

26. 松代群発地震とその周辺の地震活動

堀 実

(昭和41年9月27日発表—昭和42年3月31日受理)

1. ま え が き

1965年8月上旬からはじまった長野県松代町附近の頻発地震は次第にその活動が激化し11月下旬には震度IVをふくむ有感地震が1日に約200回をこえるにいたつた。さらに同年12月国土地理院による松本—上田—中野間の水準路線の再測の結果によると最近8年間にこの区間特に長野市北方豊野附近の隆起量が著しいことも判明した。このためなお活動をつづける松代群発地震が北信一带にまで波及するおそれもあるので、筆者らは松代群発地震域外主として長野県北部一带の微小地震活動を調査し活動域の動静とその周辺への拡大の可能性の情報をうるため、第1次観測を同年3月9日から4月7日まで、第2次観測を同年7月1日より7月30日までの各約1カ月ずつ、松代町の東北約27kmにある中野市の同一場所で波動相関法による3点観測をおこなつた。その観測結果について報告する。

2. 観測場所および観測装置の概要

波動相関法による地震観測においてはその観測場所の選定には特に注意をはらう必要のあることは既に述べてきたが、今回の観測に際してもこの点に十分な考慮をはらつた。地震計は観測目的にあわせ長野電鉄線に沿う中野市の東よりの第3紀安山岩質の堅い岩盤3ヶ所をえらびコンクリートをうつて No. 1, 3 に上下成分1台ずつ No. 2 に上下、水平各1成分をおいた。なお3点の辺長はそれぞれ 1~2 が 475 m, 2~3 = 775 m および 1~3 = 732 m でその配置は Fig. 1 にしめす。観測室は観測点 No. 1 の北東約 300 m の常楽寺の一室を利用することができた。観測点の位置は簡単な測量により ± 3 m の精度でもとめた。使用した観測装置は従来微小地震観測などにもちいた波動相関観測装置²⁻⁴⁾で上記3観測点の上下3成分を遅延トリガー方式により磁気テープに録音し、同時に No. 2 の上下、水平各1成分ずつを大型円筒記録器2台にモニター記録し、それぞれ1日1回(送り2mm/sec)とりかえをおこなつた。総合感度は $23 \mu\text{V}/\text{mm}$, 15 c/s で大体100万倍、第1次観測は1日2~3回テープの取りかえをおこない、一部の欠測をのぞき連続観測を実施した。7月の第2次観測は昼夜間各1回テープの交換による観測をおこなつたがこの期間は活動が比較的低調で一部事故を除き欠測はなかつた。

録音されたテープは全部について翌日6mm/sec, 150mm/secの記録紙送り速度でそれぞれインクがきオツシログラフにより再生し解析した。6mm/sec再生記録からはS-P

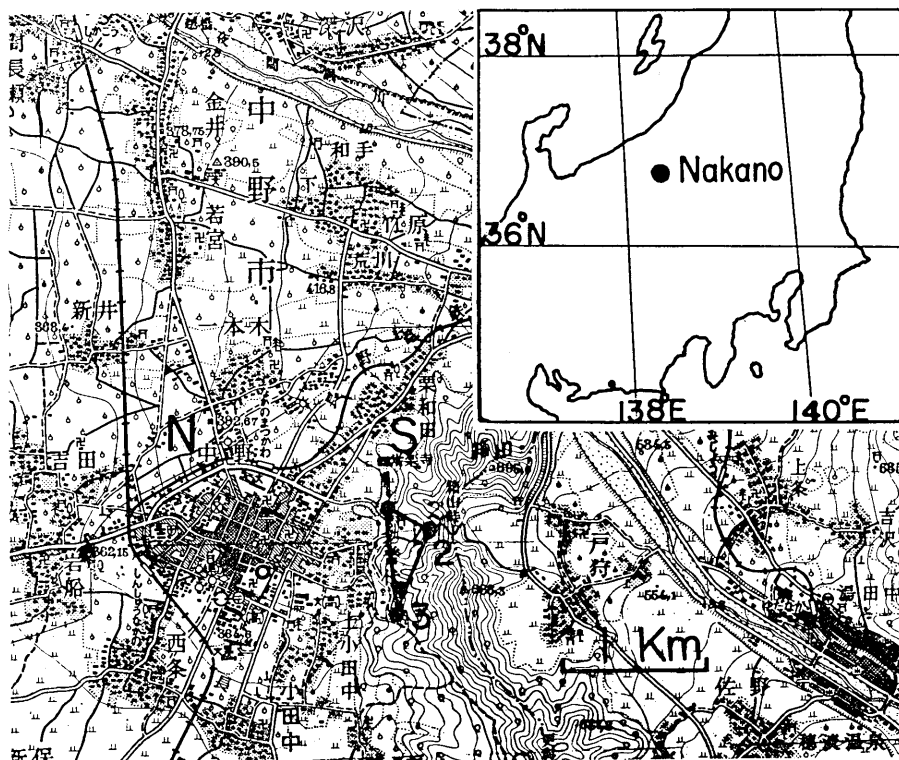


Fig. 1. Location map of the tripartite stations for the microearthquake observation of Matusiro earthquake swarm and its peripheral activity at Nakano, Nagano Prefecture, Central Japan.

N: Nakano. S: Recording room at Zyorakuzi.

1.2.3.: Tripartite stations.

1-2 = 475 m, 2-3 = 775 m, 3-1 = 732 m.

