお本稿を第5篇とする「地震活動に関係した地殻変動」の一連の論文は各観測室の過去の諸資料を整理し、合わせてその地域の地震活動に関連した地殻変動を論じて、今後進展する研究の基礎とする意図の下にまとめているが、今回は都合により従来形式による資料の総括と詳細な議論を次の同表題(5B)で行なうこととし、本稿(5A)では1951年から現在までの観測結果のうち、比較的緩慢な永年変化と地域地震活動の交代、消長の関係に論点をしばった。

2. 近畿地方北西部の地震活動

地殻変動の連続観測の最大の長所は、時間的変化の過程を詳細に取扱うことができる点にある。地震活動と地殻変動の関係を調べる場合に地震活動の地域性、震央の空間的分布と同時に、活動の消長すなわち震央分布の時間的変化に着目しなければならないのは当然である。一方連続観測の歴史は過去20~30年にすぎないが、それを補うためにも、あらゆる資料を用いて類推し、傍証を固めることが大切である。この意味で、有史以来の地震発生状況とその震央分布を参考にすることも必要であろう。Fig. 1 は理科年表に記載された歴史に残る破壊的大地震の震央分布で、推定 magnitude 6 以上のものである。この図には特に1961年の兵庫県西部の群発地震の主震(M=5.9)の震央と、1968年の和知地震の主震(M=5.6)の震央を追加していた。他にこの地域では1899年の有馬の鳴動などが関連現象として注目されるべきであろう。なぜならば、

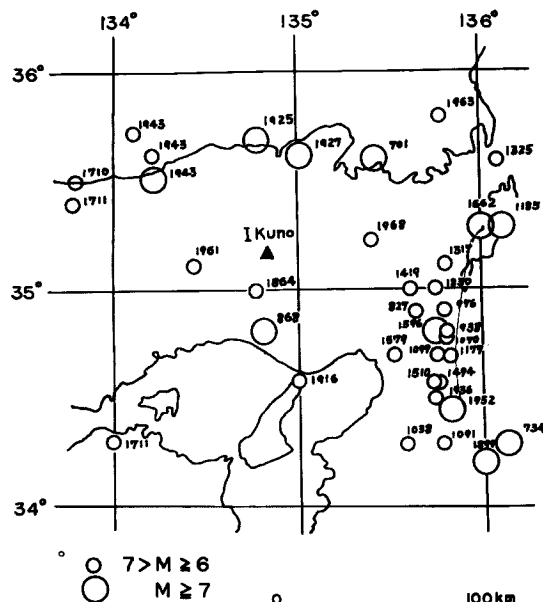


Fig. 1 Distribution of epicenters of the remarkable earthquakes in history occurred in the northwestern part of the Kinki district (after Rikanenpyo).

地震計測網がようやく整備されて、1800年代との比較は必ずしも適当でないとはいえ、この有馬鳴動の発生と期を同じくして1899年8月以後1924年頃まで六甲山周辺から大阪湾にかけては、他地域に比べてかなり地震活動が活発であったことがうかがわれるからである。

さて、破壊的地震の分布は、歴史的記述に幾分の片寄りがあるとしても、近畿西北部の地震活動の特性をかなりよく表わし、大地震の発生場所と頻度を端的に示している。明瞭なのは若狭湾から鳥取にからての大地震帯とその続発性である。今一つは過去の大地震の震央の位置にかなりの誤差を含むとしても、山城大和を合せた淀川地震帯である。ただし大和地方では吉野地震（1952）のような深さ 70 km 程度のやや深い地震も含まれている可能性がある。

淀川地震帯については、阿武山地震観測所岡野健之助の詳しい研究^{9,10)}があるので省略するが、これらの2つの地震帯とは別に兵庫県南部にも過去においてかなりの規模の地震が発生している。1961年の兵庫県西部の群発地震は、この地域としては予測し得ないことでもないが、一方 $M=5.9$ という規模は発生間隔からみてやはり特殊なものといえよう。

i) 生野の地殻変動と関係のある地震活動域

Fig. 2 は1885年から1962年までの magnitude 4 程度以上の地震の震央分布を2つの期間に分けて図示したもので、1885年から1925年までは「日本附近におけるおもな地震の規模表」、1926年から1962年までは「日本附近の主要地震の表」地震月報別冊1, 2に拠った。1925年分までは震源の深さが示されていないので、深発地震も混っているかも知れない。記載の範囲は生野から 100 km 以内を確実にとりあげ、120 km 程度までは一部記載もれがあるので参考程度に示すことにした。

生野から 100 km 以内を関連活動域として考えたのは、過去の大地震の例から、異常変動の現われる範囲は一応 100 km 以内ということを基準の一つの要素とはしているが、むしろ生野に影響を及ぼす地殻変動域を、地体構造や地震発生域の分布、さらに藤田の六甲変動論^{6,7)}などを考慮して定めたもので、淀川地震帯は北端部をのぞいてほとんどこの範囲に含まれ、山陰側も、先の論文¹¹⁾で鳥取の西方、 $E133^{\circ}40'$ あたりに東西ブロックの境界があるとしたが、その東ブロックはほとんど含まれることになる。Fig. 2 から推察されるように、生野の位置からみて 100 km の範囲をとるのは以上の点からきわめて適切であると考えられる。これに対応する地殻変動区については後に述べる。

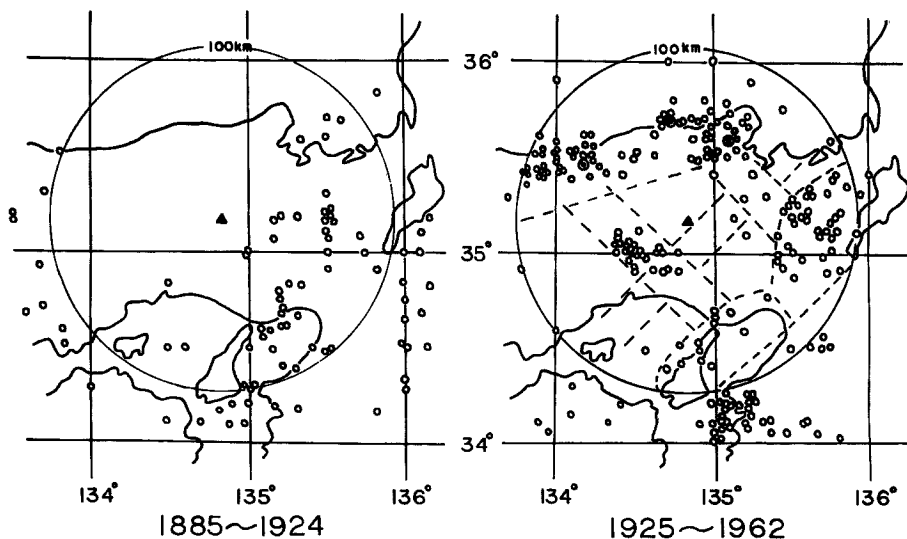


Fig. 2 Distribution of epicenters of the earthquakes occurred in the northwestern part of the Kinki district on two different epochs.

