

鳥取微小地震観測所観測序報

一戸時雄・三雲 健・尾池和夫
岸本兆方・橋爪道郎・見野和夫

PRELIMINARY REPORT OF THE TOTTORI MICRO-EARTHQUAKE OBSERVATORY

By T. ICHINOHE, T. MIKUMO, K. OIKE Y. KISHIMOTO, M. HASHIZUME
and K. MINO

Synopsis

The Tottori Micro-Earthquake Observatory, attached to the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, was established in April, 1964. The purpose of this Observatory consists in investigating the properties of micro-earthquakes, and finally obtaining a method of earthquake-prediction. The observation system, including stations and instruments, is described, and a preliminary report on observational results is given.

1. 微小地震観測の目的

微小地震とは、 $3 > M(\text{Magnitude}) \geq 1$ の地震と定義されている [地震予知計画研究グループ¹⁾]。最近観測技術が発達するとともに、このような非常に小さい地震の観測が可能となった。比較的大きな地震 (小地震以上、 $M \geq 3$) に関しては、従来幾多の観測・研究がなされてきたが、その成果をより有意義に、より確実なものにするためにも、微小地震の研究の重要性が強調されている。また、地震予知計画の中にも、一つの有力な手段として微小地震の研究が取り上げられている。

地震予知計画研究グループが1962年に発表したブルー・プリントには、地殻変動の調査等とともに地震活動の調査が大きな項目として掲げられている¹⁾。それによると $M \geq 3$ の地震、すなわち大地震・中地震および小地震は気象庁の観測網によって観測し、 $3 > M \geq 1$ の微小地震および $1 > M$ の極微小地震に関しては、大学がその観測網の維持を行なうことにより、地震予知研究を強力に押しすすめるべきであると勧告されている。いうまでもなく、大地震は予告なしに発生し、人的物的に膨大な災害をもたらしてきた。従って大地震発生の予知は、特に地震多発国であるわが国にとっては地震学者に課せられた社会的義務というべきであろう。しかし、中には大地震の前に小さな地震、すなわち前震を頻繁に感じたという報告もいくつかあるし、前震や余震に関する験震学的あるいは岩石実験による研究によっても微小地震や極微小地震の活動状況が大地震の前に変化することは充分予想されることである。さらに、Gutenberg 等多くの学者によって研究されてきた地震の Magnitude の研究からも、大地震ときわめて小さい地震との間には何らかの規則的関連があることが充分予測される²⁾。微小地震の観測資料が蓄積され、その解析が進むにつれて活動状況が明らかになり、大地震との間にそのような規則性のある関連が見出されれば、地震予知に大いに役立つことが期待される。この計画の一環として京都大学防災研究所附属鳥取微小地震観測所が1964年4月1日に設置された。本観測所は、管下の観測室および高槻支所管下の観測室 (Table 1) を有し、主として近畿地方の微小地震活動を調査し、地震の本性を研究すると同時に、あわせて上に述べたような大地震との関連を究明して地震予

Table 1. Observation stations.

観測室名	北緯	東経	標高	観測器械
鳥取微小地震観測所	35° 30' 49"	134° 14' 13"	45 m	電磁式超高感度地震計 3成分(100万倍) R ₁ 型短周期高感度地震計 3成分(2万倍) 水平振子型傾斜計 2成分 磁気変化計 3成分 重力変化計 1台 自記温度計, 自記気圧計
三日月観測室	34 59 01	134 26 45	200	電磁式高感度地震計 3成分(10万倍)
船岡 "	35 19 59	134 16 18	140	同上 3成分
氷上 "	35 13 35	135 02 37	250	同上 1成分
大屋 "	35 20 02	134 39 52	260	同上 1成分
高槻支所	34 51 24	135 34 22	220	短周期電磁式地震計 3成分(2万倍) トランジスター増幅式地震計 1成分(2.5万倍)
妙見観測室	34 55 38	135 29 58	600	同上
八木 "	35 04 06	135 30 33	160	短周期電磁式地震計 3成分(2万倍)
京北 "	35 10 38	135 40 03	260	トランジスター増幅式地震計 1成分(2.5万倍)
上賀茂 "	35 03 32	135 45 56	190	短周期電磁式地震計 3成分(2万倍)
岩尾山 "	34 52 57	136 07 56	400	トランジスター増幅式地震計 1成分(2.5万倍)

