

## 10. High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes. Part 4.

By Kazuo HAMADA and Takahiro HAGIWARA,

Earthquake Research Institute.

(Read October 25, November 22 and December 27, 1966.—  
Received December 31, 1966.)

The high sensitivity tripartite observation has been carried out since November, 1965 up to the present, at Hoshina, Nagano Prefecture, with a view to investigate the activities of micro- and ultra micro-earthquakes in the area of Matsushiro Earthquakes. The observational results in the periods from October 31 to December 18, 1965, from February 20 to June 20, 1966 and from June 21 to September 20, 1966 have been reported in the previous papers.<sup>1,2,3)</sup> Following from these papers, the present paper will report the results obtained at Hoshina in the period from the latter part of September to November, 1966. In addition the observational result obtained at the Sanada station, which was newly established in September 1966, will be reported together with a description of the observational and analytical method adopted there.

At the present time, the Matsushiro earthquakes are observed by the temporary seismographic network with the acceleration seismographs and the HES electromagnetic seismographs set up at Hoshina, Akashiba, Zozan, Mori, Sakaki, etc. Besides this ordinary method of observation, the high sensitivity tripartite observation is carried out in and near the area of Matsushiro Earthquakes, i.e., at Hoshina ( $36^{\circ}35'N$ ,  $138^{\circ}16'E$ ), Sanada ( $36^{\circ}26'N$ ,  $138^{\circ}18'E$ ), Kamimuroga ( $36^{\circ}24'N$ ,  $138^{\circ}9'E$ ) and Asakawa ( $36^{\circ}41'N$ ,  $138^{\circ}11'E$ ). Analysing the observational data from these seismographic stations, we found that the hypocenters could not be determined consistently with all observational data if we assume a uniform

1) K. HAMADA and T. HAGIWARA, "High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes. Part 1," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44** (1966), 1213-1238.

2) K. HAMADA and T. HAGIWARA, "High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes. Part 2," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44** (1966), 1239-1268.

3) K. HAMADA and T. HAGIWARA, "High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes. Part 3," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44** (1966), 1665-1687.

underground structure. However, we found it difficult, at the same time, to determine or assume any complicated structure immediately. Therefore we adopted as before the assumption of the uniform structure as a first approximation when determining the hypocenters. The hypocenters of the Matsushiro earthquakes should be determined more exactly on the basis of the most suitable underground structure, so our intention is to make further study on this problem using all data obtained at various stations in the area of Matsushiro. The results of this study will be reported at the next opportunity.

### 1. Observational results obtained at Hoshina

#### 1-1. *Number of earthquakes*

The high sensitivity tripartite observation at Hoshina was carried out in such process as that earthquakes were observed continually for 90 minutes in the day-time once a day. The number of earthquakes observed are listed in Table 1. For the sake of comparison, the number of unfelt shocks and the shocks with intensity larger than IV on the JMA scale reported by the Matsushiro Seismological Observatory, JMA, are listed together. They are also shown in Fig. 1. The number of earthquakes observed at the Hoshina tripartite stations in 90 minutes decreased logarithmically in general tendency. About 800 earthquakes were counted per 90 minutes in the latter part of September when the activity of the Matsushiro earthquakes reached the third climax, the number decreasing to 200 on an average in the last ten days of November after two months had passed. In this period, a sudden increase of the number of shocks was seen during some days after October 26 when a strong shock with intensity of V on the JMA scale occurred. The number 200 in the end of November is approximately equal to the number of shocks observed in the latter part of February, 1966 when our observation started again. Daily number of unfelt earthquakes reported from Matsushiro Seismological Observatory, JMA decreased also immediately after the third climax of the seismic activity, i.e., it counted 1,000 on an average at the end of September but it decreased to 350 on an average in the last ten days of November, the latter number being similar to the daily number in the latter part of September of the previous year. The number of unfelt shocks reported from JMA showed no increase after October 26 when the strong shock with intensity of V occurred.

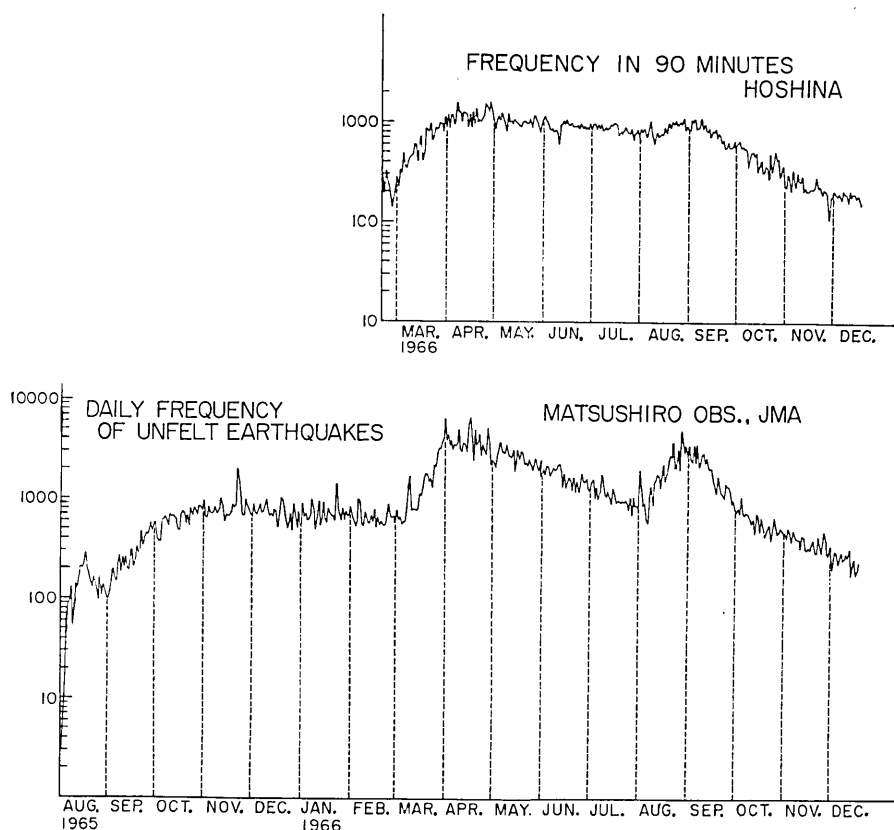


Fig. 1. Above: The number of earthquakes observed at Hoshina tripartite stations in 90 minutes. Below: The number of unfelt earthquakes reported from JMA.

As regards the large earthquakes, two shocks with intensity of IV and V occurred in the latter part of September, two earthquakes with intensity of IV occurred in the middle period of October. An earthquake with intensity of V and two earthquakes with intensity of IV occurred in the latter part of October. There were no earthquakes with intensity larger than IV in November. The number of large earthquakes with intensity larger than IV decreased, in general tendency, in parallel with the decrease in the number of unfelt earthquakes.

1-2. Frequency distribution of *P-S* intervals

Frequency distribution of *P-S* intervals is shown in Fig. 2. The number of earthquakes used here are listed in the 4th column of Table

Table 1. Earthquakes observed at Hoshina. The 2nd column gives the observation intervals, the 3rd the number of detected earthquakes, the 4th the number of analyzed earthquakes, the 5th the number of earthquakes for which Ishimoto-Iida's coefficient were examined, the 6th the daily number of unfelt earthquakes announced from JMA and the 7th column the magnitude and intensity of larger earthquakes.

Date	Observation interval	Number of earthquakes				
		3	4	5	6	7
1966						
Sept. 21	h m h m 11:01—12:31	724	164	307	1420	
22	10:30—12:00	625		284	1216	
23	10:46—12:16	666	131	278	1185	
24	10:24—11:54	565		307	1077	19 <sup>b</sup> 29 <sup>m</sup> (IV)3.7
25	11:00—12:30	570	103	232	1493	
26	10:45—12:15	625		311	1420	
27	10:36—12:01	562	144	244	1360	04 <sup>b</sup> 03 <sup>m</sup> (V)4.6
28	10:28—11:58	568		228	1242	
29	10:26—11:56	574	120	192	946	
30	10:52—12:22	659		249	1007	
Oct. 1	13:32—15:02	563	77	218	835	
2	11:10—12:40	625	93	202	764	
3	13:07—14:37	652	129	260	834	
4	10:19—11:49	573	85	187	741	
5	10:16—11:46	579	100	247	1102	
6	10:45—12:15	542	117	277	747	
7	10:47—12:17	549	106	170	703	
8	10:50—12:20	535		169	748	
9	10:43—12:13	359	101	147	729	
10	10:37—12:07	458		154	698	
11	10:11—11:41	497	79	135	641	
12	10:48—12:18	504		186	600	
13	10:37—12:07	461	92	167	638	06 <sup>b</sup> 01 <sup>m</sup> (IV)4.6
14	10:31—12:01	497		175	470	
15	10:54—12:24	349	81	146	725	
16	10:43—12:13	376		159	679	
17	10:39—12:09	409	71	134	495	
18	10:42—12:12	342		158	776	
19	11:14—12:44	347	83	149	546	00 <sup>b</sup> 04 <sup>m</sup> (IV)4.6

(to be continued)

Table 1.

(continued)

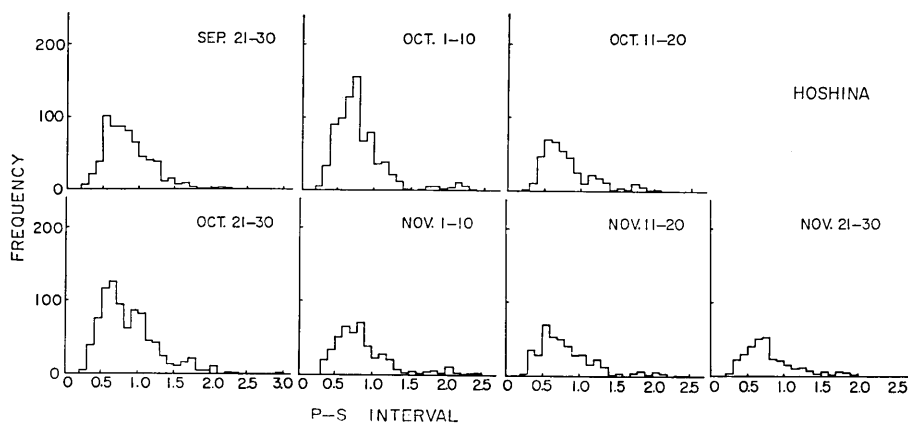
Date 1	Observation interval 2	Number of earthquakes					7
		3	4	5	6		
20	<sup>h</sup> 10 : <sup>m</sup> 45— <sup>h</sup> 12 : <sup>m</sup> 15	366		131	446		
21	10 : 31—12 : 01	358	133	117	470		
22	10 : 30—12 : 00	279		119	533		
23	10 : 30—12 : 00	466	133	203	579	11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> (IV)4.2	
24	11 : 05—12 : 35	326		89	407		
25	11 : 15—12 : 15	372	106	108	511		
26	10 : 55—12 : 25	517	164	256	676	03 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> (V)5.1	
27	10 : 37—12 : 07	427	119	166	565		
28	11 : 13—12 : 43	428		138	468		
29	10 : 47—12 : 17	290	105	140	487		
30	17 : 15—18 : 45	306		118	531		
31	11 : 41—12 : 11	364	110	116	502	14 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> (IV)3.9	
Nov. 1	13 : 10—14 : 40	237	87	89	476		
2	13 : 41—15 : 11	244	102	117	481		
3	10 : 27—11 : 57	305		79	427		
4	10 : 35—12 : 05	275	99	96	525		
5	10 : 26—11 : 56	209		91	483		
6	11 : 10—12 : 40	335	95	111	395		
7	16 : 05—17 : 35	265		143	502		
8	10 : 21—11 : 51	227	80	77	452		
9	12 : 34—14 : 04	341		137	415		
10	10 : 55—12 : 25	266	83	85	412		
11	11 : 25—12 : 55	257		76	407		
12	11 : 10—12 : 40	298	94	94	336		
13	11 : 19—12 : 49	209		82	458		
14	11 : 03—12 : 55	244	86	75	429		
15	11 : 36—13 : 06	205		80	327		
16	10 : 46—12 : 16	209	85	57	319		
17	11 : 10—12 : 40	217		79	337		
18	9 : 55—11 : 25	220	64	77	320		
19	9 : 43—11 : 13	217		51	362		
20	9 : 54—11 : 24	223	72	50	419		
21	9 : 56—11 : 26	290		77	303		
22	10 : 22—11 : 52	225	61	50	307		
23	10 : 20—11 : 50	230		58	478		
24	10 : 22—11 : 52	207	67	73	372		

(to be continued)

Table 1.

(continued)

Date 1	Observation interval 2	Number of earthquakes				
		3	4	5	6	7
25	h m h m 10 : 59—12 : 29	192		49	309	
26	12 : 19—13 : 49	215	56	60	380	
27	11 : 15—12 : 45	205		70	488	
28	11 : 14—12 : 44	192	75	61	414	
29	11 : 25—12 : 55	109		52	298	
30	11 : 05—12 : 35	182	49	42	282	

Fig. 2. Distribution of  $P$ - $S$  intervals observed at Zaike.