ii) 1895年—1962年間の主要地震の震央分布

1925年までとそれ以後の資料では震央位置の精度や magnitude の決定、小地震の記載数に違いがあると思われる、両者を同等に扱うことはできないが、1925年に但馬地震が発生し、この地震を境としてかなり活動地域に変化があるように思えるので、1924年で切って2つの図に分けた。期間はいずれも40年に近い。図には余震の大きなものもすべて含まれている。正確な議論はできないが、傾向として1924年以前は、山陰側は若狭湾をのぞいて至極静穏で、同様に兵庫県西半分もきわめて地震活動が弱かったが、大阪湾北部と和知から生野地方にかけては1925年以後よりも活発であったといえる。1925年以後はいわゆる淀川地震のむしろ北部が活発で、大阪湾では淡路島附近がやや活動しているが地震は小さい。その他震央は生野の南西山崎断層附近に集中しているが、この約3%は1961年に発生したものである。しかしもっとも顕著なのは山陰側の但馬地震、丹後地震、鳥取地震であって、図中の大部分はこれら3つの地震の余震である。余震であるかどうかにかかわらず、この地域でそれに相当する energy が波動として消費されたのは事実であって、1925年から45年頃にかけて特異な状態にあったことに変わりはない。

iii) 微小地震の震央分布と小地震帯の区分

Fig. 3 は1965年5月から1966年12月までの約1年半の間に鳥取微小地震観測所の観測網にとらえられた微小地震の震央分布であり、生野から約80 km の範囲内はおおわれていると考えられる。この分布状況には少なくとも数年来大きな変化はなかったといえようが、かなり特徴的なものであり、藤田、岸本がすでに指摘しているように、幾条かの交叉する帯をなしている。その帯は Fig. 2 の大きな地震の分布とほとんど同じであるといっても差支えなく、もし Fig. 2 の両図と Fig. 3 を重ね合わせるならば、雑ではあるが発生地域は、Fig. 5 左上図に鎖線で示した幾つかの帯状の領域に分けることが出来るようである。この領域を北東—南西系のものは A, B, C, 北西—南東系のものは a, b と記号を付け、さらに活動の交代性から A をさらに A₁, A₂ に分けた。交叉している部分や A₁ と a の分け方にもかなり問題があるが、これは将来さらに厳密に検討することにして、例えば、b が活動中で B が静穏なときは、B b の交叉領域にあるものは b の中に含めるような処置をし、6つの領域についてそれぞれ地震の発生の時間的変化を示したのが Fig. 4 である。

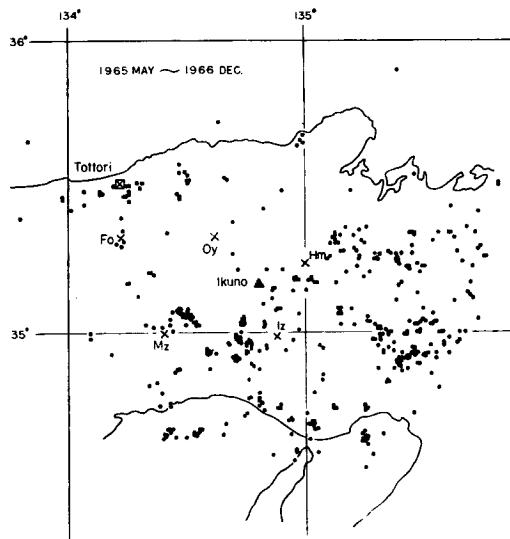


Fig. 3 Distribution of epicenters of microearthquakes occurred in the northwestern part of the Kinki district during the period from May, 1965 to Dec., 1966 (after Kishimoto et al.).

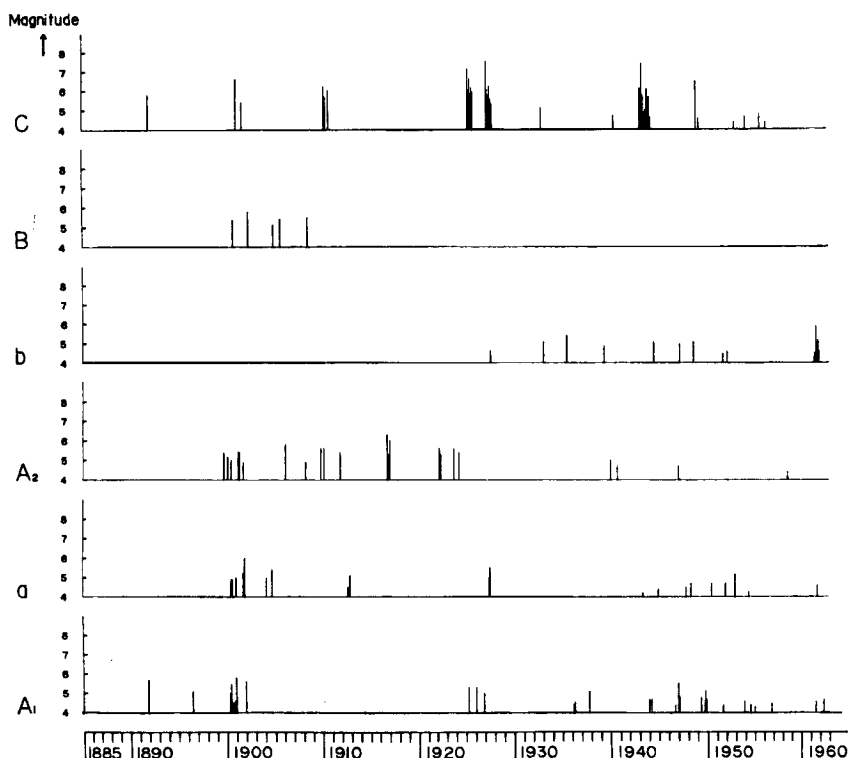


Fig. 4 Changes of seismic activities for each region (ref. Fig. 5) during the period from 1885 to 1962.

iv) 地震活動域の移動

Fig. 4 に記したのは magnitude 4 以上の地震であり、magnitude の表示のないものは省かれているのと、1925年以前の資料は magnitude の見積りが後のものにくらべて大きいように思えるので、この期間を通して活動度を議論することは適當ではないかも知れないが大勢の見当はつくと思われる。1900年前後は淀川地震帯を中心としてこの地方全体がかなり活発であったが、1903年以後1924年までは大阪湾周辺 (A_2) が非常に活発であり、それに対して淀川流域 (A_1) や兵庫県南西部 (b) では大きな地震は全く発生していない。ところが1925年但馬地震発生之年から様子は一変して、 A_2 地域ではほとんど地震が起らなくなると同時に、発生域は b と A_1 の領域に移って少なくとも b の活動は1950年頃まで続く。 A_1 は隣接領域である a と共にむしろ1944年頃から1956年頃までがもつとも活発である。全期間に亘って見れば、 C , a , A_1 の活動期はよく一致していて、坪井も指摘したように¹²⁾、隣接または交叉する地震帯同志は相互の相関関係が高いということがいえる。しかし常に A_2 の活動が終れば b あるいは A_1 が活発になるというような単純な法則性は、今のところ見当らない。また解析の対象とする地震の規模や時間間隔のとり方を変えればこの様子はまた変わるであろうし、微小地震では地震帯としての活動は一樣で、むしろ「震源の塊り」の移動があると見る方が良いかも知れない。以上のように領域の分け方、活動期の定義などにはなお問題が残るであろうが、地震の発生地域が移動する、あるいは活動にはっきりした消長があるということは事実であり、とくに1925年には、地震活動状況に大きな変化があったと推定してよからう。もしそうであれば、周囲を活動域で囲まれた生野の地殻変動はどのようなものであろうか。今まで報告してきた槇峰¹³⁾、細倉¹⁴⁾、などでは一地域の地震区だけを考えればよかった。また尾小屋¹⁵⁾の場合は、二地域とはいえ2つの区域の地震系列

の間にはっきりとした関係があって、一つのものの変様と考えてよかった。それ故に傾斜変動の特徴的な様式のあらわれる方向というものが、正に tectonic force の働いているであろう方向と一致していた。生野の場合は1951年以後北方をのぞいて、周辺のかかなり近い地域全体で地震活動が盛んであった。しかも tectonic force というものはその方向がそう変るものではないであろうし、その反面、破壊の行なわれた領域は東から南、西の大部分にわたっている。この場合の地殻変動はどのような様式であろうか。

