

59. *High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes. Part 1.*

By Kazuo HAMADA and Takahiro HAGIWARA,
Earthquake Research Institute.

(Read December 21, 1965 and March 22, 1966.—Received June 30, 1966.)

The high sensitivity tripartite observation was commenced at Hoshina ($36^{\circ} 35' N$, $138^{\circ} 16' E$), Nagano Prefecture, about 7 kilometers northeast of the town of Matsushiro on October 31, 1965, with a view to investigate the activities of micro and ultra-micro earthquakes in the area of Matsushiro Earthquakes. The observation was done as one of the programs projected by the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, concerned with Matsushiro Earthquakes.

This paper is the first report of the result of the tripartite observation carried out on the period from October 31 to December 18, 1965, the second observation by the same method was started after interruption of sixty days on February 20, 1966. However, the result of the observation in the second period including an overall analysis of the whole period in comparison with the observational result of other kinds carried out by other members concerning Matsushiro Earthquakes will be reported as the second report.

1. Method of observation

Three seismographs of vertical moving-coil type with natural frequency of 3 cps were set up at vertexes of a triangle with sides of 1,028 m, 902 m and 686 m as shown in Fig. 1, in which the observation points are marked with circles. We used a magnetic tape data-recorder of 3 channels capable of working for 90 minutes continuously with tape speed of 95 mm/sec, using a 7-inch reel of tape.

Recorded earthquakes were played back to a visible record with pen-galvanometers of 90 cps in natural frequency with paper speed of 30 mm/sec. The block diagrams of the recording and reproducing systems are shown in Fig. 2. Fig. 3 illustrates overall frequency characteristics of

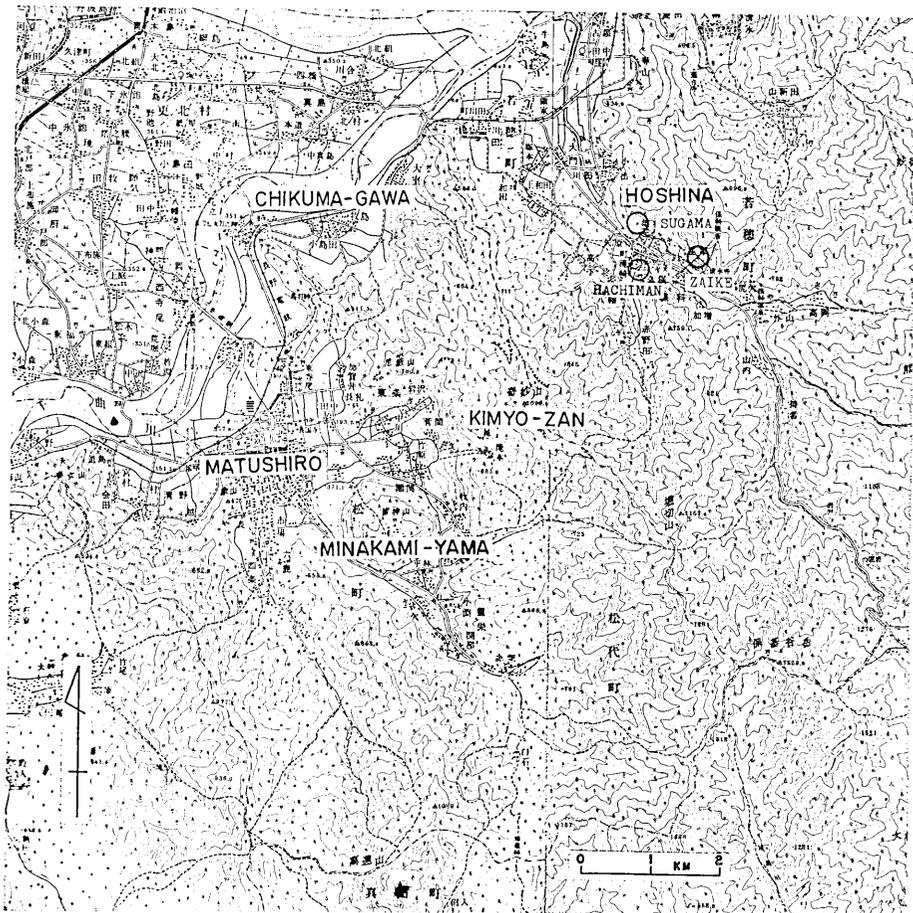


Fig. 1. Map around the observation points.

trace amplitude on the record against the velocity of the ground motion. The magnification is 75,000 for the vibration of 15 cps. We observed earthquakes usually for 90 minutes in the day-time once a day and obtained records of 65 hours in total during the period from October 31 to December 18, 1965.

In the present observation, earthquakes with magnitude larger than 1 occurring within the distance of at least 40 kilometers from the observation points were expected to be detected, considering the V - r relations illustrated by Muramatsu¹⁾ in which V and r are maximum velocity amplitude

1) I. MURAMATSU, *Zisin*, 4 (1964), 210.

of the ground and hypocentral distance respectively.

2. Background noises

Background noises in the present case were very low compared with the detected signals, due to the observation points being in a quiet village where there were almost no artificial noises and no agricultural work in progress at this particular season. In addition to such good conditions of the ground characteristics of the instruments was also effective in decreasing background noises, as shown in Fig. 3. As the sensitivity of the

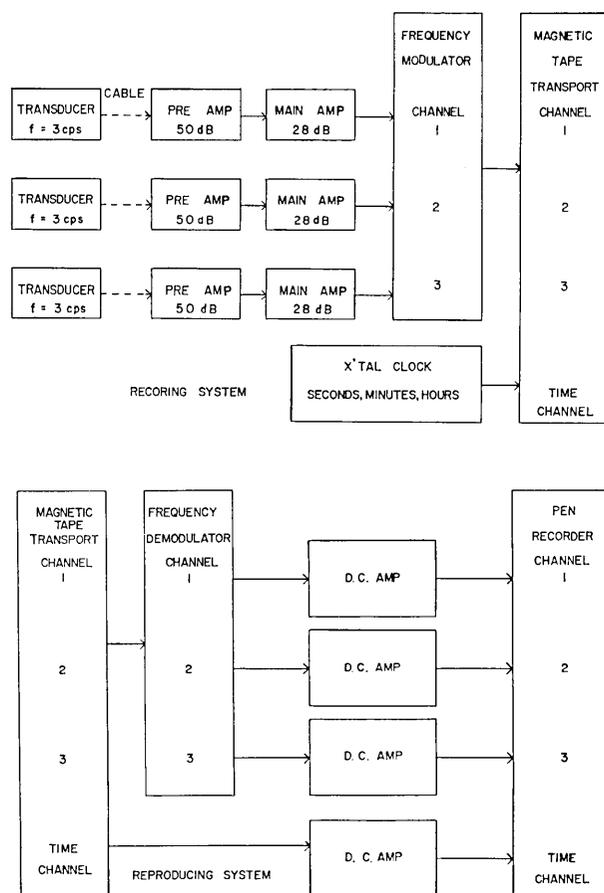


Fig. 2. Block diagram of recording and reproducing systems.

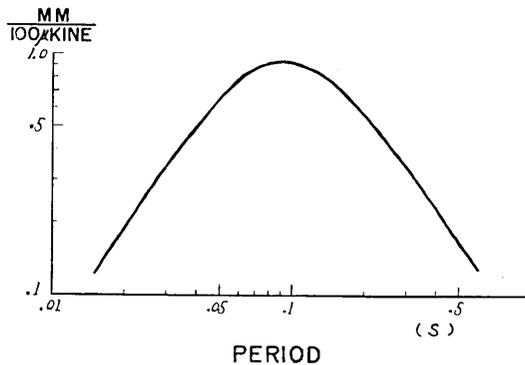


Fig. 3. Overall frequency characteristics of the instruments.

apparatus was not extremely high in the present case, instrumental noises were out of question.

3. Aspects of seismograms

Seismograms of the Matsushiro earthquakes obtained by our observation have evident characteristics in certain of their aspects, i.e. *P* phase is very sharp and of large amplitude compared with that of *S* phase in most cases. *S* phase is also sharp and of large amplitude. Both *P* and *S* waves begin with large amplitude and damp quickly. As both *P* and *S* phases are very sharp, the arrival time of *P* phases was identified, in most cases, with an accuracy within 0.01 second and *S* phase was determined, in 50 percent of cases, with an accuracy within 0.05 seconds.

Examining seismograms, we found that *P*-*S* time intervals concentrated in the range from 0.5 to 1.0 second, the period of the maximum amplitude being between 0.05 and 0.1 second in most cases. Typical examples of the seismograms are shown in Fig. 4.

