

京都周辺に発生する微小地震 (1)

岡野健之助・平野 勇

MICRO-EARTHQUAKES OCCURRING IN THE VICINITY OF KYOTO

By Kennosuke OKANO and Isamu HIRANO

Synopsis

For throwing the light on the nature of micro-earthquakes occurring in the vicinity of Kyoto, the routine observations were set about on Oct. 1963 at six stations. Data obtained hitherto show that the epicenters are located in a belt-like region running from Wakasa Bay to Osaka Bay with width of about 25 km. The hypocenters lie in the crust. The fact that micro-earthquakes occurred concentrately in the belt-like region might be due to the geological structure judging from the behavior of gravity anomaly there. The magnitudes of the micro-earthquakes treated here are estimated to range from 1 to 3.

1. ま え が き

阿武山地震観測所の常時地震観測によってP～S Timeのごく短い地震が屢々観測されて来た。(Photo.) そのP～S Timeは1秒以下と思われる地震も観測される。阿武山の数万倍程度の短周期地震計による観測では、大体1日2～3回が数えられるが、この種の地震は1年に数回の有感地震を伴う。

この大部分は微小地震であるような、京都周辺に発生する地震を調べ、地震の種々な性質を明らかにするために多点観測を計画した。1963年10月から4観測点で観測を開始し順次観測点を増しているが、この報告は1963年10月から1964年2月迄の4観測点、以後6月迄の5観測点による観測結果から主に震央の分布について述べる。

2. 観測点及び観測器械

最初5観測点による初動の発震時を用いて震源を決定することを考えたので、阿武山の他に4観測点を設けることを計画した。常時観測という点を考えてそのうち1ヶ所は京都大学理学部上賀茂地学観測所を選ん

Table. Constants of observation stations.

Stations	Lat. (N)	Long. (E)	Levels (km)
Abuyama	34° 51' 24.4"	135° 34' 22.4"	0.22
Myoken	34° 55' 38.0"	135° 29' 58.4"	0.60
Yagi	35° 04' 06.1"	135° 30' 33.2"	0.16
Kyohoku	35° 10' 38.0"	135° 40' 03.0"	0.26
Kamigamo	35° 03' 32.0"	135° 45' 56.3"	0.19
Iwao	34° 52' 57.0"	136° 07' 56.0"	0.40

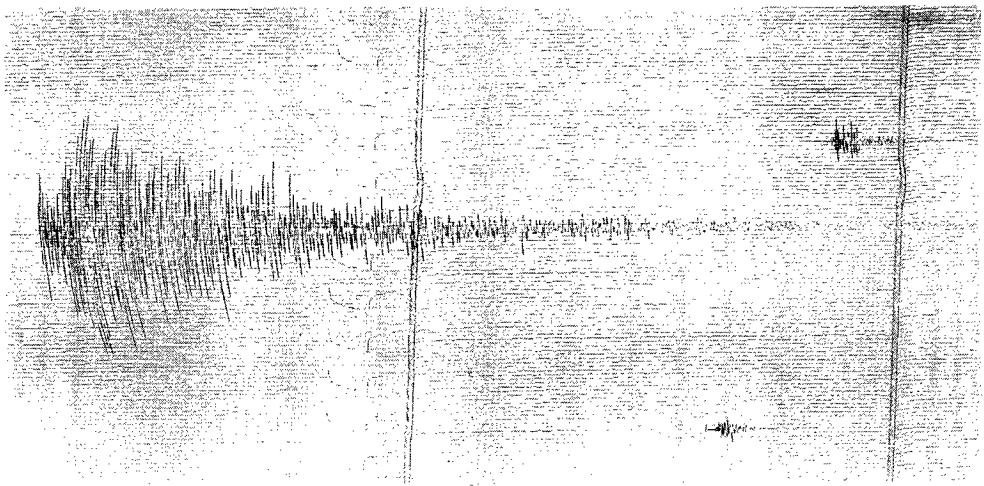


Photo. An example of seismograms.