ⅴ) 1951年以降の地震活動と活動域の移動

傾斜計が現在の本坑に移設されたのが1951年の1月であり、ちょうどこの年から地震月報が発刊されている。1961年に編集方法が変ったが、今のところその影響は結果にあらわれていないようであって、資料の統一には都合がよい。

1951年から1969年4月までをその発生状況から見て3つの期間に分け震央分布図を書いたのが Fig. 5 であり、先の6つの領域について magnitude から計算した energy の平方根が strain に比例するととして、その累積を示したのが Fig. 6 である。

1951年から（実際には1943年あるいは1948年頃からと見られるが）1956年までの6年間は A_1, a の領域が極めて活発であったが、1957年から1963年までの7年間は A_1 から南の方にのびて数が少くなると共に地震

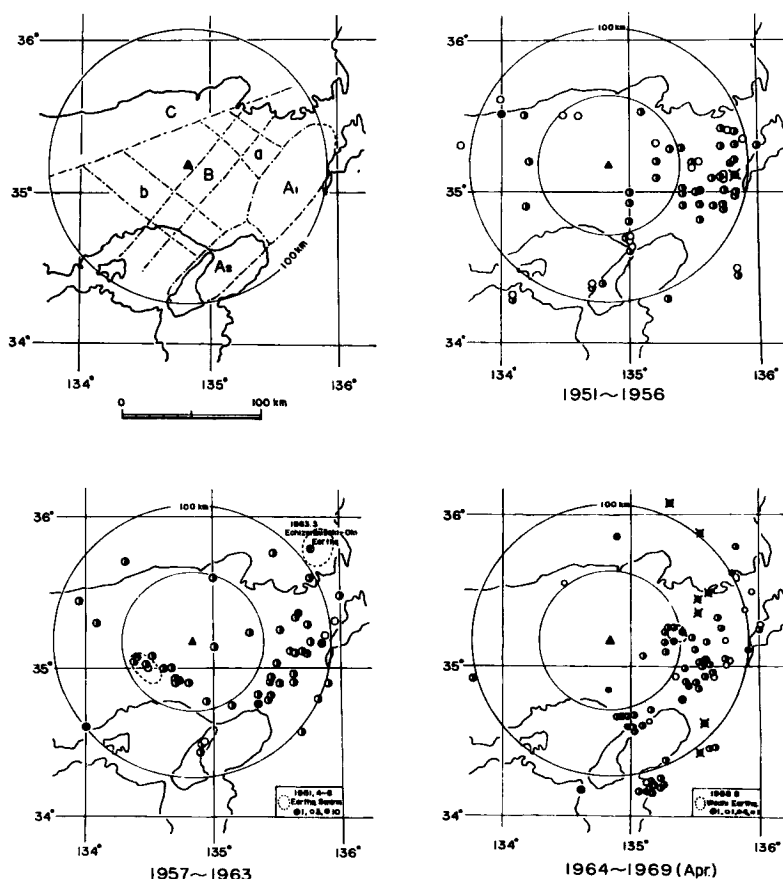


Fig. 5 Presumed seismic belts and distributions of epicenters occurred within 100 km of Ikuno on three different epochs.

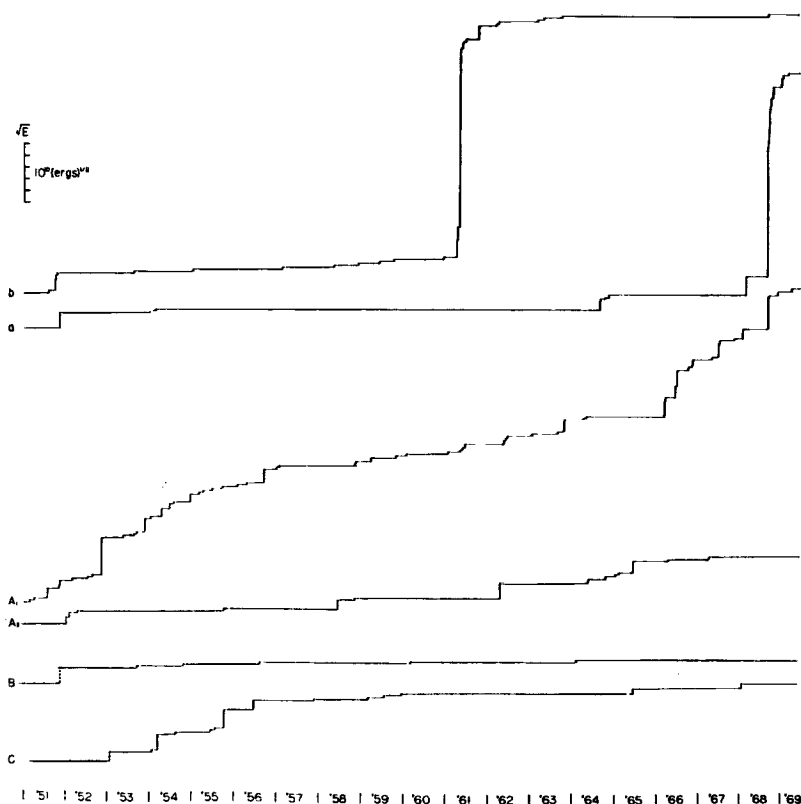


Fig. 6 Modes of energy release by shallow earthquakes occurred in each region (ref. Fig. 5).

も小さくなり、それに反して b 領域が活発化している。この期間の中頃に兵庫県西部の群発地震が発生しているが、直接の余震は余震域を点線の楕円で示して図から省いてある。1964年の転換期には、その前の期間中の空白地帯であり、また b と A_2 の交点である明石海峡に地震が集中しているのは特徴的であるが、1964年以後 b の活動は完全に止まり、1951年から1956年までの期間とほとんど同じ分布状態にかえっている。和知地震は1968年8月に起こり、その余震域は点線の楕円で示し、余震の記入は省略して右下隅に数だけ示してある。また1963年の越前岬沖地震とその余震域を参考までに示した。これが A_1 , C および B 領域の交点附近、また藤田のいう近畿 Triangle¹⁶⁾ の頂点に当るのも何らかの意味があるのかも知れない。ちなみに鳥取地震は b と C 、但馬、丹後地震は a と C の交点に発生している。

Fig. 6 を見ればこれらの時間的変化がよくわかる。とくに A_1 については1956年までの strain energy 解放率と1965年以後とはほぼ等しいに反し、その中間期1957年から1963年までは非常に小さく、一方 b では energy の解放は1961年頃に集中しているが地震発生数は1957年頃から徐々に増加し、1963年末まで続いていて、 a および A_1 の活動開始と同時に全く活動を停止していることがわかる。

以上のことから、現象は急激に起こったわけでもなく、また A_1 の活動が全く停止するようなこともないが、1957年末と1964年あるいは1965年の2回にわたって明瞭な地震活動の変換あるいは活動域の移動があったことが推定できる。

3. 生野観測室で観測された永年傾斜変動

1951年1月旧観測室とは別に金香瀬本坑に新しく2台の水平振子型傾斜計が設置された。この観測室は地表面下160m 金香瀬坑の主要鉱脈である千珠本鉱からはなれた西立入れ坑にあって、200m以内に坑道はなく採鉱はさらに遠方で行なわれていて掘削の影響はないものと見てよい。気温、降雨の影響も皆無である。1955年には旧観測室の傾斜計(記号A, B)をこの観測室に移設したが、かなりの高感度で使用したためとくに南北成分は調子が悪く、1964年頃までやや不安定な状態が続いた。これら観測の詳細については次回本論文続篇(5B)にまとめることにする。今回は1951年1月に設置されて以来安定した状態で観測が維持されている傾斜計(記号C, D)の永年変化だけについて報告する。1957年から1958年7月までは事情により欠測であった。また63年中頃より65年末までは $N20^{\circ}E-S20^{\circ}W$ 成分(D)が不調で、この間はA, Bの変化を参考として補った。また68年中頃からそれまでは好調であった $N70^{\circ}W-S70^{\circ}E$ 成分(C)が他成分には見られない異常をおこしたので、この間もA, Bの変化を参考として補った。