とその最大振幅と S-P 間の平均振幅をよみとり震源距離および Magnitude 算定の資料をもとめ、150 mm/sec 再生記録からは P 波の初動の相関をとりその時刻差から波群のみかけの速度と波の到来方向をもとめたが 3 点が水平面上になく N 53° 方向に約 6.5° でかたむく平面上にあるので観測点の下の真の波の速度を $V_p = 4.8$ km/sec と仮定して各々の地震について斜角補正をおこなった。なお解析は 1 日 50~100 の地震に限定し、その他の地震については押し、引きの別と松代群発地震域のものか否かをきめ、上記地域外のものについてののみその震源をもとめた。

3. 観測結果

第 1 次観測は松代群発地震が第 2 の活動期に入る 3 月中旬から 4 月にかけておこなったが、その後活動は 4 月 17 日をピークに 5 月、6 月とやや下降しはじめ第 2 次観測はその下降

線をたどる頃おこなわれた。その活動状況の例をモニター記録で Fig. 2 (A, B) に示す。Aは第1次、Bは第2次観測のものである。第1, 2 期間中磁気テープ記録から再生した地震の解析結果を日別にとると Table 1, 2 のようである。表からもあきらかなようにこの観測の主目的たる松代地震域外の地震活動の極めて少いことは注目すべきことで、さき

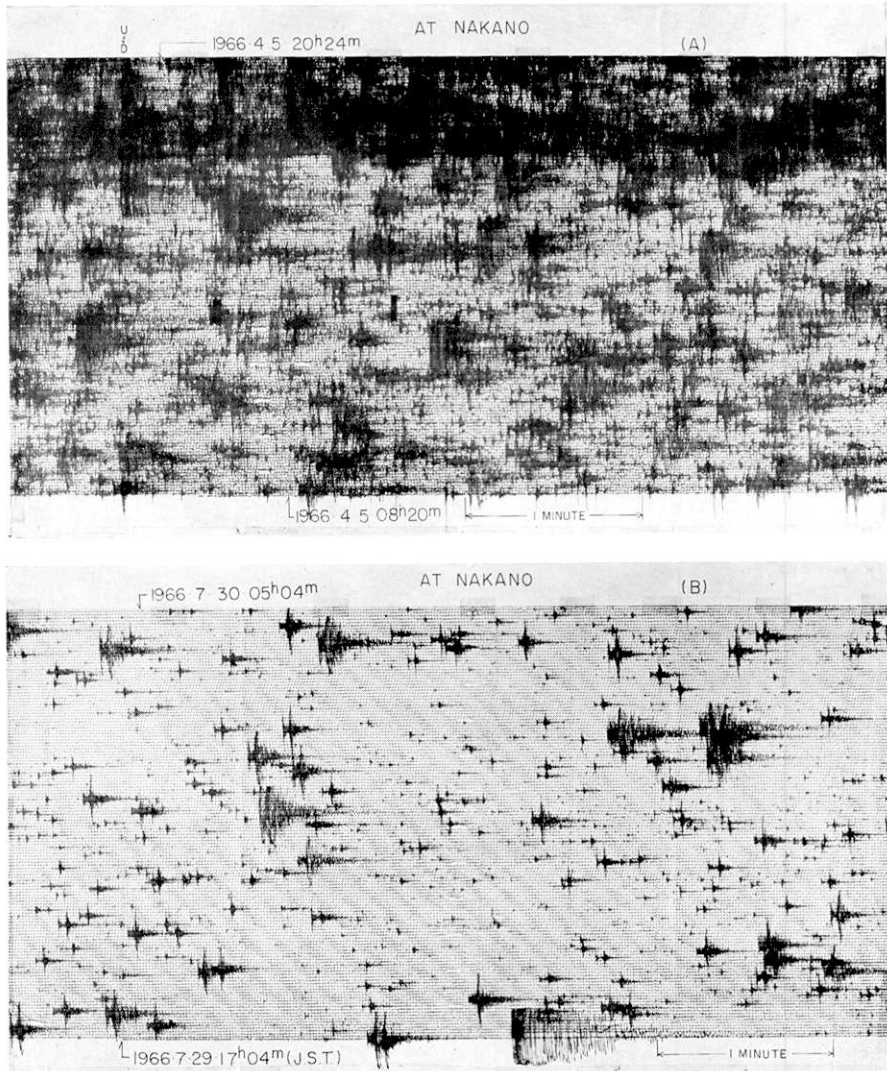


Fig. 2. An example of the monitor drum record for half a day at station No. 2.
 A: vertical component record for April 5, 1966, the first period of the observation.
 B: vertical component record for July 29, 1966, the second period of the observation.

に示したモニター記録のなかでトリガーにより磁気テープ記録（モニター記録紙上複振幅で10mm以上）された以外の地震についてもS-Pから判断して殆んど松代地震のようである。

1) S-Pの頻度分布と震央分布

磁気テープ記録された地震の初期微動継続時間S-Pの頻度分布をFig. 3に示す。第1次では2.0~3.8sec特に2.4~3.0secのものが全体の72%をしめ、第2次ではS-Pが1.6~4.0secと若干のひろがりを見せているがやはり2.2~3.0secに集中しており第2期は特に3.2~3.3secに別の新しい活動域ができたことを示している。両期間とも5~10secのものは数個にすぎなかつた。

さきに1963年12月から1964年1月にわたって気象庁松代地震観測所で大竹ら³⁾がおこなつた微小地震観測ではS-P 10sec以下のもの1日平均21.6個の割合で観測されており、また松代地震観測所地震報告による松代における1965年8月以前7カ月のS-P頻度分布をとるとFig. 4のようでS-P 10sec以内のものもかなりの頻度で発生

しており、特にS-P 5~10secのものが月平均15個発生していることは8月以降の松代群発地震域外にも地震活動のあつたことを意味している。

もし、これらの地震がひきつづき定常活動をしているとすれば当然中野におけるわれわれの観測感度で観測すれば北信地域内に少くも1カ月に20個以上の地震が観測される筈である。上記の事実は松代群発地震活動のためこの周辺の常時活動が一時停止したものと考えられ注目にあたいする結果といわねばならない。

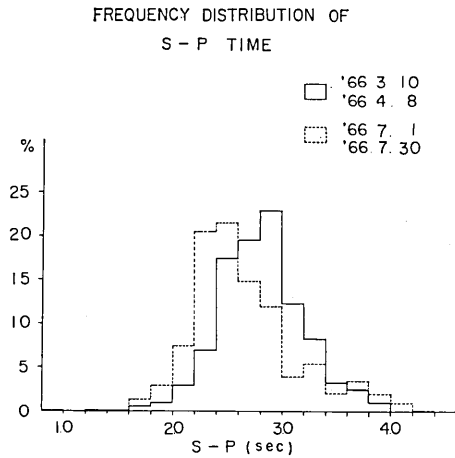


Fig. 3. Frequency distribution of S-P times observed at Nakano.