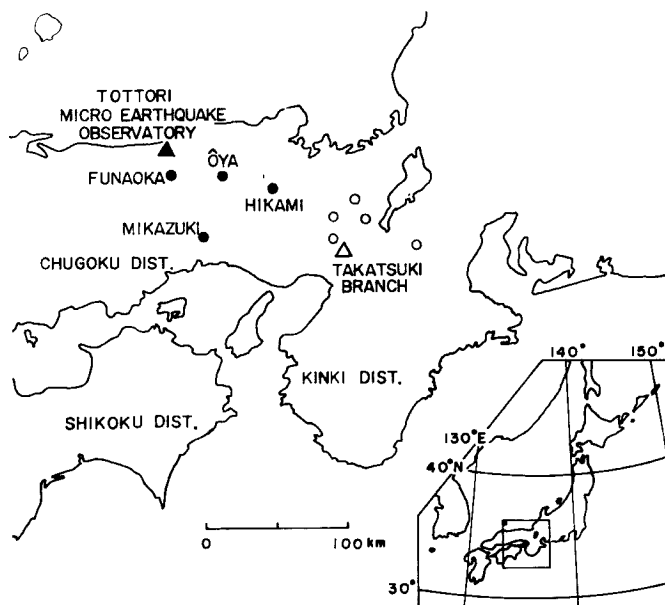


Fig. 1. Distribution of the observation stations.

知のための研究を行なうことを目的とする。

2. 観測所の配置

鳥取微小地震観測所は、1964年11月迄に直轄の観測室4カ所および高槻支所とその管轄下に5カ所の観測室を持っている。観測室の位置および観測器械の種類等は **Fig. 1** および **Table 1** に示したとおりである。

鳥取微小地震観測所は地下1階地上1階で (**Photo. 1**)、鳥取市北部の花崗岩よりなる丘上に位置している。当観測所においては、上述のような微小地震観測についての計画立案、観測資料の蒐集および解析・研究が行なわれるとともに、特殊な観測を行なうための精密器械が備えられている。また、地震計のほか、傾斜計、重力計および地磁気変化計による観測も行なわれている。直轄下にある観測室は前述のようにきわめて小さい地震を観測の対象としているので、特に土地の雑微動の少ない山間部を選んで配置されており、その記録は鳥取観測所に集めて解析される。

鳥取微小地震観測所管下の三日月・船岡・氷上および大屋観測室では、約10万倍の地震計によって微小地震の連続観測が行なわれている。使用している器械については次節に述べる。高倍率の地震計による観測を行なうためには、地震計を設置する場所の雑微動が非常に小さくなければならない。これらの観測室は常時の雑微動が $5\sim 10\mu$ kine 以下の静かな場所を選び、Pick-Upは廃坑等を利用して地表をさけ、直接堅い岩盤に設置してある。記録はそこから100~300m離れた場所に建てた観測室で行なわれる。**Photo. 2** は観測室の一例で、氷上観測室の記録装置を設置した建物である。観測室は今後さらに増設し、いっそう充実した観測網にしていく計画で、1965年3月迄には、兵庫県北条町周辺に1カ所設置する予定で準備を進めている。

高槻支所は京都大学理学部附属阿武山地震観測所内に置かれ、5カ所の観測室の維持および得られた資料の解析を行なっている。高槻支所管下の観測室には主として2~3万倍程度の地震計が設置され、特に密に配置された観測網による観測が行なわれている。同支所管下の微小地震観測に関する詳細は、別に述べられている (岡野，平野)³⁾。

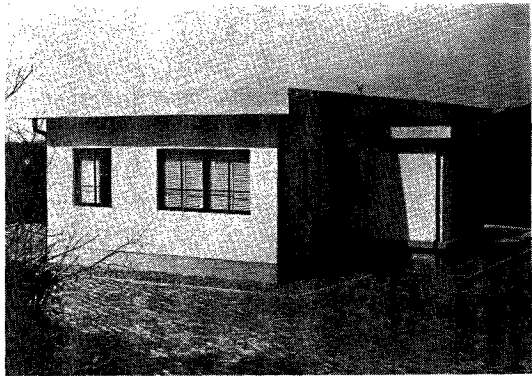


Photo. 1. Tottori Micro-Earthquake Observatory.