Fig. 7 はこのようにして幾分の推定部分を含むが、現観測室の観測開始以来、現在までの永年変化のVector図である。詳しくみればこの上に小さな変動が重なっているが、この図のScaleでは、長期間の変動の中にかくれてしまって緩慢な変動状況だけが卓越して表われている。

i) 兵庫県西部の群発地震と和知地震に伴う地殻変動

1960年5月頃からはじまる急激な変動はA, B成分にも現われていて、その量は約5秒に達し、ほぼ南南西方向への傾斜となって1961年9月頃まで続く。その頂点に達した1961年4月から兵庫県西部の群発地震が発生し、その発生域は生野の南西から西南西にかけて距離約30kmの地域であって、異常変化の発生時期と方向から考えてこの群発地震に直接関係した地殻変動と考えられるが確証はない。なお群発地震生期間中の異常変動についてはすでに1961年度の年報に報告したので省略する¹⁷⁾。次に1967年6月頃から逆に北東方向の異常変化が起り、1968年7月頃に頂点に達した。変化量は約2.5秒で、1961年の場合の約半分であるが、8月には生野の東方約50kmに、生野を中心として1961年の群発地震とほぼ点対称の位置に和知地震が発生した。余震を含めれば兵庫県西部の群発地震とほぼ同等のstrain energyを解放したことになるが、vector図をみても前者と対称的に表われているのは興味深く、和知地震に直接関係した地殻変動と考えられるが、これも他に確証はない。詳しくは次回に報告する予定である。

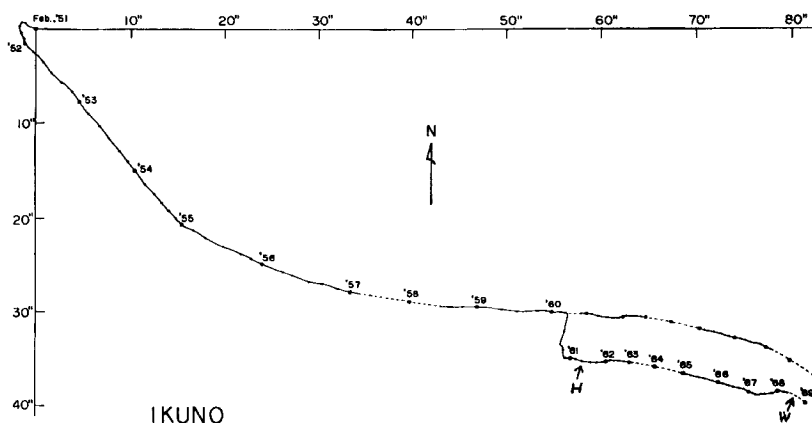


Fig. 7 Vector diagram of ground tilts observed at Ikuno.

H: Earthquake swarm in the western part of Hyogo prefecture

W: Wachi Earthquake with a lot of aftershocks

ii) 緩慢な永年傾動

以上の2期間のかなり急激な変化をとり除けば、vector はきわめてなめらかなものとなり、観測精度で月 $0.1''$ 、年間 $1''$ 以上の誤差はまずないものと考えられる。今回の議論はこの緩慢な変化を示す vector を対象として進めていくことにする。なお1952年はじめまでの約1年間の異常は器械台および計器を新しく設置した設置直後の影響であることは明らかである。この影響は永年変化とはほぼ逆の方向に作用したと考えられ、この期間の変化量はむしろ小さく現われている。

iii) 最大傾斜方向の変化

Fig. 8 は生野で観測された傾斜変化の2カ月毎の総傾斜量を2分して平均的な1カ月の総傾斜量に直したものの(φ)と2カ月毎の最大傾斜方向(θ)を示したものである。 θ は vector 図からも予想がつくように、かなりなめらかな曲線でこれを結ぶことが出来るが、1954年以前はやはり東 50° 南方向の直線的な変化と考え、55年初めに急激な方向転換があったと考えた方が良さそうである。方向の変化は1960年末をもって頂点に達し、vector は真東を向いて1961年に兵庫県西部の群発地震が発生している。以後 vector は再び南に向きを変える。1967年以後も連続的に方向が変っているのかあるいは東 20° 南あたりに方向が一定したかは今後の様子を見なければわからないが、兵庫県西部の群発地震と和知地震の発生前に平均曲線から互いに逆方向に大きくはずれているのは興味深い。なお総傾斜量は1959年頃までは、年平均をとるとほぼ一定しているが、1959年頃より少なくなり1961年頃から減少したまま一定の値を保っているようである。これが兵庫県西部の群発地震のためであるとすれば、その前後で月約 $0.3''$ 程度の変化速度の違いがあったことになる。傾斜方向は全期間を通じて平均して $S80^\circ E$ であって、この方向に月 $0.2''$ 程度の坑道の一方的変形あるいは計器の drift があったと考えてよいかも知れない。

生野の地殻変動の様式として特徴的な現象は、尾小屋¹⁵⁾、神岡¹⁵⁾、槇峰¹³⁾などでは地震系列の転換と共に傾斜変化速度が急激に変わり、しかも傾斜方向が変わるのではなく、傾斜量が変わった、つまり見かけ上 vector の方向が変わったにすぎないのに対し、生野の場合にはこのようなある特定の方向に傾斜変化の特徴的な mode があらわれるのではなく、方向そのものが変っているらしいことである。これは生野をとりむようにして地震活動域が存在することに原因しているのかも知れない。なお Fig. 8 のように θ , φ で永

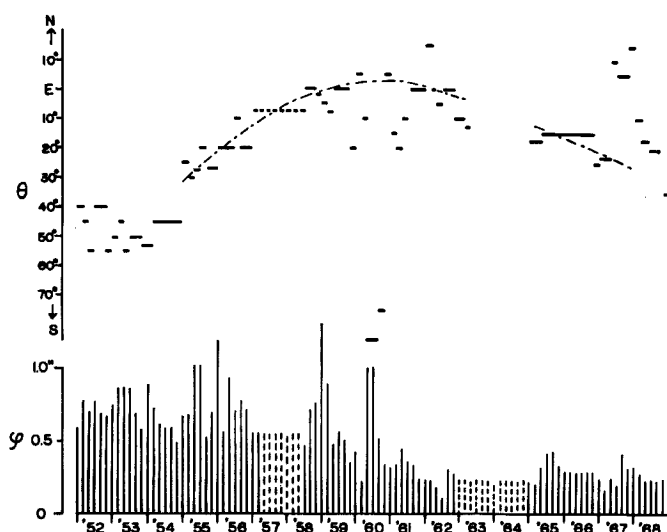


Fig. 8 Variation of direction (θ) and changes of total amount (φ) of ground tilts per a month at Ikuno.