だ。そして阿武山、上賀茂を一辺として他の3観測点を設けた。この場合毎日の記録の取り替えの容易なことを考慮したので雑微動の点は多少犠牲にした。結局 Table 及び Fig. 3 に見られるような配置になった。このうち滋賀県岩尾山は1963年の夏、極微小地震研究グループが合同観測を行った際に、阿武山地震観測所班が臨時に設けた観測点をそのまま残したものである。

最初地震計は阿武山で常時観測に用いているトランジスター増巾器使用の煤書き式である OB Type の上下動1成分を、阿武山その他妙見、京北、岩尾の3ヶ所に置き、八木、上賀茂には同じく阿武山で常時観測に用いている直結型フィルム記録方式 (HES 型記録計使用) の SH-II Type の3成分を置いたが、Paper speed が 2 cm/min であるので時間の精度が悪く、その上近い地震に見られる短周期の震動を記録する場合記象がうすく
なって見えにくいので、上賀茂は1964年3月より、八木は1964年10月17日より他の4ヶ所と同種の OB Type 上下動地震計に取り替えた。これ等地震計の Response curve を Fig. 1 に示す。但し倍率は故障等によって増巾器を取り替えるので一定ではない。

初動の発震時を正確によみとることを目的にしたので、Paper speed は早い方がよいのであるが、常時観

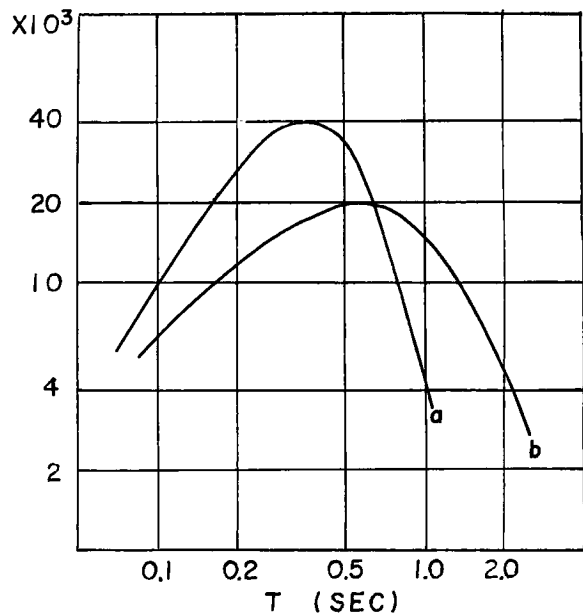


Fig. 1. Response curves of seismographs.

- a. OB Type : $T_1=0.71$ sec, $h_1=0.65$, $T_2=0.36$ sec, $h_2=1$.
- b. SH-II Type : $T_1=0.80$ sec, $h_1=1.00$, $T_2=1.07$ sec, $h_2=1.00$.

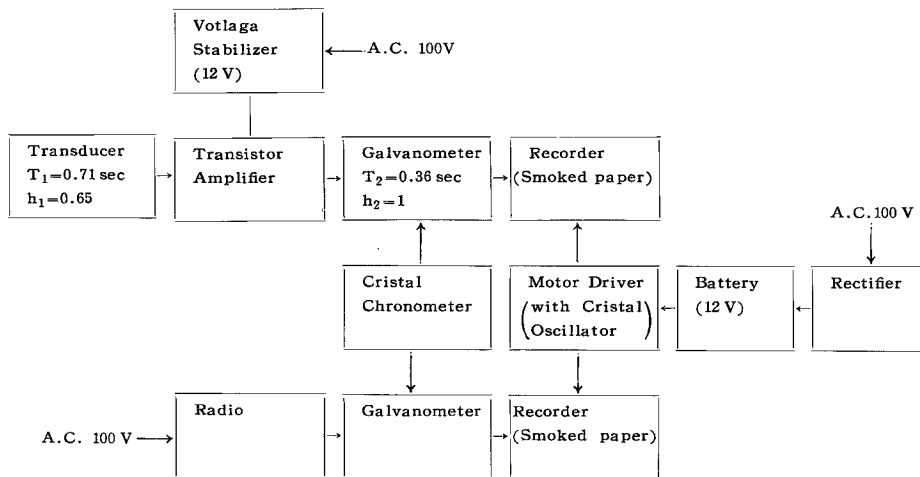


Fig. 2. Block diagram of recording system.