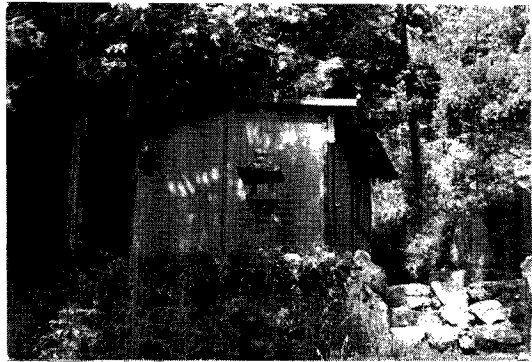


Photo. 2. Hikami observation station.

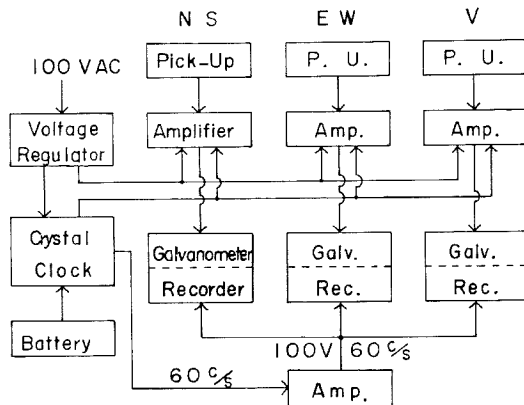


Fig. 2. Seismograph system.

3. 観測器械

観測に使用されている器械は **Fig. 2** の Block diagram に示されている。Pick-Up から得られる電圧変化は真空管増幅器で増幅され、Pen-Galvanometer によって定周波電源で回転する Drum に記録される。各部の動作および概要は次のとおりである。

Pick-Up 電磁式動線輪型で、地動に対する電圧感度は約 4 Volt/kine, 周期は 1 秒である。減衰常数は $k^2=0.5$ となるように調整し、地震波周期が 0.5 秒以下で平坦な特性を持つようにしてある。

Amplifier 真空管 5 段・Push-Pull 増幅器で、5 秒以下の周期に対して平坦な特性を持っている。

Pen-Galvanometer 0.03 秒の周期を持ち、上記の増幅器に連結して、増幅器入力 $500\mu\text{Volt}$ に対して最大振幅約 2 cm の感度となる。増幅器を含めた振幅特性は 0.5～5 秒で平坦である。

Drum Recorder 回転速度は 4 mm/sec. で、1 枚の記録紙に 24 時間の記録ができる。記録は現地住民の協力により毎日 1 回取替えている。Motor は定周波電源から供給される 100 Volt, 60 c/s の電流で回転速度を一定に保っている。

Crystal Clock 秒・分・時・12 時間毎に水晶時計から記録に重ねて mark を入れている。時計の補正は NHK の時報を利用している。この方法で発震時を 1.50 秒の精度で読み取ることができる。

Battery アルカリ蓄電池により停電時にも中断せずに時計を作動させる。

Voltage Regulator 電源電圧の変動により、感度その他が変化しないよう、電圧を一定に保っている。

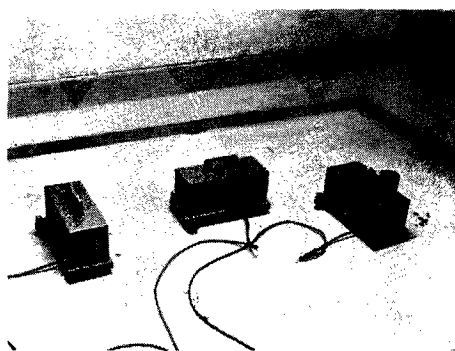


Photo. 3. Pick-Up (NS, EW, V).

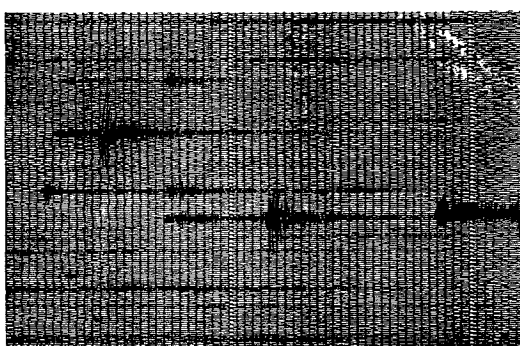


Photo. 5. An example of the records of micro-earthquakes.