年変化をあらわすことの利点は、欠測の場合に推定値をもってつなぐ必要がないということである。

4. 近畿地方北西部の広域地殻変動と地震活動

i) 地震活動域の移動と傾斜方向の転換

Fig. 9 は Fig. 7 のうち急激な変化を除いた緩慢な変化だけを示した vector 図を 30° 毎の方向の成分に分解したものであって、さらに鎖線で表わした曲線は山崎断層に沿う $S50^\circ E$ の方向と、それに直角な方向の成分変化を追加したものである。

先にのべたように、尾小屋の場合のように、ある方向にはほとんど異常変化はなく、直線的であるという成分はなく、とくに特徴的な変化を示すという方向もない。また生野の傾斜変化の特性は山崎断層の方向とはまず無関係であり、むしろ鉢山周辺の $N50^\circ E-S50^\circ W$ の走向をもつ断層系の影響が強く、この方向に1955年から異常変化が顕著に現われて兵庫県群発地震の直前まで続いていると見ることもできるかも知れない。しかしこの方向はこの断層系の走向でもあるがまた群発地震発生域の方向にも当るのでいずれともいい難い。ただここで極めて特徴的なのは南北方向の成分である。坑道の一方的変形が同じ率で加わっているであろうから実際の傾斜方向は判断できないが、この図を見る限りでは1956年頃までは南方向に大きく傾き、以後1966年頃まではほとんど変化がなく、1966年中頃から再び南方向の傾斜が増している。比較のためにFig. 9の下に2.の▼)でのべた地震活動域の変換の様子を簡単にまとめてみた。 A_1 b などの記号を付した直線が、各地域の活動期間を示しているが、南方向の傾斜変化の収まった1956年末は A_1 地域の活動が b 地域の活動に変わった時期と全く一致する。さらに南方向の傾斜が再び始まった1966年中頃は、 b の活動が終り、先の

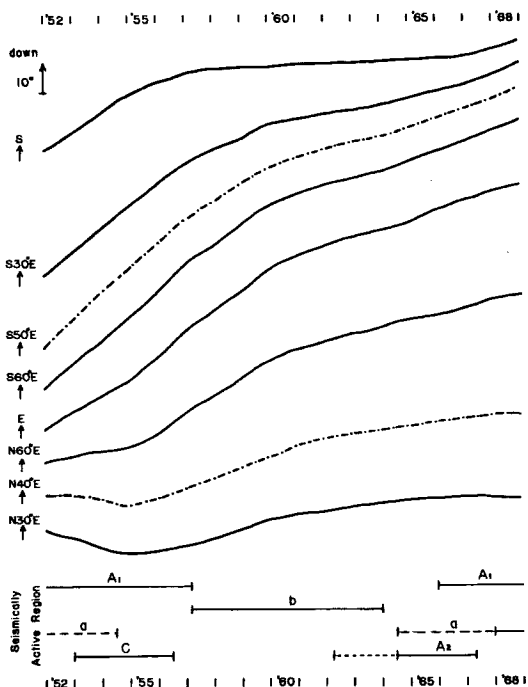


Fig. 9 Tilt variation obtained from resolving the vector diagram of ground tilts into the components of every 30° direction and transition of seismically active region.

$S 50^\circ E$ - and $N 40^\circ E$ - components are in the direction parallel and perpendicular to the Yamazaki Fault respectively.

べた b と A_2 の交点にあたる明石海峡の地震活動も終って A_1 地域が活発化しはじめた時期と完全に一致する。これと直角な東西方向の変化をみると、年間約5秒の一方的変形があると考えてこれを除けば、1955年中頃から東方向への傾斜変化が増大し、1960年頃に頂点に達し、1965年頃には回復している様子が見える。すなわち drift 的なものを除けば b 地域の活発な期間は南北方向の変化がなくなり、東西方向の変化が卓越していることを示している。換言すれば、Fig. 7 の vector 方向は局所的な一方的変形を含むために、地震活動に関係した真の傾斜変化の方向を示しているわけではないが、1955年頃からの方向転換と1966年頃からの回復的な方向転換は、地震活動の変換と期を同じくしている点で確かに地震活動と関係したものであると推定できるのである。南北方向にとくに顕著にそれがあらわれたということは、これが広域に共通のものか、あるいは局所的な地質構造や地形の影響であるかは判断がつかないが、その変化の原因が地震活動の変換（tectonic force の強弱も考えられる）あるいは活動域の破壊の進行に関係したものであることは、2回の転換時期が一致することから、疑いのないものと考えられる。

ii) 上賀茂観測所で観測された傾斜方向の変化

このような地震活動の転換に伴う傾斜方向の転換が生野から 85 km はなれた上賀茂地学観測所の傾斜計にあらわれているかどうかを調べてみた。なお鳥取観測室は 60 km 余りの距離であるが、観測は1958年から1961年までしか行われていないので残念ながら転換期の様子はわからない。上賀茂の Silica 傾斜計による観測結果のうち1952年から1968年末までの vector 図を生野の vector と共に Fig. 10 に示す。ただし生野の vector には年間2"の一定速度の西向の傾斜変化を加えて、ほぼ東向きの drift を除いてある。また上賀茂は非常に安定しているので明解にするために逆に年間 0.4" の南向きの傾斜を加えてある。Fig. 10 の vector の scale は生野は上賀茂の1/6に縮めてあるが、傾斜方向や傾斜量そのものは観測室の局所的

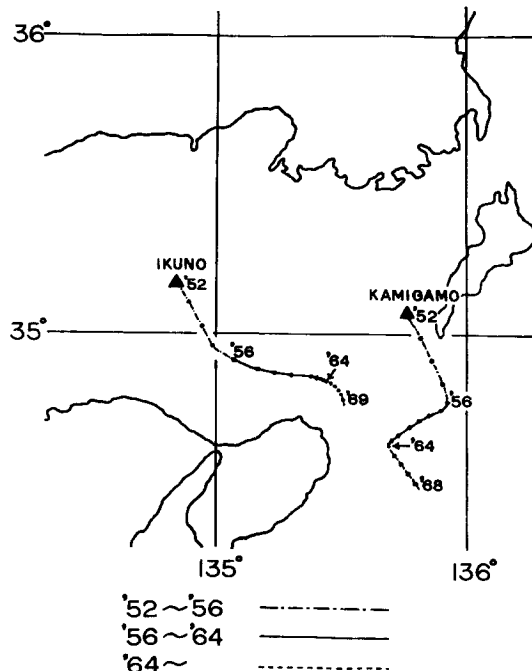


Fig. 10 Similarity between vector diagrams of ground tilts at Ikuno and Kamigamo, added the constant rate (2"/year) of westward tilt for Ikuno and that (0".4/year) of southward tilt for Kamigamo in an attempt at easy comparison.

条件によって異なるので、永年変化の方向や量を互いに比較したり、水準測量と比べることは無意味であると考へ、むしろ変化の様子に注目したい。なお上賀茂横坑の super-invar 傾斜計は1958年に設置されて1956年頃の記録はないが、設置後1964年頃まではほとんど直線的に変化し、以後方向を転じているのは Silica 傾斜計と全く同じであるので省略する。Fig. 10 からわかるように上賀茂の場合は生野よりも更に明瞭であつて、転換の時期は1956年と1964年である。この時期は生野に比べて少しずれているが、淀川地震帯 A_1 の中程に位置し、 a の領域にも近いことから a と A_1 領域の活動の影響を直接的に受け、方向転換も急激であることが十分想像できる。1956年から1964年までの期間、すなわち b の活動期に生野では東方向への傾斜が増しているのに対し、上賀茂では逆に西方向の傾斜が増しているのも東西方向の力がこの期間に増したと考えれば位置関係からみても面白い現象である。さらに逢坂山観測所について、小沢の論文を見れば¹⁸⁾、 $S38^\circ W$ の伸縮計は1963年末頃から縮みに、 $S52^\circ E$ 方向は伸びに転じ、南北方向はやや伸びが増していずれも同時に平均伸縮率の変化を示している。すなわち1963年以前の状態に対して、1963年以後に加わった stress はほぼ北西—南東の方向に伸びとなるような力であったと想像されるが、これは淀川地震帯に対してはほぼ直角の方位である。また逢坂山の水管傾斜計にも同じ時期に傾斜速度の変化があらわれているようである。(逢坂山に関しては著者等の個人的解釈である。)

