

地震活動に関係した地殻変動 (5B)

——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 (5B)

——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 Masaaki KATO

Synopsis

In the previous paper (5A), the peculiar mode of secular ground tilts observed at Ikuno was noted. Namely, the directional turnings of tilting movements appeared twice, in 1956 and 1964, and the shift of seismically active regions in the northwestern part of the Kinki district coincided with those turnings.

After that, earthquakes began to occur in the zone passing east of Ikuno and extending from the northeast to the southwest. This zone is parallel to the seismic zone of Yodogawa which has been in action since 1964, and it seems that both zones belong to the same system from the view point of geotectonics. So, it is possible therefore that directional turnings in gradual tilting movements have not occurred since 1964.

However, as epicenters of this series of earthquakes were very near to Ikuno, anomalous ground tilt toward the northeast appeared from June, 1969 to April, 1970 and there remained a permanent set of ground tilting.

1. 緒 言

前論文 (5A)¹⁾ では、北東—南西系の淀川地震帯から北西—南東系の山崎断層に沿う地震帯への地震活動域の転換ないしは移動があれば、それに伴って生野付近では傾動運動の方向転換が起ることを指摘した。その後 1969 年 6 月に入って、生野のすぐ東側を北東—南西方向にのびる帯 (前論文の B 地域) に沿って地震活動が活発化したので、その結果について述べる。なお前論文の緒言にものべたように、地震活動に関連した地殻変動の一連の論文の目的の一つは、各観測室に関する過去の資料の総括にある。5A は紙面の都合でこれを果し得なかったが、今回はこの地域の地殻変動観測の基礎資料として、記すことにした。

2. 生野観測室の沿革と観測経過

佐々憲三現名誉教授と故西村英一教授が、山陰地方に発生する地震の連発性から予想して、1943年3月4日鳥取沖に Magnitude 6.4 の顕著地震が発生した直後、生野鉾山内に傾斜計を設置、6月1日から観測を開始され、9月10日の鳥取大地震の直前直後の異常傾動を観測された²⁾。これが地震の前駆現象を観測し

た最初のもとして、その後の地震予知計画の推進力の一つになったものである。当時の観測は Silica 傾斜計と佐々式伸縮計によるもので地表面下 719 m の深所に観測室があった。やがて第 2 次大戦の終戦を迎えて観測は一時中絶をしたものか 1945 年～46 年の記録は残っていないが、Silica 傾斜計による観測は 1947

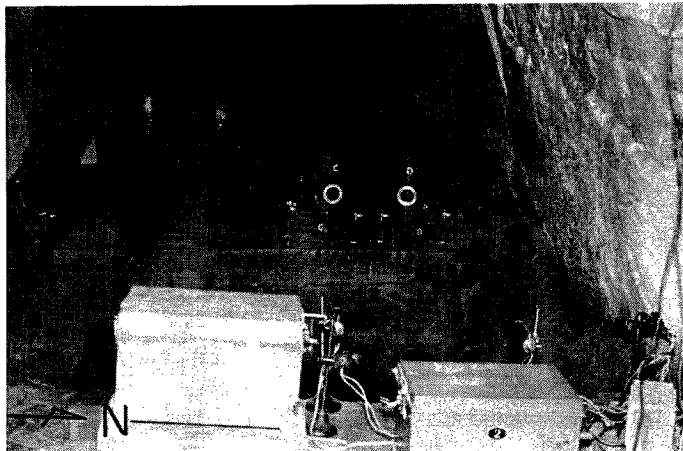


Photo. 1 Observational room III in the adit of Kanagase-Ko, the Ikuno mine.

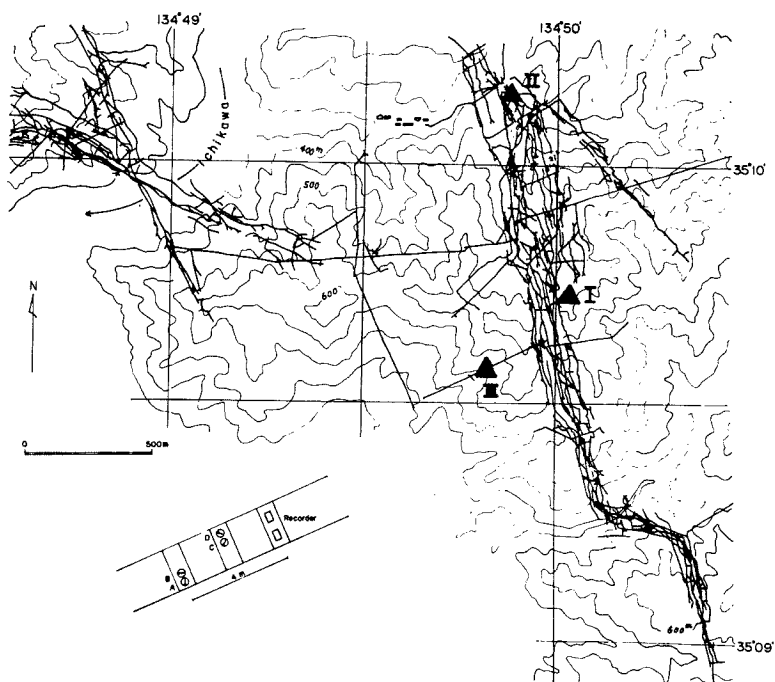


Fig. 1 (a) Topographic map, adits of the Ikuno mine (supplied by the Ikuno mine) and position of the observational rooms.