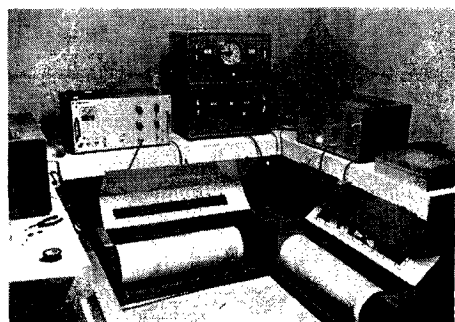


Photo. 4. Recording system of the seismograph.

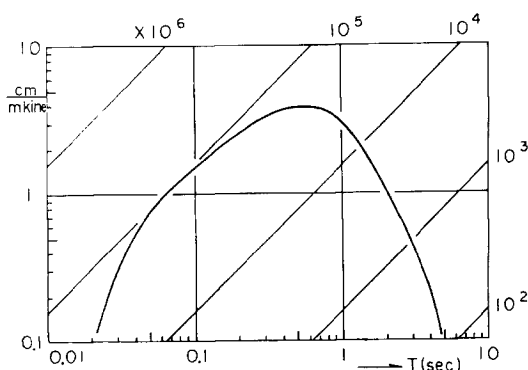


Fig. 3. Magnification curve of the seismograph.

Table 2. Number of the earthquakes recorded at the observation stations.

	Mikazuki	Funaoka	Hikami
[1964]			
Jan.	498		
Feb.	348		
March	430		
Apr.	425		
May	465	196 (23 days)	
June	326	289	
July	367	245	
Aug.	416	295	159 (20 days)
Sept.	412	225	102 (13 days)

この地震計の総合感度は **Fig. 3** に示されている。速度に対する感度は地震波の周期 0.6秒に対して最大感度 4 cm/mkine, 変位に対しては0.1秒で最大倍率 10 万倍である。

Photo. 3 および **Photo. 4** はそれぞれ換振器および記録装置を示す。**Photo. 5** はこの地震計による微小地震の記録の一例である。

4. 観測結果

各観測室で得られた記録は，発震時（分まで），P～S 時間および最大振幅について読み取られ，その値は毎月観測報告として印刷され関係機関に送付されている。以下それに基づいて三日月・船岡および氷上観測室での観測結果を述べる。比較的遠いものも含めて 1 日平均約10個の地震が記録されている。各観測室で記録された地震の個数を **Table 2** に示す。

(1) P～S 分布

1964年1月より8月までに三日月で観測された地震の数とP～S時間の関係は **Fig. 4** に見られるように毎月よく似た形である。これは微小地震を含めた地震活動が8カ月の間には顕著な変化をしないことを示している。気象庁の観測を基にした $M>4$ の地震活動を見ると，過去 50 年間に活動度の高かった和歌山・徳島・瀬戸内海・広島・島根・丹後半島・若狭湾および琵琶湖の西側等の地域が，三日月から見てP～S15秒前後の位置にある⁴⁾。三日月での13～14秒の高い山は，さらに小さい $M<4$ の地震についても，上記の地域でその活動度が高いことを示していると思われるが，さらに資料の集積するのを待ち，詳しく震源を決定することによって，微小地震の活動の様子がいっそう明らかにされるであろう。

P～S頻度分布図の細かい点を見ると，5月の7～8秒の山，7，8月の13～14秒に高い山があり一時的にある地域の地震活動度が高くなっている事を示している。特に13～14秒の山に対応する地震はほとんどが和歌山周辺に起る地震であり，和歌山を中心とする東京大学の観測網でも記録されているので，和歌山から

