

8. 伊豆半島における群発地震の観測 (1975~1977)

地震研究所 { 津 村 建四朗
唐 鎌 郁 夫
荻 野 泉
酒 井 要
高 橋 正 義

(昭和 52 年 8 月 23 日受理)

1. ま え が き

1974 年 5 月 9 日の伊豆半島沖地震 ($M=6.9$) に伴ない、伊豆半島南西岸に沿って余震活動がみられた他、半島中央部にも地震活動が誘発された (たとえば、唐鎌他, 1974)。しかし、半島東部は静穏に経過していた。ところが、1975 年 8 月頃から半島東部でも浅い微小地震活動が始まり、同年 10 月 26 日以降特に活発化した。この頃の震源は遠笠山附近に集中していたが、次第に伊豆半島東部一帯に拡がり、1976 年 2 月には、東海岸の北川付近でもやや顕著な活動がみられた他、伊豆大島との中間の海底にも群発地震が発生した (地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 1976a, 1976b)。一方、1976 年 1~4 月に実施された水準測量により、伊豆半島東部では、それに先立つ 1 年余りの間に著しい隆起が進行しており、伊東市西方の冷川峠付近で隆起量は最大 15 cm にも達していることが明らかにされた (国土地理院地殻調査部, 1976)。さらに、検潮、重力測定、光波測量の結果でも、地殻変動の急速な進行が裏付けられた (国土地理院地殻調査部, 1976; 地震研究所測地移動観測班, 1976; 地震研究所地殻変動移動班, 1976)。これらの事実は、地震予知連絡会でも注目され、関連諸機関により、各種の調査がすすめられた。地震活動は次第に衰えつつあるようにみえたが、1976 年 8 月 18 日に、隆起域の南端に近い河津町で $M=5.4$ の地震が発生し、被害を生じた。この地震は、気象庁による正式の命名はされなかったが、以下では、簡単のため「河津地震」と呼ぶことにする。

地震研究所による今回の群発地震の調査は、1975 年 8 月に、伊東市にある奥野観測点において、至近距離の微小地震回数の急増が認められたことを契機として開始された。まず、同年 9 月上旬に、湯ヶ島と河津に臨時観測点を設置し、以後、地震活動の推移に対応して、市山、奈良本、梨本に順次臨時観測点を増強して高感度地震計による連続観測を実施した。(湯ヶ島と梨本を除き、観測継続中)。今回の観測によって得られた大量のデータの解析は、まだ充分行われていない面もあるが、観測の概要と、地震活動の経過について簡単に報告する。なお、これらの観測データは、地震予知連絡会へも逐次報告され、予知に関する判断の重要な資料として利用された。

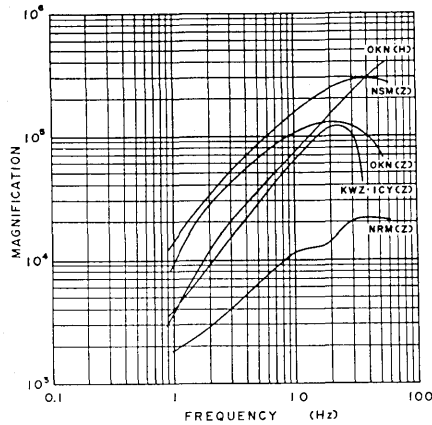


Fig. 2. Magnification curves of the seismographs used in the Izu Peninsula.

Vp (km/s)	H (km)	Vp (km/s)	H (km)
2.83	0.60	5.45	5.06
5.45	4.46	6.05	14.94
6.05	14.94	6.80	10.00
6.80		7.80	

(A)

(B)

Fig. 3. Crustal structures used for the hypocenter determinations by the RESEARCH GROUP for AFTERSHOCKS (1975) of the 1974 Izu-Hanto-oki earthquake (A), and used for the present study (B).

と河津 (KWZ) は、今回の活動の初期 (1975 年 9 月) に設置された。YGS は、ノイズ・レベルが高いため、1975 年 11 月に約 1 km 南に、市山 (ICY) を増設し、これに切替えた。OKN, KWZ, ICY は後に拡大した活動域を丁度とり囲むように位置しており、震源決定に最適の配置となった。奈良本 (NRM) は、1976 年 2 月の北川附近の活動に際して増設された。OKN と KWZ の丁度中間に位置するため、南北 2 つの観測網を形成し、極微小地震の震源決定に効果を挙げた。但し、昼間の人工的なノイズの大きい期間があり、データは時間的に均質ではない。梨本 (NSM) は、1976 年 9 月に、河津地震の余震観測を目的として増設され、同年末に撤収された。臨時観測網は、初期には、ケーブル断線等の故障が相次ぎ、十分なデータが得られなかったが、1975 年 11 月中旬以降は、ほぼ連続的に活動をモニターすることができた。記録は、週 1~2 回郵送により回収したが、必要に応じ職員が各点を巡回して回収したことも多い。