4. The number of earthquakes

The number of earthquakes obtained by the tripartite observation are listed in Table 1. For the sake of comparison, the number of unfelt and felt earthquakes announced by the Matsushiro Seismological Observatory, Japan Meteorological Agency, are listed together. They are also shown in Fig. 5. The scale of the ordinate on the right-hand side in Fig. 5-a indicates daily number of earthquakes obtained by extrapolation, assuming

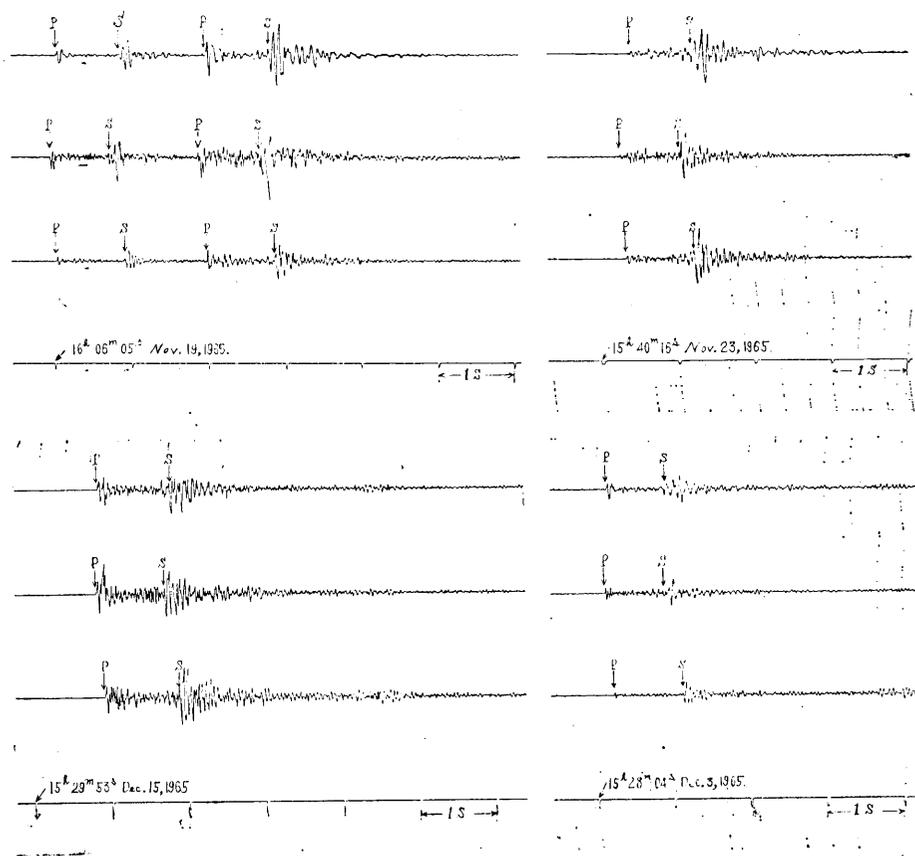


Fig. 4. Seismograms obtained at Zaike, Hachiman and Sugama in order from the top to the bottom.

that frequency of occurrence is of the same rate throughout a day. We were not able to find any relation between the number of occurrences of micro-earthquakes and that of large earthquakes with magnitude larger than 3.5. The number of shocks obtained by our observation fluctuated, the average number being on the level of 200 in 90 minutes in the period from October 31 to November 30, and of 100 in 90 minutes after December 1. On the other hand, the number of unfelt shocks announced by JMA, excluding November 22 and 23, did not show such fluctuation, the average number being 670 a day. The 4th column of Table 1 gives the number of shocks of which the maximum trace amplitudes are equal to or larger than 5 mm, and of which the location of the foci, *P-S* intervals

Table 1. List of earthquakes

Date	Obsetvation intervals	Number of earthquakes detected	Number of earthquakes analyzed	Number of un-felt earthquakes announced by JMA	Magnitudes of main felt earthquakes
Oct.31	15:47-17:13	296	18	617	
Nov. 1	15:35-17:05	301	32	843	
2	16:41-18:11	397	10	616	3.8
3	16:40-18:10	254		593	3.9
4				723	3.7, 4.1
5	14:06-15:36	222	28	625	3.8
6	11:58-13:28	217	29	594	
7	13:15-14:15	93	14	664	
8	14:11-15:41	154	27	768	3.7
9	13:10-14:40	141	19	600	
10				696	3.7
11	11:12-12:42	211	27	695	3.8
12	14:33-16:03	161	33	926	
13	15:00-16:30	275	35	755	4.2
14	15:00-16:30	295	55	512	
15	15:25-16:55	334	46	626	
16				600	3.8
17	16:00-17:30	357	46	638	
18	15:08-16:38	181	28	647	3.7
19	15:07-16:37	232	40	762	4.0
20	14:06-15:36	233	34	704	
21	14:27-15:57	325	34	731	4.1, 3.8
22	14:09-15:39	164	20	1778	4.4, 4.3
23	14:05-15:35	118	17	1441	4.5
24	14:08-15:38	163	17	896	4.1
25	13:56-15:26	117	26	632	3.7
26	14:02-15:32	144	27	587	3.9
27	14:02-15:32	90	12	901	3.7
28	14:01-15:31	127	27	782	
29	14:12-15:42	106	21	590	3.7
30	15:03-16:33	98	9	496	
Dec. 1	15:34-17:04	97	10	594	3.8, 3.7
2	15:03-16:33	102	21	816	
3	14:06-15:36	64	23	608	3.6
4	14:01-15:31	80	19	657	

(to be continued)

(continued)

Date	Observation intervals	Number of earthquakes detected	Number of earthquakes analyzed	Number of unfelt earthquakes announced by JMA	Magnitudes of main felt earthquakes
5	14:42-16:12	96	44	678	3.8
6	14:23-15:53	111	34	759	
7	14:11-15:41	73	21	634	3.9, 3.8, 3.8
8	14:05-15:35	65	48	659	3.7, 3.7
9	15:17-16:47	118	36	719	4.0
10				916	
11	14:38-16:08	96	16	666	3.8
12	10:10-11:40	67	14	513	3.8
13				604	
14				596	
15	13:55-15:25	97	30	695	
16	13:50-15:20	54	18	686	
17	14:50-16:20	96	19	448	
18	15:30-17:00	72	29	587	

and magnitude were obtainable. For the sake of convenience, we divided the period of observation into seven weeks and conducted data processing.

5. Distribution of *P-S* intervals

Frequency distributions of *P-S* intervals are shown in Fig. 6-a, in which the period of observation is divided into seven weeks. While frequency distribution in total period is shown in Fig. 6-b. In these figures, only the values of *P-S* intervals determined by the record obtained at Zaike, one of the three observation points, are shown. 80 percent of all the *P-S* intervals lie between 0.6 and 1.0 second as shown in Fig. 6-b. It is noticeable that the *P-S* times larger than 1.4 or less than 0.1 seconds were not observed throughout the whole period of observation.

We cannot find the significant difference in the distribution of *P-S* times each week, except for a small peak around 0.4 seconds occurring in some weeks.

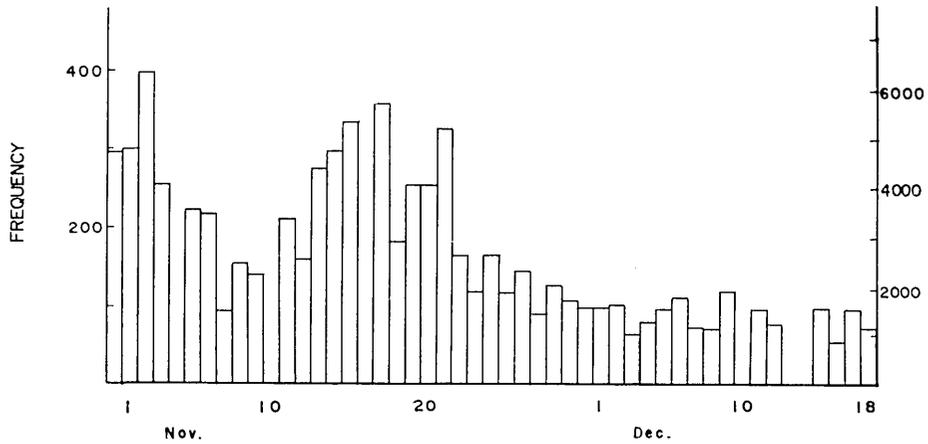


Fig. 5-a. The number of earthquakes obtained by the tripartite observation. Scale of the ordinate on right-hand side indicates daily number obtained by extrapolation.