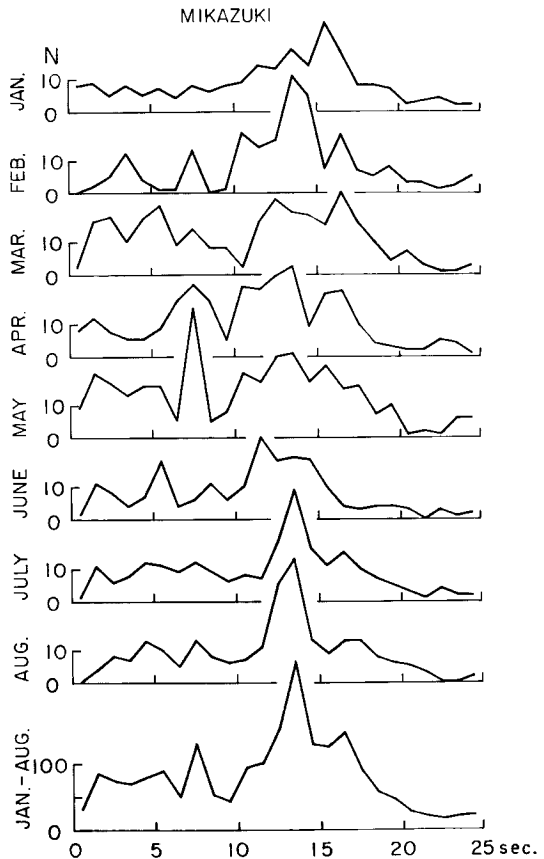


Fig. 4. Frequency distribution of P～S time at Mikazuki.

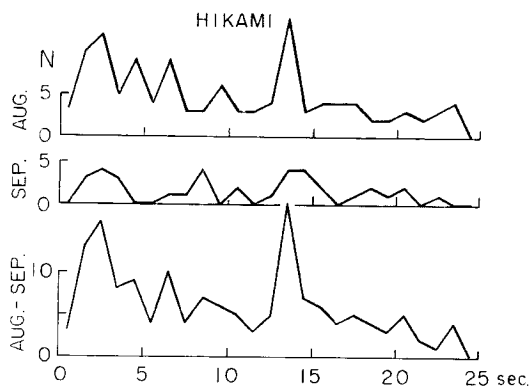
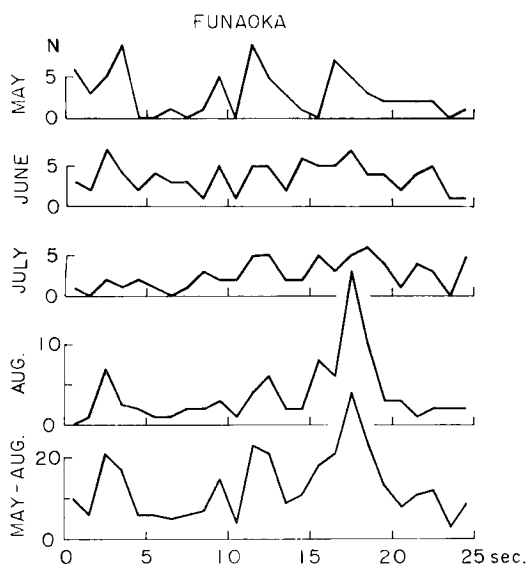


Fig. 6. Frequency distribution of P~S time at Hikami.

←Fig. 5. Frequency distribution of P~S time at Funaoka.

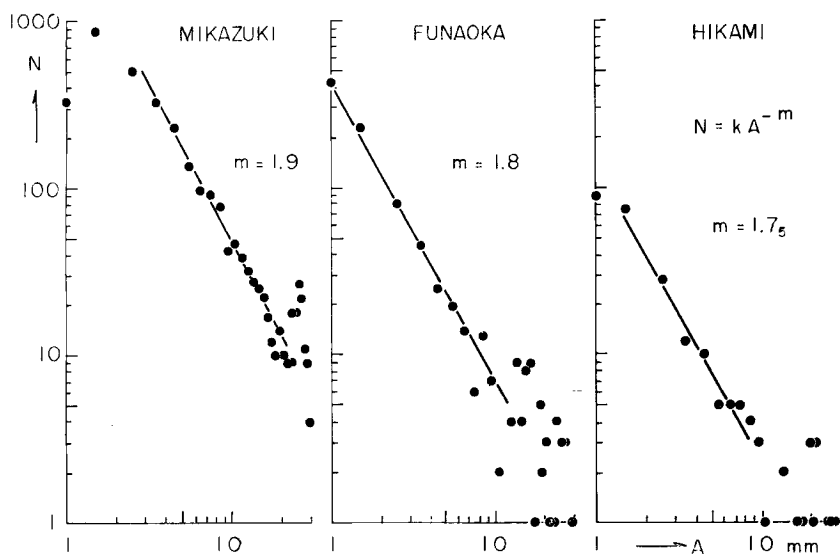


Fig. 7. Relations between the number of earthquakes and the maximum amplitude.