データの処理は、関東地方の地震研究所の定常観測データの処理方式 (津村, 1973) に準じて行われた。但し、震源決定の際の地殻構造は、最初、伊豆半島沖地震余震共同観測班 (1975) の採用した第 3 図 (A) を仮定したが、後に、表層の 2.83 km/sec 層を除い

た (B) の方が、深さの決りがよいことがわかったので、すべてこれにより再決定した。計算途中で深さが負となった場合は深さを 5 km に固定して震央が求められている。断面図 (第 5 図 (B)) で 5 km に並んでいる震源は、そのような計算手続きによる見掛けのものである。マグニチュード M は、各点の振動継続時間 ($F-P$) から堀 (1973) の式

$$M = -2.57 - 2.96 \log (F-P) \quad (1)$$

により求め、平均した値を仮に採用した。また、渡辺 (1973) の式

$$0.85 M - 2.50 = \log A_0 + 1.73 \log r \quad (2)$$

(ここに、 A_0 は、上下動最大速度振幅 (kine), r は震源距離 (km)) により計算した M の平均値も求めた。(1) 式は、それぞれの地域、観測計器について、定数を再決定すべきものである。今回の結果は厳密には相対的な地震規模を表わす目安程度の意味しかないが、 $M \geq 2$ については、ほぼ (2) 式の結果に近い値となっている。 $M \leq 1$ については、(2) 式による値よりもかなり小さくなっているものが多く、 M については検討すべき点を残している。気象庁で M の決められているものについては、これによった。

よみとりは、OKN については、全期間一様な基準で行なったが、その他の観測点については、OKN のよみとりを基準にして明瞭なものだけについて行なった期間があり (1976 年 4~6 月)、また河津地震後 8 月末までは、さらに抜取的に処理した。後に示す震央分布図や時系列グラフは、観測点数の変化やこのような処理上の影響による歪をある程度含んでいる。

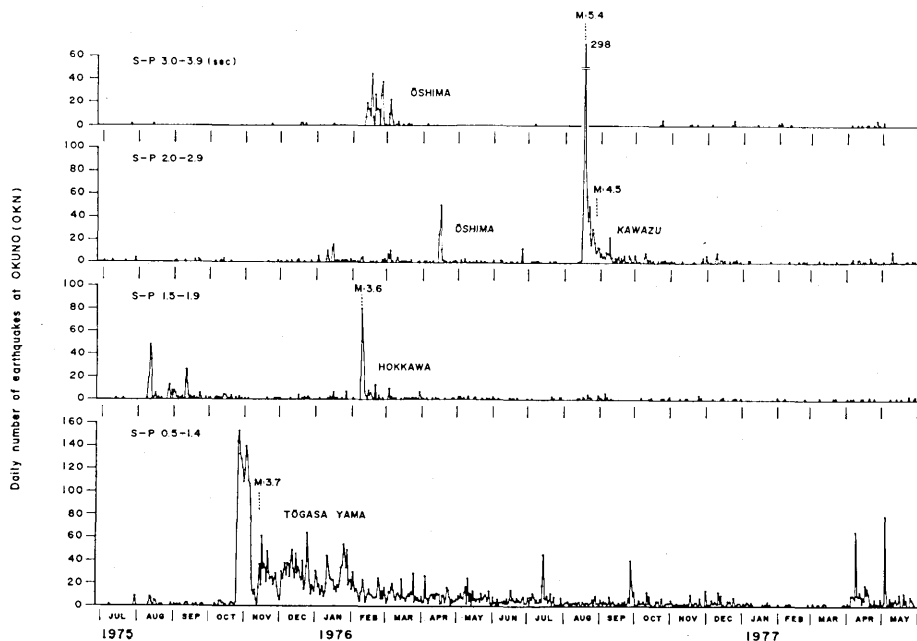


Fig. 4. Daily number of microearthquakes recorded at Okuno station (OKN), for different ranges of S-P time.