測であるための制約を受けて 12 cm/min の速さにした。時間の精度は 0.1 sec を望んだので秒刻時を入れるべきであったが、秒 mark の間隔が 2 mm となり記象がよみにくくなることをおそれ刻時は時、分 mark のみを入れた。ドラムの回転を一樣にするために水晶発振器による 60 cycle を電力増ししモーターを駆動させた。しかし尚ドラムの回転が一樣でなく 0.2 sec 程度の誤差はまぬがれない。

各観測点の水晶時計の較正には NHK ラジオの時報を利用した。すなわち時計較正用の記録装置を別に設けてこれに水晶時計の刻時と同時に NHK の時報を記録させ、毎時較正出来るようにした。これ等記録系を Fig. 2 に示す。

3. 解析方法

最初5点観測による初動の発震時を用いて震源を決定する考えであったが、この方法は今迄成功しない場合が多いので採用しなかった。又4観測点による P~S Time を用いて震源を決定する方法が屢々用いられているが、我々の観測では地震計が上下動成分であったためか4観測点全部で S-Phase を明瞭に読みとることの出来る地震は数少なかったもので、この方法も採用しなかった。

幸にして爆破地震動研究グループによって地殻構造の調査が近畿地方北部について行われているので、これによってP波の速度を仮定し、各観測点における初動の発震時を用いて震源を求めた。近畿地方北部の地殻構造はやゝ複雑で未だ信頼のおける構造は分っていないが、Crustの部分のP波の速度は大体 5 km/sec から 6 km/sec の間で変っていることは間違いないので、我々はP波の速度を一定と考え、5 km/sec, 5.5 km/sec, 6 km/sec, の三つの場合について計算を行った。当初上賀茂、八木はフィルム記録方式であったため時間の精度が悪く解析に使用出来なかったもので、1963年10月から1964年3月上賀茂を OB Type に替える迄は、阿武山、妙見、京北、岩尾の4ヶ所の Data から、それ以後6月迄は上賀茂を加えた5ヶ所の Data から計算を行った。

最初行った4点の Data からの計算では解は Uniquely に決まり、後の5点の Data からの計算では任意の4点の Data から得られた解を第0近似として最小自乗法によって解を求めた。観測点の Level にはかなり差があるが最初行った4点の Data からの計算ではこれを無視した。後の5点の Data からの場合にはこの Level を考慮して計算を行った。数値計算は KDC-I を用いた。

最初の4点からの計算では、P波速度を 5 km/sec にした場合、約10%は深さが Imaginary になり、5.5

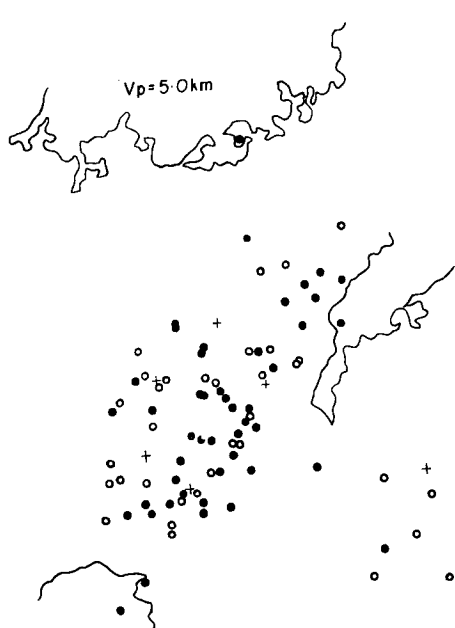


Fig. 3 a. Distribution of epicenters for the assumed velocity of 5.0 km/sec.

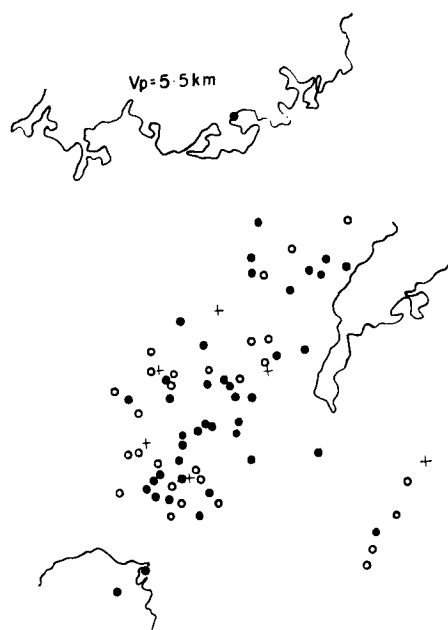


Fig. 3 b. Distribution of epicenters for the assumed velocity of 5.5 km/sec.