以上のように上賀茂と生野が 80 km も離れて地震活動域に対する位置も全く異なるにもかかわらず、変化の様子が極めて似ていることは、永年変化観測の信頼性を高めるとともに1955、56年頃と1964～66年頃に近畿地方の少なくとも北西部全般にわたって大きな歪状態あるいは stress の強さに大きな転換期があったことを示すものであろう。

iii) 水準測量および三角測量の結果にあらわれた長期変動と地震活動

Fig. 11 の左図は第四紀地殻変動研究グループの研究成果である第四紀地殻変動図¹⁹⁾の一部であり、地形的地質学的方法により求められた約 200 万年前よりの隆起沈降図である。丹波山地が隆起地帯であることはすでによく知られるところであり、とくに淀川地震帯の西側山地の隆起は著しい。中図は第 1 回水準測量 (1890年前後) と1927年頃の丹後地震直後の改測までの約40年間の変動結果を宮部等がまとめたものであつて、丹後地震の影響が大きいと思われるが、生野附近では約 6 cm の沈降の帯が北北東—南南西方向に延びている。右図は第 2 回測量と1950年前後の第 3 回測量の間の約25年間の変動を示すもので²⁰⁾、編集の方法に中図との違いがあるようであるが、生野附近では北東から南西にのびのびの隆起地帯があつて隆起量は約 5 cm である。図の解釈が正しいとすれば1927年以前と以後では少なくとも生野附近では沈降から隆起に変わったようであつて、数10年間で隆起と沈降が交代した例は他にも見られる²¹⁾。先にのべたように1925年前後では資料の統一を欠くとはいっても地震活動域にかなりの変化があつたのは事実のようであり、偶然ではあるが

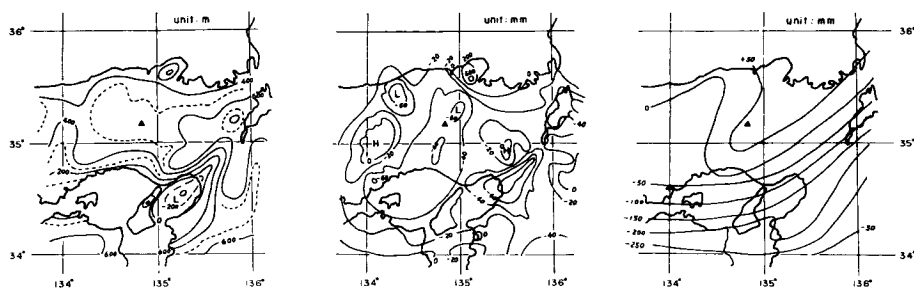


Fig. 11 Vertical displacement.

Left : after "the map of Japan showing Quaternary uplift and subsidence"¹⁹⁾

Middle: 1890～1927, after Miyabe et al.

Right : 1927～1951, after "the report on the levelling in Japan for the period from Jan. 1957 to Dec. 1959"²⁰⁾

水準測量の2つの期間がこれに相当する。つまり生野附近を通る北東—南西の隆起軸はこのような地震活動と関係しながら隆起沈降を繰返し、結果として除々に隆起を行なっているのではないかと想像されるのである（Fig. 15 参照）。

Fig. 12 は1890年前後になされた第1回三角測量の結果と丹後地震直後の1927年頃実施された三角測量結果から、寺田・宮部によって計算された dilatation²²⁾であって、明らかに但馬、丹後地震の影響が出ているが、とにかくそれ以前の約40年間の結果は生野附近は divergence の地域であり丹波山地の南東部は convergence の地域である。ところが Fig. 13 に示した笠原・杉村の結果によると、1890年前後の一等三角測量と1950年前後の改測結果から計算された dilatation は、生野附近は convergence の地域であり丹波山地の東部は divergence の地域であって、明らかに寺田・宮部の結果と正反対である。つまり生野地方は過去約60年間に一様に convergence が行なわれたのではなく divergence と convergence の交代の結果長期間について convergence の結果を示していると考えられ、その交代時期はやはり1925年前後であろう。つまり水準測量と同じことが言えるのであって、生野附近は1927年以前は沈降と発散、以後は隆起と収斂の傾向に転じたことになる。つまりこれは長期間の地震活動の消長と関係があるのではないかと考えられるわけである。傾斜変化と隆起沈降や dilatation とは比較しにくい、要するに地震活動の消長あるいは活動域の移動につれて地殻変動の進行方向が逆になる、あるいは一時停滞するという可能性が考えられるわけである。傾斜変化と隆起沈降や dilatation とは比較しにくい、要するに地震活動の消長あるいは活動域の移動につれて地殻変動の進行方向が逆になる、あるいは一時停滞するという可能性が考えられるわけである。傾斜変化と隆起沈降や dilatation とは比較しにくい、要するに地震活動の消長あるいは活動域の移動につれて地殻変動の進行方向が逆になる、あるいは一時停滞するという可能性が考えられるわけである。

iv) 短期間の類似の変動

このような長期の地殻運動の流れや地震活動の中で個々の地震に伴う地殻変動がどのような役割を果しているかの問題は、さらに精密に記録を検討しなければならないので次回にゆずるとして、興味深い一例を挙げておく。

Fig. 14 は1962年中に起こったごく微小な変動の例を示したもので、南北方向の傾斜計は不調であったのでN20°E-S20°W 方向の傾斜計の結果を代用したが、とくに東西方向の傾斜変化に注目したい。直線はこの期間の平常的な傾斜変化を示す。異常変化は2月頃からはじまり No. 3 の地震発生の頃はほぼ頂点に達し、その後東西方向の成分は逆転している。N20°E の傾斜計の記録装置が不調で5月から6月にかけて欠測してい

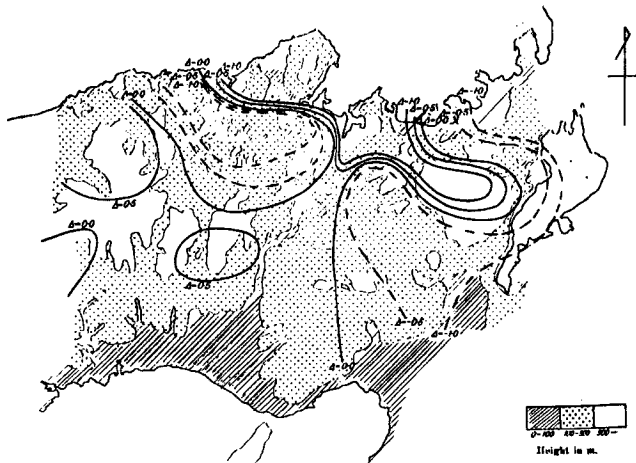


Fig. 12 Distribution of the divergence Δ of the horizontal displacement and the topographical feature (after Terada and Miyabe)²²⁾.