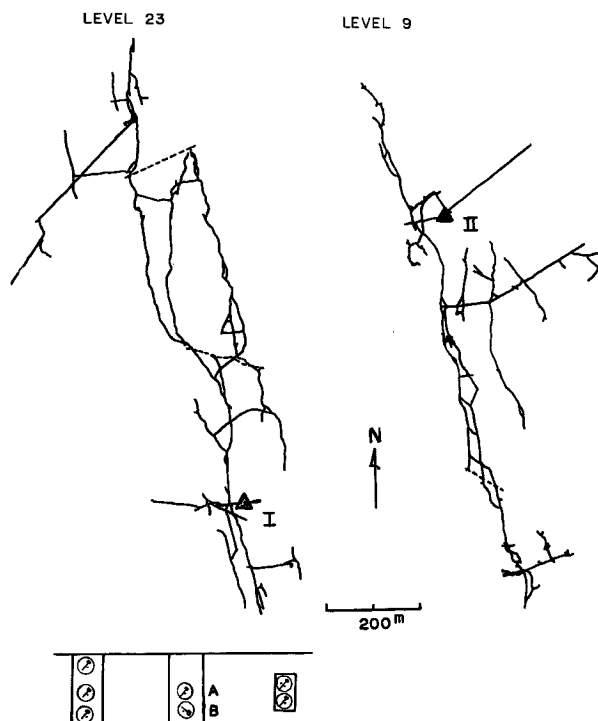


Fig. 1 (b) Underground map of the Ikuno mine (supplied by the Ikuno mine), position of the observational rooms (I, II) and arrangement of observational instruments (I).

年まで続けられた。その後観測は休止となったが、1951年 Super-invar 製の傾斜計をもって、一戸時雄（現教授理学部地球物理教室）、細山謙之輔（現水沢緯度観測所）により再開された。観測の再開にあたって、金香瀬 23 番坑（金盛向立入れ）の旧観測室と本坑の西向立入れ現観測室で同時に比較観測が行われた。次いで 1952 年 10 月、9 番坑光栄向立入れにも設置されたが、この観測室での計器の調子は悪く、1953 年 4 月には撤去された。1953 年 1 月には新観測室との比較観測を終えて旧観測室の常時観測は中止されたが、以後同年 3 月から 10 月まではこの旧観測室で各種の実験的観測、たとえば器械台の変形や計器の個性を調べるために、同方向に傾斜計を並べて観測するなどの試みがなされていたがその報告はない。23 番坑と本坑との比較観測の結果は細山の論文³⁾に報告されている。この種の実験的観測を終えて 1955 年 2 月、23 番坑の計器を本坑の現観測室に移設し、現観測室の異なる器械台に設置し以後今日に至るまで比較観測が継続されている。1956 年までの永年傾斜変動については細山がまとめている⁴⁾。なお、1954 年 11 月 19 日の日本海北西部の顕著な深発地震の直後、生野で特異な微傾動が観測され、地球の自由振動の可能性があるととして西村・細山・伊藤により報告されている^{5), 6)}。また、1961 年の兵庫県西部の群発地震⁷⁾、1963 年の越前岬沖地震などの発生前後^{8), 9)}の異常変動については西村・田中（豊）・田中（寅夫）などの報告が出されている。その他金香瀬坑では 1950 年代前半に貞広・伊藤などにより Geiger Counter, Lauritsen Electroscope による放射能測定や一戸の重力変化計による観測などが行なわれている。

3. 観測室・観測器械・観測精度

生野地殻変動観測室は、兵庫県朝来郡生野町生野鉾山（三菱金属鉾業株式会社生野鉾業所）の金香瀬坑内

Table 1 Position of observational room.

	Latitude	Longitude	Height	Depth	Geol.	Epoch of obs.
IKUNO I Kanagase, Level 23 Cross-cut toward Kinsei Vein	35°09'44"	134°50'02"	-157m	727m	Tuff	June 1943~ Oct. 1953
IKUNO II Kanagase, Level 9 Cross-cut toward Koei Vein	35°10'99"	134°49'53"	178m	322m	Tuff	Oct. 1952~ Apr. 1953
IKUNO III Kanagase-Honko (Level 0) Westward Cross-cut	35°09'34"	134°49'50"	380m	160m	Rhyolite	Jan. 1951~ present

Table 2 Observational Instruments.

	Type of Instruments	Dircc. obs.	Sensitivity // mm	Opt. dist. cm	Period sec	Epoch obs.
I	Silica tiltmeter of horizontal pendulum type	N42.5°W - S42.5°E	0.010	180	35	June 1943
		N47.5°E - S47.5°W	0.010	180	35	Jan. 1947
	Extensometer of Sassa type (Super-invar wire)	S87°E - N87°W	1.04×10^{-8}		length: 20m	Aug. 1943 Jan. 1947
		S45°E - N45°W S45°W - N45°E	0.025 0.025	190 190	22 22	Oct. 1951 Jan. 1953
II	ditto	S30°E - N30°W	0.03	180	20	Test Oct. 1952
		S60°W - N60°E	0.03	180	20	Apr. 1953
III	ditto	C N70°W - S70°E	0.018	200	25	Jan. 1951
		D N20°E - S20°W	0.018	200	25	Jan. 1971
		A W - E	0.006	410	30	Feb. 1955
		B N - S	0.006	410	30	present
	ditto (DEC-A)	C W - E	0.012	400	20	Jan. 1971
		D N - S	0.012	400	20	present
		E N30°W - S30°E	0.025	200	20	Jan. 1971
		F N70°E - S70°W	0.025	200	20	present

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

観測は開始以来 3 カ所で行なわれ、計器は次々と移設されたが、開始の順に IKUNO I, II, III と呼ぶことにする。Fig. 1 (a) にはこれらの観測室の位置関係と周辺の地形および付近の坑道を示し、Fig. 1 (b) はとくに付近に坑道の多い IKUNO I, II について同 level の状況を示したものである。IKUNO I は 23 番坑にあって、地表面下 727 m の深所であり、その上、錘押し坑道に近くまた掘削がその下部で進められていたと思われるので年間傾斜量は 20 秒以上に及んでいるが、現観測室は、西立入れ坑道で周囲 250m 以内に坑道はなく、採鉱現場は数 100 m 以上離れているため人為的擾乱もなく坑道の変形と思われる一方的傾動は平均して年間 4~5'' 程度のもので、地表面からの深度 160 m は観測室として最適で、室内気温は年間を通じて一定で、気象諸要素による影響も全くなくすべての条件にめぐまれている。そのため傾斜計 A, B