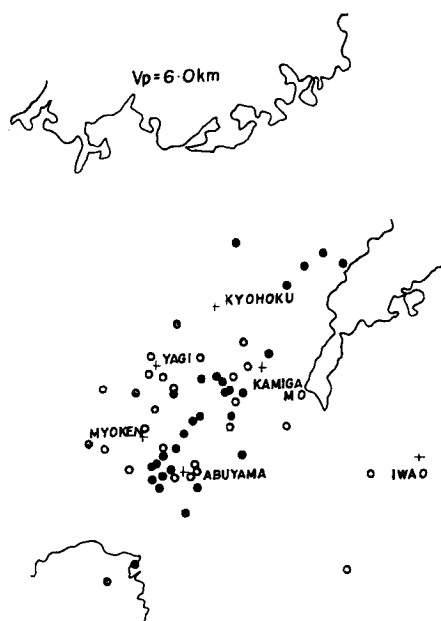


Fig. 3 c. Distribution of epicenters for the assumed velocity of 6.0 km/sec.

km/sec の場合では約20%, 6 km/sec の場合には30/%以上は深さが Imaginary になった。これは観測精度, 地殻構造, P波速度の仮定値等種々のものが原因となっていると考えられる。現在八木を含めて6点の Data を用いることが出来るので, 将来この問題を詳しく検討する予定である。

解析の対象として各観測点で P~S Time が 10 sec 以下と思われる地震を選び, その発震時を明瞭に読むことが出来, 且又時間の較正が確実に出来るようなものについてのみ解析を行った。しかし観測網の外に震源を持つと考えられる地震についての知識を得るために, 屢々意識して P~S Time が 10 sec より長いものも取り上げた。

4. 解 析 結 果

震 央 分 布

Fig. 3 に P波速度を 5 km/sec, 5.5 km/sec, 6 km/sec とした場合の震央の分布を示す。●印は4点の Data から求めたもの (1963年10月より1964年2月迄), ○印は5点の Data から求めたもの (1964年3月から1964年6月迄) である。P波の速度を大きくとったものの分布が小さくとったものの分布に比べて点の数が少ないのは, 前節に述べたように P波の速度を大きくとる程深さが Imaginary となって解が出ないも



Fig. 4. Distribution of earthquakes listed in the Seismological Bulletin of J. M. A. from 1951 to 1960.

の多いからである。

しかしこの三つの分布を見ると大きな差はなくいずれもよく似た分布を示している。Crust のP波の速度は 5 km/sec から 6 km/sec と考えてよいので、この震央分布はかなり信頼出来るものと考えられる。

この分布を見ると丁度観測網の中を貫いて NNE から SSW に走る 1 つの Belt 上に震央が分布しているように見える。勿論取り上げた地震がこの観測網の中に入るような P~S Time を持ったものであるからこれは当然のことであるが、この観測網からはずれているものは、北側及び南側にはかなり見られるにも拘らず、東側及び西側にはあまり見られない。特に西側には全く分布が見られない。東側は僅かに岩尾山の SW の位置に見出されるのみである。このことからこの種の地震は琵琶湖の西岸から大阪湾にかけて Belt 上に分布していると考えてよいようである。この Belt の東側には岩尾山観測点があるので、Belt の東側に地震の発生が少ないということは明らかであるが、西側に地震の発生が全くないということは未だ断定出来ない。現在 Belt の西側に篠山観測点を設営準備中であるので、観測が開始されればこの点は明らかになるう。

この分布図は大部分 Magnitude が 1 から 3 迄の微小地震のものである。そこで気象庁が観測した Magnitude が 4 以上の地震の震央分布と比較するために、気象庁が発行している地震月報によって 1951 年から 1960 年迄の 10 年間の近畿地方に震源を持つ地震の震央分布図を Fig. 4 に示した。