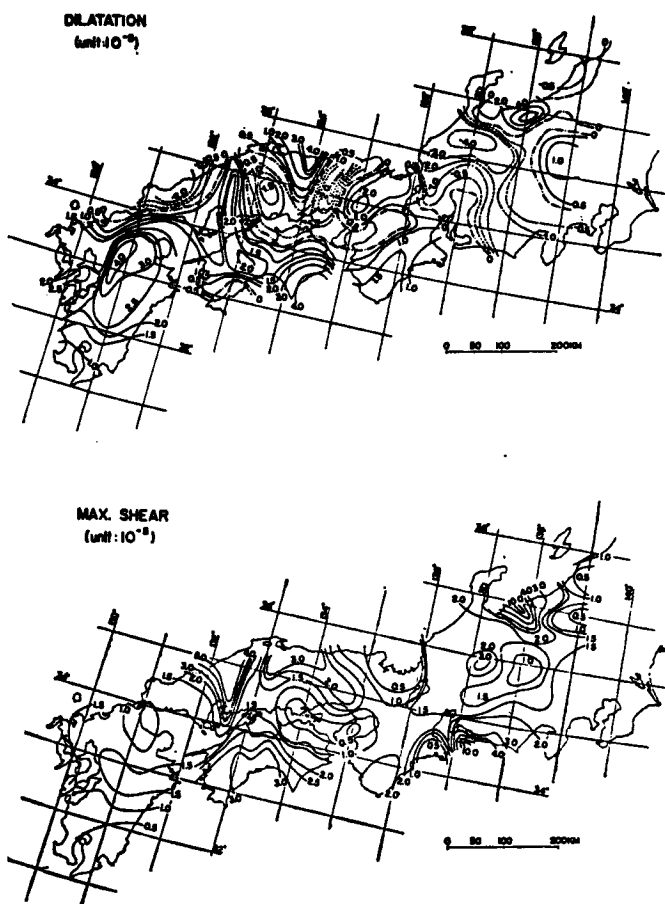


Fig. 13 Upper: Dilatation in the unit of 10^{-5}
 Lower: Maximum shear in the unit of 10^{-5}
 (after Kasahara and Sugimura)²³⁾.

るが、この間の総傾斜量は2週間ごとに確認してあるので点線の部分に大した誤差はないと考えられる。いずれにしろ東方向への傾動がほぼ完了して No. 4, 5, 6 の地震が発生している。これらの地震の震央位置は No. 1, 2 は b 領域, 3 は A_2 領域, 4, 5, 6 は A_1 領域であって、この変動が No. 3 の最大の地震だけによるものか、あるいは1, 2, 3の地震によるものか、さらにまた1, 2, 3と4, 5, 6の2地域の地震すべてに関係したものかはわからない。vector 図の形と発生場所の移動は先の数年間の地震活動の変化と vector の折れ曲りの小規模なものと思われて興味深い。長期間の変動との関係はわからないが、時期的には1961年を頂点とする b 領域の活動がほとんど終って A_1, a の活動期に変わろうとする直前に当たっている。

▼) 生野を含む地殻変動区と Tectonic Force

生野を含む地殻変動区として、もし広域の tectonic force による地殻変動の様式の類似した地域を考えれば、正に関係地震区と仮定したところの生野を中心とする 100 km の範囲が妥当であろう。ただし南は中

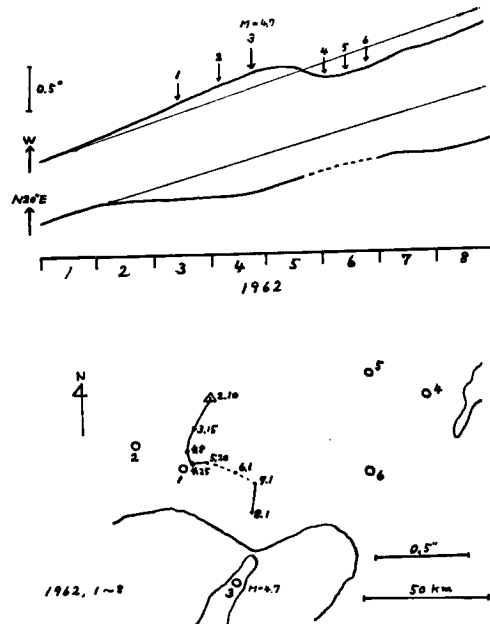


Fig. 14 Upper: Ground tilts observed at Ikuno during the period from Jan. to Aug., 1962 (Straight lines show the usual secular changes.)
Lower: Distribution of epicenters of earthquakes occurred at the same period and vector diagram of anomalous ground tilts.

央構造線まで広がると考えた方がよい。西は第四紀地殻変動区²⁴⁾とは一致しないが、三角測量や震央分布図などを考慮して東径 $133^{\circ}45'$ あたり、東は上賀茂の vector 変化との一緻性を重視して淀川地震帯の東端線、北は日本海までが考えられる。しかしさらに波長の短い変動あるいはブロック運動を考えれば、C の領域の南限から a, b を含む地域と B あるいは A_1 , A_2 を含む範囲以内で、一つの地震帯を越えて隣の block を含むことはないと考えた方がよい。以上のように変化形態を全く同じくする範囲と、源となる tectonic force を同じくするために変動が似ている範囲とに分けて考えるべきであろう。生野で観測された vector 方向の変化が b 領域の活動だけによるものか、b と A_1 との交代によるものか、同様に上賀茂の変動が b 領域の活動の影響を受けているのか、あるいは単に A_1 と a の活動の消長だけによるものかは別形式の活動域交代の例が現われない限り判定することはできない。

ところで、近畿北西部の主圧力の方向が藤田のいうように第四紀のある時期以後はほぼ東西に近いものであり共役な断層系の動きを説明できること、市川の研究²⁵⁾によればこの地方の起震歪力の方向がおおよそ $S80^{\circ}\sim 85^{\circ}W$ であり、岡野・岸本等の微小地震の押し引き重ね合わせなどから予想される主圧力方向がほぼ東西であることなどはすべて一定方向の tectonic force を想像させる。この他、先の水準測量の結果から予想される隆起沈降軸が地形学的に見られる構造軸とほぼ一致すること、笠原・杉村が計算した dilatation の図からも、やはり同じ方向の軸を持って convergence 地域と divergence 地域が波のように交代していること、この地方で最大ずれ歪がもっとも大きいのは山崎断層を含む北西-南東の地域であること、また、寺田・宮部の計算や笠原・杉村の計算結果とも一致するが久田等が京阪地方の一等および二等三角点の改測成果を用いて計算した結果²⁶⁾は、丹波山地の東部だけでなく淀川流域地帯も東西あるいは $S80^{\circ}E$ に近い方向に圧縮軸を持つことなど、すべての資料が同じ tectonic force を暗示させる。

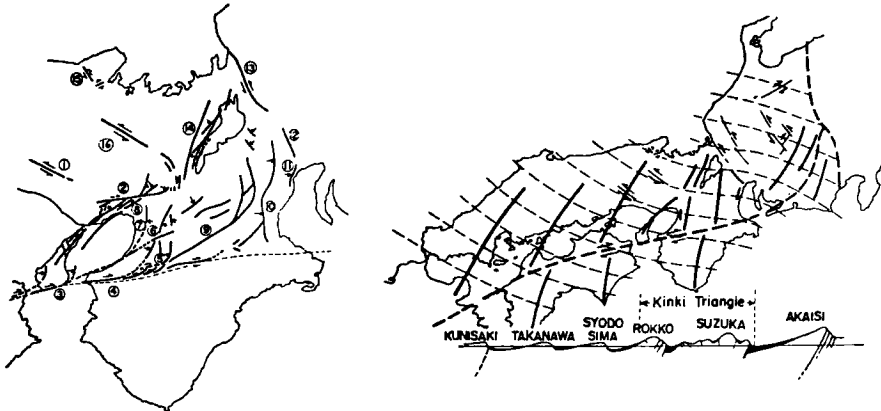


Fig. 15 Left: Fault system occurred by the Rokko Movement
1. Yamazaki F., 2. Rokko Th., 14. Hanaori F., 15. Mineyama F.,
16. Mitoke F.
Right: Direction of the axes of the maximum principal stress (compressive) of the Rokko Movements from the Pleistocene to Recent (dotted lines). Thick lines are the axes of uplifts.
The lower is the schematic profile of SW Japan along the Setouchi province.
(after Huzita)^{6),7)}