3. 地震活動の経過

第4図は、OKNで記録された日別地震回数の変化を、適当なS-P区間に分けて示したものであって、全期間における主要な活動の経過をよく表わしている。第2表は、これを月別に集計したものである。第5図は、観測網が整備され震源が精度よく求められるようになった1975年11月20日以降、1976年末までの震央分布図(A)と東西および南北断面図((B), (C))で、今回の群発地震活動の範囲を示している。なお、震源決定された地震の総数は約4000個であるが、本報告では、 $M < 0.5$ を除いたので約半数がプロットされている。第6図は、図の上部の地図に区画を示した範囲内の地震についての時空間表示を試みたものである。これらの図と、第7~25図に示す各月毎の震央分布図を参照しつつ、この群発地震の経過について述べる。

1974年5月9日に発生した伊豆半島沖地震($M=6.9$)は、伊豆半島南西海岸沿いに北西—南東方向にのびる余震域の他に、半島中央部の天城峠方面にも地震活動を誘発した(たとえば、余震観測班, 1975; 唐鎌他, 1974)。本震の2ヶ月後の7月9日には、 $M=4.9$ の地震が発生している(石橋・山科, 1975)。これらの地震のOKNにおけるS-Pは2秒以上であって、これよりもS-Pの短い、つまり伊豆半島東部の微小地震は、同所で観測を始めた1971年11月以降、伊豆半島沖地震前後を含め、その後もほとんど記録されず、伊豆半島沖地震の影響は、半島東部までは及ばなかったと思われる。ところが、

Table 2. Monthly number of earthquakes recorded at Okuno (OKN).

S-P (sec)		0.5~1.4	1.5~1.9	2.0~2.9	3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9	Total
1975	JUL	9	2	8	2	5	3	29
	AUG	32	144	0	1	2	3	182
	SEP	18	87	12	0	2	4	123
	OCT	816	36	11	0	1	2	866
	NOV	1244	6	3	1	2	3	1259
	DEC	872	13	14	6	5	9	919
1976	JAN	744	25	70	1	1	6	847
	FEB	340	206	27	270	4	15	862
	MAR	292	44	49	48	6	11	450
	APR	226	12	107	1	3	5	354
	MAY	235	20	20	0	2	9	286
	JUN	133	11	27	3	2	1	177
	JUL	194	11	12	5	0	3	225
	AUG	78	24	704	9	2	2	819
	SEP	132	16	141	8	0	1	298
	OCT	86	8	44	7	0	0	145
1977	NOV	52	12	13	3	1	0	81
	DEC	29	1	14	0	4	6	54
	JAN	19	0	12	1	3	5	40
	FEB	6	4	5	7	2	0	24
	MAR	10	3	5	0	4	0	22
	APR	224	8	21	12	0	3	268
MAY	168	9	19	3	2	1	202	
Total		5959	702	1338	388	53	92	8532

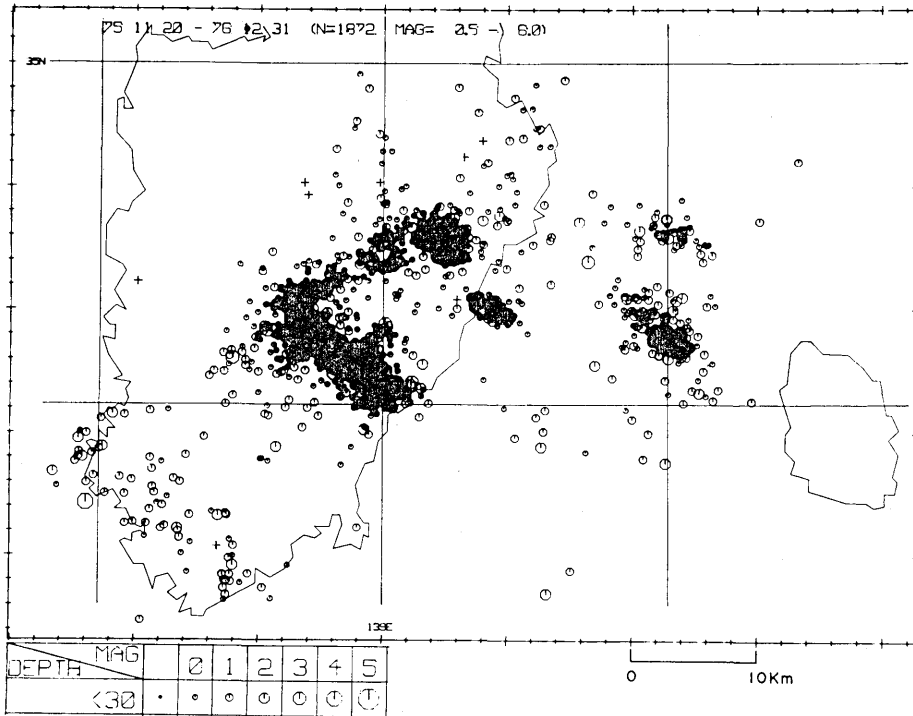


Fig. 5. (A)