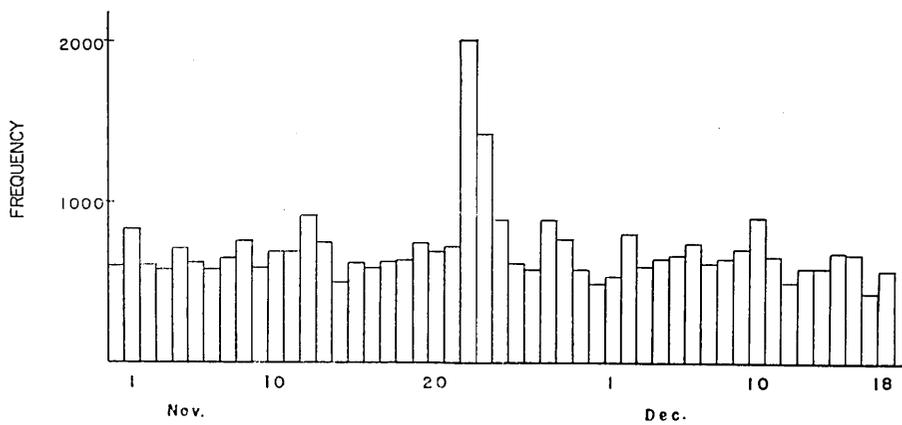


Fig. 5-b. The number of unfelt earthquakes announced by JMA.

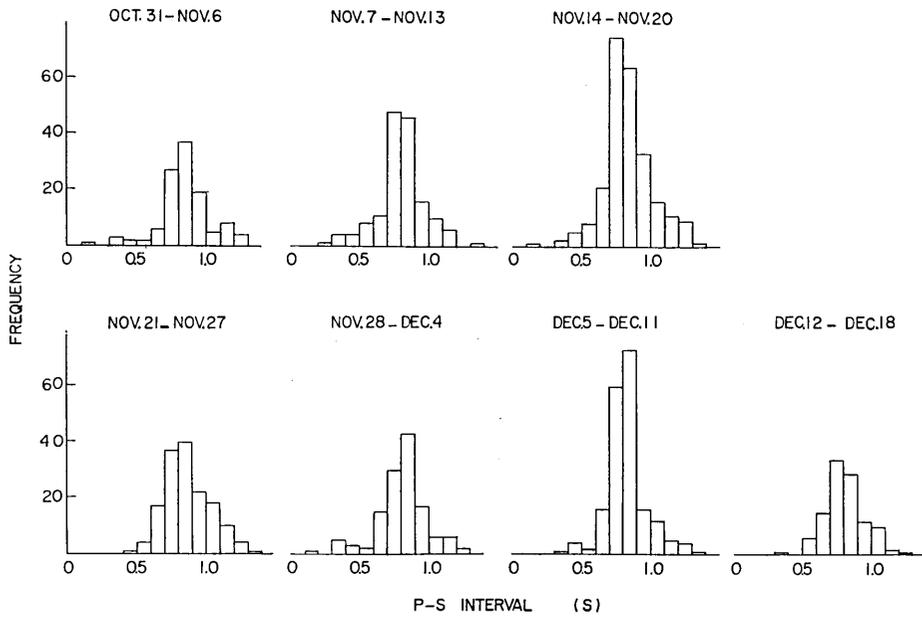


Fig. 6-a. Distribution of $P-S$ intervals of each week.

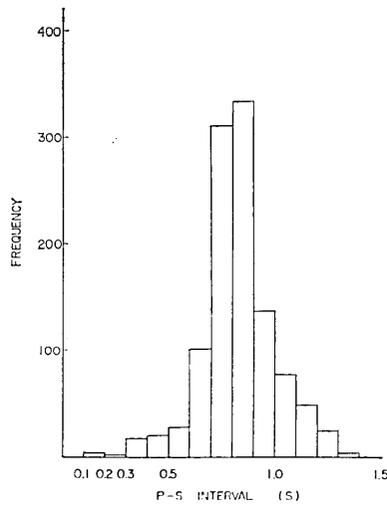


Fig. 6-b. Distribution of $P-S$ intervals of total period.

6. Determination of the seismic foci

We have no detailed information for the propagating velocity of P and S waves in the area of Matsushiro earthquakes. Therefore, we assumed simply that the underground structure in this area is isotropic and homogenous, the velocities of P and S waves being constant with depth.

In order to determine the seismic foci, we solved the following simultaneous equations, using rectangular co-ordinates X , Y and Z .

$$(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2 = (t_i - t_o)^2 V_p^2$$

$$i = 1, 2 \text{ and } 3$$

$$\overline{PS}_i \cdot k = (t_i - t_o) V_p \quad i = 1 \text{ or } 2 \text{ or } 3$$

where X , Y and Z are co-ordinates of the location of the foci X_i , Y_i and Z_i co-ordinates of observation point i , t_i and \overline{PS}_i arrival time of P wave and P - S interval obtained at observation point i , V_p the velocity of P wave, k a constant, t_o origin time.

We assumed that the velocity of P wave is 5.0 km/sec taking the lower limit of apparent velocity obtained by the tripartite observation, as shown in Fig. 7. The constant k was determined to be 7.3 km/sec by the ordi-

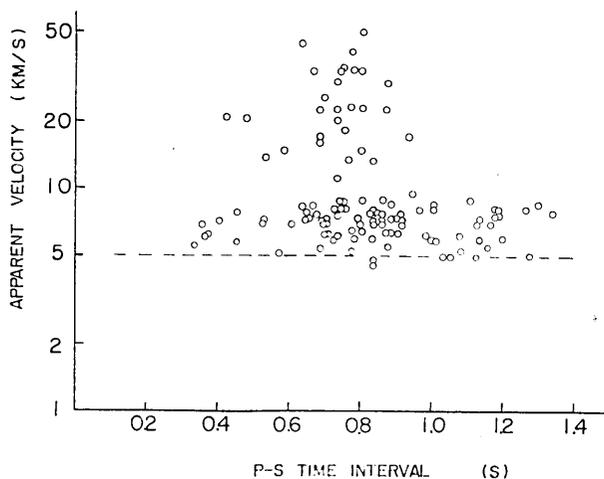


Fig. 7. Apparent velocity obtained by the tripartite observation.

nary seismographic network consisting of four observation points in the same region made by other members of our institute.²⁾ Theoretically it could be said that P - S time intervals at three observation points and the constant k can determine the foci but accuracy of location of the foci is not sufficient on account of roughness in P - S time interval in the case of the present observation in which three triangular points are at the distance of only 1 kilometer from each other. Therefore, locations of the seismic foci were calculated with arrival times of P wave identified with better accuracy at the three observation points, P - S time interval at one of the three observation points, velocity of P wave and the constant k . In determination of the seismic foci, we can use a P - S time interval at any observation point because P - S time interval at one observation point is equivalent to that at another in the above-mentioned method of determination of the foci.

The assumption that the constant k is 7.3 km/sec and the velocity of P wave 5.0 km/sec, as adopted in the present case, means that the velocity of shear wave is 3.0 km/sec and $\lambda = (7/9)\mu$, where λ and μ are Lamé's constants. If these values of elastic constants differ significantly from the results of other investigations in the same region, propriety of the values shall be considered again. If the values of the velocity of P wave and the constant k change, the locations of the seismic foci will change as follows: the foci of the shocks will be shallower and the epicentral distances longer if the velocity of P wave increases, the foci deeper and the epicentral distances longer if the constant k increases.

As there are a large number of earthquakes, an electronic computer was used for both calculation and plotting of the locations of the seismic foci. The results are shown in Figs. 8 and 9.

We took rectangular co-ordinates when calculating the seismic foci. X , Y and Z axes were taken in the northeast, in the northwest and vertically downwards respectively, Zaïke, one of the observation points, being taken as an origin. The foci were projected on X - Y , X - Z and Y - Z planes. These planes illustrate the distribution of the seismic foci in three dimensions. The planes to which the foci were projected were divided into 50×50 meshes 212 meters long and 255 meters broad for the convenience of the line printer of the computer. The numbers of the foci are shown by digits at the locations of the corresponding meshes on the plane. In connection with the accuracy of the locations of the foci, the roughness

2) THE PARTY FOR SEISMOGRAPHIC OBSERVATION OF MATSUSHIRO EARTHQUAKES AND THE SEISMOMETRICAL SECTION, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44** (1966), 309.