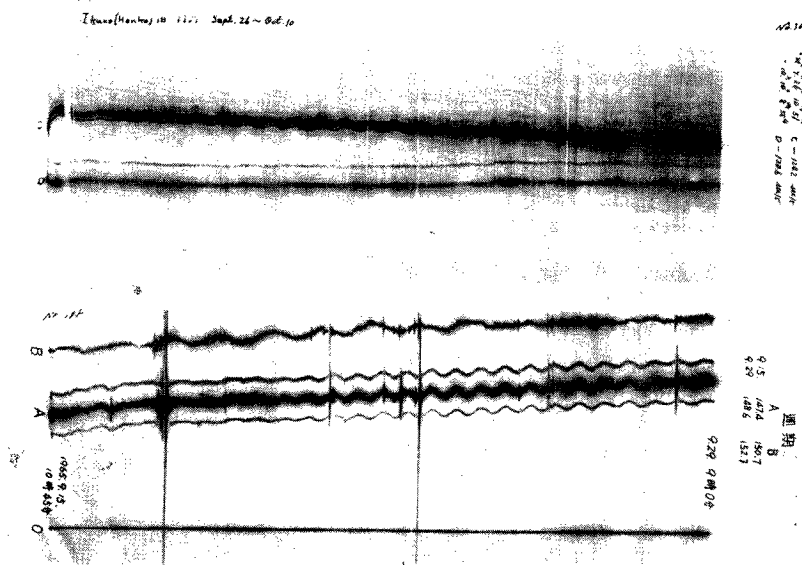


Photo. 2 Record of ground tilts observed at Ikuno III.

は、この種の観測室としては異例の高感度で観測が行なわれているが、時として不安定になる欠点がある。同じく C, D も時期的に異常を示すことがあり、そのため 1971 年 1 月、さらに新型の DEC-A 型傾斜計を増設し、現在 Test を行なっている。しかし **Photo. 2** に見られるように、平常はきわめて高感度で良好な観測が継続されている。現在の観測精度は器械的異常のない限り、

0.01''/day, 0.03''/week, 0.1''/month, 1''/year

程度である。記録紙の送り速度は、Silica 傾斜計による観測が行なわれた頃は 1.6mm/hour であったが、現在は 2 週間巻の記録装置を使用しているため、0.8mm/hour である。

観測精度に関連して、生野における地球潮汐の解析結果を次に示す。Photo. 2 に 2 週間の記録の一例を示したが、ほぼ東西方向の傾斜成分を記録している A, C には極めて明瞭な太陰半日周期の M_2 分潮が記録されているが、南北に近い成分 B, D は M_2 分潮が小さく、日月合成一日潮 (K_1) が主太陰一日潮 (O_1) が卓越しているようである。Fig. 2 下左は故西村英一教授が生野 23 番坑に設置された Silica 傾斜計の 1943 年 8 月の 1 カ月の記録を解析して得られたものである。

観測値 N-S 成分 $0.00240 \cos (2t - 264^\circ)$ E-W 成分 $0.00458 \cos (2t - 88^\circ)$

これと理論値から各成分について D-Value を求めて、さらに細倉においても同様の結果を得たことから、Upper Mantle の elasticity が南北方向が東西方向より 20~30% 小さいという結論を導き、異方性のあることを示唆された¹⁰⁾。その後、田中・小泉は生野本坑 (IKUNO I) の Super-invar 傾斜計の 1952 年 8 月の 1 カ月の記録を解析して、

N-S 成分 $0.00112 \cos (2t - 229^\circ)$

E-W 成分 $0.00478 \cos (2t - 64^\circ)$

を得た (Fig. 2 下右)。さらに、振幅の大きい E-W 成分について 1 年余の解析を行なったが、振幅のばらつきが非常に大きいことがわかった (Fig. 2 上)。16 カ月の平均値としては $0.00495''$ という値を得たが、

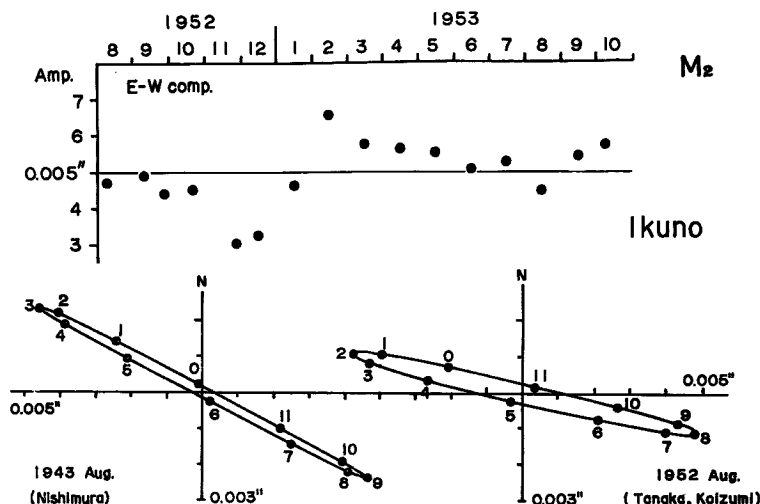


Fig. 2 Upper: Variation of earth tidal amplitude observed at IKUNO III.
Lower: Tilting diagram of the M_2 -component observed at Ikuno I (left) and Ikuno III (right).