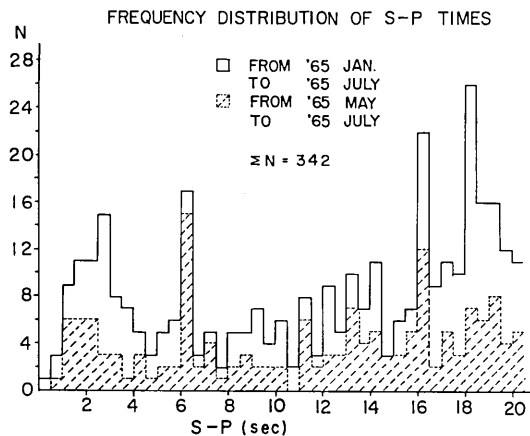


Fig. 4. Frequency distribution of S-P times observed at Matusiro Seismological Observatory (JMA), before the present swarm activity near Matusiro from August 1965.

Table 1. Observation analysis results for the first period.
(March 10-April 8, 1966)

Date	Nos. of Shocks M. T.*	Nos. of except Matusiro Swarm	Matusiro Earthquake Swarm							
			Nos. of Shocks	First Motion			Down**	Magnitude		
				up	down	unknown		%	0	1
1966										
March										
10-11	20	0	20	18	2	0	10.0	2	14	4
11-12	104	2	102	69	14	19	16.9	47	47	5
12-13	52	0	52	39	9	4	18.8	3	43	6
13-14	58	0	58	49	5	4	9.3	3	49	5
14-15	89	0	89	71	14	4	16.5	12	63	13
15-16	90	0	90	68	19	3	21.6	7	78	4
16-17	164	0	164	122	32	10	20.6	15	143	4
17-18	79	0	79	51	14	14	21.2	21	21	0
18-19	188	(1)	187	151	31	5	17.0	22	162	1
19-20	186	0	186	146	26	14	15.1	11	138	7
20-21	207	0	207	169	31	7	15.5	7	169	11
21-22	189	0	189	149	35	5	19.0	2	77	5
22-23	276	0	276	230	37	9	13.9	5	70	7
23-24	310	0	310	242	57	11	19.1	9	107	8
24-25	260	0	260	219	35	6	13.8	8	94	0
25-26	215	0	215	168	43	4	20.4	6	65	6
26-27	371	0	371	320	41	10	11.3	9	91	7
27-28	421	0	421	370	44	7	10.6	8	109	7
28-29	440	2	439	379	55	5	12.7	8	113	6
29-30	424	0	424	358	61	5	14.5	4	130	15
30-31	424	0	424	371	49	4	11.9	14	94	8
31- 1	449	0	449	385	52	12	11.9	5	89	20
April										
1- 2	447	0	447	385	54	8	12.3	3	87	8
2- 3	411	0	411	353	51	7	12.6	7	86	7
3- 4	445	0	445	104	11	0	10.5	0	30	7
4- 5	433	0	433	393	40	0	9.2	2	82	8
5- 6	183	0	183	157	22	4	12.3	4	50	1
6- 7	390	0	390	341	48	1	12.3	11	105	6
7- 8	374	0	374	327	40	7	10.9	7	184	18
Total	7,699	4 (1)	7,695	6,204	972	189		258	2,590	204

M. T.*: Magnetic tape Down** : $\frac{\text{Down}}{\text{Up}+\text{down}} \times 100$ (): S-P > 8 sec

Table 2. Observation analysis results for the second period.
(July 1-July 30, 1966)

Date	Nos. of Shocks M. T.* record	Nos. of except Matusiro Swarm	Matusiro Earthquake Swarm							
			Nos. of Shocks	First Motion			Down**	Magnitude		
				up	down	unknown	%	0	1	≥ 2
1966 July										
1- 2	90	0	90	60	21	9	26.0	0	50	0
2- 3	128	0	128	85	34	9	28.6	0	90	11
3- 4	119	0	119	92	24	3	20.7	0	88	13
4- 5	95	(1)	94	71	21	2	22.8	5	78	6
5- 6	145	0	145	112	26	7	18.5	17	117	5
6- 7	164	0	164	123	37	4	23.1	16	135	10
7- 8	116	0	116	91	24	1	21.0	15	92	7
8- 9	123	0	123	95	26	2	21.1	9	105	9
9-10	156	1	156	123	30	3	19.7	10	136	8
10-11	162	0	162	119	36	7	23.0	8	135	18
11-12	186	0	186	141	42	3	23.0	11	157	13
12-13	77	1	76	59	16	1	21.4	8	64	4
13-14	155	0	155	107	40	8	27.2	8	129	13
14-15	177	0	177	132	40	5	23.2	18	143	12
15-16	157	0	156	116	31	9	21.1	4	147	2
16-17	170	0	170	119	35	16	22.7	2	47	5
17-18	168	0	168	121	30	17	21.7	0	51	2
18-19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20-21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21-22	118	0	118	79	29	10	26.8	2	92	6
22-23	111	0	111	77	25	9	24.5	2	99	8
23-24	66	0	66	49	16	1	24.6	0	61	3
24-25	162	(3)	159	109	40	10	26.8	3	85	9
25-26	155	0	155	103	38	14	26.9	0	89	7
26-27	112	0	112	81	24	7	22.9	1	76	4
27-28	48	0	48	35	9	4	20.4	3	41	3
28-29	95	0	95	70	22	3	23.9	0	83	5
29-30	84	0	84	67	14	3	17.3	1	44	5
Total	3,339	2(4)	3,333	2,436	730	167		143	2,434	188