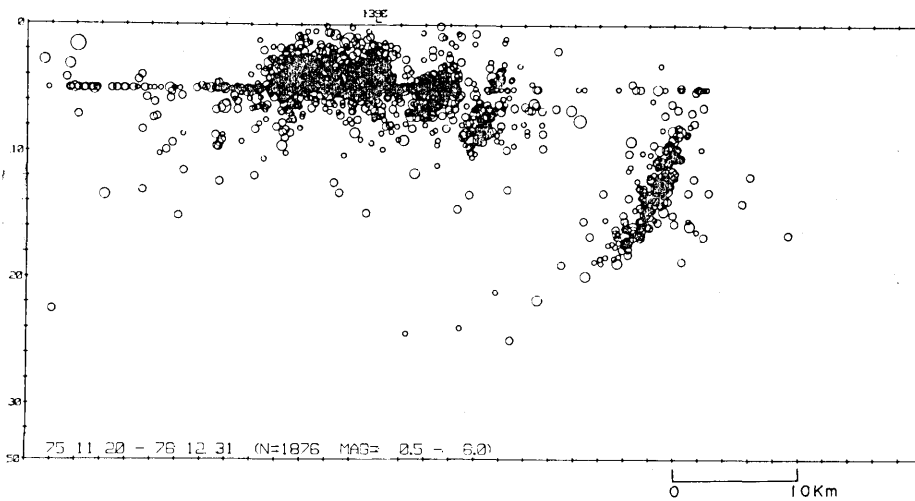
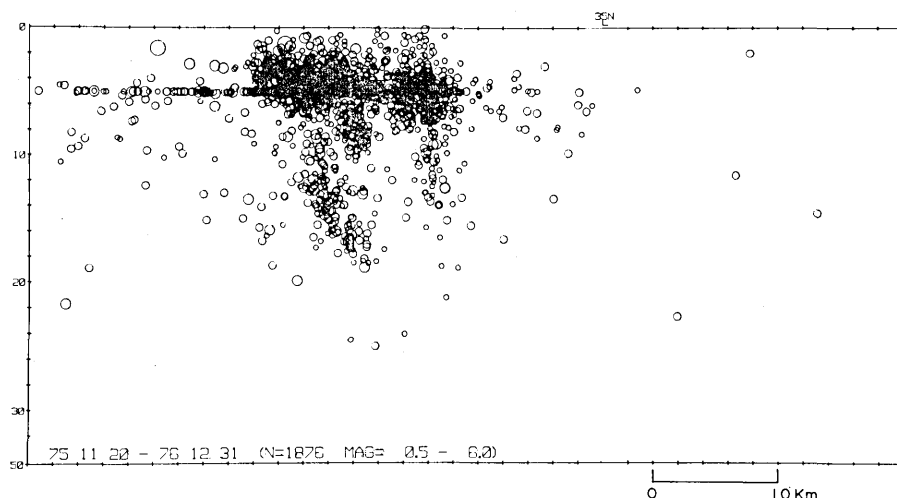


Fig. 5. (B)



(C)

Fig. 5. Distribution of epicenters located by the ERI temporary network for the period from November 20, 1975 to December 31, 1976 (A). Vertical distributions of the foci in the W-E and the S-N sections ((B) and (C)) are also shown. The foci at depth of 5 km are restrained ones. The westerly dipping seismic zone in the area between the Izu Peninsula and Oshima Island might be apparent one due to some error in the hypocenter determination.

1975年8月10日から12日頃にかけて、OKNでS-P1秒台の微小地震の数が急増し、12日には50回に達し(第4図)、半島東部にも活動が及んできた疑いがもたれた。この時期には臨時観測網はなかったので、正確な震源はわからないが、S-Pは、10月に降笠山附近に密集して発生した地震が1.0~1.3秒位であるのに対し、1.5~1.8秒位に計測されているので、それとは違った場所であったと考えられる。8月30日11時10分には $M=2.8$ の地震が発生し、広域の観測網からOKNの南約10km位が震央と推定されたので、9月上旬に先にのべたような配置で臨時観測点を展開したわけである。その後10月下旬まで特に顕著な活動はみられなかった。