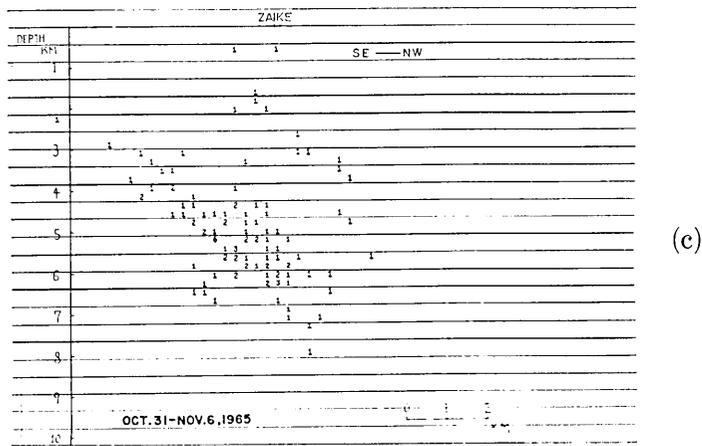
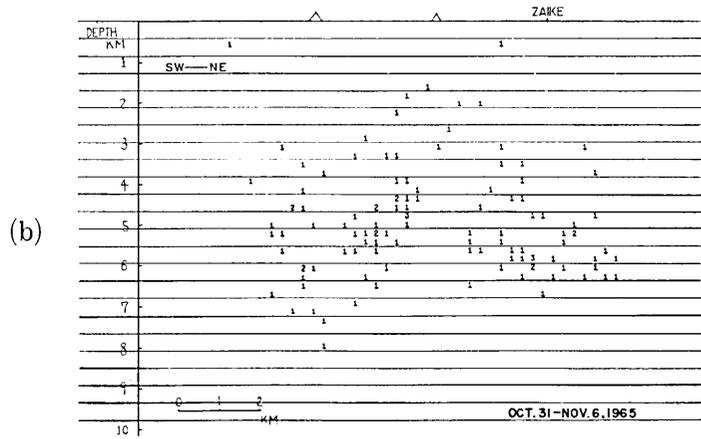
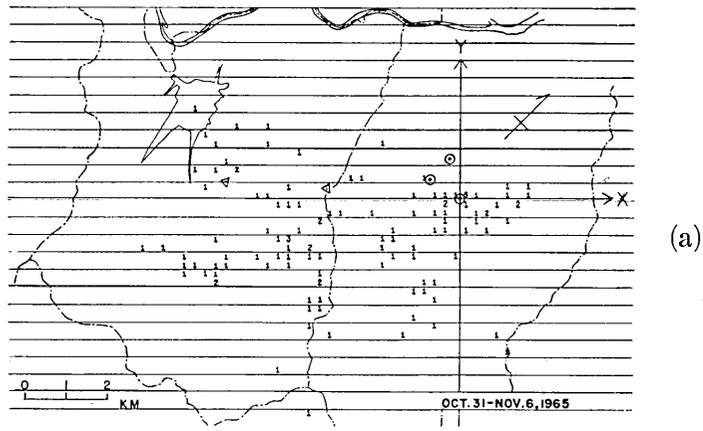
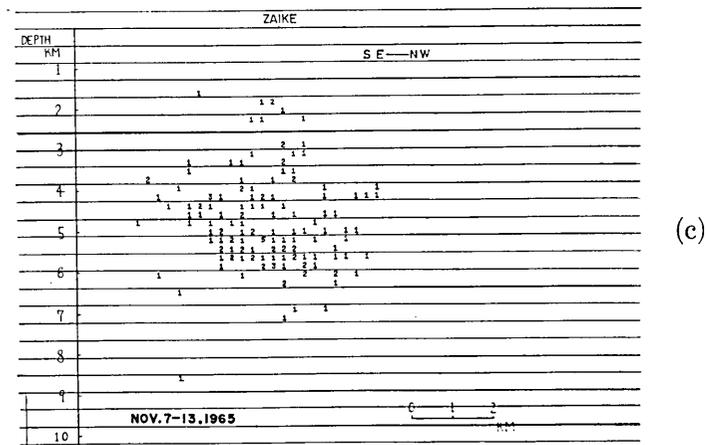
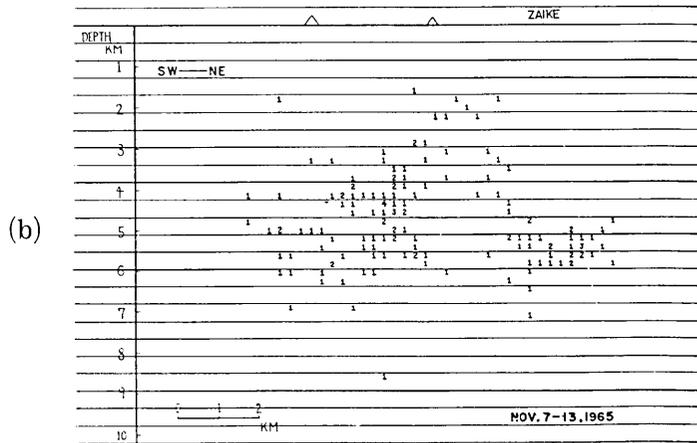
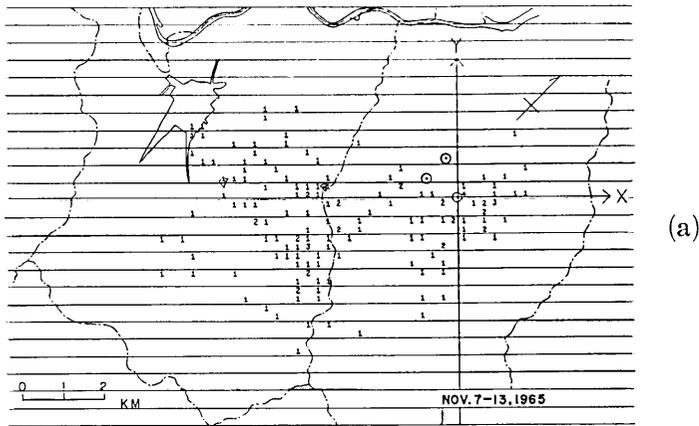
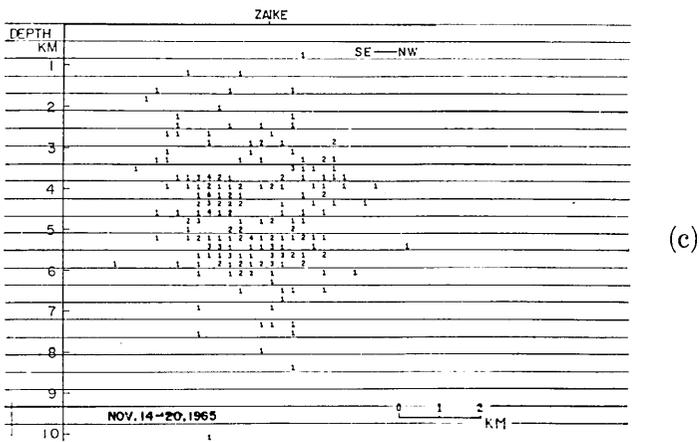
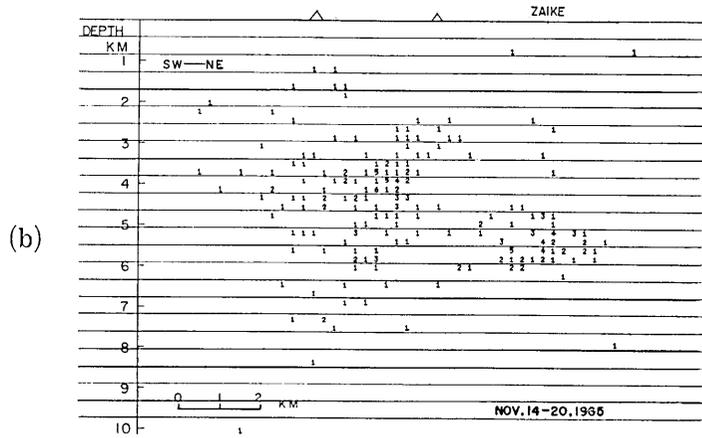
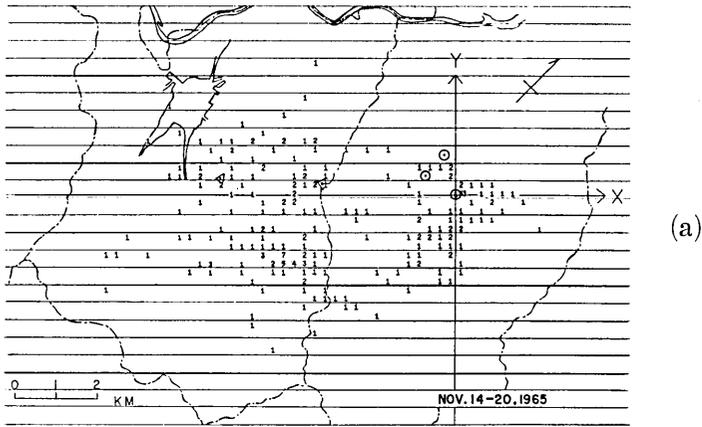
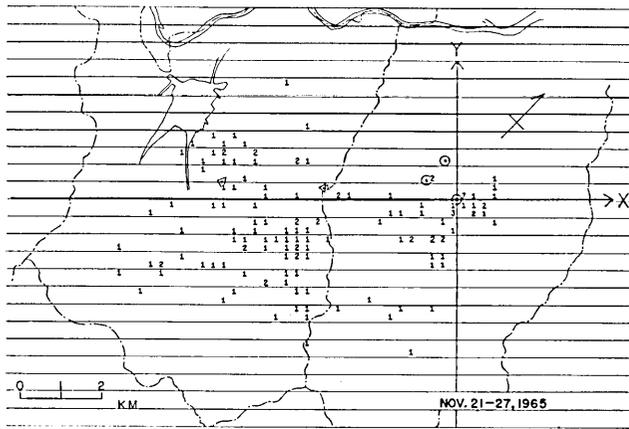