M. T.*: Magnetic tape Down** : $\frac{\text{Down}}{\text{Up}+\text{down}} \times 100$ (): S-P > 8 sec

われわれのもとめた松代地震域とその周辺の震央と大竹らの観測した震央との関係をあらわしたものが Fig. 5 である。また毎日解折してえた9日あるいは10日分の震央をまとめて記入したのが Fig. 6 で Magnitude 別に示してある。

2) みかけの速度

前に述べたように松代群発地震とその周辺の地震活動との関連についても興味ある事実が判明したが観測された地震の殆んどが松代附近のものであつたので以下は松代群発地震の中野での観測結果についての考察を述べる。

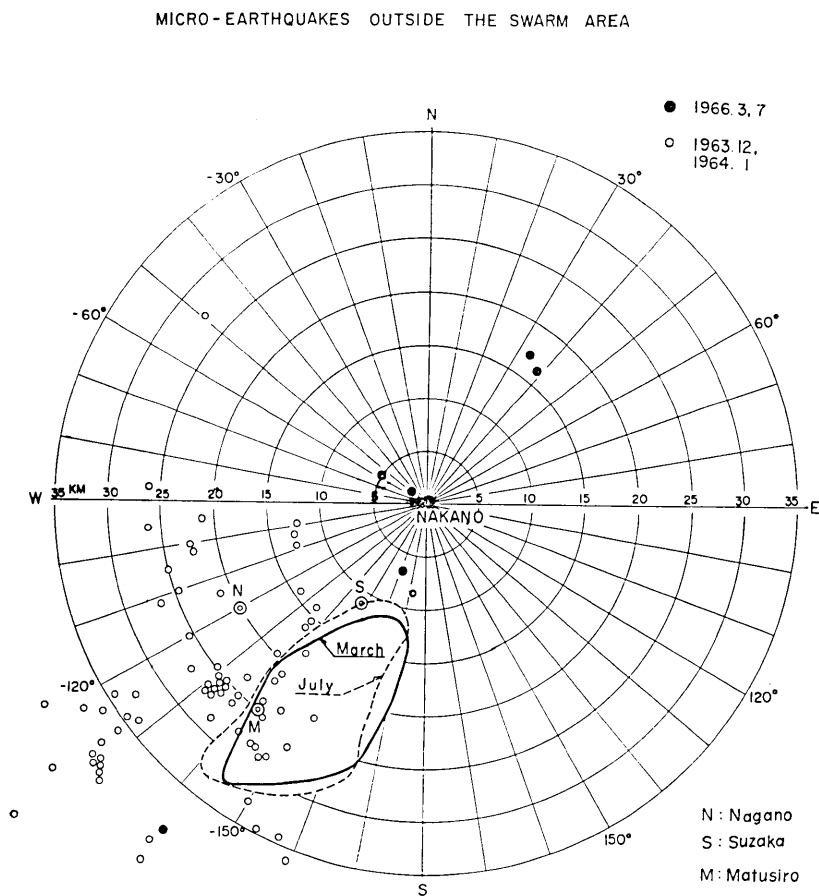
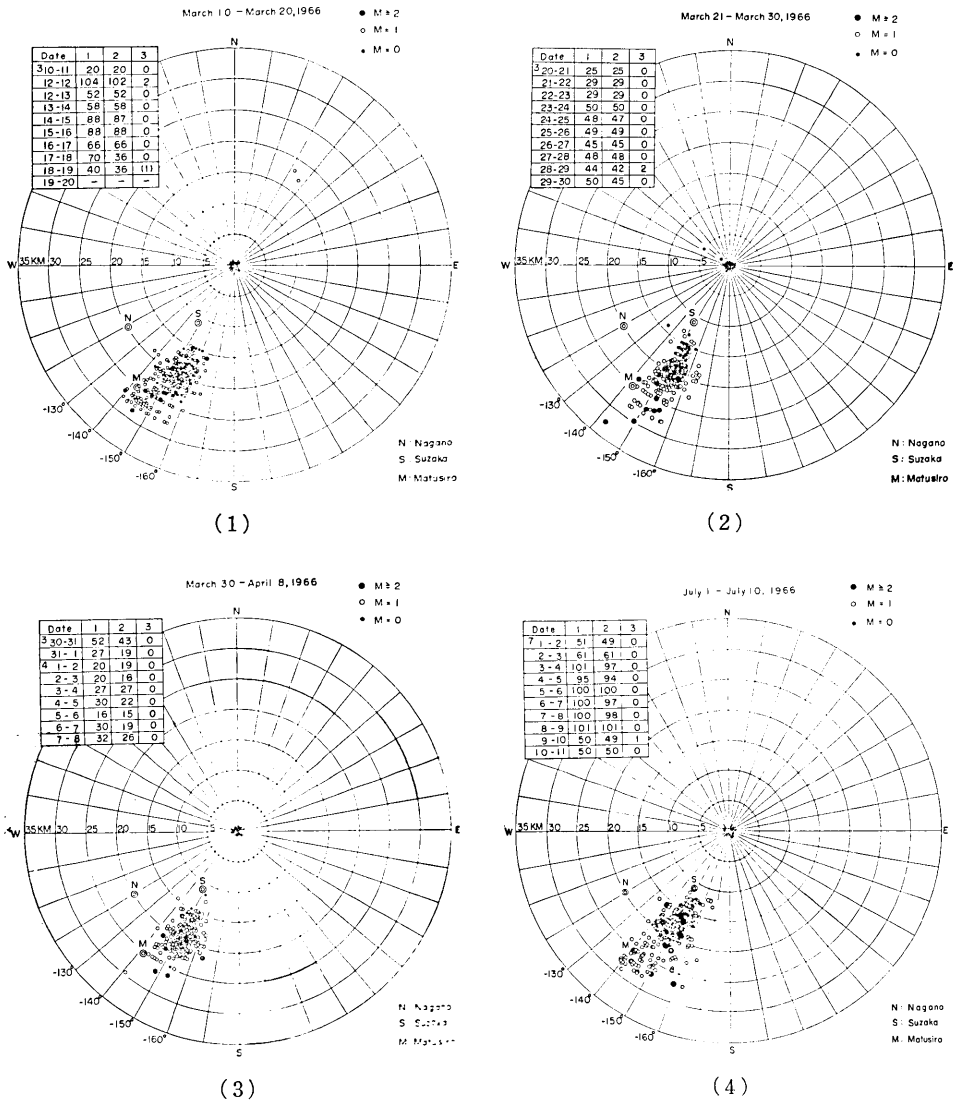


Fig. 5. Epicenters located by the P-wave correlation method applied to the tripartite observation at Nakano. Epicentral distances are calculated by the assumption of Omori constant k or the velocity of fictitious S-P waves being 7.6 km/sec.