1. These earthquakes are the same as those of which the hypocenters were determined, these earthquakes being such as that  $P$  phase at three observation points and  $S$  phase at one of the three observation points were identified clearly. Frequency distribution of  $P$ - $S$  intervals in the period from September 21 to November 30 was quite similar to those obtained in the period from the latter part of June to the middle period of September. The range of  $P$ - $S$  intervals in the period from the latter part of September to November was 0.2~2.5 sec, except two earthquakes that occurred in the middle period of October of which  $P$ - $S$  interval was 3.0 sec. Most  $P$ - $S$  intervals were concentrated in the range from 0.5 to 1.0 sec but the sharp peak around 0.7~0.8 sec that appeared previously was not evident in the present period, i.e., from the end of September

to the end of November. The number of earthquakes with *P-S* interval larger than 1.5 sec increased compared with the period before September 20, indicating an extension of the area of earthquakes.

### *1-3. Distribution of hypocenters*

Since the method of determination of hypocenter is the same as reported in the first paper, its description will be abbreviated here. The number of the shocks of which the hypocenter was determined by the tripartite method at Hoshina are listed in the 4th column of Table 1. Although the analysis was limited to the shocks having the maximum trace amplitude larger than 3 mm before September 20, 1966, since the number of the shocks detected at Hoshina were decreasing very much in October and November, we determined the hypocenters of earthquakes regardless of their trace amplitude this time. The value of *k*, so-called Ōmori coefficient, was taken as 6.12 km/sec. and *V<sub>p</sub>*, velocity of *P* wave as 5.0 km/sec. The values of these constants are the same as that used in the period from the latter part of June to the middle period of September, 1966.

The distribution of hypocenters is shown in Fig. 3. It can be outlined as follows: The general aspect of the distribution of hypocenters can be explained dividing into two periods, i.e., before and after October 26 when a strong earthquake (*M*=5.1) with intensity of V on the JMA scale took place. In the period from the latter part of September to October 25, the hypocenters were located mostly in Matsushiro and Wakaho, a number earthquakes distributed in Kōshoku and Sanada and shocks located in Azuma and Suzaka extending their active area. A strong shock (*M*=5.1) took place near Myōtoku-zan (36°36'N, 138°18'E) situated at the border of Wakaho, Azuma and Suzaka on October 26, thereafter the hypocenters extended suddenly to a wide domain in Azuma and Suzaka, some of them being located at Takayama adjacent to Suzaka and Azuma. Finally, in the latter part of November, the distribution of these shocks seemed to return to the previous distribution as was seen in the period before October 26.

Vertical distribution of the hypocenters is shown in Fig. 4. Vertical distribution of the hypocenters in the period from the latter part of September to the latter part of November showed no variance with respect to time, most origins distributing between the depth of 2 and 5 km. The reason is not clear but the hypocenters only in the middle period of October became a little shallower than those which occurred

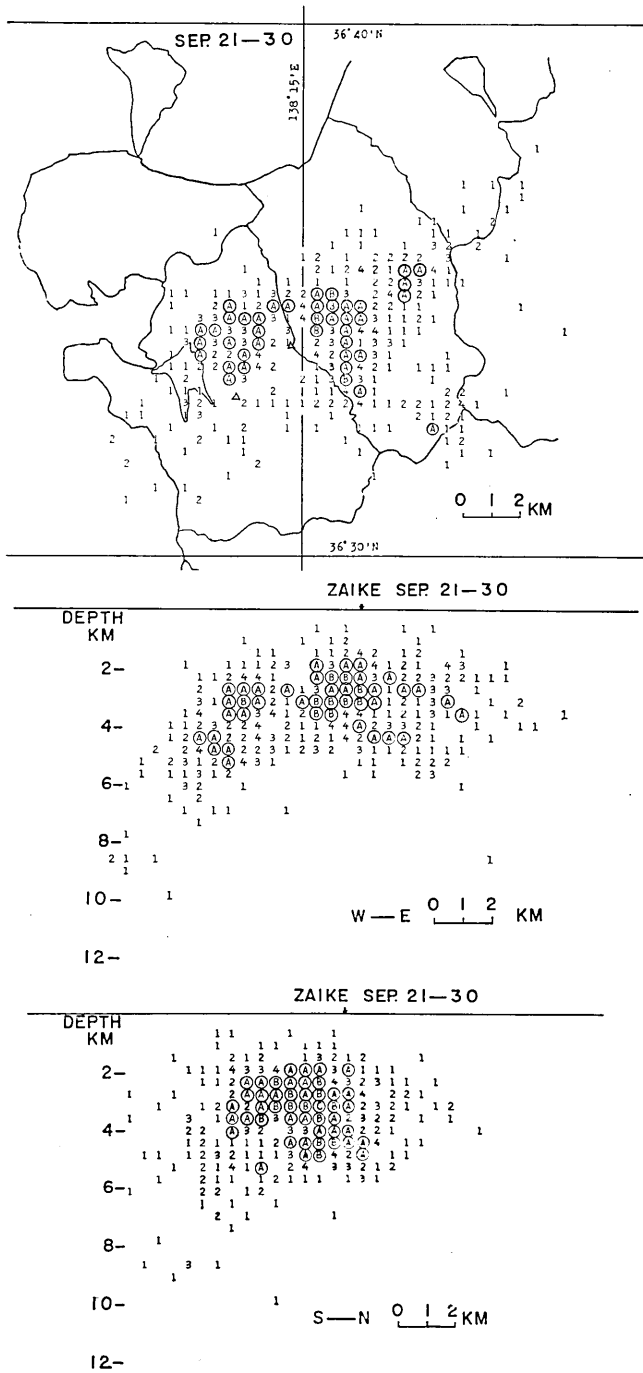


Fig. 3.



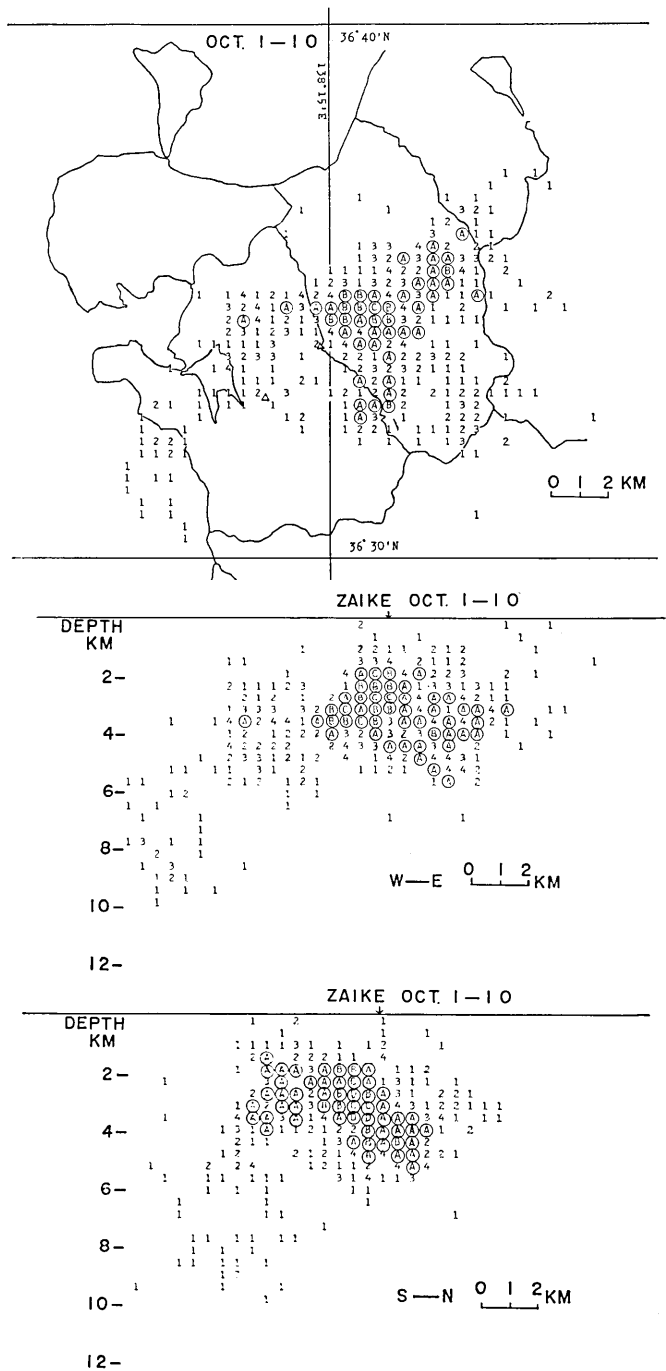


Fig. 3.

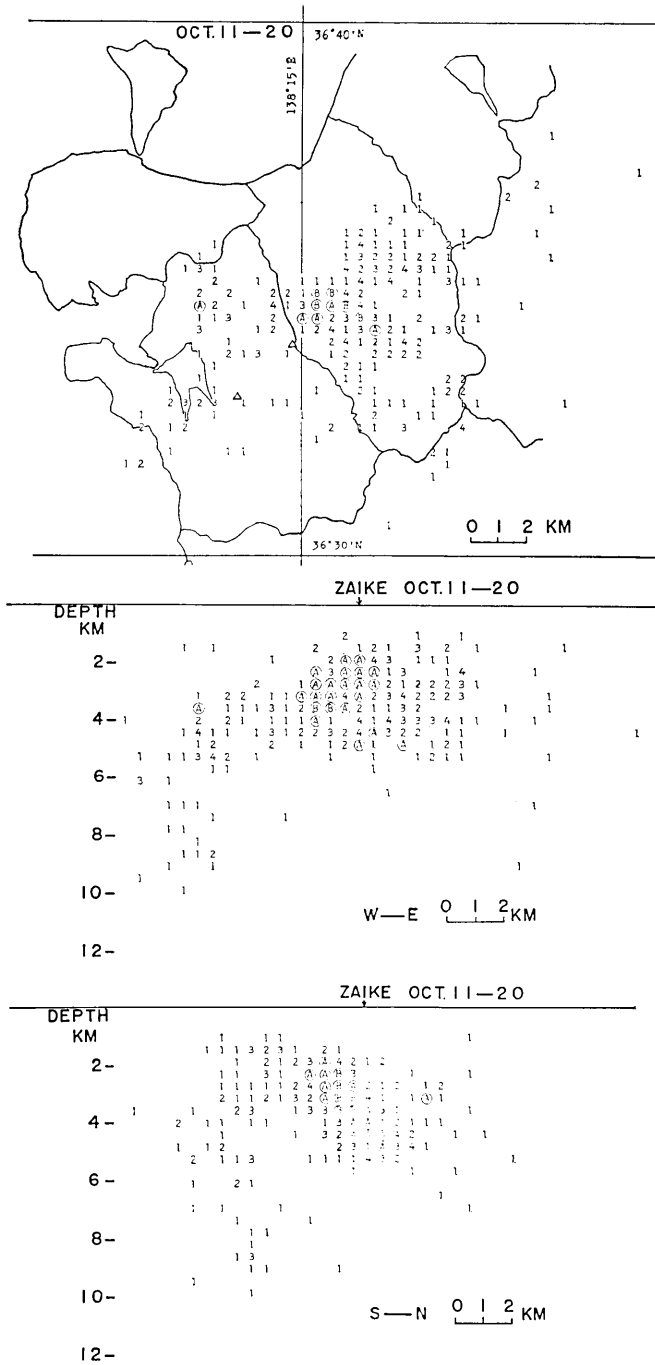


Fig. 3.

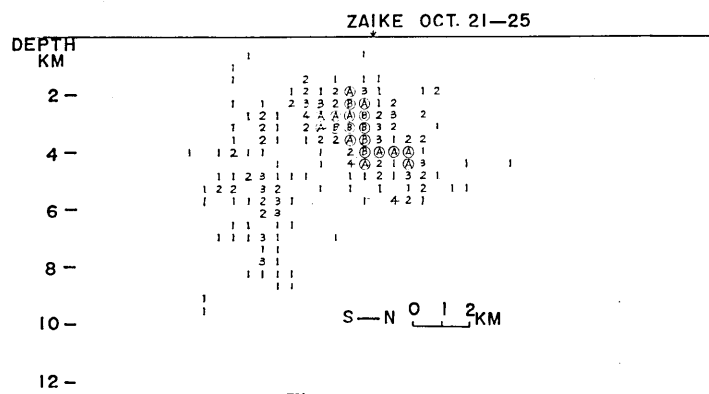
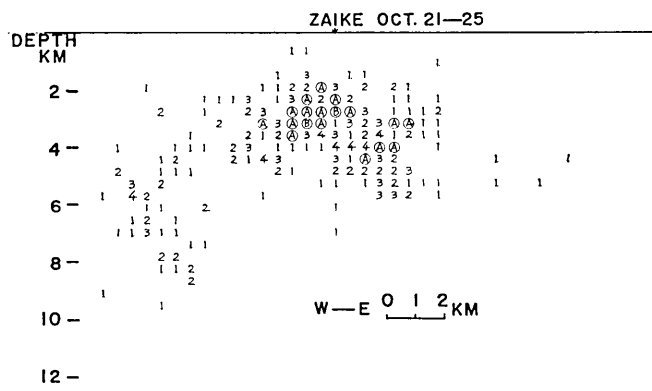
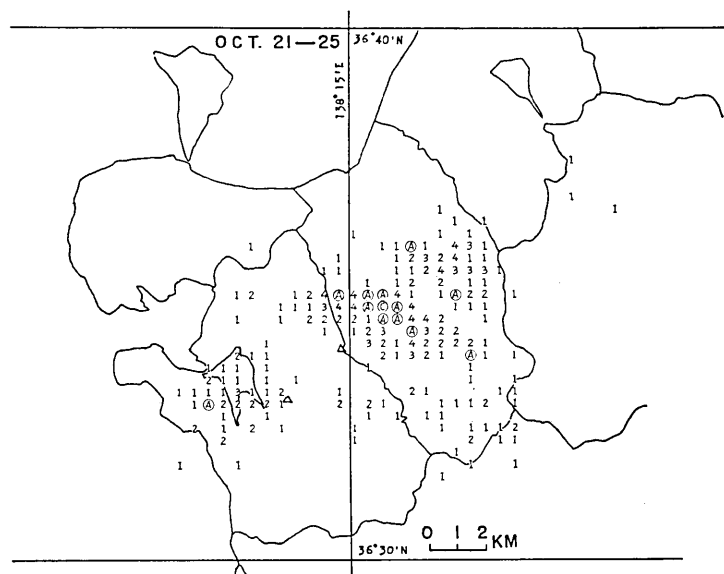


Fig. 3.