M_2 の振巾に年周変化のようなものがあらわれた。これは一つには気圧の影響が考えられるが、その大部分は送り速度 0.8mm/hour という低速度のため読取の誤差が大きいと考えられる。ただ 1952 年 8 月の値は観測が非常によく、したがって、振巾の小さい N-S 成分の読取も行なったわけでかなり信頼することができる。結局、読取精度上の問題は残るが、潮汐変化のような周期的な変化に対しては当然のことであるが、Silica と Super-invar という計器の相違、坑道の標高差が 500 m、地表からの深さの違い 550 m で岩圧の差がかなり大きいという条件の相違にもかかわらず、振巾が大きく読取誤差の少ない E-W 成分では、5% 程度の差でよく一致した結果が出るという事がわかった。この他佐々・小沢・吉川¹¹⁾ は 23 番坑 IKUNO I に設置した佐々式伸縮計の記録 (1943 年 9 月～10 月) を解析し、 $E3^\circ S$ 方向の M_2 分潮の潮汐歪の観測値として、

$$0.79 \times 10^{-8} \cos(2t - 30^\circ)$$

という結果を得ている。

なお観測は 1955 年以降現在にいたるまで、生野鉱業所地質課 (現在探鉱課) の御厚意により少なくとも 2 週間に 1 度の記録紙の取替と器械の調整が行なわれている。

4. 生野周辺の地質構造

生野付近の基盤は、丹波層群と呼ばれる古生代二疊紀前期の地層で、中生代白堊紀後期から新生代古第三紀にわたる火成活動による流紋岩、安山岩、玄武岩など各種の火山岩類およびそれらの火山砕屑岩類からなる厚さ 1000 m 以上に及ぶ生野層群が基盤を不整合に覆っている。この生野層群は全体として NW-SE 方向を長軸とする盆状構造を形成している。これらの構造は Fig. 2 に示した AB (IKUNO II 付近) および A'B' (IKUNO III 付近) のほぼ東西の地質断面図でかなり明瞭にわかる。

この地域の主な断層系は NE-SW 系とそれに共役な NW-SE 系であるが、その他 N-S 系、E-W 系の断層がある。鉱脈は、生野層群および同層群を貫く岩脈中の断層または裂か中にあり、鉱床群は N-S 系、N-W 系が主なるもので、3 つの観測室は Fig. 3 からわかるように、金香瀬鉱床群の N-S 系千珠本鍾の近傍にあり、同鍾は約 75° の dip をもって東に傾いている (以上、生野鉱業所探鉱課：生野鉱山の地質鉱床、

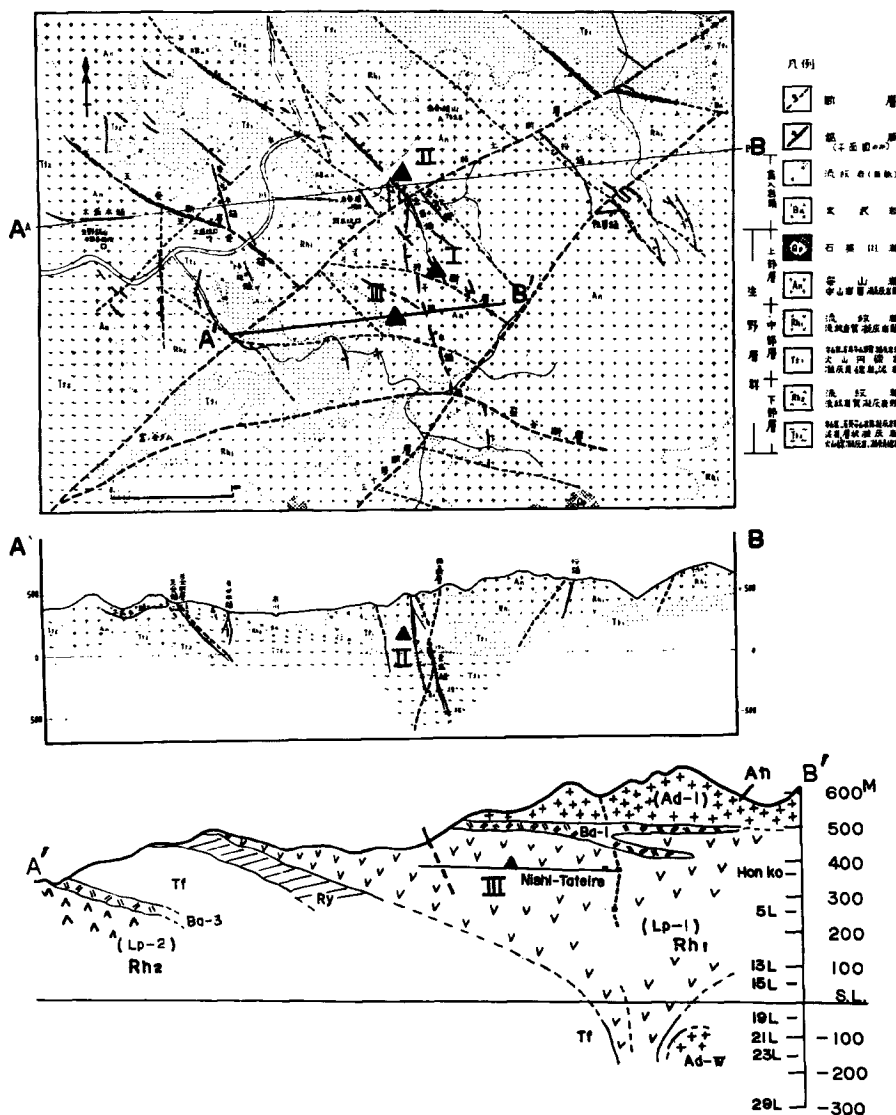


Fig. 3 Geological map and cross sections of the Ikuno mine and the surrounding neighborhood (supplied by the Ikuno mine).