○: Location of epicenters observed by Ohtake, Asada and Suyehiro.

初動のみかけ速度の頻度分布を押し、引き別にあらわしたのが Fig. 7 である。押し、引きそれぞれの分布状況には特に差異は認められず大体 5.0~6.0 km/sec の値に分布し平均値は 5.4~5.6 km/sec で、おそらくこの附近の第一層の速度をあらわすものであろう。爆破グループ⁶⁾ できめたこの附近の $V_1 = 5.55$ km/sec (厚さ約 8~9 km) とおおむね一致している。

つぎにみかけ速度と S-P 時間および波の到来方向の頻度分布から観測点およびその



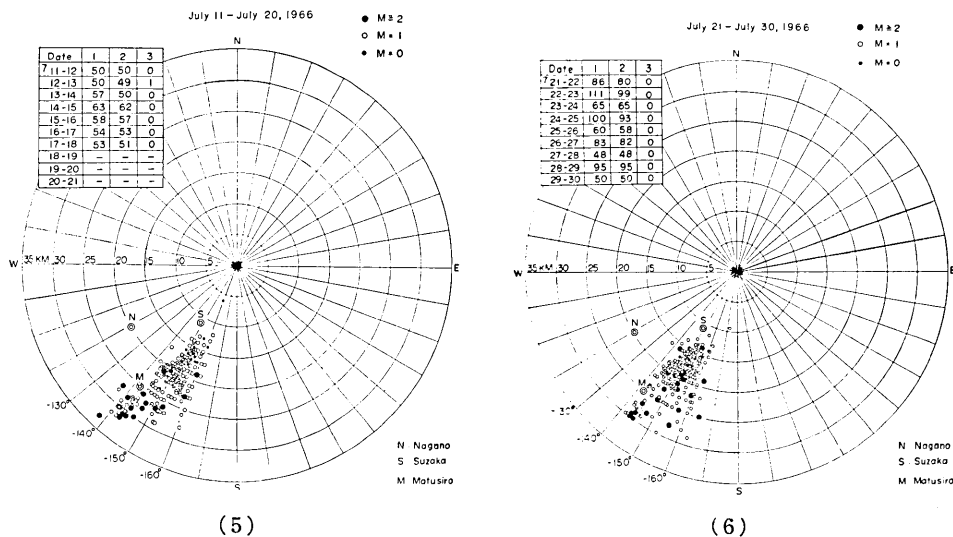


Fig. 6. Location of epicenters observed at Nakano.

- 1: Nos. of shocks analysed.
- 2: Nos. of Matusiro earthquake swarm.
- 3: Nos. of excepting Matusiro earthquake swarm.

附近の地下構造が推定できることは安芸³⁾によつて発表されている。Fig. 8のaはみかけ速度とS-Pの関係をあらわし図から中野附近の地下では4.8 km/secのP層が地表上に直接露出しているようである。またbは波の到来方向をA(-140°~-149°), B(-150°~-159°), C(-160°~-169°)にわけてその頻度分布を調べたものであるが、震源域がせまいので余りこまかいことは推定できないがカーブはどれもあるみかけ速度の値以下になると急におちてくる。この点の中野からみてその方位におこる地震の第2層に沿つた屈折波のみかけ速度をあらわしているものと思われる。すなわちAでは5.2~5.4 km/secでおちるがB, Cではあきらかに5.4~5.6 km/secでおちる。これは皆神山を含むA地域から東南

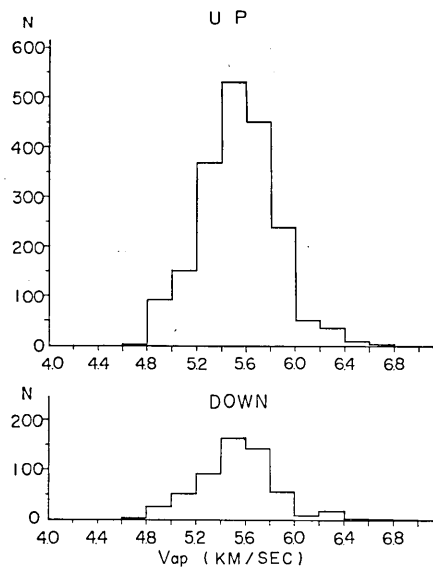
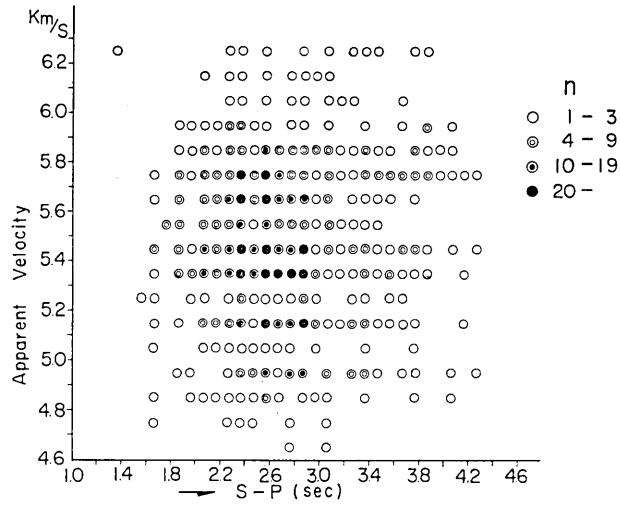
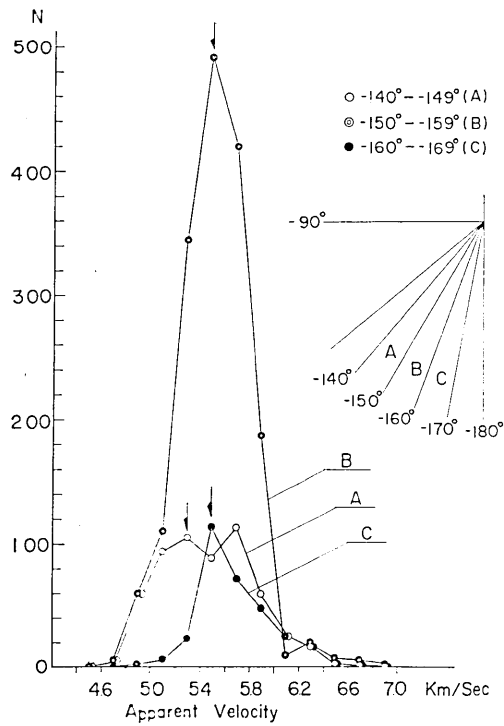