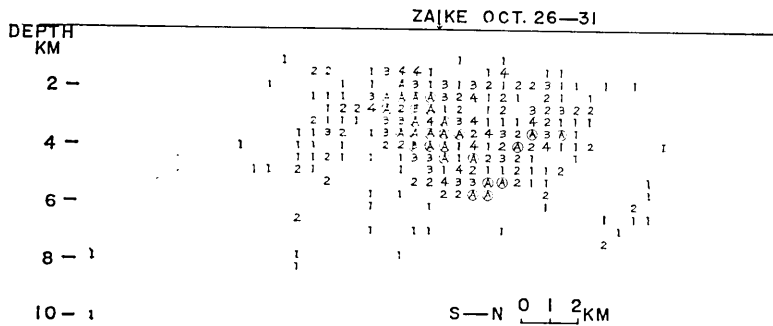
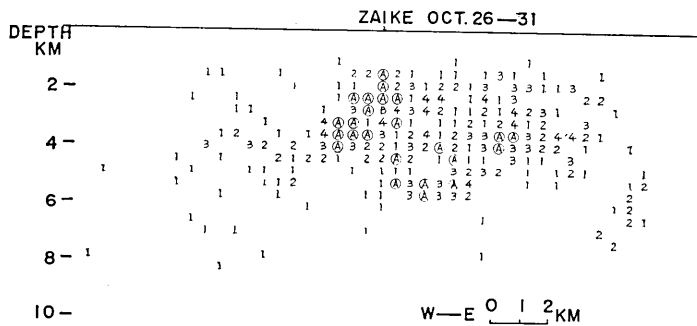
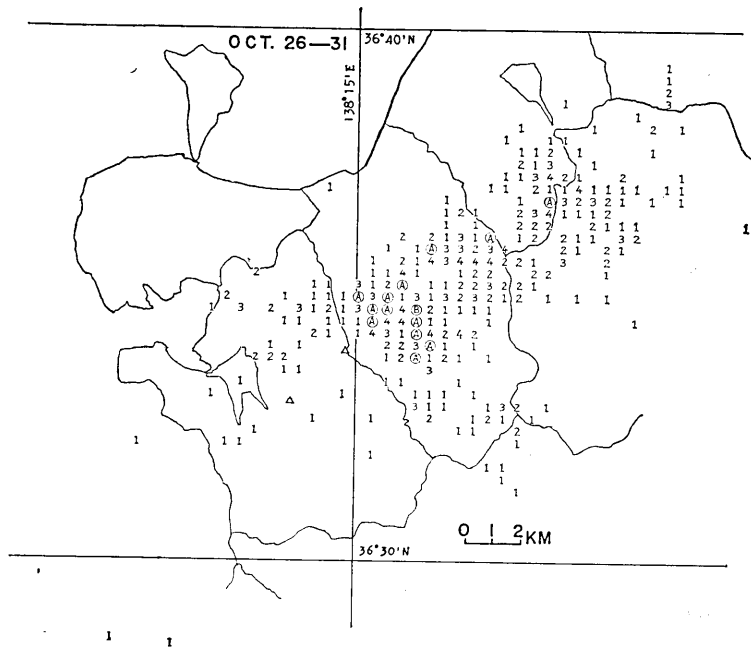


Fig. 3.

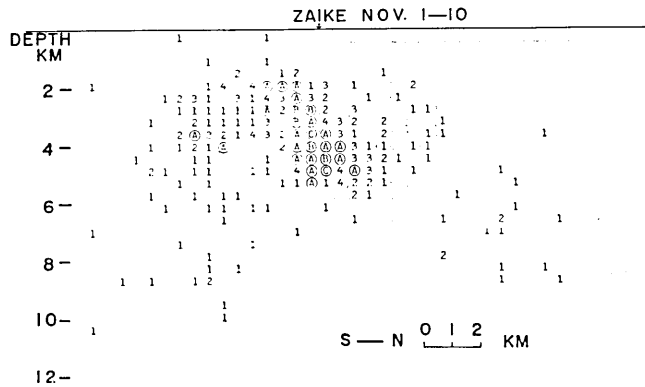
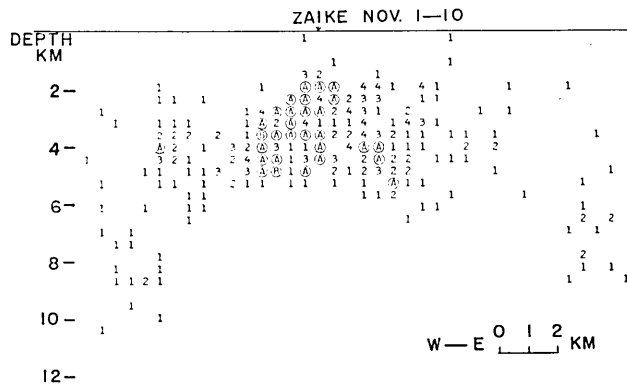
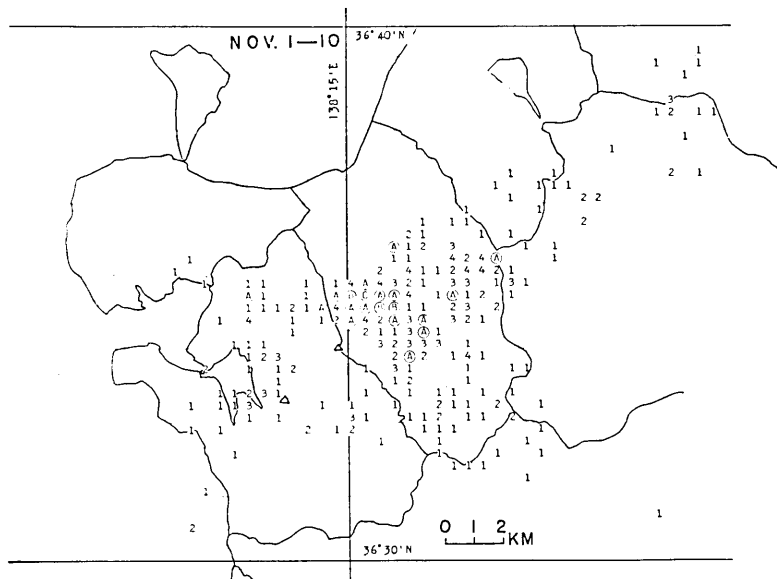


Fig. 3.

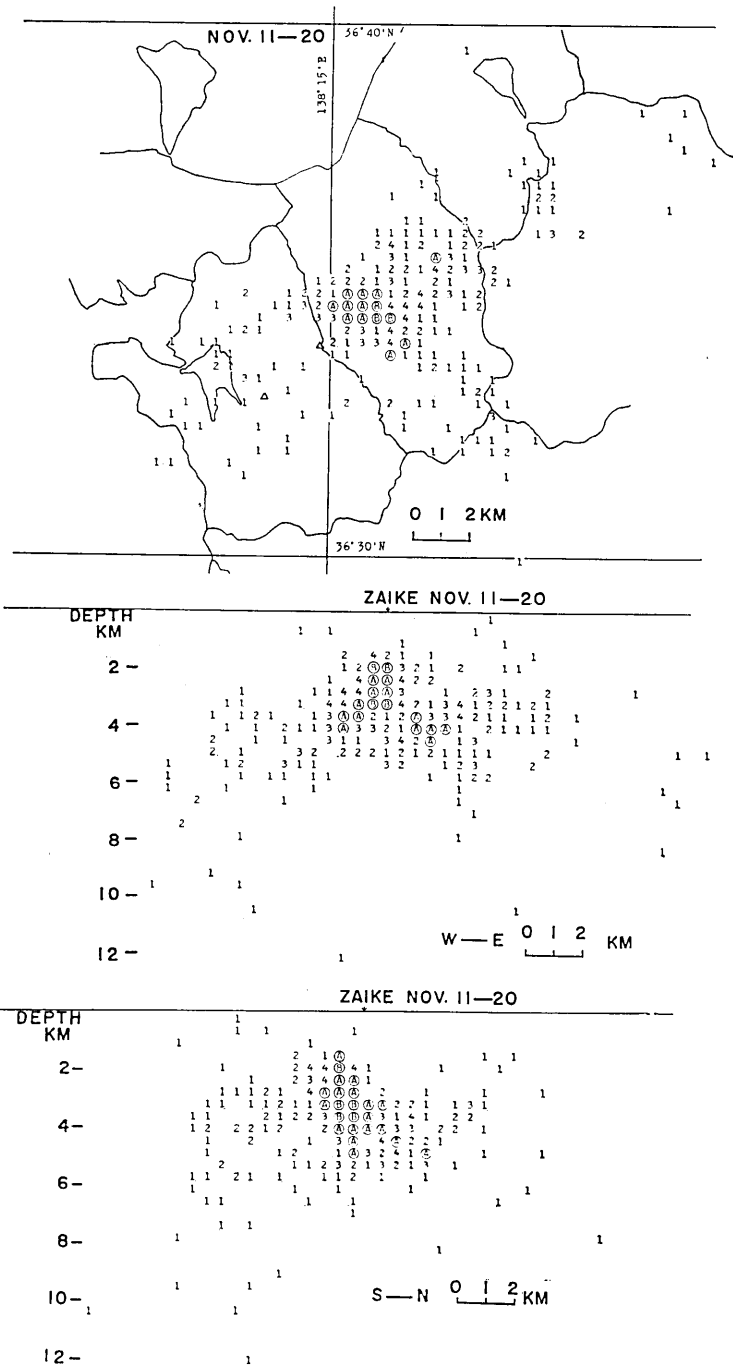


Fig. 3.

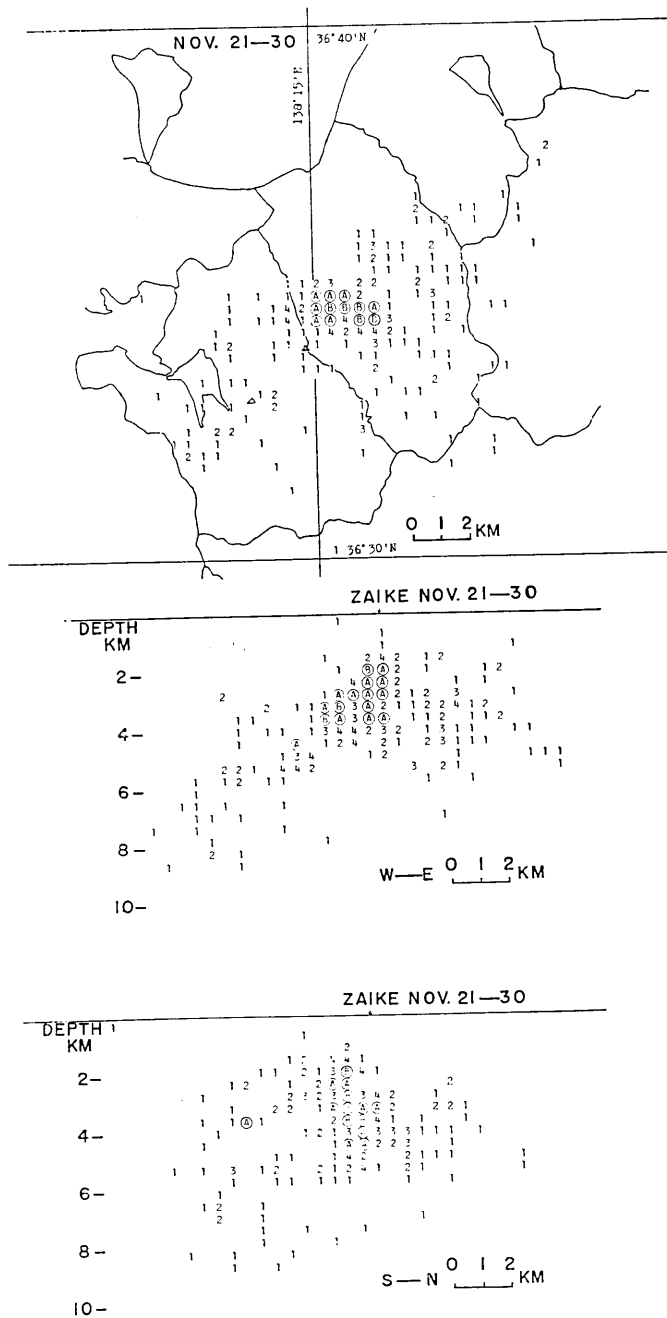


Fig. 3. Distribution of hypocenters determined by the tripartite method at Hoshina. A:  $5 \leq N < 10$ , B:  $10 \leq N < 20$ , C:  $20 \leq N < 30$ , D:  $30 \leq N < 40$  and E:  $40 \leq N < 50$ . N is the number of earthquakes.