1971 1 月による)。その他の地殻物理学上の関連現象については、すでに (5 A) に述べたので参照して頂きたい。

5. 生野の永年傾斜変化

観測開始以来今日にいたるまでの観測結果のうち、Silica 傾斜計と佐々式伸縮計の永年変化の解析が行われていないので、この機会に整理した。記録の残っているのは、1943 年 12 月までの約 7 カ月で、その後は記録の中断が多く、連続的な解析は不可能であった。しかし今回きわめて貴重な未発表の事実が認められ

た。すなわち、鳥取地震に際し、地震発生直前の10時間前、6時間前、3時間前のいわゆるS型の微傾動と地震直後の大きな変動はあまりにも有名であるが、これらの前駆的現象の他に Fig. 4に見られるような様式の変動を行なっている。設置直後でもあり、期間も短かいので異常変動の全ぼうはわからないが、地震直前の1カ月前、半月前、および4日前にも何らかの異常があったらしく思われる。図中地震時の小さな矢印は地震時のトビの量を示し、ほぼ東方向へ約 $0.2''$ の傾斜になるが、この量、とくに $N47.5^\circ E$ の成分では器械的なものである可能性がある。しかし、 $N42.5^\circ W$ 成分は約5日間トビと同じ方向の約 $2''$ に達する動きが続き、以後急速に回復している。伸縮計は地震時には惜しくも光源ランプが切れていたようで記録はとれていないが、永年変化の一般的傾向がわかっておれば、かなり興味ある変動がとらえられていた可能性がある。一つの考え方は傾斜計と同じく約1カ月前から変動を開始し地震後その変化速度を増して10月の中頃回復したのではないかという解釈である。線伸縮計の欠点として縮(図中+)方向への drift が非常に大きいとすれば、この考えは十分成立つと考えられる。

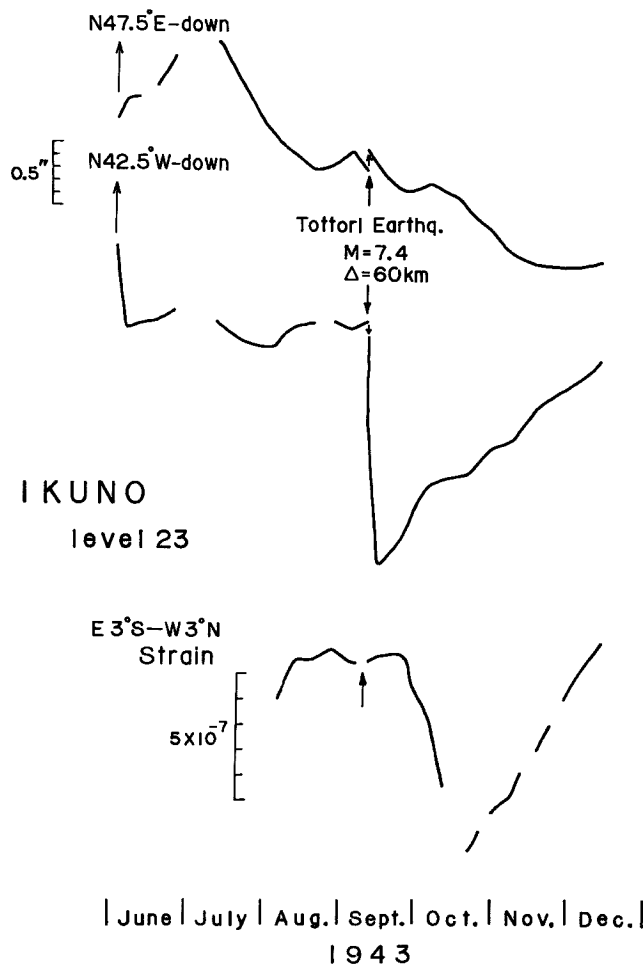


Fig. 4 Anomalous ground tilts and strain observed before and after the Tottori Earthquake at IKUNO I.

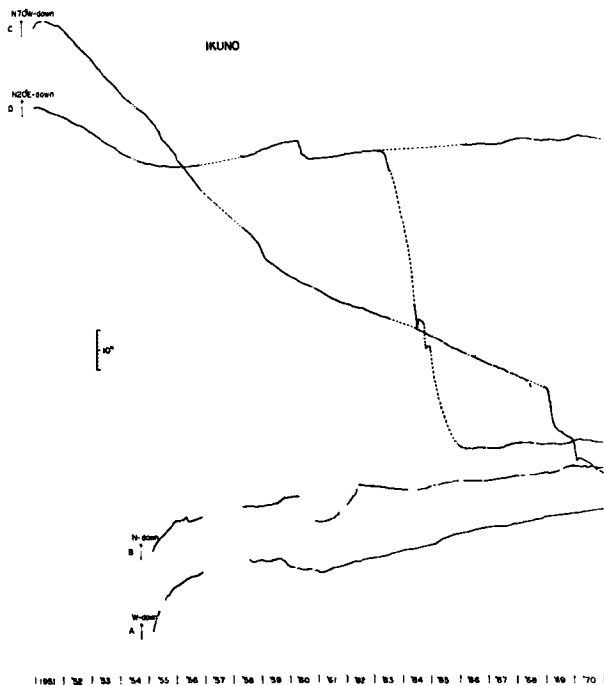


Fig. 5 Secular ground tilts observed at IKUNO III.

9 番坑（Ⅱ）における観測はわずか3カ月の資料しかないので省略する。23 番坑（Ⅰ）と本坑（Ⅲ）との比較観測の結果については細山の論文にすでに掲載されている。

次に現観測室の観測結果を Fig. 5 に示す。なお、A, B と C, D はそれぞれ別の器械台に設置されている（Photo. 1 参照）。A, B 成分は移設が遅く、次いで 1956 年末から 58 年にかけて休止期間があるので、それ以後の傾向しか比較できないが、B 成分が 61 年頃から、D 成分が 63 年頃から 66 年頃まで、D 成分が 68 年頃からそれぞれ交互に不調を来しているの、この図のままでは十分な比較は出来ない。各週毎の記録を比較すればかなり傾向として似ているが、長期間の drift 的変形が C 成分では特に大きいのが難点である。これは器械台が坑道の両側面に完全に密着していることも影響していると考えられる。計器の不調な期間は、他の成分や前後の状況から推定して Vector 図を描いたのが Fig. 6 と Fig. 7 である。両者を比較してみても全く解釈の下しようのないほど異なってみえる。次に2つの Vector をそれぞれ月総傾斜量と最大傾斜方向の変化になおして比較したのが Fig. 8 である。この表示法の長所は、欠測があっても推定値で継ぐ必要がないこと、坑道、器械台、計器そのものの drift にどのような差があっても、時間的変化分を強調して表現する点にある。つまり求めようとする地殻変動の時間的変化の様子を知るにはきわめて便利である。この場合 drift 量が大きければ最大傾斜の方向の変化は小さく表われ、また drift の方向が場所によって違えば、方位は見かけ上異なる方向としてあらわされるのは当然である。さて両者を比較すると、A, B 2 成分の方が drift 量が少ないだけ乱れが大きいことは明らかである。しかし 1960 年を頂点とする鎖線で示した傾向、1960 年は B が欠測であったがその前後の鎖線から下へのとび出し、1966 年から 67 年にかけての異常、1969 年の異常などが非常によく似ていること、61 年以前に対し以後の総傾斜量が非常に減っていること、平均的な傾斜方向の変化（鎖線）が 1960 年までは反時計回りであり、以後は時計まわりに転じている事など、傾斜変動の変化分については、計器の不調がかなり重なったにしてはよく一致していると言える。