Fig. 7. Frequency distribution of the apparent velocity of P waves from the microearthquakes observed at Nakano.



(a)



(b)

Fig. 8 a: apparent velocity of P waves observed at Nakano plotted against the S-P times.
 b: frequency distribution of the V_{ap} observed at Nakano for the shocks occurring in each A ($-140^\circ \sim -149^\circ$), B ($-150^\circ \sim -159^\circ$), C ($-160^\circ \sim -169^\circ$).

にあたる B, C 地域にむかつて第 2 層がある傾斜をもつていれば観測事実が証明される。また到来方向が実際の震央より若干左寄りに観測されたのは前記事実のためである。

3) 押し引きと地震活動

P 波の活動の押し引きと地震活動とは密接なつながりがある。中野で観測された毎日の松代地震の引きの数とその日のテープに記録された地震数に対する比率と松代地震観測所発表による日別地震回数との関係を示したのが Fig. 9 で引きの比率が減少すると逆に地震回数が増し、引きの比率が増加すると地震活動は低下するようである。

また押し引きの地理的分布をとると Fig. 10 a, b のようで、a は第 1 次の分布で保科附近に押し引きとも集中して発生しておりその活動範囲も 150 km² であつたが、b の第 2 次では若干ひろがりを見せ第 1 次と同じく保科附近に活動の集中していることをあらわすが、押しの分布をみるとこの期間では松代の南約 5 km 附近に別の活動域ができたことをあらわし、これは 7 月以降の活動が南に拡がりをみせた事実から多点観測法による 1 観測点の資料から前もつて震源域拡大の徴候を感知し得たことは注目に値する。

4) 松代群発地震と和歌山群発地震

わが国におけるもつとも顕著な局発性群発地震活動として知られている和歌山地震群は 1920 年以來活動をつづけているがその和歌山附近の有感地震と松代群発地震の有感地震の消長とを図示してみると Fig. 11 で、前者が前後 46 年間に 5,843 回であるのに比し後者のそれは僅か 1 年間に実に 50,515 回で年平均有感数比は約 400 倍にあたる。この事実からも松代地震の活動度のはげしいことを知ることができる。しかし活動の時間的消長がスケールをかえてみると相似性があることが注目される。

5) 最大振幅およびマグニチュードの頻度

最大振幅と地震回数との関係は所謂石本・飯田の関係式 $N=KA^{-m}$ であらわされる。

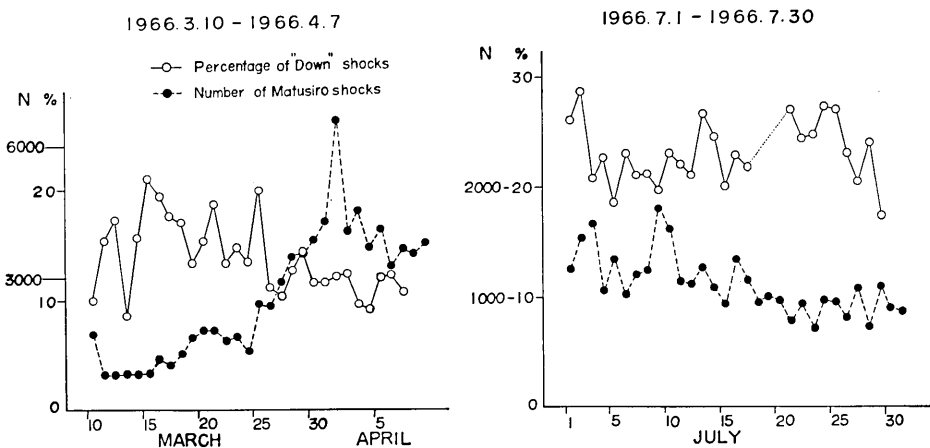


Fig. 9. Relation between initial motion of P waves and frequency distribution of Matusiro earthquakes.