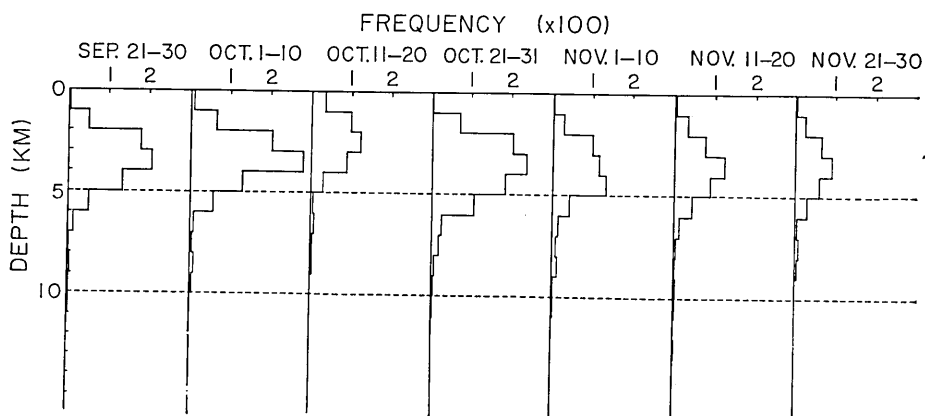


Fig. 4. Vertical distribution of hypocenters determined by the Hoshina tripartite observation.

in other periods, i.e., most of them distributed between the depth of 1 and 4 km.

Concerning the strong shock ( $M=5.1$ ) with intensity of V which occurred on October 26, a certain number of micro-earthquakes were already occurring around the border of Suzaka and Azuma from the end of September as shown in Fig. 3. Looking back upon the past, a few micro shocks had already been recognized there from the end of April, 1966, their number increasing in the middle period of October 1966. However, the number of these shocks decreased somewhat in the period from October 21 to 25. The number of shocks just before the strong shock was not clear because our observation on October 25 was not made for 15 hours before the occurrence of the strong one. After the occurrence of the strong shock, many after-shocks followed it in the area of a circle 10 km in radius on the northeast side of the epicenter of the main shock, the after-shock activity continuing until the middle of November, 1966.

#### 1-4. *Ishimoto-Iida's coefficient $m$*

The number of shocks examined here are listed in the 5th column of Table 1. We used the maximum trace amplitudes of vertical component observed at Zaike, one of the three observation points. The results are shown in Fig. 5. The values of  $m$ , classified as Ishimoto-Iida's coefficient, were between 2.0 and 2.6, which can be considered to be a normal value, in the period from the end of September to the



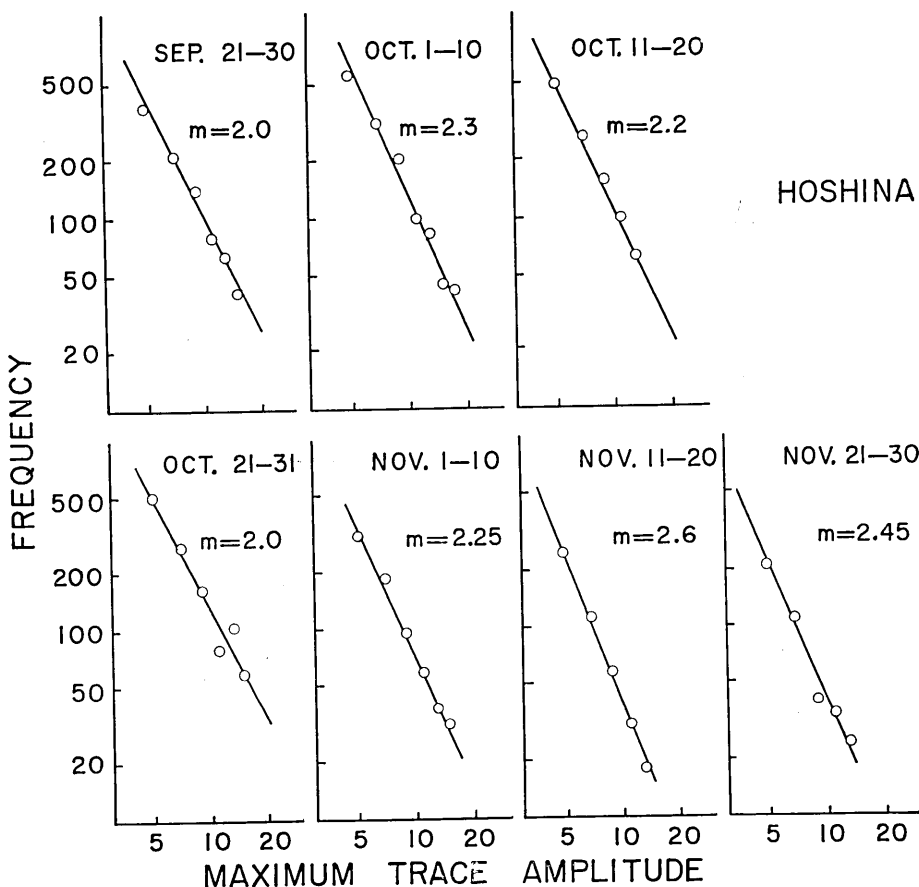


Fig. 5. Ishimoto-Iida's  $m$  obtained at Hoshina.

end of November. Examining the two values of  $m$  in the two periods, before and after October 26 when the strong earthquake occurred,  $m=2.1$  in the period from October 21 to 25 and  $m=1.9$  in the period from October 26 to 31. The difference between the two values of  $m$  seems to be of no significance.

1-5. *Push-pull distribution of initial motions*

Fig. 6 shows the push-pull distribution of initial motions in the period from the end of February to the end of November, 1966. "Push" or "pull" is indicated at a location of hypocenter in the figure. In this case only the shocks of which the same direction of initial motion

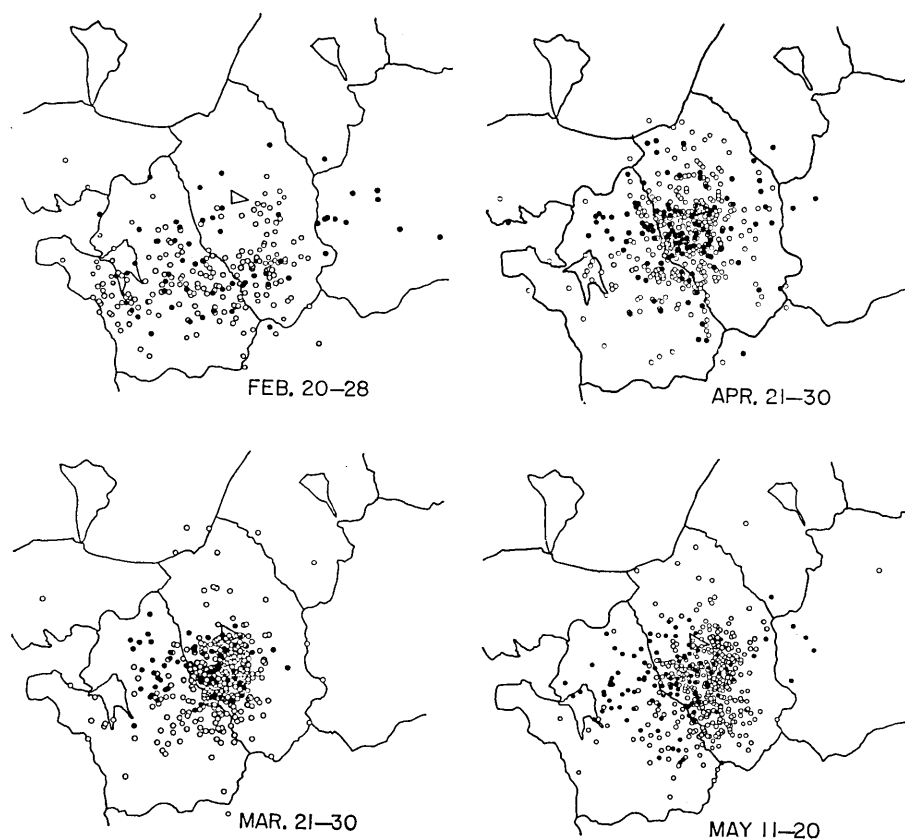


Fig. 6.

was observed at all three observation points were adopted. 90 percent of the shocks observed at Hoshina gave the same direction of initial motion at three observed points.

Push-pull distributions of initial *P* wave of ultra-micro earthquakes observed at Hoshina are as follows: they were different from those of felt earthquakes, i.e., they did not show the quadrant type as was seen in the case of felt earthquakes observed at our ordinary seismographic stations, Hoshina, Akashiba and Zōzan, but they were considerably at random, though they were partially coincident with the quadrant type, the nodal line inclining by  $45^\circ$  from the meridian. As regards the changes in the pattern of push-pull distribution with respect to the lapse of time, they were mostly at random in the period from February

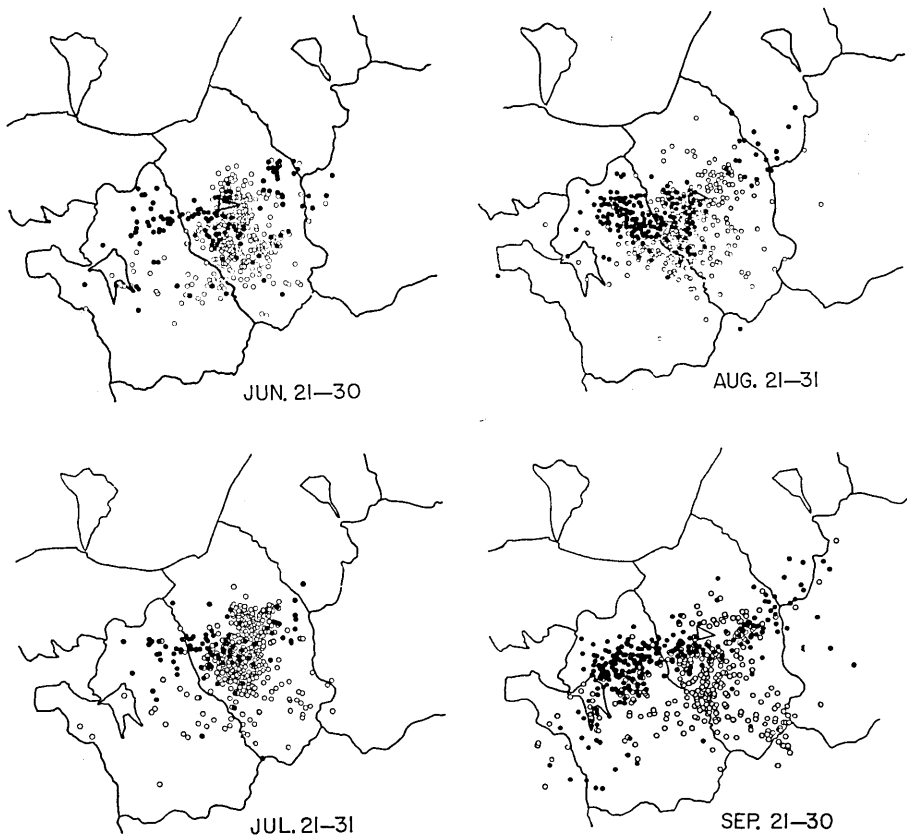


Fig. 6.

to  $\frac{1}{2}$  May and were partially coincident with the quadrant type in the period from June to November, 1966.