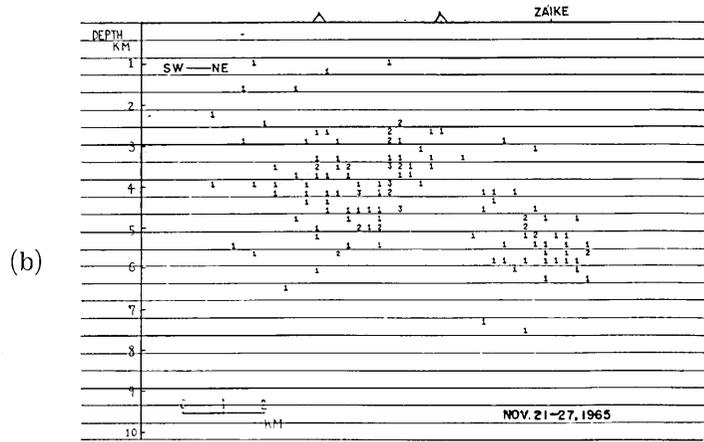
Fig. 8. Distribution of the seismic foci in each week.



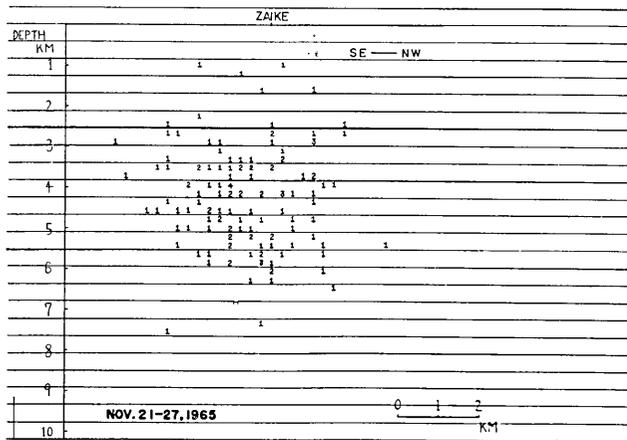




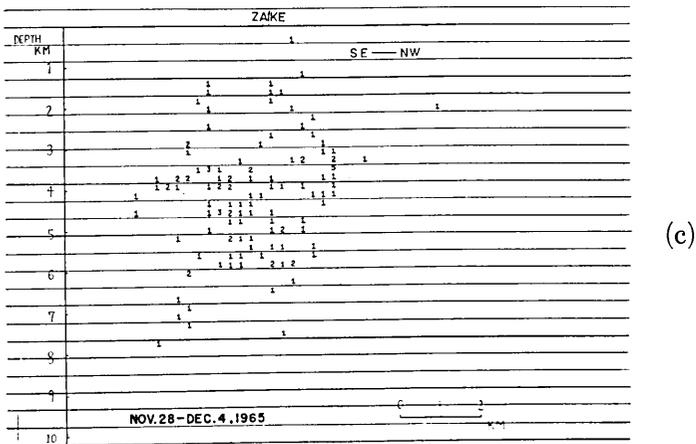
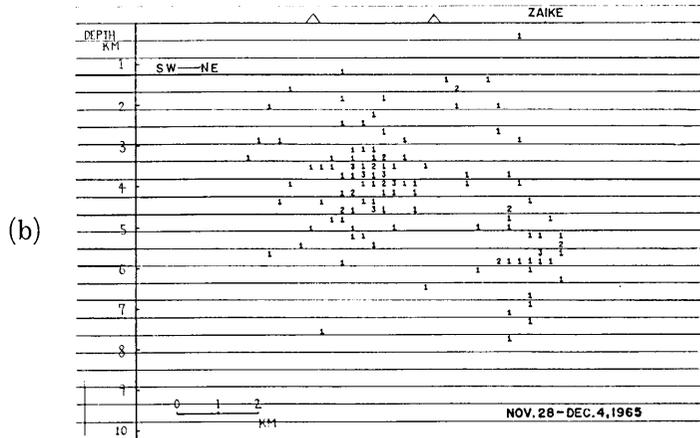
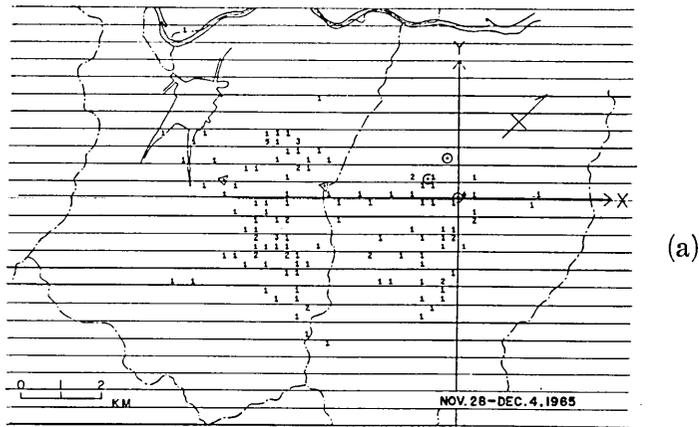
(a)

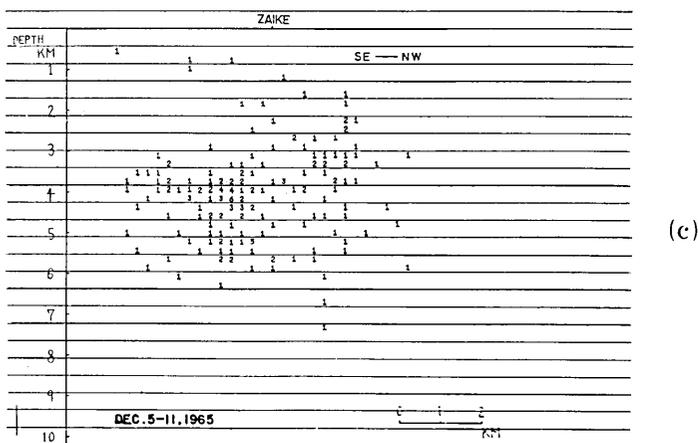
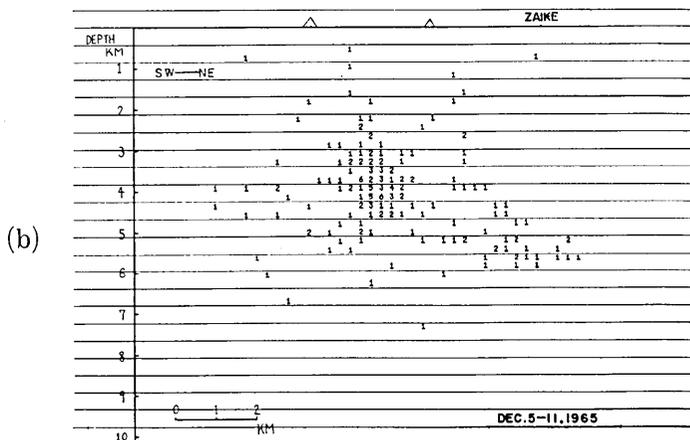
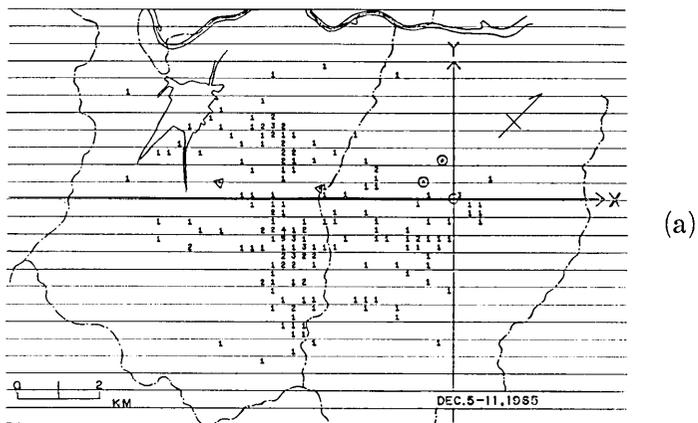