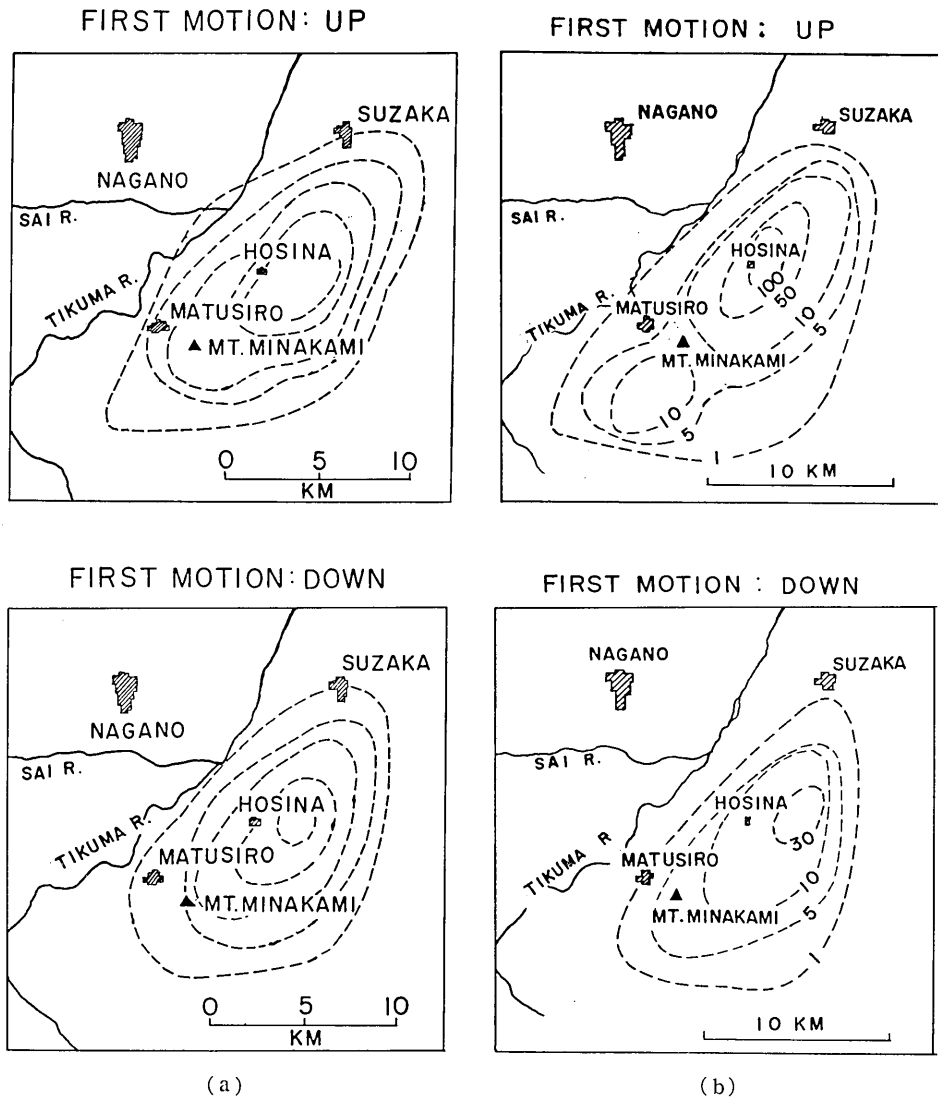


Fig. 10. Epicenter density maps of the Matusiro earthquakes with push or pull motion of P at Nakano station during the periods of a: March 10-April 8, 1966 and b: July 1-July 30, 1966 respectively.

Fig. 12 はモニター記録からよみとつた最大複振幅の値と積算回数 ΣN との関係をあ
らわしているが、振幅 2 mm 以下および 20 mm 以上のプロットが実線より外れている
のは前者は土地雑微動の影響によるみおとしのためであり、後者はペン書検流計の振
幅特性から真の値より小さくよみとられたためである。第1観測期間の $m=1.9$ である

に反し第2次の7月の $m=1.7$ と小さい値を示しているが地震活動度との関係はわれわれの観測結果からは余りはつきりしない。

次に再生記録からえた最大振幅または S-P 間の平均振幅の値から速度振幅をもとめ村松⁷⁾の方法で M をきめたのが Fig. 13 で、この図からみてわれわれは大体 $M2$ 前後から0の一部の地震を観測したことになる。0の少いのはトリガーレベルの関係である。また図からもとめた $b=1.11$ はさきに観測部でえた松代地震群の $b=1.34$ より小さい。

以上中野における多点観測結果から松代群発地震とその周辺の地震活動との関係について若干の考察を試みたが、われわれの観測期間中は松代地震域外の周辺常時活動が一時停止状態であることが判明した。次にみかけの速度からこの附近の地下構造について若干の推定ができた。また中野1観測点で観測された地震のP波初動の押しの地理的分布から地震活動の動静、拡がりがかかなり迅速に適確にとらえることが可能であることがわかった。一方P波初動の引きの増減率と地震活動との間に何か関連性のあることも考察できた。

しかしこれらの結果はいずれも短期間の断続的観測のため結論的なことはいえない。今後更に同一観測条件のもとで観測をおこない松代群発地震と周辺常時活動との関係について研究をすすめたい。

4. 謝 辞

本観測実施にあたっては現地長野県中野市役所職員の方々をはじめ観測室の利用を心よく許可された常楽時牧嶺慈氏の援助をえた。心から感謝の意を述べたい。また前後2回にわたる観測に際し本所長萩原教授をはじめ宮村教授から常に激励を与えられた。また安芸元助教授ならびに松本英照氏からは種々有益なる助言を与えられた。ここに衷心より謝意

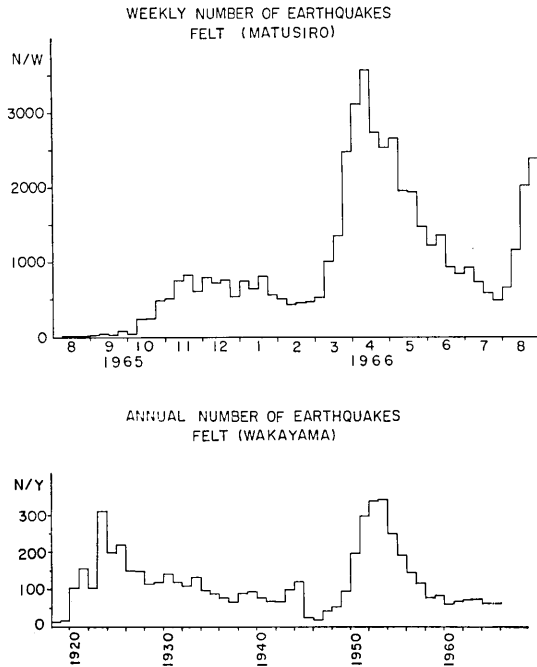


Fig. 11. Relation between the Matusiro earthquake swarm felt during a year at Matusiro Seismological Observatory and the Wakayama earthquake swarm felt during a half century at Wakayama Local Meteorological Observatory.