## 2. Observation at Sanada

### 2-1. Method of observation

The High sensitivity tripartite observation was started at Osa ( $36^{\circ} 26'N$ ,  $138^{\circ} 18'E$ ), Sanada, Nagano Prefecture, about 6 km northeast of Ueda City on September 5, 1966. Three seismographs of vertical moving-coil type with natural frequency of 3 cps were set up at vertexes of a triangle with sides of 1,450 m, 1,120 m and 1,000 m as shown in Fig. 7, in which the observation points are marked with circles. Two seismo-

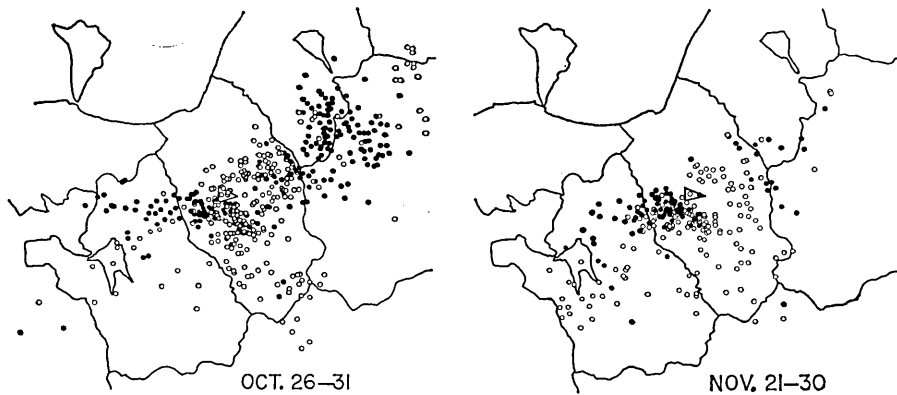


Fig. 6. Push-pull distribution of ultra micro-earthquakes observed at the Hoshina tripartite stations. ○: push, ●: pull

graphs of horizontal component of the same type were set up at Kitamotohara, one of the three observation points. We used a magnetic tape recorder of 6-tracks capable of working for 29 hours continuously by the method of direct recording with tape speed of 5 mm/sec, using a 1/4 inch tape of 7-inch reel. 6-tracks were used for three vertical and two horizontal components and time mark. This instrument can be played back with tape speed of 5 mm/sec and 250 mm/sec. We sent the recorded tape to our Institute in Tokyo immediately and made a visible record as a monitor with paper speed of 1 mm/sec and that for interpretation with paper speed of 25 mm/sec, by the use of the penoscillograph of 6-tracks with natural frequency of 90 cps. Overall frequency characteristics except for the seismograph is shown in Fig. 8. Sensitivity of the seismograph is 0.8 volt/kine, therefore, the amplitude of 1 mm on the visible record corresponds to  $13.6 \mu$  kine of the ground motion, the magnification being 1,000,000 for the ground vibration of 20 cps. Considering the minimum noise level at night, this may be the limitation of sensitivity of the instrument.

We played back the recorded tapes and obtained visible records usually for 10 hours in the night as a monitor, for two hours in the middle of the night record for interpretation and analysis.

We read off the arrival time and direction of initial *P* wave from the vertical component at three observation points, the arrival time of *S* wave, the maximum trace amplitudes and their periods from one of the two horizontal components. The number of earthquakes and the max-

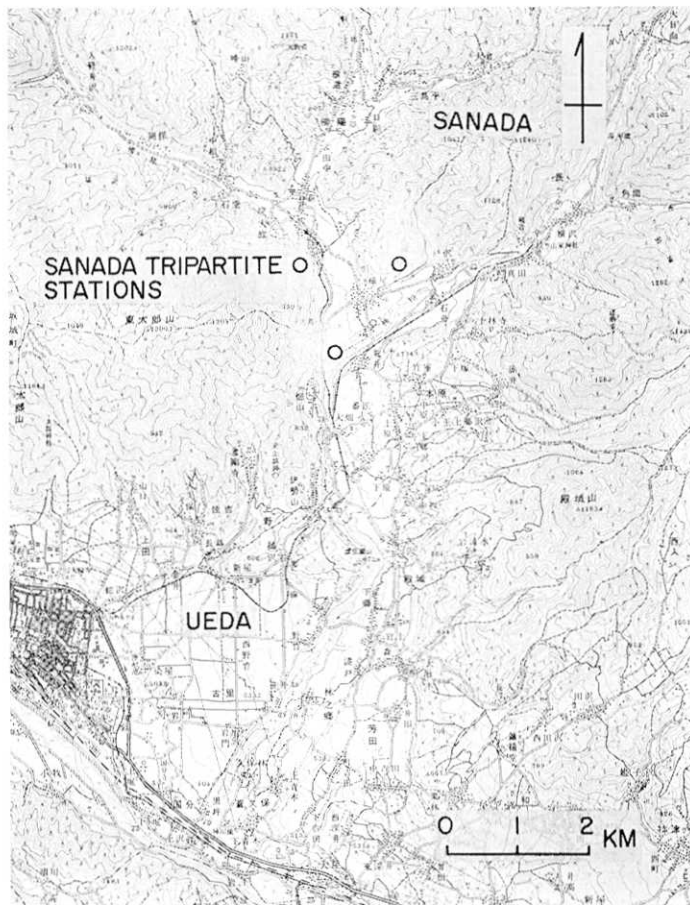


Fig. 7. Map of area around the Sanada tripartite stations.

imum trace amplitudes were examined from the monitor records. Our main object of analysing the data was to determine hypocenters and magnitudes of the recorded shocks.

#### 2-2. Seismograms and back-ground noise

The back-ground noise level was  $100 \mu$  kine on an average in the day-time and  $20 \mu$  kine on an average, sometimes  $5 \sim 10 \mu$  kine at night. In the present case, the instrumental noise is considered to be negligible in comparison with the back-ground noise level mentioned above.

Examples of the actual seismograms are shown in Fig. 9. The

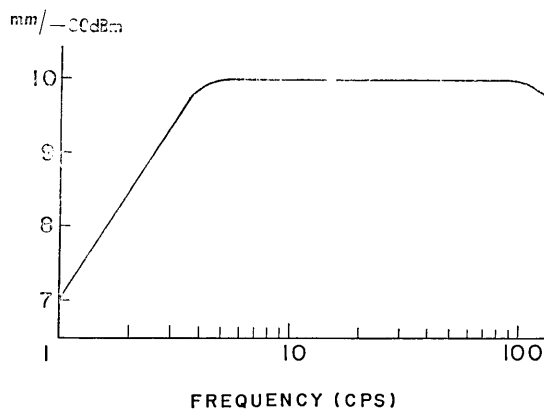


Fig. 8. Overall frequency characteristics of the instruments used at Sanada, except for seismograph.

characteristics of the seismograms obtained at Sanada are distinctness of *P* and *S* phases as shown in the figure, so that the arrival times were able to be identified fairly accurately. The forms of initial *P* waves on the record of vertical components at three observation points are quite similar to each other, even though the observation points are at a distance of about 1 km from each other. Therefore, we read off the time of corresponding peak or trough of initial motion at these observation points as an arrival time of initial *P* wave. The arrival time of initial *P* wave was identified with accuracy within 0.01 second and that of *S* wave with accuracy within 0.05 seconds. Comparing the amplitudes of three components observed at Kitamotohara with each other, we found that the amplitude was always largest at *S* phase in one of two horizontal components. It was usually three or four times the amplitude of *S* phase in the vertical component, the period of the wave giving the maximum amplitude in horizontal component being about 0.1 second. *P-S* intervals of earthquakes were in the range between 1 and 3 seconds.

### 2-3. Number of earthquakes

The numbers of earthquakes observed at the Sanada tripartite stations during 4 hours are listed in the 4th column of Table 2 and are shown graphically in Fig. 10, where the shocks with trace amplitude larger than 3 mm were counted in the time interval from 0 to 4 o'clock. The dotted line in the figure means interruption of observation caused by

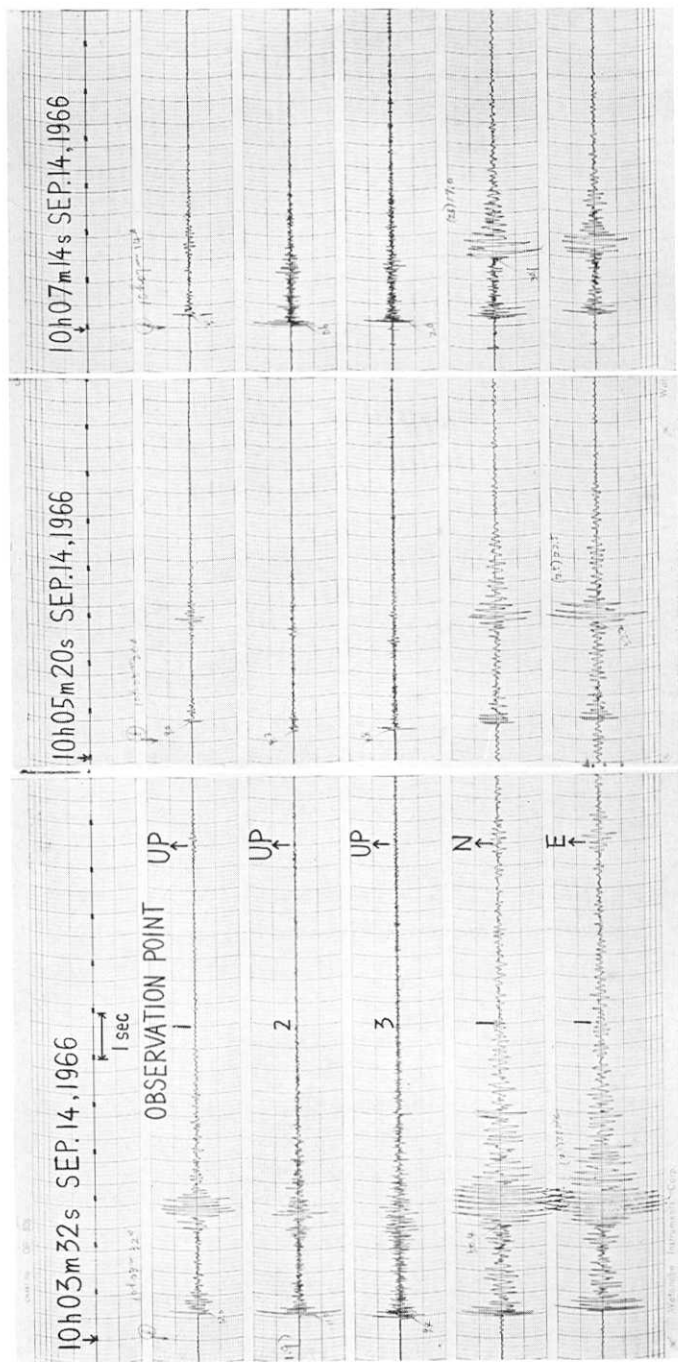


Fig. 9. Examples of seismograms obtained at the Sanada stations.

some accident. As a whole, the number of shocks decreased, with a lapse of time 200~500 being counted in September and 100~300 in November, 1966.

#### 2-4. Distribution of *P-S* intervals

Distribution of *P-S* intervals observed at Kitamotohara, one of the Sanada tripartite stations, is shown in Fig. 11. The range of *P-S* intervals was between 0.9 and 3.5 sec, most of them lying between 1.0 and 2.5 sec. Two maximums always existed in the distribution of *P-S* intervals, the larger one lying at 2.0~2.5 sec, the smaller one around 1.5 sec. We could not find any significant variance of distribution of *P-S* intervals with a lapse of time. The *P-S* intervals 2.0~2.5 sec correspond to the shocks occurring at Matsushiro and Wakaho, those around 1.5 sec to the shocks occurring in the southern part of Wakaho and the northern part of Sanada as will be seen in a later section.

#### 2-5. Apparent velocity

The apparent velocity of the *P* wave propagating along the horizontal earth's surface was determined by our tripartite observation. The relations between the apparent velocity, frequency of occurrence, *P-S* intervals and the azimuth of the incident wave are shown in Fig. 12. 95 percent of the apparent velocity was larger than 4.5 km/sec, about 90 percent being in the range 4.5 and 5.5 km/sec, the maximum frequency existing at 5 km/sec. The apparent velocities lie above a dotted line drawn in the figure which shows the relation between the apparent velocity and the azimuth of the incident wave. This fact can be considered to be caused by the following reason: If we assume a single layer over a half space as an underground structure, the boundary plane inclines so that its direction of steepest descent lies in the azimuth of S 35°E. As regards the underground structure, we intend to make further investigation synthetically together with other observational results at the next opportunity.

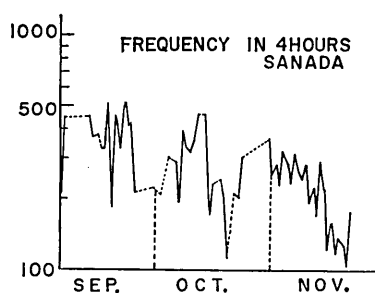


Fig. 10. Number of earthquakes in 4 hours observed at the Sanada stations.