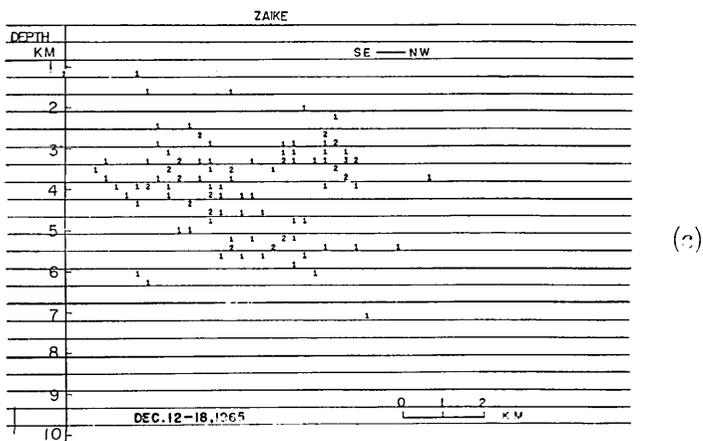
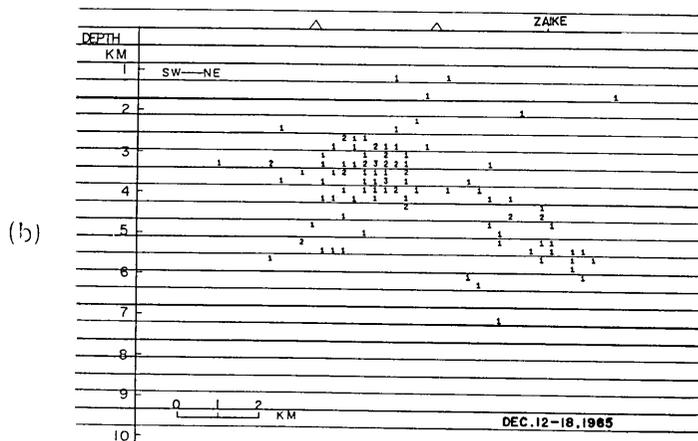
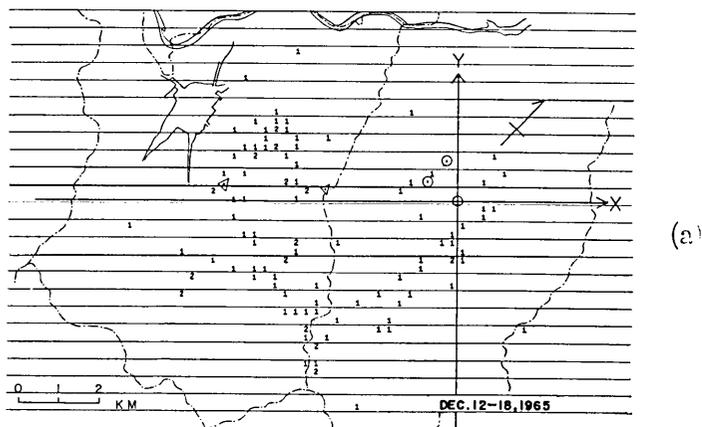
(b)



(c)







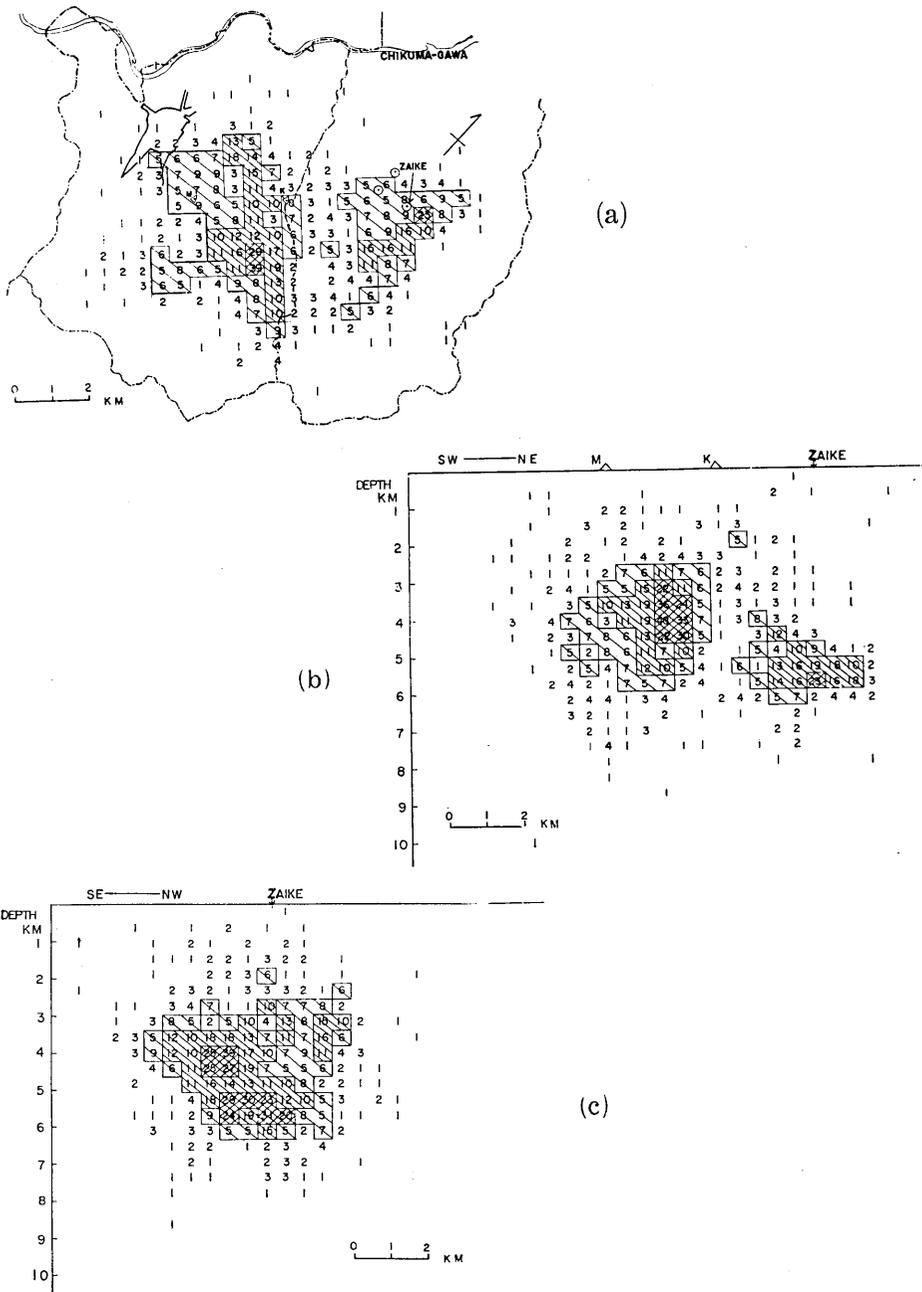


Fig. 9. Distribution of the seismic foci in total period.

of expression of the locations of the foci with meshes is out of question. For the purpose of taking a wide view of distribution of the foci in the total period, meshes were taken as 424 meters long and 510 meters broad as shown in Fig. 9.

7. Distribution of the seismic foci

The number of the shocks of which the locations of the foci were determined by the tripartite observation are listed in the 4th column of Table 1.

Distribution of the seismic foci of each week is illustrated in three dimensions in Fig. 8. It was found that the foci of the shocks belonging to the period from Dec. 5 to Dec. 18, 1965 are a little shallower than those belonging to the period before Dec. 4 but the distribution of the seismic foci did not change in a wide view in the whole period. The distribution of the seismic foci in the whole period is shown in Fig. 9. The seismically active regions in which the shocks occurred very frequently are marked by oblique lines according to the frequency of occurrence of the shocks as shown in Fig. 9.