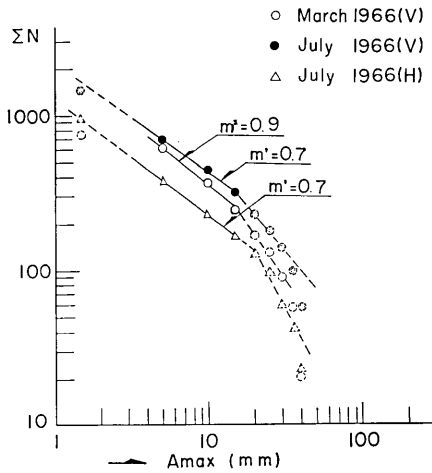


Fig. 12. Frequency distribution of maximum trace amplitudes by the monitor drum record at Nakano. m' is the gradient of cumulative curve and Isimoto-Iida's coefficient $m = m' + 1$.

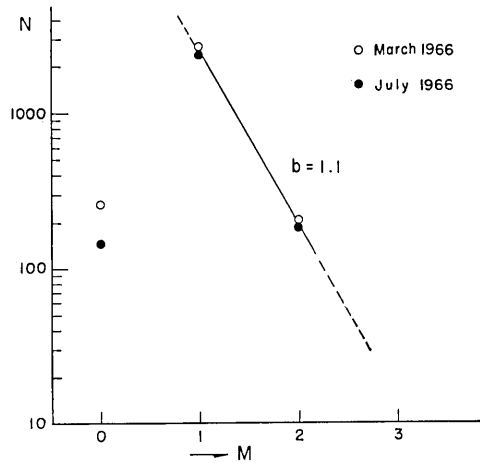


Fig. 13. Frequency distribution of the magnitude of Matusiro earthquakes observed at Nakano.

を表す。なお観測に協力された同僚吉原暉雄、高橋正義、中村功、神定健二の諸氏および観測計器の輸送に協力をえた事務部の方々に深く感謝したい。

References

- 1) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, H. MATUMOTO and S. ANDO, "Observation of Aftershocks of the Kita Mino Earthquake, Ang. 19, 1961". Bull. Earthq. Res. Inst., **39** (1961), 895-908.
- 2) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, H. MATUMOTO and S. ANDO, "Observation of Aftershocks of the Kita Mino Earthquake, Ang. 19, 1961". Bull. Earthq. Res. Inst., **39** (1961), 895-908.
- 3) K. AKI, "Study of Earthquake Waves by a Seismometer Array". Bull. Earthq. Res. Inst., **40** (1962), 371-389.
- 4) K. AKI and H. MATUMOTO, "Study of Earthquake Waves by means of a Seismometer Array". Bull. Earthq. Res. Inst., **41** (1963), 279-292.
- 5) M. OHTAKE, T. ASADA and S. SUEHIRO, "A Distorted Distribution of Apparent Velocities Observed With Ultra-sensitive Tripartite Network". ZISIN, II. **18** (1965), 15-24.
- 6) T. MIKUMO, M. OTSUKA, T. UTSU, T. TERASHIMA and A. OKADA, "Crustal Structure in Central Japan as Derived from the Miboro Explosion-Seismic Observations". Bull. Earthq. Res. Inst., **39** (1961), 327-349.
- 7) I. MURAMATSU, "On the Equation to Define the Earthquake Magnitude". ZISIN, II. **17** (1964), 210-221.

26. *Matusiro Earthquake Swarm and Its Peripheral Seismicity.*

By Minoru HORI,
Earthquake Research Institute.

The Matusiro earthquake swarm started at the beginning of August 1965. Since then, this swarm has become more active with occasional rise and fall of intensity. In December 1965, as the result of survey by the Geographical Survey Institute an irregular upheaval between Toyono and Nakano was found.

Thereupon, a temporary seismometer array station was installed at Nakano City, Nagano Prefecture, Central Japan, about 27 km north-east of Matusiro.

Tripartite stations were occupied, as shown in the map of Fig. 1 near the temporary observation room of a temple, Zyorakuzi, and from March 9th to April 8th 1966 and from July 1st to 30th, 1966, observations were carried out two times almost continuously.

Observation results of the above are given in Tables 1, 2. Frequency distribution of S-P interval observed is shown in Fig. 3. At Nakano the S-P times between 2.2-3.0 sec were most frequent in March 1966 but S-P times 3.2-3.4 sec began to increase in July 1966.

Using Omori's constant $K = 7.6$ km/sec we obtained the epicentral distance of each shock by its S-P time.

Thus the distribution of earthquake epicenters was obtained as in Fig. 5. We could find only a few shocks not belonging to the Matusiro earthquake swarm during the observation period. We suspect that the ordinary seismicity as observed by Ohtake et al.⁵⁾ in 1963-64 in the north Nagano Prefecture has been interrupted for the present Matusiro earthquake swarm.

Apparent velocities of P waves for Matusiro earthquakes are plotted according to their S-P times from the Nakano station in Fig. 8a.

The average apparent velocity of P waves across the array was 5.4 km/sec for the Matusiro earthquakes, the azimuthal frequency distribution of the apparent velocities suggesting the existence of an interface between the layers with P wave velocities 5.2 km/sec and 5.4 km/sec dipping down to the southeast. (Fig. 8b).

The relation between the push-pull distributions of daily shocks in March and July 1966 and the seismicity of Matusiro earthquake swarm is shown in Fig. 9. The increase of percentage of down movement of P seems to be related with the lowering of seismicity in this region and it is suggested that the main activity of the swarm is represented by a certain mechanism giving the push movement of P at Nakono station.

On the other hand as shown in Fig. 10 it is noted that the two push movement centers for the period b indicate the geographical spreading of the activity in the latter period.