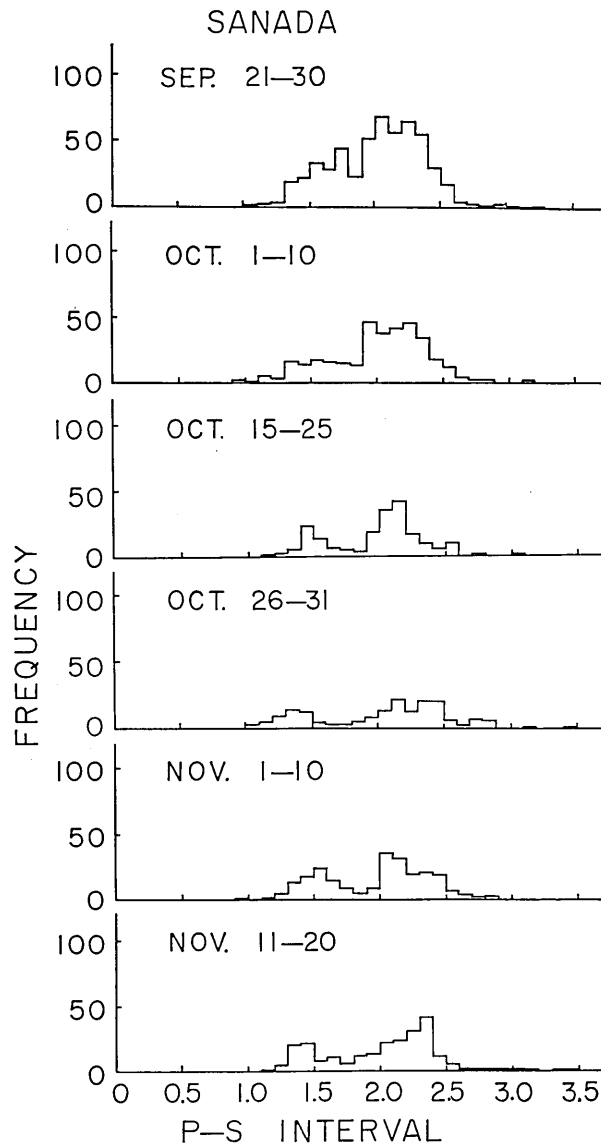


Fig. 11. Distribution of *P-S* intervals observed at the Sanada stations.

2-6. *Comparison of hypocenter determined by the Sanada stations with that determined by other stations.*

As the method determining hypocenters from the observational data obtained at the Sanada tripartite stations, we adopted the same one as that used at the Hoshina station. The constants  $V_p=4.5$  km/sec,  $k=6.12$  km/sec were used here. Fig. 13 shows the comparison of the epicenters determined by the Sanada tripartite observation with those of the same shocks determined by the Hoshina tripartite observation. The systematic difference in the two epicenters can be seen in the figure. Fig. 14 shows the comparison of the epicenters determined by the Sanada tripartite observation with those of the same shocks determined from  $P$ - $S$  intervals observed at the ordinary seismographic stations, Hoshina, Akashiba and Zozan, using the value of 6.12 km/sec as  $k$ . The same systematic difference in the two epicenters will be recognized in the figure, i.e., most of the epicenters determined from the Sanada tripartite observation are situated 2~4 km southwest of those determined by the Hoshina tripartite observation or the ordinary seismographic stations, Hoshina, Akashiba and Zozan. The depths of the hypocenters determined by the Sanada tripartite observation are 1.5~2.0 times those determined from the Hoshina tripartite observation or the ordinary seismographic stations. We may say that the hypocenter determined by the ordinary seismographic stations must be most reliable so far as the epicenter is not very distant from these stations, so that the systematic deviation of location of the hypocenter mentioned in the above is concluded to be caused by some irregularity of underground structure.

2-7. *Epicentral distribution*

Fig. 15 shows the epicentral distribution determined by the Sanada tripartite observation in the period from September to November, 1966. The number of the shocks of which the locations of the hypocenters were determined are listed in Table 2. Since the depth of the shock is unreliable in this case, only the epicentral distribution is illustrated in the figure, without any correction, therefore containing the systematic deviation stated in the foregoing. The Sanada tripartite stations lie by the side of the active area of Matsushiro Earthquakes and can look out over the area from the southeast direction, more widely than the Hoshina tripartite stations, the area extending from Suzaka and Azuma to Tokura and Kamiyamada within a distance of 20 km from the Sanada stations.

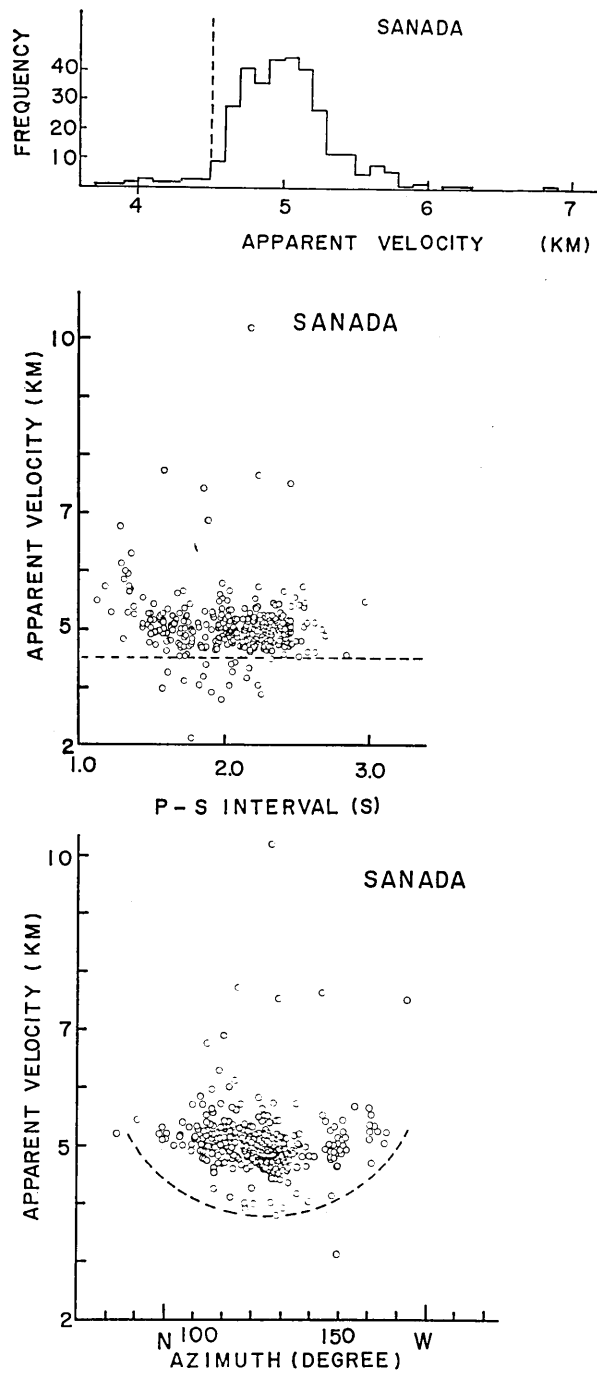


Fig. 12. Above: Relation between apparent velocity and frequency.  
Middle: Relation between apparent velocity and P-S interval.  
Lower: Relation between apparent velocity and azimuth.

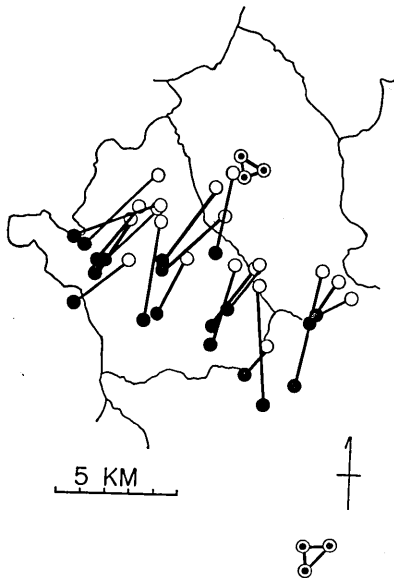


Fig. 13. Comparison of the epicenters determined by the Sanada tripartite observation with those of the same shocks determined by the Hoshina tripartite observation.

- : epicenter determined by the Sanada tripartite observation.
- : epicenter determined by the Hoshina tripartite observation.

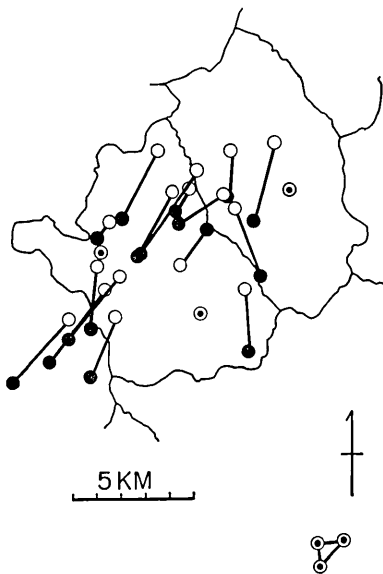


Fig. 14. Comparison of the epicenters determined by the Sanada tripartite observation with those of the same shocks determined by the ordinary seismographic stations, Hoshina, Akashiba and Zozan.

- : epicenter determined by the Sanada tripartite observation.
- : epicenter determined by the ordinary seismographic stations.

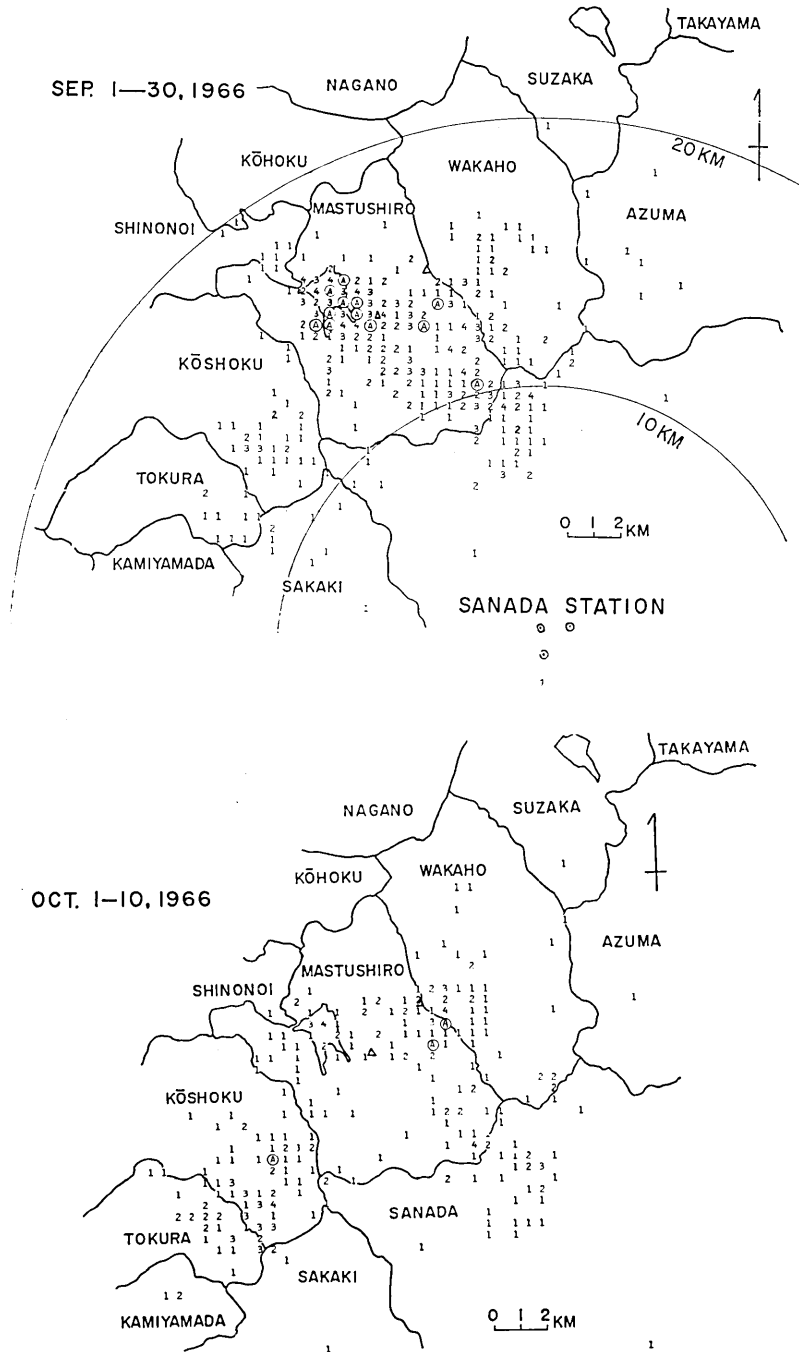


Fig. 15.