Fig. 9 illustrates obvious characteristics of the distribution of the seismic foci in total period. All 1,088 seismic foci determined by our tripartite observation lie within a cube with 11 kilometers in northeast-southwest direction, 9 kilometers in north-west-south-east direction and 9 kilometers in depth. The distribution, however, is not uniform. There are at least two clusters of seismic foci, one of which is near Zaike with a depth of 5.5 kilometers, the other near Minakami-yama and Kimyō-zan, southwest of Zaike with a depth of 4 kilometers. Earthquakes rarely occurred in the area between the two clusters. These clusters can be seen clearly on X - Y and X - Z plane in the figures.

8. Frequency of occurrence of the shocks, the maximum trace amplitudes and magnitudes

Fig. 10 shows the relation between the maximum trace amplitudes and the frequency of occurrence. The number of the shocks used here is listed in the 3rd column of Table 1. The inclination of the line drawn in the figure gives $m=1.8$ which is nearly equal to the numerical constant in Ishimoto-Iida's well-known relation: $n(a)\delta a = -Ka^{-m}\delta a$, where a is the maximum trace amplitude and $n(a)\delta a$ the frequency of the shocks of which

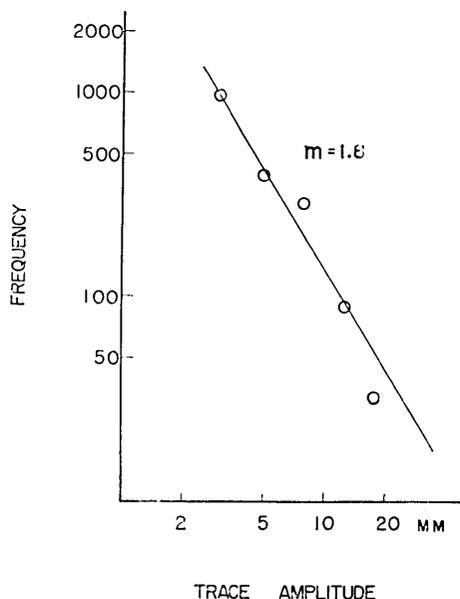


Fig. 10. Relation between the frequency and the maximum trace amplitudes in the period from October 31 to December 18, 1965.

the maximum trace amplitude lies between a and $a + \delta a$, and K and m constants.

The magnitudes of the shocks were determined in order to investigate the relation between the frequency of the occurrence of the shocks and magnitudes. Calculation of the magnitudes was done by means of Muramatsu's formula.³⁾

$$V = C(M)r^{-1}e^{-r/r_c(M)}$$

Where V is the velocity of the ground, r hypocentral distance, M magnitude and $\log r_c(\text{km}) = 0.210M + 0.947$ and $\log C(M) = 0.655M - 1.719$. The calculation was done in the following way: the maximum trace amplitudes and the apparent periods associated with the maximum trace amplitudes were measured, the ground velocities were derived from the maximum

3) I. MURAMATSU, *loc. cit.*, 1).

trace amplitudes and the periods using the characteristics of sensitivity of the instruments, and we took magnitudes satisfying Muramatsu's formula by means of numerical calculation. The relation between the frequency of occurrence of earthquakes and magnitudes are described in Fig. 11. A line drawn through the plotted points in the figure gives Gutenberg-Richter's $b=0.85$.

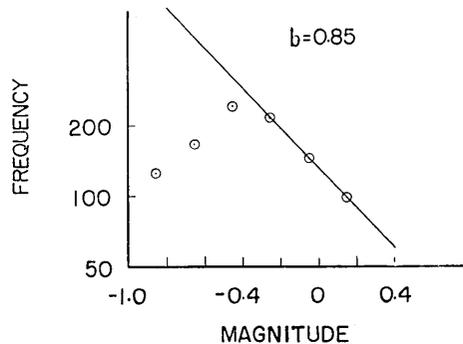


Fig. 11. Relation between the frequency and the magnitudes in the period from October 31 to December 18, 1965.

The observation of local micro-earthquakes near Matsushiro was first made by T. Asada, S. Suehiro and K. Akamatsu⁴⁾ in 1956, since when $b \approx 0.8$ has been ascertained three or four times for the seismic activity in this region. On the other hand, when a perceptible earthquake (Magnitude 3.3) accompanying foreshocks and aftershocks occurred near Matsushiro in 1964, S. Suehiro et al.,⁵⁾ reported that b was abnormally of small value such as 0.35 in the period of foreshocks and became normal such as 0.75 in the period of aftershocks.

In the present case the value of b did not change significantly with respect to different intervals of time, and we obtained $b=0.85$ in the whole period. It is very interesting that b for the present abnormally high activity was similar to that for the general seismic activity.

In conclusion the authors wish to express their sincere thanks to Dr. Usami, member of the staff of our Institute, who gave us much useful

4) T. ASADA, S. SUEHIRO, and K. AKAMATSU, *Zisin*, **11** (1958), 7.

5) S. SUEHIRO et al., *Paper in Meteorology and Geophysics*, **15** (1964), 71.

advice for the programming of the computer.

The authors would also like to extend thanks to the authorities of Hoshina, Nagano Prefecture, Hoshina primary school and the local people for their co-operation in our seismological observation.

The members of the Institute who participated in the field seismological observation were Sadao Saito, Ikuo Karakama, Mutsuro Shibano, Masao Watanabe, Heihachiro Chiba, Yoshihiro Maeda, to whom the authors' thanks are also due.

59. 高感度3点方式による松代地震の観測 (1)

地震研究所 { 浜田和郎
萩原尊礼

松代地震地域における微小及び極微小地震の活動を調べる目的で、高感度3点方式による観測が1965年10月31日から行われた。観測点の位置は松代町の北東約7kmにある保科(36°35'N, 138°16'E)である。この観測は松代地震に関連して東京大学地震研究所が計画した各分野にわたるプログラムの一部として行われたものである。

本報告は1965年10月31日から12月18日にかけて行われた高感度3点方式による観測結果の第一報である。同じ方法による第2回目の観測が行われたのは、第1回目から60日の間において、1966年2月20日からである。しかし第2回目の観測結果及び松代地震に関連して行われた他の種の観測結果との比較や総合研究は後の機会に報告したい。観測地点近くの地図は第1図に示してある。

1. 観測方法

固有周波数3 cpsのムービングコイル型上下動地震計が観測に使用され、各地震計は3辺が1,028 m, 902 m, 686 mの3角形の頂点に設置された。それ等の位置は第1図において丸印で示してある。地震の記録には3チャンネルの磁気テープ・データーレコーダーが使用された。この装置は7インチリールのテープを使ってテープスピード95 mm/secで連続90分間働かせることができる。磁気テープに記録された地震は固有周波数90 cpsのペンガルバノメーターを用いて紙送り速度30 mm/secで再生された。記録系統と再生系統のブロックダイヤグラムは第2図に示してある。装置の総合周波数特性は第3図に示してある。ここでは記録紙上の振巾と地動の速度振巾の比の値をもって示してある。倍率は15 cpsで75,000倍である。今回は通常1日1回昼間90分間を選んで観測を行った。そして1965年10月31日から12月18日までの期間で合計65時間の記録を得た。

この観測方法では、1以上のマグニチュードを持つ地震ならば、少なくとも観測点から40 km以内にかかる限り観測されるものと期待された。それは村松の地動の最大速度振巾と震源距離の関係に基づいて推定される。

2. バックグラウンドノイズ

観測点の保科はほとんど人工的なノイズはなくまたこの季節では農業の仕事もなくて静かな村で

あったので、バックグラウンドノイズは記録された地震に比べて非常に小さかった。観測地点近くが静かであるという良い条件に加えて、装置の総合周波数特性がさらに記録されるノイズを小さくしている。観測装置のノイズは今の場合感度が極端に高くないので問題にならない。

3. 地震記録の外観

今回得られた松代地震の記録紙上の顔つきは顕著な特徴を持っている。P相は非常に明瞭であり振巾も大きく、振巾がS相に匹敵するものもかなり多い。S相もまた振巾は大きく明瞭である。P相もS相も大きな振巾で急に現われまた急に振巾が減少する。P相もS相も特に到着時刻が明瞭なので、ほとんどすべてのP波の到着時刻は0.01秒以内の精度で決められ、Sの半数以上は0.05秒以内の精度で決められた。地震記象を調べると、P-S時間は0.5~1.0秒の間に密集しており、最大振巾の周期は多くの場合0.05~0.1秒の間にあることがわかった。地震記象の典型的な例は第4図に示してある。