であろう。以上の結果は観測された見かけの変化が擾乱その他の影響で非常に異なる場合でも、外力として加わる変化分だけに注目すれば、共通なものを抽出することが可能であるということを示したものである。傾斜方向の変化は傾斜角そのものが微量であっても Vector の方向の変化としては非常に大きく現われる場合があることを考えれば（とくに A, B のようにかなり安定していて高感度で使用している場合）、 $A \cdot B$ と $C \cdot D$ の結果は傾斜変化分に関しては、一致していると見てよいであろう。すなわち、この一致したものを地殻変動であるとして議論を進めても支障はないと思う。

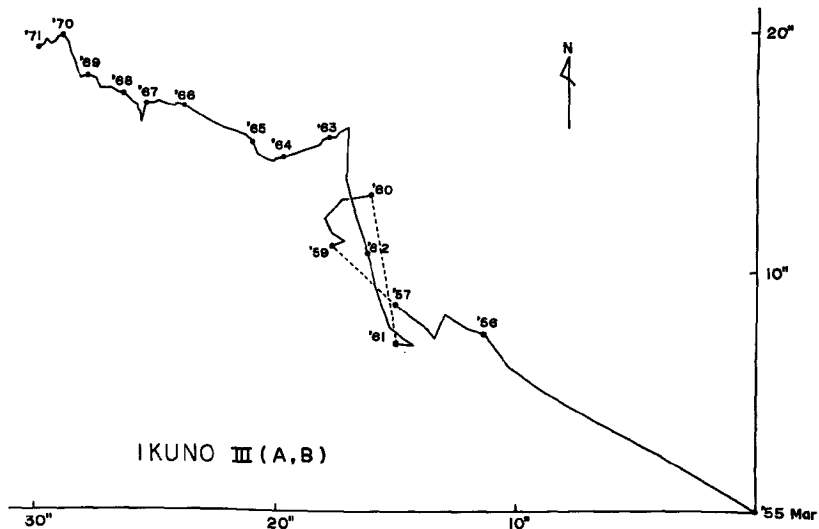


Fig. 6 Vector diagram of ground tilts observed at IKUNO III (A, B).

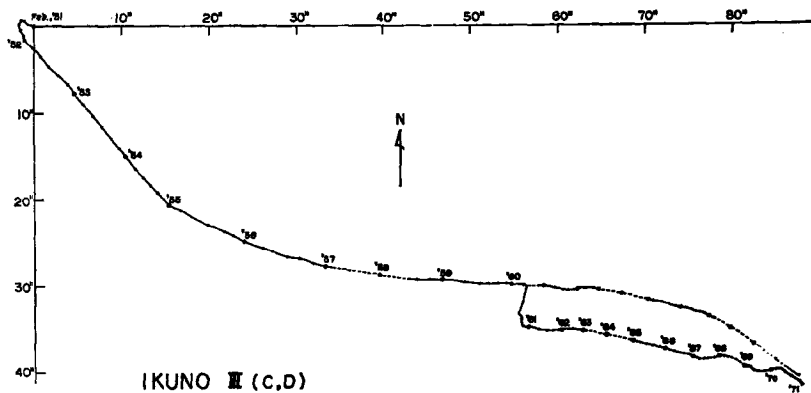


Fig. 7 Vector diagram of ground tilts observed at IKUNO III (C, D).

6. 1969 年以降の地震活動と生野の傾斜変化

5A には 1969 年 4 月までの地震活動を示したが、1969 年 6 月になってから、1956 年以来静穏であった B 地域、すなわち、生野の東を北西から南東に通る帯状地帯にかなり頻発しはじめた。とくに 6 月には姫路市付

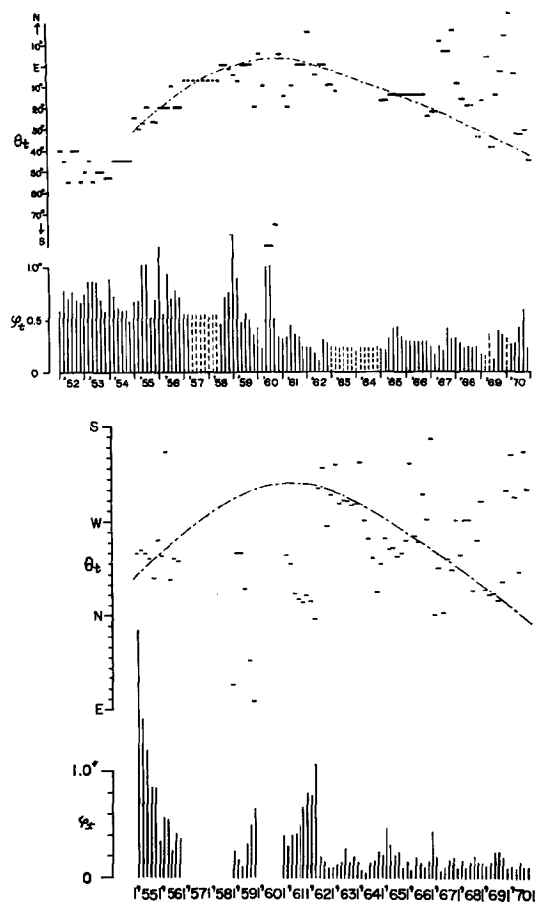


Fig. 8 Variation of direction (θ_t) and change of total amount (ϕ_t) of ground tilts per a month at Ikuno III.