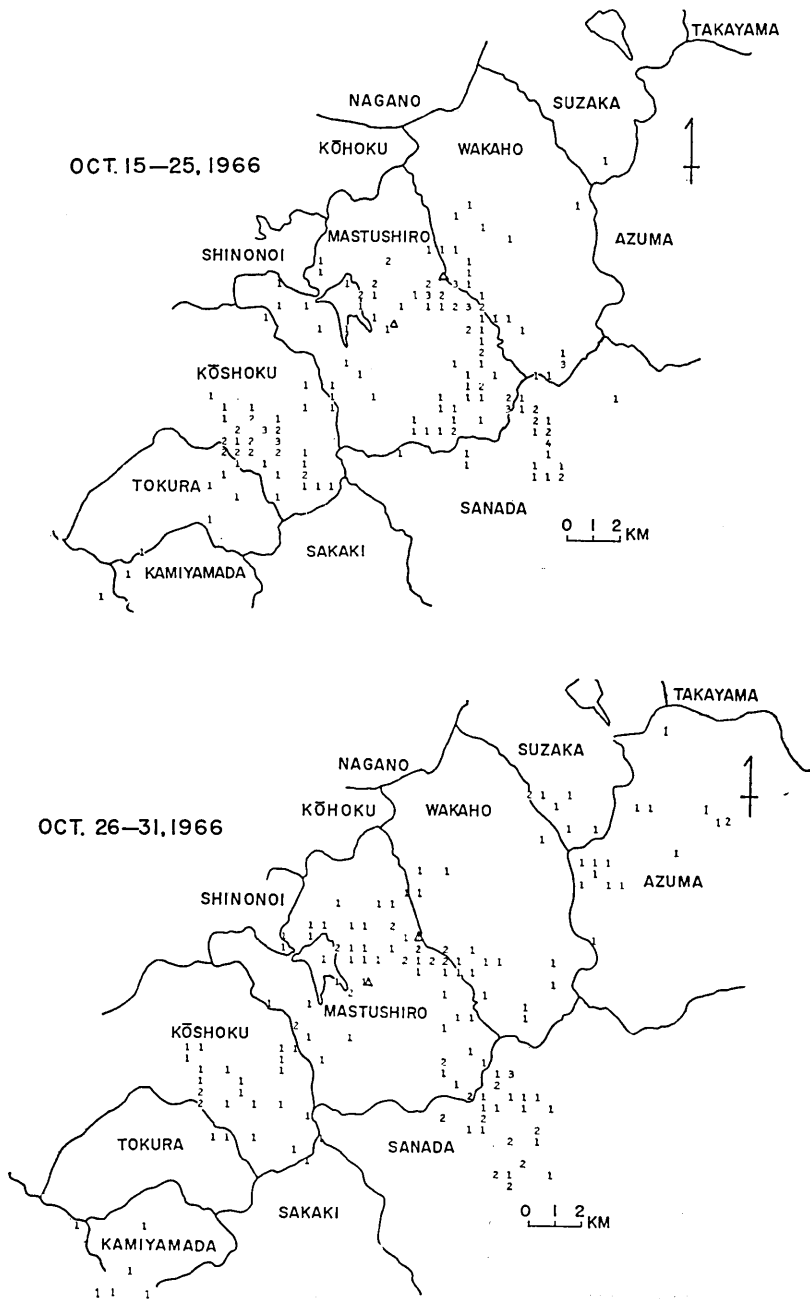


Fig. 15.

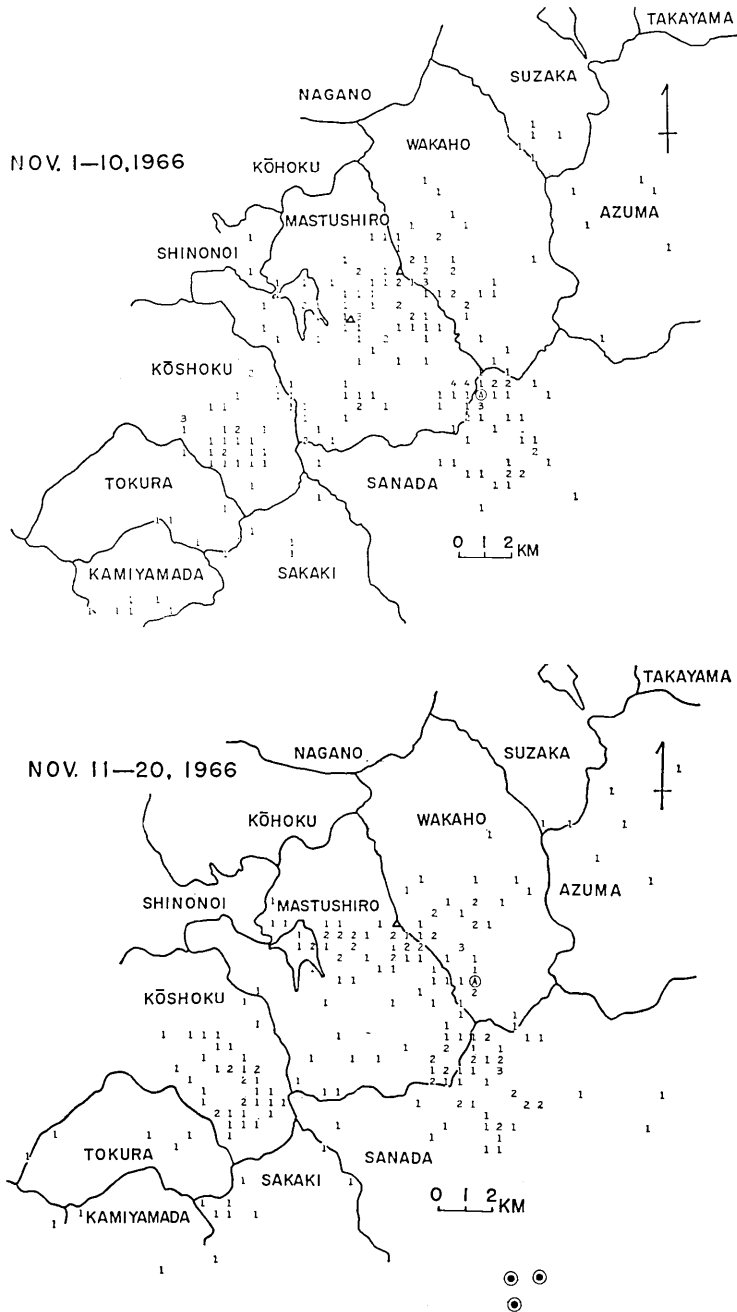


Fig. 15. Epicentral distribution determined by the Sanada tripartite observation.

Table 2. Earthquakes observed at Sanada. The 2nd column gives the time intervals in which the analysis of seismograms was conducted, the 3rd the number of analyzed earthquakes, the 4th the number of earthquakes observed in 4 hours.

Date	2	3	4	Date	2	3	4
Sept. 5	<sup>h</sup> 23 : <sup>m</sup> 00 ~ <sup>h</sup> 24 : <sup>m</sup> 00	55	216	Oct. 7	<sup>h</sup> <sup>m</sup> <sup>h</sup> <sup>m</sup>		199
6	23 : 00 ~ 24 : 00	45	446	8			394
7				9	00 : 00 ~ 03 : 50	75	340
8				10	00 : 04 ~ 03 : 43	56	326
9				11			360
10				12			468
11				13			88
12				14			464
13	11 : 45 ~ 13 : 13	50	450	15	00 : 03 ~ 01 : 42	37	170
14	10 : 00 ~ 10 : 55	50	368	16	16 : 49 ~ 17 : 53	20	230
15	12 : 00 ~ 13 : 35	50	376	17			
16	11 : 00 ~ 12 : 20	50	330	18			240
17	12 : 00 ~ 14 : 05	37	332	19			203
18	12 : 00 ~ 13 : 56	37	514	20			114
19	11 : 00 ~ 11 : 46	5	184	21			
20			442	22			214
21			328	23			208
22	10 : 59 ~ 13 : 55	48	498	24	00 : 00 ~ 01 : 30	54	308
23			416	25	00 : 00 ~ 01 : 31	74	
24	10 : 59 ~ 13 : 01	35	428	26			
25	11 : 00 ~ 13 : 05	28	214	27			
26				28	14 : 09 ~ 15 : 51	46	
27				29	18 : 00 ~ 20 : 00	39	
28	12 : 34 ~ 14 : 33	45		30			
29				31	00 : 00 ~ 01 : 41	90	361
30			222	Nov. 1	00 : 00 ~ 02 : 00	50	257
Oct. 1	11 : 30 ~ 14 : 58	58		2			281
2	11 : 00 ~ 13 : 00	18	210	3	00 : 00 ~ 01 : 30	52	275
3	11 : 01 ~ 13 : 35	87		4			322
4			304	5	00 : 00 ~ 01 : 14	51	283
5				6			234
6	11 : 00 ~ 14 : 55	53	298	7	00 : 00 ~ 01 : 15	50	311

(to be continued)



Table 2.

(continued)

Date	2		3	4	Date	2		3	4
	h	m	h	m		h	m	h	m
Nov. 8					Nov. 20				
9	00	: 00	~	00 : 48	21	00	: 00	~	02 : 00
10					22				
11	00	: 00	~	01 : 07	23				
12					24				
13	00	: 00	~	02 : 00	25				
14					26				
15	00	: 00	~	01 : 59	27				
16					28				
17	00	: 00	~	01 : 41	29				
18					30				
19	00	: 00	~	01 : 55					

The Sanada stations can well detect the shocks in and near Kōshoku, Sakaki, Tokura and Kamiyamada which were not detectable by the Hoshina tripartite stations.

As regards the variation of seismic activity with respect to time, the epicentral area was enlarged, the shocks extending to Sanada, Kamiyamada and Suzaka in the period from the end of October to November. The number of the shocks at Suzaka and Azuma increased following the strong shock occurring on October 26, but decreased in November. The epicentral area detected by the Sanada tripartite stations in November 1966 is of elliptical form with long axis of 30 km in the northeast—southwest direction, and short axis of 17 km in the northwest—southeast direction. We found that the epicentral area determined by the Hoshina tripartite observation is too small compared with that determined by the Sanada tripartite stations, even though the sensitivity of instrument of both the stations is taken into consideration. This suggests that the attenuation of the seismic wave is large in such an area as Hoshina where the shocks clustered.

In conclusion the authors wish to extend thanks to the authorities of the Hoshina town office, the Sanada town office, Nagano Prefecture and to the principal of Sanada Junior High School for their co-operation in our seismological observation, and also to the members of geological study club of the Sanada Junior High School for their daily seismographic

observation at Sanada. The members of the Institute who participated in the field work necessary for the seismological observation were Sadao Saito, Ikuo Karakama, Masao Watanabe, Heihachiro Chiba to whom the authors thanks are also due.

## 10. 高感度3点方式による松代地震の観測 (4)

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点方式による地震観測が、若穂町保科において、1965年11月から行なわれている。その結果はすでに第1報～第3報で報告してある。今回はその続きとして、1966年9月下旬～11月下旬の期間の若穂町保科での観測結果と同年9月に新設された真田町・長での観測結果の報告である。若穂町保科での観測及び解析の方法は以前と重複するのでここでは省き、ここでは新しく始められた真田町・長での観測及び解析の方法についてのみ観測結果と共に報告する。

松代地震調査のためには現在石本式加速度計及び HES からなる臨時地震観測網の他に微小及び極微小地震を対象として若穂町保科 (36° 35' N, 138° 16' E) 真田町・長 (36° 26' N, 138° 18' E) 川西村上室賀 (36° 24' N, 138° 9' E) 真光寺・浅川 (36° 41' N, 138° 11' E) において現在3点方式の観測が行なわれている。これ等の観測点から得られたデータを解析するとき、松代地震地域が均一な地下構造から成ると見ることは観測結果にいろいろと矛盾を生ずる事が明らかになってきた。しかし、いま直ちに地下構造を決定することはできないので、本文においては震源決定に際して第一近似として従来通り均一構造の仮定をとることとした。適当に定められた地下構造に基いてさらに正確な震源決定を行うことは極めて重要なことであるので、観測結果を十分整理研究した後次に次の機会に改めて報告したいと思っている。

### 1. 若穂町、保科における観測結果

#### 1-1 地震の数

保科の3点方式観測は毎日ほぼ一定時刻に90分間行ってきたが、その90分間に記録された地震の数は第1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た無感地震の数と震度IV以上の地震も共に示してある。これらはまたグラフにして第1図にも示してある。保科3点方式観測によって得た昼間90分間の地震の数は、1966年9月下旬から11月下旬にかけては、ほぼ指数関数的に減少している。すなわち8月下旬から9月上旬へかけての松代地震活動の第3のクライマックスの後9月下旬には平均約800であったものがそれから2ヶ月後の11月下旬には平均約200になった。この間10月26日に震度V (M=5.1)の地震が若穂、東村、須坂の境界にある妙徳山付近に発生したが、その直後3日間は、地震回数は上昇し小さな山を示している。11月下旬の平均200という数は、今回の観測が再開された1966年2月下旬当時の地震の数とほぼ同じである。気象庁松代観測所から報告された毎日の無感地震の数も9月上旬第3のクライマックスが過ぎてからは急に減少している。すなわち9月下旬は平均約1,000、11月下旬は、1965年9月下旬の数とほぼ同じく、平均約350である。ただし数のへり方は保科で得られたものとは異なって、第1図に見るように、半対数目盛のグラフにして見ると下に凸の形をしながら減少している。ここでは10月26日の震度V (M=5.1)の地震に伴う余震による地震の数の増加をはっきりとは認めることが

できない。

一方、有感地震の数を見ると、9月下旬に震度 IV, V が各 1 回、10月中旬に震度 IV が 2 回、10月下旬に震度 V が 1 回、IV が 2 回起った。その後 11 月には震度 IV 以上の地震は無かった。大局的には微小及び極微小地震の数の減少と共に震度 IV 以上の大きな有感地震の数も減少している。