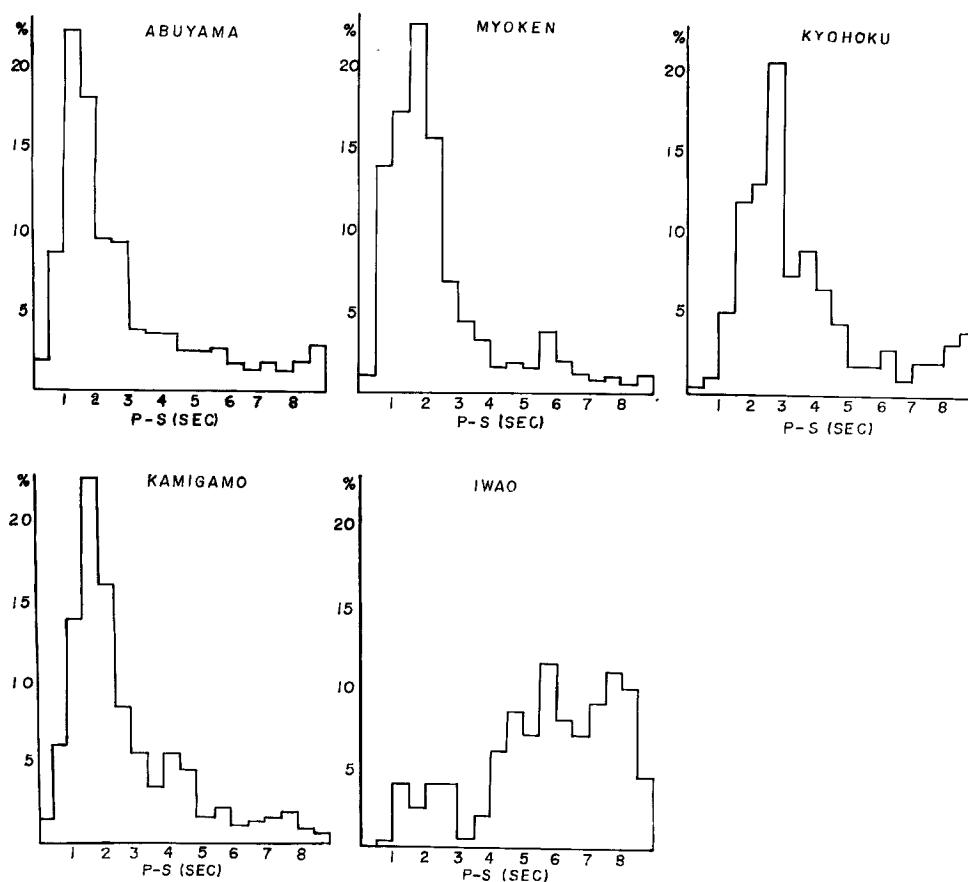


Fig. 5. Relative frequency distributions of P-S duration times.

この図からも上に述べた Belt 状の震央分布が同じ地域に見られ、この Belt の西側には地震の発生が殆んどないことが分る。このことからこの Belt 状の地震頻発地域が存在することは疑いのないところであり、この地震帯ともいべき地域は Magnitude が 1 位のものからかなり大きい地震について迄存在しているようである。

岩尾山の周辺には地震の発生が少ないと述べたが、このことを示すために各観測所の記録から P~S Time の頻度分布図をかいた。Fig. 5 に示す。

地震頻発地帯上にある阿武山, 妙見, 京北, 上賀茂の 4 観測点の頻度分布は観測点に近い震源を持つ地震が多いことを示しているが、岩尾山の頻度分布には P~S Time の短い所と 5~8 sec のやゝ長い所に Peak がある。そしてその数は長い方の部分が圧倒的に多い。Fig. 3 の震央分布図に見られるように、この長い方の部分は上述の地震頻発帯の地震をあらわし、短い方は岩尾山の SW の地域に発生する地震をあらわしている。

次に●印と○印の震央分布を比べると、この両者の間には時間的なずれがあるにも拘らずその分布状態は殆んどかわっていない。このことからこの程度の時間 (2~3 ヶ月間) を問題にする限り地震の発生地域が時間的にうつり変るということではなく、大体この地震頻発地帯にはいつも一様に地震が発生していると考えてよいようである。但し毎日の記象を見ていると短時間 (1~2 日間) の群発性は始終見られ、その記象も全く同形であられる。特に 1964 年 5 月に妙見山のやゝ西側と思われる地域に震源を持った地震が約 1 日間に数十程度程度の群発を示した。この群発性の問題は、大へん興味のあることと考えられるので Data がそろってから更めて検討したい。