4. 地震の数

3点方式によって得られた地震の数は第一表に示してある。比較のために気象庁松代観測所から報告されている無感地震とマグニチュードが3.5以上の有感地震の数を共に表にしてある。また、これらの数はグラフにして第5図に示してある。第5図のaにおいて、右の縦軸のスケールは1日を通じて地震発生頻度が一定であると言う仮定のもとに求めた1日相当の地震の数を表わしている。極微小地震の数とマグニチュード3.5以上の有感地震の数との関係についてはこれらの図と表からは何も見出すことができない。

11月21~24日は松代地震活動の最初のクライマックスであり、マグニチュード4以上の有感地震が4回も起り、22~23日の無感地震の数は1,500をこえている。3点方式によって得られた地震の数は日によってかなり変動しており、90分間の平均数は11月30日までは200、12月1日以後は減って100になっている。一方、気象庁から報告されている無感地震の数は11月22、23日を除けばこのような変動はなく10月31日~12月18日は1日平均670である。第一表の4列目の数は記録紙上最大振巾が5mm以上の地震の数であり、後にのべるP-S時間、震源、マグニチュードを求めた地震の数である。我々は便宜上観測期間を7つの週に分けてデータ処理を行った。

5. P-S 頻度分布

P-S 頻度分布は1週間づつに分けて第6-a図に示してある。また観測期間全体については第6-b図に示してある。こゝでは、観測点の1つである在来におけるP-S時間の値のみを示してある。第6-b図においては全体の約80%はP-S時間が0.6~1.0秒の間にある。今回の観測期間中P-S時間が0.1秒以下または1.4秒以上の地震が見出されなかったことは注目すべきである。

1週間毎に分けられたP-S頻度分布は2、3の週にのみ0.4秒近くで小さな山があるが、全体としてP-S頻度分布に有意な違いは見出されない。

6. 震源の決定

松代地震地域におけるP波、S波の速度分布については現在くわしい知識は得られていない。したがって、こゝでは最も単純に、地下構造として一様な半無限の物質を仮定し、深さにもよらずPとS波の速度はどこでも一定であるとした。そして震源は直角座標X, Y, Zを用いて次の4元2次連立方程式を解いて求めた。

$$\begin{cases} (X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2 + (Z-Z_i)^2 = (t_i - t_0)^2 V_p^2, & i=1, 2, 3 \\ \overline{PS}_i \cdot k = (t_i - t_0) V_p & i=1 \text{ or } 2 \text{ or } 3 \end{cases}$$

こゝでX, Y, Zは震源の座標、 $X_i, Y_i, Z_i, t_i, \overline{PS}_i$ は観測点iに関する量で各々観測点の座標、P波の到着時刻、P-S時間である。 V_p, k はここでは仮定された量で各々P波の速度、大森定数と呼ばれる定数であり t_0 は起震時である。われわれはP波の速度を5.0km/secと仮定した。それ

は3点方式によって得られた見かけの速度の下限の値を取ったものである。見かけの速度は第7図に示してある。第7図は今の半無限の様な物質の仮定に矛盾するものではない。大森定数は7.3 km/sec と仮定した。これは、地震研究所の他のメンバーによって同じ地域で行われている4点からなる観測網の観測結果から求めた値を採用したものである。理論上は、3点におけるP-S時間と大森定数があれば震源を求めることができる。しかし現在のように3点間の距離がわずか1 km たる場合にはP-S時間の粗さのために震源位置の精度は不十分である。したがってここでは震源位置の計算には3点において精度よく求めるP波の到着時刻と1点のP-S時間を用いた。震源位置の決定に際しては、どの点のP-S時間も全く同値であるから我々は3点のうちのどの点のP-S時間を用いることもできる。

大森定数が7.3 km/sec でありP波の速度が5.0 km/sec であればS波の速度は3.0 km/sec となり $\lambda=(7/9)\mu$ となる。ここで λ, μ はラーメの定数である。もし将来同じ地域における他の研究結果とここで仮定した弾性定数との間に有意な差が起るならば、これらの値は再び考慮するつもりである。P波の速度と大森定数が変われば震源の位置は次の様に变化する。P波の速度が大きくなれば震源は浅くなり震央距離は長くなる。大森定数が大きくなれば震源は深くなり震央距離も長くなる。

地震の数が非常に多いので震源位置の計算とそれを図にプロットするには電子計算機を用いた。震源位置の計算のためにわれわれは直角座標を用いたがX, Y, Z軸はそれぞれ北東, 北西, 鉛直下向きに取り原点は観測点の1つである在家にした。求められた震源は水平面X-Y, 鉛直面X-Z, Y-Z平面に投影され、立体的に震源位置を表わした。投影する平面は縦横50×50のメッシュに分けられ、1つのメッシュの縦横は212 m, 255 m である。これは計算機のラインプリンターの都合を考えてちょうど5万分の1の縮尺でプリントされるようにしたものである。地震の数は2桁以下の整数で表わされてその震源位置に対応するメッシュの位置にプリントされる。震源位置がメッシュに区切られて表現される際の精度の粗さは求められた震源位置の精度を考えるならば問題にする必要はない。

7. 震源の分布

3点方式によって震源の位置を求められた地震は記録紙上最大振巾が5 mm 以上のものであり、その数は第1表第4列に載せてある。おのおのの週の震源分布は第8図に示してある。12月5日以後の地震の震源はそれ以前の期間のものに比べて少し浅い、しかし全体的に見れば今回の観測期間内で震源分布は変化していない。観測期間全体の震源分布は第9図に示してある。ここでは1つのメッシュの大きさは縦横424 m, 510 m である。

第9図では、地震がひんぱんに起っている活発な場所に地震発生頻度に応じて斜線をほどこしてある。第9図はこの期間の震源分布の特徴を明瞭に表わしている。われわれの3点方式によって求められた約1,000の震源は北東-南西方向に11 km, 北西-南東方向に9 km, 深さ9 kmの立方体の中に例外なく入る。しかしその分布は一樣ではなく、震源が特に密集している2つの場所がある。1つは在家の近くで深さ5.5 km, 他の1つは皆神山と奇妙山のやゝ南東よりの所で深さ4 kmの場所である。地震はこれら2つの密集した場所の間ではそうひんぱんには起っていない。

8. 地震の発生頻度と記録紙上の最大振巾及びマグニチュード

ここで用いられた地震の数は第1表第3列に載せてある。第10図は記録紙上の最大振巾とそれに対応する地震の発生頻度を表わしている。この図にある直線の勾配はいわゆる石本-飯田の係数 $m=1.8$ を与える。石本-飯田の関係式は $n(a)\dot{a}a=-Ka^{-m}\dot{a}a$ である。ここで $n(a)\dot{a}a$ は記録紙上の最大振巾が a と $a+\dot{a}a$ の間にある地震の発生頻度を表わしている。

地震のマグニチュードは地震の発生頻度との関係を調べる目的で決められた。マグニチュードの計算には村松の公式

$$V=C(M)r^{-1}e^{-r/r_c(M)}$$

を用いた。ここでは r は震源距離、 V は地動の速度であり、

$$\log r_c(\text{km})=0.210M+0.947, \quad \log C(M)=0.655M-1.719$$

である。計算は次の様に行った。記録紙上の最大振巾とその周期を読み取り、観測装置の総合特性を考慮に入れて地動の速度を求める。そして $P-S$ 時間から得られる震源距離と地動の速度をもとに数値計算によって村松公式を満たすマグニチュード M を求めた。地震の発生頻度とマグニチュードの関係は第11図に表わされている。図に描れた直線はグーテンベルグ・リヒターの $b=0.85$ を意味している。

松代近くの局地的微小地震の観測が1956年に浅田等によって観測されて以来、平常の地震活動の時期には $b \approx 0.8$ であることは3, 4度確かめられてきた。末広は1964年にマグニチュード3.3の地震とそれに伴う前震と余震を観測したが、その前震のときに $b=0.35$ という異常に小さい値を、余震の時には平常と同様 $b=0.76$ を得ている。現在の場合は、観測期間中の時期をどの様に区分しても、 b の値は有意な変化を示さず全期間で $b=0.85$ という結果を得た。現在の様に異常に地震活動の活発な時期において平常と変わらない b の値を得たことは非常に興味がある。

謝 辞

終りに、計算機のプログラミングに対して有意な助言をしていただいた地震研究所の理学博士宇佐美竜夫氏に感謝の意を表す。また現地における地震観測に多くのご協力をいただいた長野県若穂町保科当局及び保科小学校当局に心から感謝の意を表す。なお毎日の観測は地震研究所の齊藤貞夫、店鎌郁夫、柴野隆郎、渡辺政雄、千葉平八郎、前田良弘の各氏が行った。以上の方々に心からお礼を申しあげる。