#### 1-2 P-S 頻度分布

P-S 頻度分布は第 2 図に示してある。ここに用いられた地震は、震源決定を行ったものと同じであり、3 点で P 相が明瞭であり、かつ 3 点のうち 1 つである在家の水平動記録上で S 相が明瞭なものである。これらの地震の数は第 1 表 4 列にのせてある。9 月下旬から 11 月下旬の P-S 頻度分布の様子は第 3 報でのべた 6 月下旬～9 月中旬までの期間の特徴をそのまま引きついで来ている。すなわち 9 月下旬～11 月下旬は P-S 時間の範囲は、10 月下旬の 2 ケの地震の P-S 時間が 3.0 秒であったことをのぞけば、0.2～2.5 秒の中にある。特に、0.5～1.0 秒の間にはほとんどのものがある。しかし、従来見られたように、0.7～0.8 秒を中心とする非常にずいぶん山は見ることができない。また 1.5 秒以上の地震の数は以前にくらべて相対的に増加しており、震源域が拡大している事を表わしていると思われる。

#### 1-3 震源分布

ここで震源を求めた地震の数は第 1 表第 4 列にのせてある。従来震源の決定は記録紙上 3 mm 以上の最大振幅をもつ地震のみに限っていたが、今回は地震の数が減少してきたのでその制限を止めて振幅にはかかわらず、すべて読みとれるものは読みとる方針とした。震源決定方法は前回と全く同じであり、用いた定数も同じである。すなわち大森係数  $k=6.12$  km/sec, P 波の速度  $V_p=5.0$  km/sec を用いた。

震源分布の詳細は第 3 図に示してある。この期間の震源分布の様子は、大きく見て 2 つの期間、すなわち 10 月 26 日震度 V ( $M=5.1$ ) の地震の前と後に分けることができる。9 月下旬から 10 月 25 日までの震央の分布は主に松代町と若穂町に、そのうちでも特に若穂町の方に集中している。またかなりの数の地震が更埴市、真田町、東村、須坂市方面にも広がっているが特に東村と須坂市方面にはかなり広い範囲にわたって分布している。ところが 10 月 26 日の震度 V の地震が若穂町、東村、坂須市の境にある妙徳山の近くで起った後は、極微小地震の震央はさらに広く東村、須坂市に侵入し高山村の一部にも広がった。そして 11 月下旬になってようやく、これらの地域の地震は 10 月 26 日以前の分布に戻ったように思われる。

深さの分布は、第 4 図に示してあるが 9 月下旬から 11 月下旬にかけてほぼ同じ分布をしており、ほとんどが深さ 2 km から 5 km の間に集中している。ただ理由はわからないが 10 月中旬が他の期間に比べて少し浅く 1 km から 4 km の深さに集中している。

次に 10 月 26 日の震度 V の地震についてくわしく見ると、すでに 9 月下旬から須坂市と東村の境に極微小地震は広がっている。ふり返ってみるとこの地域の地震は 1966 年 4 月下旬から発生していたと見ることができる。そして、10 月の中旬にかけてかなりその発生区域が広がってきたが、10 月 21～25 日を見ると急にこの地域の地震の数は減少した。ただし観測は震度 V の地震発生の 15 時間前までである。10 月 26 日の震度 V の地震の後は余震が本震の北東側に直径約 10 km の円形の地域に広がり 11 月中旬まで続いている。

#### 1-4 石本一飯田の係数 $m$

ここで用いた地震の数は第 1 表第 5 列にのせてある。振幅は観測点の 1 つ在家の上下動記録から読み取っている。9 月下旬から 11 月下旬までは石本一飯田の係数  $m$  の値はすべて 2.0～2.6 であり、通常の値である。10 月下旬を 26 日の震度 V の地震の前後の 2 つの期間に分けて、 $m$  の値を調べると、10 月 21～25 日では  $m=2.1$ 、10 月 26～31 日では  $m=1.9$  となった。この前後の期間の  $m$  の値を比べてみると 2.1 と 1.9 の違いをこれだけで有意と認めることはできない。

### 1-5 初動の押し引き分布

第6図は保科で観測された極微小地震の押し引き分布を示している。ここでは保科の3点で共通に“押し”または“引き”として観測されたものだけをとりだして震央の位置に押し引きの印をつけて示してある。これらの地震のマグニチュードは  $-0.5 \sim -1.5$  の範囲である。極微小地震の押し引き分布は、部分的には有感地震で見られたように、4象限型の押し引き分布に一致するものもあるが全体としては任意な分布をしている。時期による違いを見ると、1966年2月~5月の期間は全く任意な分布であるが、6月以後になると有感地震に見られる象限型に一致するものが増えている。

## 2. 真田町・長における観測

### 2-1 観測の方法

保科と同じ3点方式による微小および極微小地震の連続観測が長野県真田町・長 ( $36^{\circ} 26' N, 138^{\circ} 18' E$ ) において1966年9月5日から開始された。観測点の位置は第7図に丸印で示してある。可動線輪型上下動3cpsの地震計を1,450 m, 1,120 m, 1,000 mの距離をへだてておき、その1つ北本原には同じ型の水平動2成分も併置した。記録には6トラックの長時間テープレコーダを用い、 $1/4''$  幅、 $7''$  リールのテープにバイアス直接録音方式によって記録している。6つのトラックは上下動3成分、水平動2成分及び時刻マークに使用されている。記録時のテープ速度は5 mm/secであり $7''$  リールのテープを用いると29時間の連続記録ができる。なお、この装置は再生時に5 mm/secの速度の他に250 mm/secのテープ速度でも再生できる。

記録されたテープは直ちに東京の研究室に送り、紙送り速度1 mm/secでモニターを、25 mm/secで読み取り用可視記録を、90 cpsのペンオシログラフを使って作る。計器の総合特性は第8図に示してある。地震計の感度は0.8 v/kineであるから、記録紙上1 mmは13.6  $\mu$ kineに相当しており20 cpsにおいて100万倍の倍率になっている。深夜におけるこの場所のノイズレベルを考慮すると、この程度が達し得る最大感度である。

われわれは平常夜間10時間モニターと0~2時の間で読み取り用記録を作成して解析している。読み取りは、3つの観測点の上下動成分からP波の到着時刻と初動方向、それに観測点の1つ北本原の水平動からS波の到着時刻、最大振幅および最大振幅の周期を讀取っている。モニター用記録からは地震の回数および最大振幅の頻度分布を調べている。データの解析は当面は主に震源位置とマグニチュードの決定である。

### 2-2 地震記録とバックグラウンドノイズ

バックグラウンドノイズは、昼間は平均して100  $\mu$ kine 夜中はかなり静かになって平均20  $\mu$ kine、時によっては5~10  $\mu$ kine程度である。計器のノイズはこれらの地動のノイズに比べると無視できる。

得られた地震記録の例を第9図に示す。真田町・長で記録された地震波形の特徴は、P相とS相が非常に明瞭で、到着時刻もかなり正確に決めることができる。3つの観測点は相互に約1 kmはなれているが、P相波形は良く似ている。そのため3点方式の解析ではP波の到着時刻として対応する山または谷の時刻を読み取っている。初動の讀取精度はほぼ $\pm 0.01$ 秒以内であり、S波は $\pm 0.05$ 秒以内である。北本原の3成分の振幅を比べると最大振幅は例外なく水平動のS相が持っており、上下動に対して平均約3~4倍である。P-S時間はいずれも約1~3秒の範囲にある。

### 2-3 地震の数

真用3点方式でとらえた地震の数は、第10図に示してある。ここでは記録紙上最大振幅が3 mm以上の地震の数を0~4時の4時間について数えている。図の点線で結んだ所は計器の調整、故障その他で欠測となった日である。全体として地震の数は減少の傾向にあり、9月は200~500であったが11月は100~300の間にある。

### 2-4 P-S 頻度分布

P-S 頻度分布は第11図に示してある。P-S時間の範囲は0.9から3.5秒でありそのほとんどす

べては 1.0 から 2.5 秒の間にある。P-S 頻度分布の形を見ると常に 2 つの山があり、大きい方の山は 2.0~2.5 秒の間に、小さい方は 1.5 秒を中心としてある。後の震源決定を見るとわかることであるが、若穂町、松代町、更埴市の地震は P-S 時間 2.0~2.5 秒に相当し、若穂町南部、松代町南部と真田町北部の地震の P-S 時間は約 1.5 秒に相当している。

#### 2-5 見かけの速度

地表の水平面上の見かけ速度と頻度、P-S 時間及び到来方向との関係を第 12 図に示してある。見かけの速度の 95% は、4.5 km/sec 以上の速度であり、頻度分布の図では 5 km/sec を中心に山があり約 90% のものは 4.5~5.5 km/sec の間にある。P-S 時間との関係では特に何もいえないが、波の到来方向との関係では図の点線で示した位置よりも見かけ速度が上にあることがわかる。この事は、層構造を考えた時に境界面がおよそ S 35° E の方向に最大下り傾斜を有し、上層はその方向に厚くなっているという地下構造を反映しているとも見ることが可能である。しかしここでは地下構造についてはこれ以上立入らないで別の機会に他の観測結果も加えて総合的な検討をするつもりである。

#### 2-6 真田で決めた震源と他の観測点から決めた震源との比較

震源決定には、当面は若穂町保科の 3 点方式の方法を真田町・長の場合にも適応することにした。定数としては、P 波の速度は、見かけの速度を考慮して、4.5 km/sec とし、大森係数  $k$  の値は 7.3 km/sec とした。このようにして真田 3 点方式で決めた震央と保科の 3 点方式から決めた震央の比較を第 13 図に示してある。この図からは震央位置の明瞭な系統的違いがわかる。すなわち、若穂町保科で決めた震央をおよそ南西方向にずらすと真田で決めた震央になっている。深さを比べると真田で決めた方が保科で決めたものより常に 1.5~2 倍の深さになっている。

次に保科、赤柴、象山の加速度計記録から、大森係数  $k=6.12$  km/sec と仮定し、P-S 時間を使って決めた震央と真田 3 点方式から決めた震央の比較を第 14 図に示す。第 14 図から 2 つの震央の違いを見ると、これもまた系統的な違いがあることがわかる。すなわち保科、赤柴、象山から決めた震央をおよそ南西方向にずらすと真田で決めた震央になる。深さの違いも系統的で真田で決めた方が 1.5~2 倍の深さになっている。

保科、赤柴、象山の各観測点近傍の地震に関する限り、これら 3 点の P-S 時間から大森係数  $k$  を仮定して決めた震源位置は、他のなれた観測点から決めた震源位置よりも、より正しいと判断すべきである。また真田の 3 点方式、保科の 3 点及び保科、赤柴、象山から決めた震源位置を比べた結果真田の 3 点方式のみが他の 2 つに比べ同じ係数的違いがあることがわかった。これは松代地震地域の地下構造が一様でないことに起因しているものと思われる。ただし、3 点の P-S 時間から決めた震源が観測点から遠くはなれてくると、震源決定の精度が悪くなるため、3 点方式から決めた震源とくらべてどちらがより正しいかは何もういことができない。

#### 2-7 真田で決めた震央分布

1966 年 9 月から 11 月の中旬の期間の真田で決めた極微小地震の震央分布は第 15 図に示してある。ここで震源を決定した地震の数は第 2 表第 3 列に載せてある。前節でふれたように震源の深さの方は信頼性がないので、震央分布のみを示してある。また真田の 3 点方式で決めた震源が保科、赤柴、象山の観測網及び保科 3 点方式から決めたものと比べて系統的にずれていることがわかったが、松代、若穂以外の地域の地震については系統的にずれているかどうかはわからない。したがって今回は、全然補正を行なわないままで図にしてある。真田観測点は現在地震が主に集中している北東-南西に長い楕円形の地域を側面から看視する位置にあり、極微小地震の看視範囲は保科よりも更に広く須坂市、東村から戸倉・上山田方面まで及ぶ。その範囲は真田観測点を中心におよそ半径 20 km である。真田観測点は真田、更埴、戸倉、上山田、坂城の地震をよく捕えていることがわかる。

時間的な変化を見ると、全体として 10 月末から 11 月に入ると震源域は広がり真田、上山田、坂城方面に広がってきている。また 10 月 26 日の震度 V の地震以来須坂、東方面の地震は急激に

ふえ、11月に入ってようやく減少してきた。11月の中旬に真田でとらえた極微小地震の発生範囲は、北東—南西に約30 km 北西—南東方向に約17 km の楕円形の地域である。真田で決めた震央分布と保科で決めた震央分布を比較すると、真田の計器の感度は保科の場合の約2倍に上げてはあ  
るが、保科の看視範囲が以外に小さいことに気づく。これは地震波の減衰が地域によって異なっ  
ていて、地震が多く起っている所では減衰が大きい事を意味しているかもしれない。

終りにわれわれの地震観測に多くの御協力をいただいた長野県若穂町役場、真田中学校当局の方  
々に、また真田での日常の観測をしていただいた真田中学校地質クラブの方々に、著者は深い感謝  
の意を表す。本所職員齋藤貞夫、唐鎌郁夫、渡辺政雄、千葉平八郎の各氏は現地において観測に  
必要な諸種の作業に従事した。以上の方々にも厚く御礼申し上げる。

---