10月26日01時18分からOKNでS-P1.0~1.3秒の微小地震の回数が急増し始め、26日中に143回、翌27日には最高の158回を記録し、11月5日まで連日100回を越える微小地震が観測された(第4図)。この活動は、記録郵送のための発見の遅れ、臨時観測点における連続的な故障等の悪条件が重なり、ピーク時における精密な震源決定は行えなかったが、11月5日のデータによって遠笠山附近に集中して発生していることが確かめられた。この活動の著しい特徴は、回数の割合には、やや大きい地震がほとんど発生しなかったことである。OKNにおける最大振幅頻度分布から求めた $m-1(\div b)$ の値は、第26図に示すように10月26日~31日に対して、2.0という大きい値となった(その後11月は1.6、12月1.2、1976年3月1.0と通常の値に近くなっている)。11月5日までの11日間の地震回数は1395回に達したが、その間の最大地震は、11月

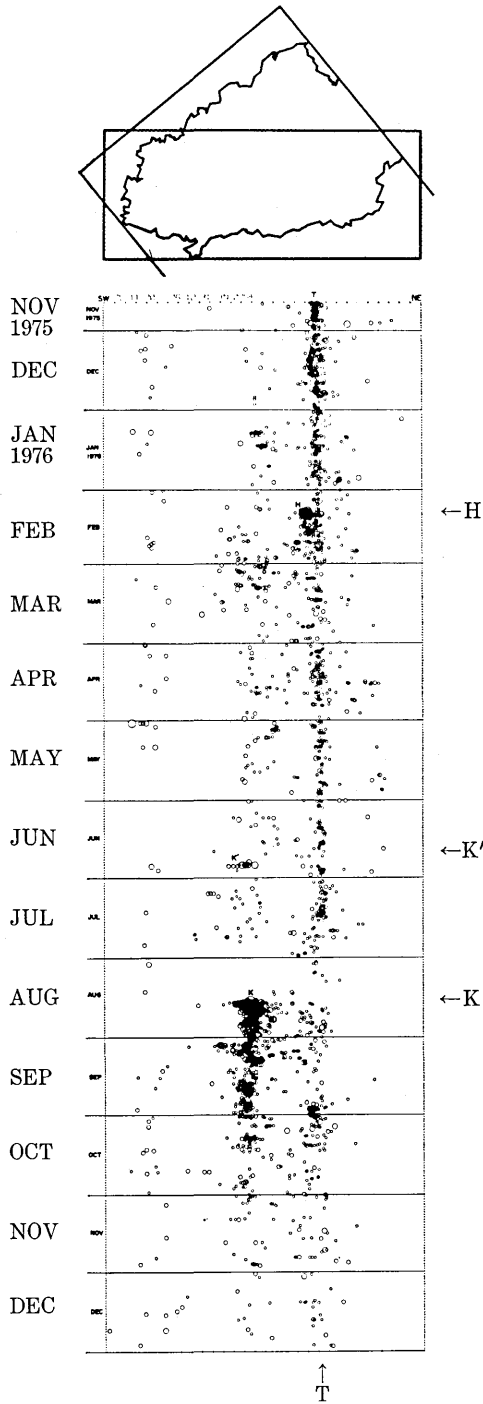


Fig. 6. Space-time plot of seismic activity in the Izu Peninsula.

T: Activity near Togasa-yama

H: Activity near Hokkawa

K': Swarm near Kawazu in June

K: The Kawazu earthquake and its foreshocks and aftershocks.

Earthquakes plotted on the left side are aftershocks of the 1974 Izu-Hanto-oki earthquake. Anomalous quiescent state before the Kawazu earthquake is obviously shown.