ここに b 領域は左ずれの山崎断層の線と一致し, a 領域には同じ左ずれの三峠断層が含まれる。 A_1 , A_2 領域はこれと共役な六甲 Thrust や花折断層など, 藤田のいわゆる近畿 Triangle の北西辺をもって区切られた丹波山地の東限に当る。 C はまた山陰・北陸 Basin と全く一致するようである。 B の地域はあきらかに地形的に見て帯状の低地をなし Fig. 12 にもあらわれているようにある時期には2つの convergence 地帯にはさまれるような特殊な地帯で, Bouguer 異常を見ても正の帯でつながりそうな地域に当る。このように各地域の特色と方向性を考えると, A , B , C 地域の地震と a , b 地域の地震は同じ tectonic force で起るとしても発震機構上何らかの相違があっても良いのではないかと想像される。たとえば A , B , C は圧縮に近い力で発生し, a , b はずれ (single couple) 的な起り方をすると考えられないものであろうか。圧縮歪, ずれ歪のいずれの歪が解放するかにしたがって, 時期的に A と b との活動の交代, 傾斜 vector の方向転換が起ると考えれば好都合である。このような地震系列の交代が根尾谷・柳が瀬断層をへだてた東側の中部地方北西部でも行なわれていることは前の論文¹⁵⁾で示した通りである。

5. 結 語

観測された事実とその解釈をまとめれば次の通りである。山崎断層に沿う地帯に地震が発生している期間と淀川地震帯から三峠断層を含む地域が活動している期間は1956年頃と1964年頃を境として交代しているが, それと同時期に生野でも上賀茂でも傾斜 vector の方向転換が2回行なわれていて, 少なくとも近畿地方北西部の広範囲にわたって歪状態の変化か, tectonic force の変化があったのではないかと考えられる。これに似た現象がやはり地震活動状態が変わった1925年頃を境に行なわれたらしく水準測量や三角測量の結果などにも地殻変動の交代性が現われているように思われる。すなわち地震活動の消長と緩慢な地殻変動の間に密接な関係が期待できる。次回には再び生野を取上げて, 個々の地震について発生地域の違いと地殻変動を伴うかどうか, 伴うとすれば様式が異なるかどうか, 長期間の変動との関係はどうかなどの議論を進めたいと考えている。

以上の議論の源は大阪市大藤田教授との懇談の中に着想された。また岸本教授や岡野助教授には, いろいろ

ろな面で御指導や御教示を頂いた。また一戸教授にはこの研究に対し変らぬ御支持を賜っている。その他地かく変動部門の御一同の御協力に合わせて感謝の意を表する次第である。また、とくに観測開始以来ほとんど四半世紀にわたって、地殻変動の観測に御支援と御協力を賜わっている三菱金属鉱業株式会社生野鉱業所の御一同、とくに代々の金香瀬坑長殿および直接記録取替に従事して下さった地質課、採鉱課の方々に対しこの機会に厚くお礼を申し述べたい。

参 考 文 献

- 1) 岸本兆方・橋爪道郎・尾池和夫：近畿地方西部における微小地震活動について，京都大学防災研究所年報，第9号，昭41，3，pp.27~45.
- 2) 岸本兆方・橋爪道郎・西田良平：近畿地方北半部における最近の微小地震活動，同第11号A，昭43，3，pp. 75~89.
- 3) 岡野健之助・平野勇：京都周辺に発生する微小地震 (1)，同第8号，昭40，3，pp. 27~45，
- 4) 同 (2)，同第9号，昭41，3，pp. 21~26.
- 5) 同 (3)，同第10号，昭42，3，pp. 29~34.
- 6) 藤田和夫：六甲変動，その発生前後一西南日本の交差構造と第四紀地殻変動一，第四紀研究，第7巻，第4号，昭43，pp. 248~260.
- 7) Huzita, K.: Tectonic Development of Southwest Japan in the Quaternary Period, Jour. Geosciences, Osaka City Univ., Vol. 12, Art. 5, 1969, pp. 53~70.
- 8) Sassa, K. and E. Nishimura: On Phenomena Forerunning Earthquakes, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 32, 1951, pp. 1~6.
- 9) 岡野健之助：京都周辺に発生する地震の放出エネルギー (1)，地震，第2輯，第22巻，昭44，pp. 131~135.
- 10) Okano, K. and I. Hirano: Earthquakes Occurring in the Vicinity of Kyoto, Jour. Phys. Earth, Vol. 16, Special Issue, 1968, pp. 141~152.
- 11) 田中 豊・小泉 誠・宮腰潤一郎：地震活動に関係した地殻変動 (3)一山陰地方東部の地震活動と鳥取百谷で観測された地殻変動一，京都大学防災研究所年報，第11号A，昭43，3，pp. 23~34.
- 12) Tsuboi, C.: Earthquake Province-Domain of Sympathetic Activities, Jour. Phys. Earth, Vol. 6, 1958, pp. 35~49.
- 13) Tanaka, Y.: Relation between Crustal and Subcrustal Earthquakes Inferred from the Mode of Crustal Movements, Special Contrib., Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 4, 1964, pp. 19~28.
- 14) 田中 豊・加藤正明・小泉 誠：地震活動に関係した地殻変動 (1)一東北日本外帯の地震活動と細倉で観測された地殻変動一，京都大学防災研究所年報，第10号A，昭42，3，pp. 123~140.
- 15) 田中 豊・加藤正明・小泉 誠：地震活動に関係した地殻変動 (4)一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一，京都大学防災研究所年報，第12号A，昭44，3，pp. 155~170.
- 16) Huzita, K.: Tectonic Development of the Median Zone (Setouti) of Southwest Japan, since the Miocene, Jour. Geosciences, Osaka City Univ., Vol. 6, Art. 4, 1962, pp. 103~144.
- 17) 西村英一・田中 豊・田中寅夫：最近の地震に伴う地殻の異常変動について (第一報)，京都大学防災研究所年報，第5号A，昭37，3，pp. 28~43.
- 18) Ozawa, I.: Observations of the Crustal Strains at the Time of Earthquakes Around Kyoto City, Special Contrib., Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 8, 1968, pp. 91~108.
- 19) Hatori, K., S. Kaizuka, Y. Naruse, Y. Ota, A. Sugimura and T. Yoshikawa: Quaternary Tectonic Map of Japan (A Preliminary Report), Jour. Geodetic Soc. Japan, Vol. 10, Nos.

- 3-4, 1964, pp. 111~115.
- 20) Report on the Levelling in Japan for the Period from Jan. 1957 to Dec. 1959, *ibid.*, Vol. 6, No. 2, 1960, pp. 62~63.
- 21) Miyamura, S., and M. Mizoue: Secular Vertical Movements of the Earth's Crust in Japan, *ibid.*, Vol. 10, Nos. 3-4, 1964, pp. 123~138.
- 22) Terada, T. and N. Miyabe, : Deformation of the Earth Crust in Kwansai Districts and Its Relation to the Orographic Feature, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. VII, Part 2, 1929, pp. 223~239.
- 23) Kasahara, K., and A. Sugimura, : Spatial Distribution of Horizontal Secular Strain in Japan, *Jour. Geodetic Soc. Japan*, Vol. 10, Nos. 3-4, 1964, pp. 139~145.
- 24) 地震予知, 災害科学の研究成果とその問題点, 第2編, 第6章, 昭43, pp. 106~166.
- 25) 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, 昭41, pp. 83~154.
- 26) 久田太郎・水上 武・前田 競: 京阪地方の地殻変形に就て, 地震, 第1輯, 第5巻, 第7号, 昭8, pp. 393~416.