大阪湾を経て鳥取周辺に至る部分の地殻構造あるいは和歌山周辺の地震の発震機構等に関して興味深い資料が得られるであろう。

船岡および水上でのP~S時間と数の関係を同様に表わすと Fig. 5 および Fig. 6 となる。三日月で見られた14秒付近の山に対応する地震は Fig. 5 および Fig. 6 では10~20秒の間にいくつかの山に分れ、Fig. 4 の高い山が一地域の地震に対応しているのではないことがわかる。

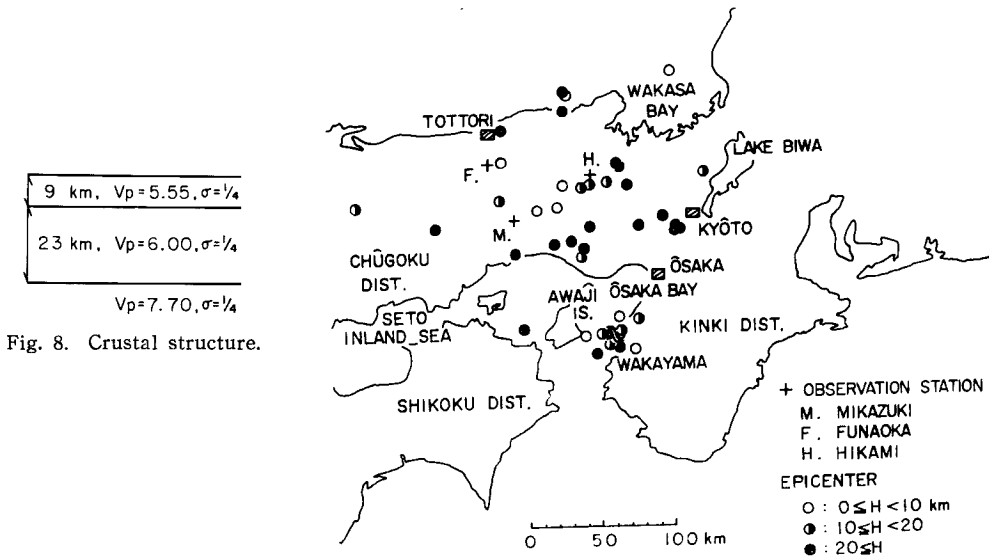


Fig. 8. Crustal structure.

Fig. 9. Distribution of the epicenters.

(2) 振 幅 分 布

三日月・船岡および氷上の最大振幅と数の関係を調べると、石木・飯田の式

$$N = kA^{-m}$$

における係数 m の値が求められる⁵⁾。三日月で $m=1.9$ という値は、従来、より低感度の地震計で常時の地震活動に関して求められた値にはほぼ等しい。すなわち、 $M<3$ の地震に関しても観測される地震の数は大きい地震の場合と同じ割合で増していることがわかる。この事は第1節で述べたように、問題にしているような、きわめて小さい地震の発生状況が、より大きな地震の発生との間に関係があることを示す一例であって、将来このような統計的研究も、地震予知研究の一つの方法となりうるであろうと思われる。

船岡および氷上に関しては m の値がわずかに小さく出たが、全体の個数が少ないための見かけ上の値か、または実際に小振幅の地震が少ないのかはこれだけの資料からは結論できない。

(3) 震 源 の 分 布

次に、3点に共通に観測された地震について、爆破地震動研究グループが御母衣爆破の走時曲線から求めた地殻構造を参考にして Fig. 8 のごとく簡単な平行構造を3観測点共通と仮定し⁶⁾、3点で観測されたP～S時間から震源を決めると Fig. 9 の分布図が得られる。震源を決めた地震は45個で、1964年8～10月中旬の、3点ともP～S時間<20秒のものに限った。震央の位置は比較的精度よく求められるが、震源の深さは遠くの地震では、あまり信頼できるとはいえない。しかし、観測点付近(P～S<5 sec.)の地震については Fig. 9 に10 km ごとの分類をした程度の精度はあると思われる。