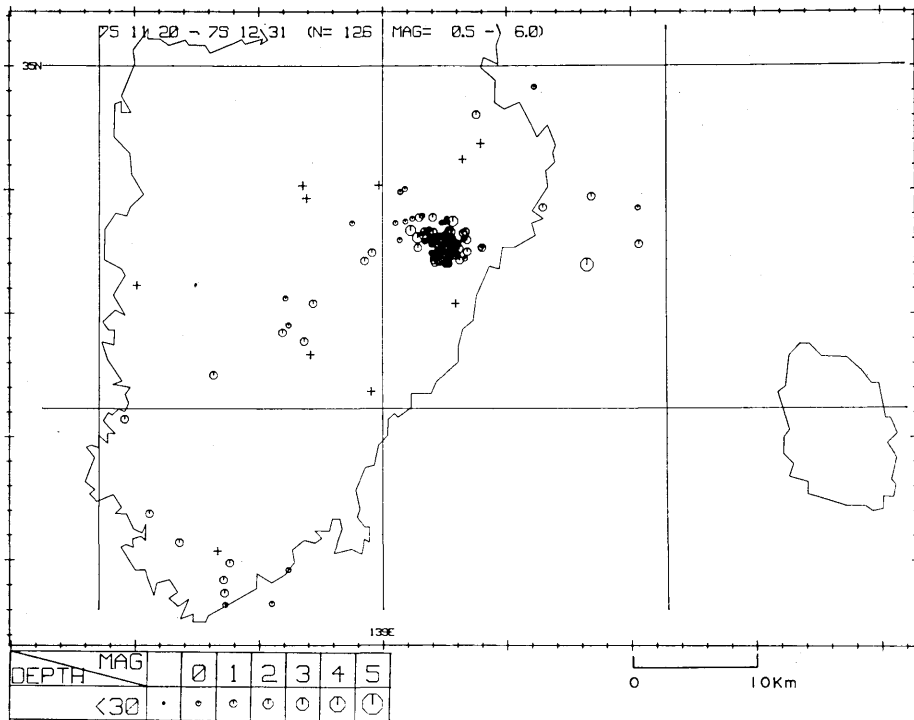


Fig. 7. Epicentral distribution of microearthquakes in the period from November 20 to the end of December 1975.

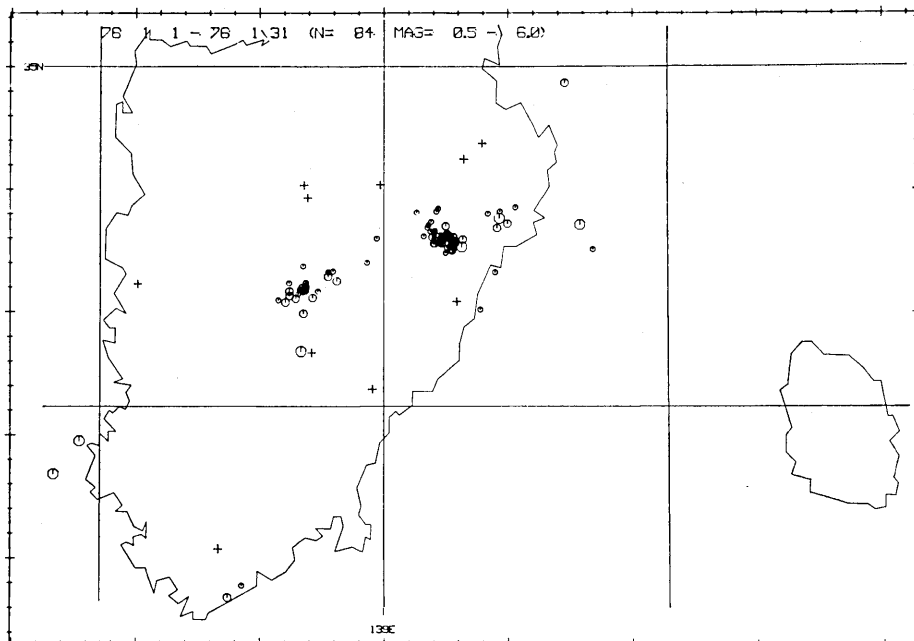


Fig. 8. Epicentral distribution of microearthquakes in January 1976.