Upper: observational results by tiltmeter C and D.

Lower: observational results by tiltmeter A and B.

近からはじまって、次々に北東方向に移動しながら1週間のうちに4つの地震が発生した。69年10月には、和知群発地震発生地域の北西端に地震が起り、ついで70年4月に、生野の南東10数kmにMagnitude 3.9の小区域地震が発生して以後同年8月までの間に、B地域内に4個の地震が起ってめずらしく活潑化したことは明らかである。興味あることは、震央が南西から北東へと移動している傾向のあることである。またFig. 10でわかるように、この1年半の間、淀川地震帯は最近例を見ないほど活動が低下して、1900年～1908年間の状況によく似ていることである(5A参照)。

このように1969年5月頃を境として地震発生地域が移動したことは明らかであるが、生野では、緩慢な傾動の方向は変わらなかったと判定される。これは、淀川地震帯(A)と今回の頻発地帯(B)がほぼ平行であり、ここに発生する地震の発生機構が同種のものであり(例えば圧縮、衝上、右ずれ)、山崎断層(b)、三峠断層(a)に沿う北西—南東系の地震帯では、例えば断層付近の左ずれの作用が、地震発生機構の上に大きく効くとすれば、AとBに起る地震、aとbに起る地震の系列は同じで、A、Bと、a、bは系列を異に

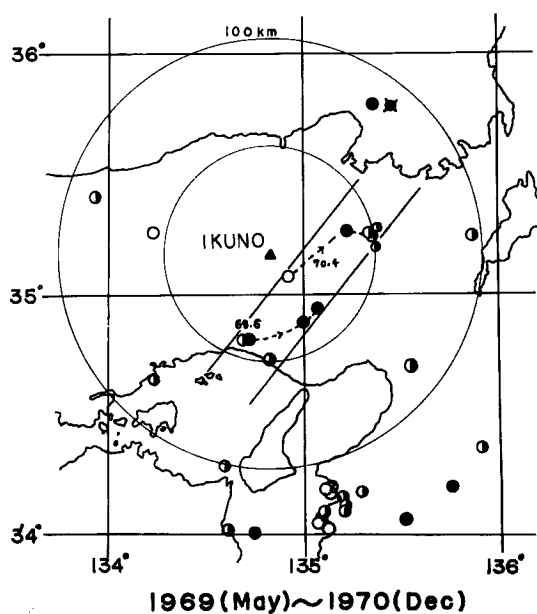


Fig. 9 Distribution of epicenters from May, 1969 to Dec., 1970, and presumed seismic belt.

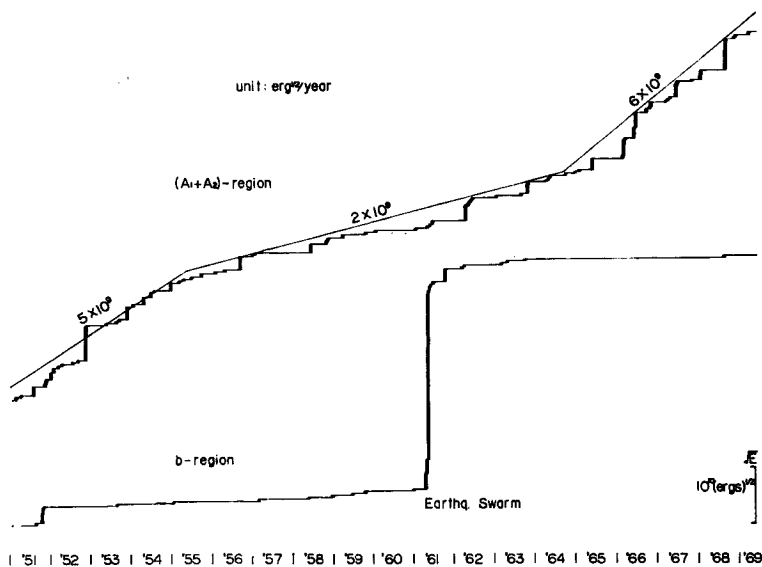


Fig. 10 Mode of strain release by shallow earthquakes occurred in two different seismic regions.

すると考えられるであろう。そのように考えれば、 A 地域から B 地域への震央の移動は、地殻変動上、本質的に何も変化が現われなくてもよいと推測される。つまり地震活動域の移動と生野の傾斜運動の関係は、その後も、5A でのべた事実と何ら矛盾がなく、むしろ地殻変動の上から A, B と a, b 地域に発生する地震の Tectonics 的な意味の異同を示唆するものと考えられるのである。

しかしながら B 領域は生野観測室にもつとも近い地震帯であり、とくに 70 年 4 月の地震は、生野から 10 数 km のところに発生している。Fig. 7 や Fig. 8 にも見られるように、69 年中頃から 70 年中頃にかけて、傾斜 Vector は異常を示して、北東方向に非回復性の傾動を行ない、しかも全体として 1966 年以降の変動傾向を続けていることがわかる。広域の緩慢な運動の上に地域的な、どちらかといえば非回復性の変動が重なっているものと考えべきであろう。

なお、前の論文 5A の Fig. 6 では A を A_1 と A_2 の 2 つの領域に別けて energy の放出状況を示したが、Fig. 10 は、 A_1, A_2 を一つにまとめてわかりやすく書きなおしたものである。1955 年前と 1965 年以後は、ほぼ同じ率で歪 energy の解放が行なわれていることに注意したい。今回の B 領域がこれに加わるとすれば、なおこの傾向は続いているものと考えられる。