さきにP～S時間頻度分布から予想されたとおり、この震央分布図を見ると和歌山附近の地震がかなり多く観測されていることがわかる。観測点近くでは氷上・三日月を通る帯および船岡・三日月を通る帯に地震が多く、その他姫路付近、丹後半島の西側および高槻支所周辺に震央が多く分布し、その他の地域には見られない。深さに関しても図から明らかなように、非常に系統的な分布をしている。これらは、高槻支所で集めた記録から異った時期に対して求められた震源分布ともよく一致しており、微小地震活動の高い地域、低い地域を分けることができるとと思われる。将来さらに長期間にわたって震源の地理的分布を調査すれば、この地方の微小地震の活動状態がいっそう詳しくわかってくるであろう。

(4) 地震の規模

微小地震の大きさを合理的に示す方法は、種々研究されているにもかかわらず、まだ定まったものがない。ここではより大きな地震について用いられている Magnitude の定義そのものを微小地震の範囲まで延長して、前節で震源を求めた地震のうち観測点周辺のもの27個についてその大きさを調べた。これらの地震では記録上最大振幅を示す波は0.3~0.4秒程度の周期を持っている。この周期に対しては、Wood-Anderson 地震計(2800倍, $h=1$, $T=0.2\text{sec.}$)はほとんど変位地震計として働く。Magnitude の定義から、逆に $\Delta=100\text{ km}$ で $M=1,2,3$ の地震が、微小地震観測点で使用されている地震計にどれだけの最大振幅で記録されるかを求めると Fig. 10 の $M=1,2,3$ と記した点で表わされる。この図に上記27個の地震の Δ と最大振幅を表わすと、約45度の勾配をもった上限と下限が見られる。この勾配を距離による振幅の減衰と考えれば、これらの地震の大きさは $0.5 < M < 3$ である。すなわち、 $P \sim S < 10\text{ sec.}$, $M > 0.5$ の地震は3点で観測できる。また、記録上振幅は0.3 mm まで充分読取ることができるので、観測点近くの地震については $M = -0.5$ まで記録されることが考えられる。

以上述べてきたように鳥取微小地震観測所管下の観測室では多くの微小地震の記録が得られている。これらの地震は地理的にも時間的にも、ある規則性を持って起っていると考えられる。また、大地震との間にも規則的な関連があることも予想される。今後、いろいろの見地から観測資料を解析し、その結果を続いて報告してゆく予定である。

参 考 文 献

- 1) 地震予知計画研究グループ：地震予知（現状とその推進計画），1962.
- 2) Gutenberg, B. and C.F. Richter : Seismicity of the earth and associated phenomena, 1949.
- 3) 岡野健之助, 平野勇：京都周辺に発生する微小地震, 1964年春期地震学会講演.
- 4) Japan Meteorological Agency : Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1926-1956).
- 5) Ishimoto, M. and K. Iida : Observations sur les seisms energistre per le microseismograph construit dernièrement (1), Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 17, 1939, pp. 443.
- 6) Mikumo, T. et al. : Crustal structure in central Japan as derived from the Miboro Explosion-seismic observations, Part 2, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 39, 1961, pp. 329-349.

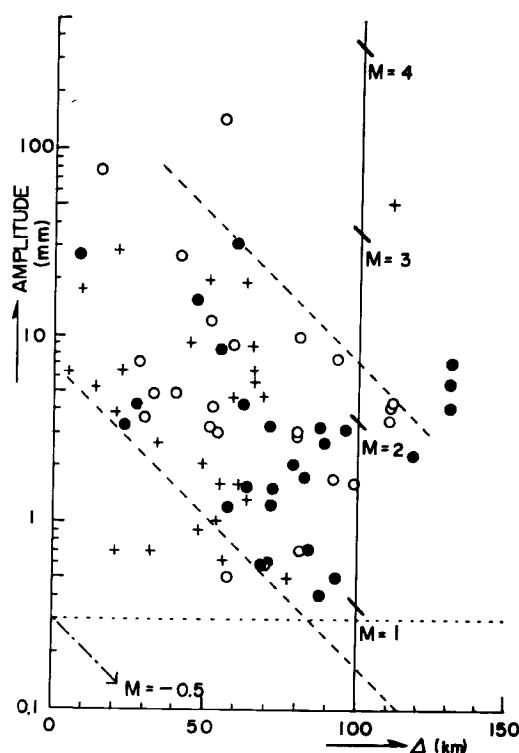


Fig. 10. Magnitude of earthquakes in Fig. 9.