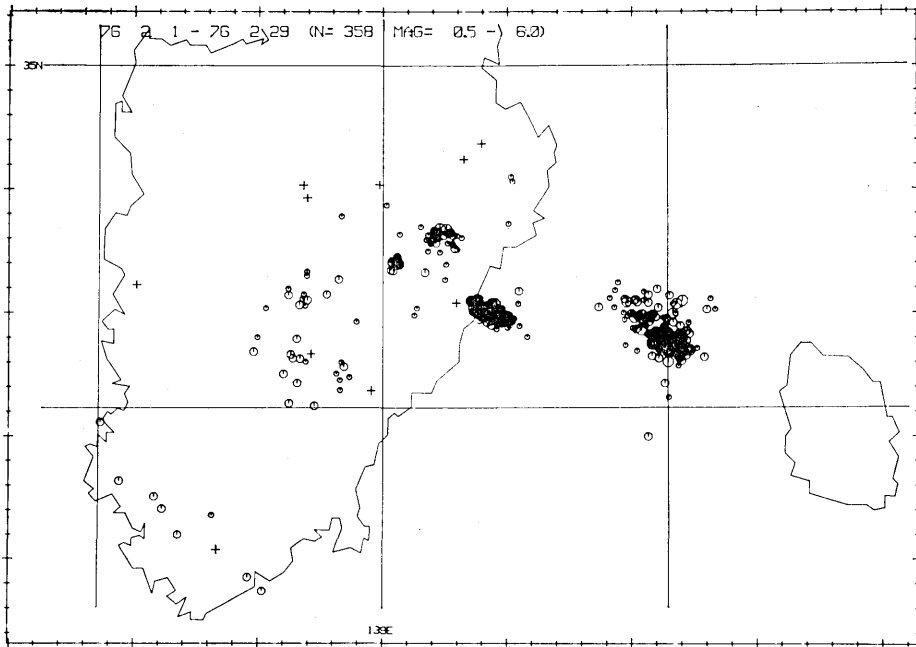


Fig. 9. Epicentral distribution of microearthquakes in February 1976.

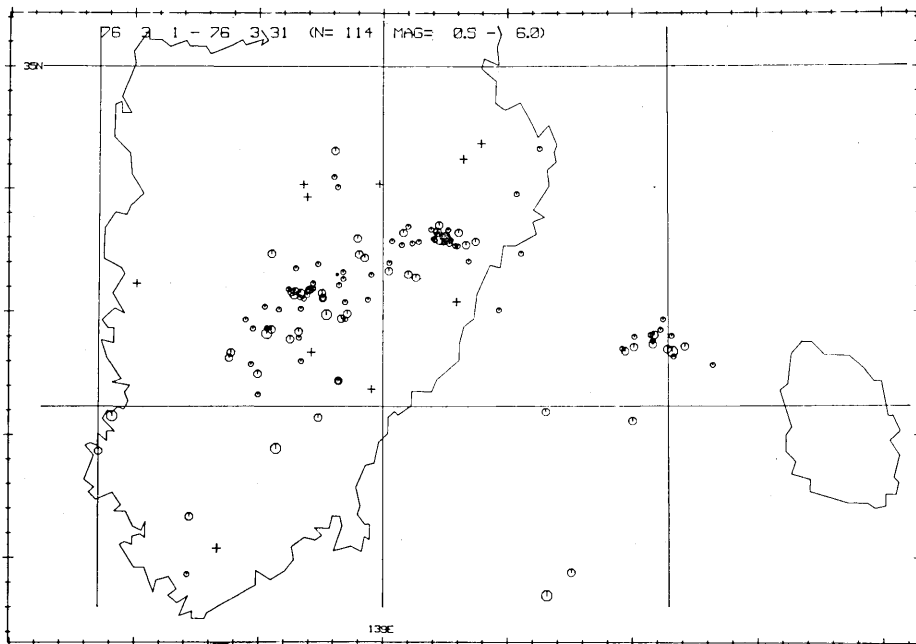


Fig. 10. Epicentral distribution of microearthquakes in March 1976.

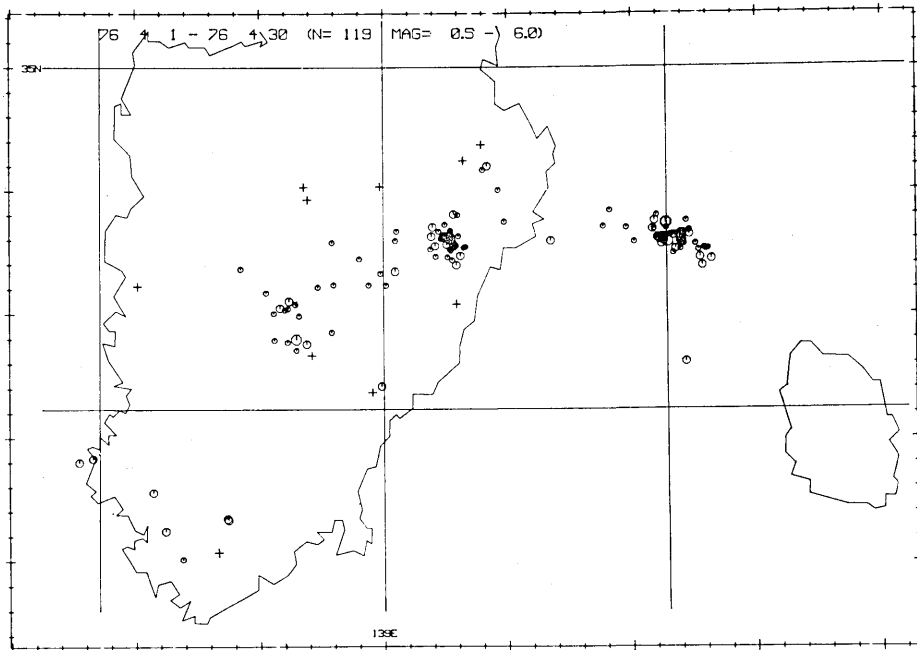


Fig. 11. Epicentral distribution of microearthquakes in April 1976.