先の論文 (5A) において、生野の地殻変動の様式として特徴的な現象は、尾小屋、神岡、槇峰などでは、地震系列の転換と共にある特定方向の傾斜変化速度が変わる（傾斜方向が変わるのではない）のに対し、生野においては、傾斜方向そのものが変わっているらしいということをのべた。このことは Fig. 8 を見ても見当のつくことであるが、この機会に明確に図示しておきたい。尾小屋、神岡の場合との違いは、「地震活動に関係した地殻変動 (6)¹²⁾」を参照して対比して頂きたい。さて、Fig. 11 に示された各点は、月ごとの傾斜 Vector の始点を原点に合わせ、Vector の終点だけを点として図に示したもので、点を月順に結べば、おのおのが、その期間の傾斜変化加速度の Vector を示すことになる。もしこの点が一直線上に並ぶならば、加速度の方向は常に一定であるということになる。坑道の変形速度は一定、または変るとしても、掘削その他人為的な擾乱のない限りは加速度 0 か、せいぜい等加速度的な変わり方をすると仮定すれば、加速度の乱れは、何らかの外力、この場合 Tectonic Force の変化によるものと考えられる。尾小屋、神岡の場合のよう

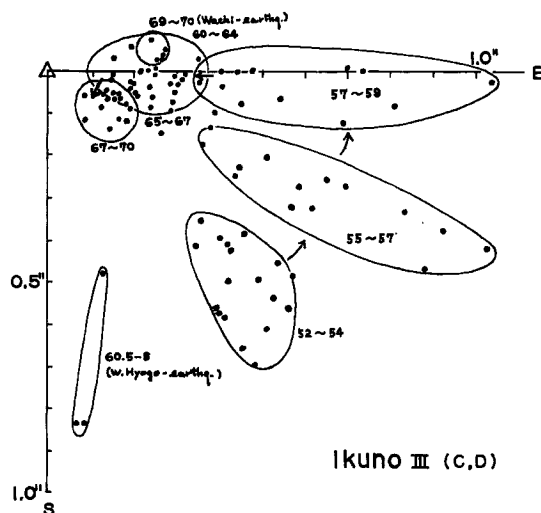


Fig. 11 Monthly shift of the end point of the velocity vector of ground tilts at IKUNO III.
Solid circles indicate the end points of velocity vector per one month drawn from the origin.

に、この点がほぼ直線上に並ぶならば、加速度の方向は常に一定であって、傾斜変化の速さだけが時間と共に変化することになる。ところが、生野の場合、Fig. 11 から明瞭のように、原点から径線の方向に振動し、ある期間を経過すれば反時計まわりに少し回転し、再び径線の方向に振動している傾向が見られる。ただ強いて点の密な部分を結べば $N30^{\circ}W-S30^{\circ}E$ 方向であるとも言えるかも知れないが、少なくとも今の段階では、これが Tectonic Force の働いている特定の方向であるとは言えない。要するに傾動方向が変っていると考えた方がよい。この問題は今後の観測と、伸縮計あるいは角変化計を設置することにより解明されるであろう。

7. 結 語

坑道や器械台が異なれば、ほとんどの場合、傾斜変化の様相は合致しないということがいわれている。しかしむしろそれは見かけ上当然のことであって、目的に応じてどのような解析方法を用いるかを検討し、複雑な現象の中にかくれた真のものの見出す工夫をすることが肝要であると思われる。その点で、傾斜方向の時間的变化を調べることと共に、傾斜変化の加速度を調べることは今後の地殻変動の解析上きわめて有用な手段である。

終りにあたって、恩師先輩等の残された多数の資料を利用させて頂けることに感謝し、またさらに、観測開始以来 30 年近い間、変らぬ御支援を賜わっている三菱金属鉱業株式会社生野鉱業所の代々の所長ならびに所員御一同に深く感謝の意を表する次第である。中でも 2 週に一度定期的な記録交換、器械調整の作業に当って頂いた方々の御協力と御厚意に対しここに改めて御礼を申しのべたい。なお鉱山関係の資料は三菱金属鉱業 K. K. の池田達也氏田中威氏等の御好意によるものである。

参 考 文 献

- 1) 田中 豊・小泉 誠・加藤正明：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，京都大学防災研究所年報，第 13 号 A，昭 45. 3, pp. 91-108.
- 2) Sassa, K. and E. Nishimura: On phenomena forerunning earthquakes, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 32, 1951, pp. 1-6. 他
- 3) 細山謙之輔：土年傾動の永年観測について，京都大学防災研究所創立 5 周年記念論文集，昭 31. 11, pp. 20-27.
- 4) Hosoyama, K.: On the observation of secular phenomena of the tilting motion of the ground, Memoirs College Sci., Univ. Kyoto, Series A, Vol. XXVIII, No. 3, 1957, pp. 253-282.
- 5) 西村英一・細山謙之輔・伊藤芳朗：西日本数点において同時に観測された土地の微傾動 (序報)，測地学会誌，第 1 巻，第 2 号，1955, pp. 49-51.
- 6) Nishimura, E., K. Hosoyama and Y. Ito: Micro-tilting motion of the ground, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 37, 1956, pp. 645-646.
- 7) 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.
- 8) 西村英一・田中 豊：同 (第二報)，同年報，第 7 号，昭 39. 3, pp. 66-76.
- 9) 田中 豊：地震に伴う地殻異常変動の諸段階について，同年報，第 8 号，昭 40. 3, pp. 91-108.
- 10) Nishimura, E.: On Earth tides, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 31. No. 3, 1950, pp. 358-376.
- 11) Sassa, K., I. Ozawa and S. Yoshikawa: Observation of Tidal Strain of the Earth, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Bull., No. 3, 1952, pp. 1-3.
- 12) 田中 豊・加藤正明・小泉 誠：地震活動に関係した地殻変動 (6) —中部地方北西部の地震活動と神岡で観測された地殻変動—，京都大学防災研究所年報，第 14 号 A，昭 46. 4, pp. 85-95.