この地震頻発地帯が地殻構造とどのような関連を持っているかが興味のあるところであるが、坪井²⁾によると丁度この Belt に相当する地帯が重力の Bouger anomaly の変化が特に激しい地帯であることを指摘している。又爆破地震動研究グループによる地殻構造¹⁾によってもかなり複雑な様子をしているようであるので、これ等の間に何か関連があるのではないかと期待している。

震源の深さ

Fig. 6 に震源の深さの分布図を示す。この図は阿武山と妙見の垂直二等分面上に震源を Plot したものである。これも P 波の速度を 5 km/sec, 5.5 km/sec, 及び 6.0 km/sec としたそれぞれの場合について示した。各々の分布は多少異っているがそれ程著しい差はない。深い震源を示す地震は P 波速度を 6 km/sec とし浅い震源を示す地震は P 波速度を 5 km/sec と仮定した場合のものをとるのが妥当であると考えられるので、この種の地震はすべて深さ 35 km 以内に震源を持っていることになる。この 35 km という深さは爆破地震動研究グループが求めた地殻構造によると丁度 Crust の厚さ

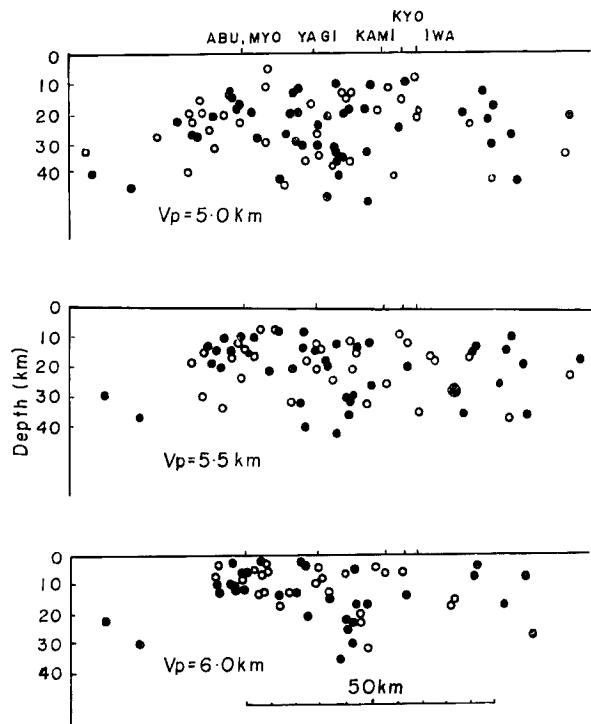


Fig. 6. Distributions of focal depths.

に相当するので、我々が観測した微小地震はすべて Crust 内に発生していることになる。

なおこの震源の分布に興味深い傾向が見られるが、現在の観測結果からはこれ以上のことを述べることは難しい。震源の深さの分布の問題は地震の発生と地殻構造との関連を明らかにする上で大へん重要なことと考えられるので、将来更に観測精度を向上させた上で詳しく調べたい。

Magnitude

我々の観測した地震の Magnitude がどの程度のものであるかを知るために、震源距離に対する各観測点における地震動の最大振巾を Fig. 7 に示した。

これはP波の速度を 5.5 km/sec とした場合のものである。地震計の倍率は器械の故障、交換等で不明の場合があるので確実に倍率の分っている場合についてのみ Plot した。

Magnitude は本来 Wood-Anderson 地震計による記録の最大振巾から求めるのであるが、この地震計は水平動の変位地震計であり、我々の用いた地震計は倍率曲線に Peak を持つ上下動地震計である。それ故我々の用いた地震計による記録の最大振巾をそのまま Magnitude を判定する Data にすることは出来ない。しかし阿武山地震観測所で常時観測に用いている変位地震計である Wiechert 地震計の記象を見ると P~S Time の短い近地地震の最大振巾を与える波の周期は大体 0.2~0.4 sec であることが分る。そして我々の観測で得られた地震の最大振巾の波の周期もやはりこの程度であるので、この最大振巾の波を Wood-Anderson 地震計が記録すると考えられる最大振巾の波と考えても大した誤りはない。又両地震計の成分の違いから起

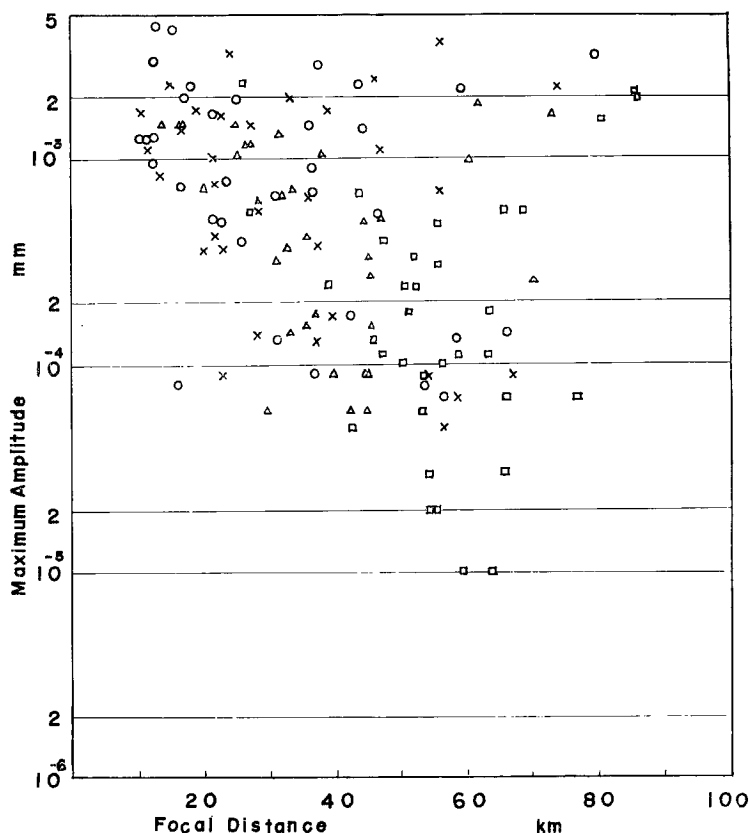


Fig. 7. Relation between the maximum amplitudes and hypocentral distances.

る振巾の差を見るために、阿武山における常時観測の Data から近地震の水平動振巾と上下動振巾との比を調べて見た。震源距離が 100 km 程度、すなわち $P \sim S$ Time が 15 sec 位迄は一般に水平動振巾は上下動振巾に比べて 2 ~ 4 倍大きいことが分った。この 2 つの点を考慮して Fig. 7 から Magnitude を判定して見た。Fig. 7 の点の上限と下限を震源距離 100 km の所迄延長すると大体上限は 10^{-4} mm となり、下限は 10^{-6} mm となる。これは上下動振巾であるので水平動振巾にすると大体 3×10^{-4} mm から 3×10^{-6} mm であることになる。Wood-Anderson 地震計は 2800 倍であるので震源距離 100 km の地点で Magnitude 1 を与える振巾は 3.6×10^{-6} mm, Magnitude 3 を与える振巾は 3.6×10^{-4} mm となることを考えると、我々の求めた地震は大体 Magnitude が 1 から 3 程度のものであることが知られる。

5. あ と が き

従来より阿武山地震観測所で観測されていた微小地震の震央分布が今回の多点観測によって明らかになった。そしてこの分布は地殻構造と密接な関連があるように思われる。震源の深さに関する詳細な Data が得られれば、このことは更に明瞭になり地震の発生の問題に手がかりがつかめるのではないかと期待している。現在観測点を逐次増加しているので順次報告する予定である。

謝 辞

この観測に当って京都大学理学部阿武山地震観測所三木晴男教授に終始御援助いただいた。又観測点の設営に当っては当研究所吉川宗治教授の御援助を仰いだ、こゝに厚く御礼申し上げます。又観測点の整備に、はしまわっていただいた阿武山地震観測所の方々、毎日記録の取り替えを行っていただいた各観測点の方々に心から御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 三雲健, 大塚道男, 宇津徳治, 寺島敦, 岡田惇: 爆破地震動観測による日本中部の地殻構造, 地震第 2 輯 第 14 巻 第 3 号, 1961, pp. 168 ~ 188.
- 2) 坪井忠二: 地球の構成, 1961, p. 166