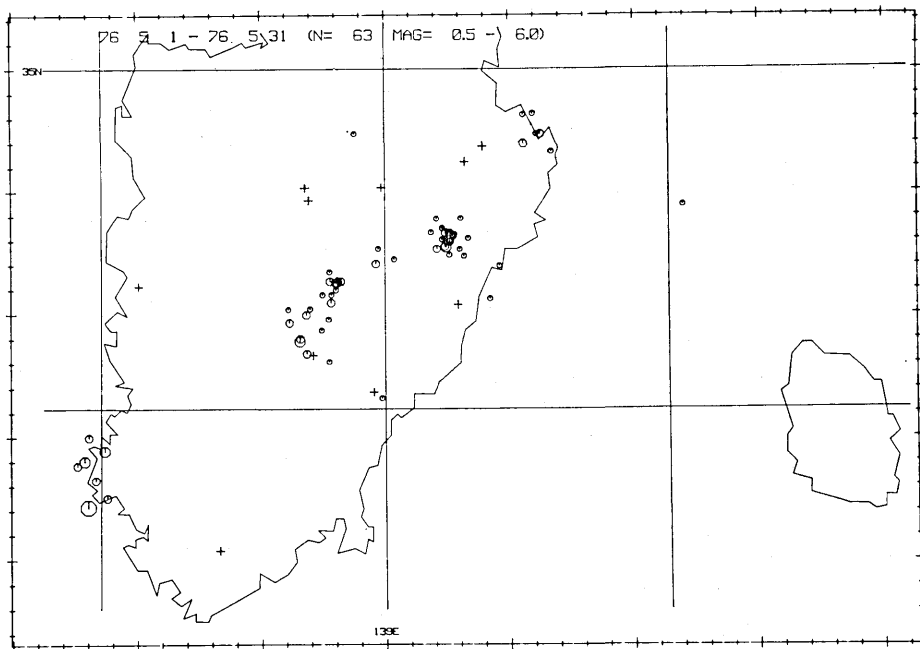


Fig. 12. Epicentral distribution of microearthquakes in May 1976.

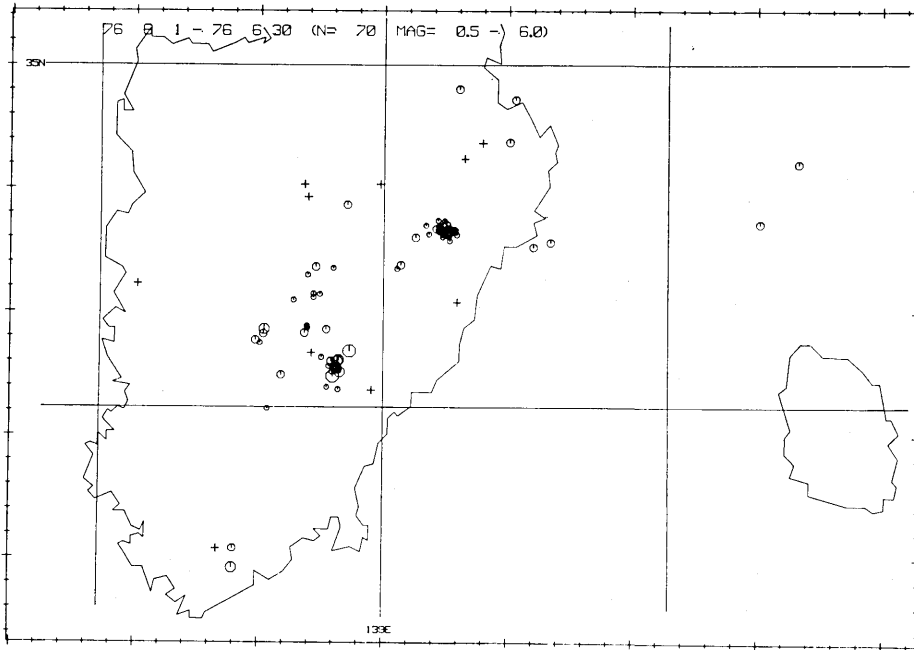


Fig. 13. Epicentral distribution of microearthquakes in June 1976.

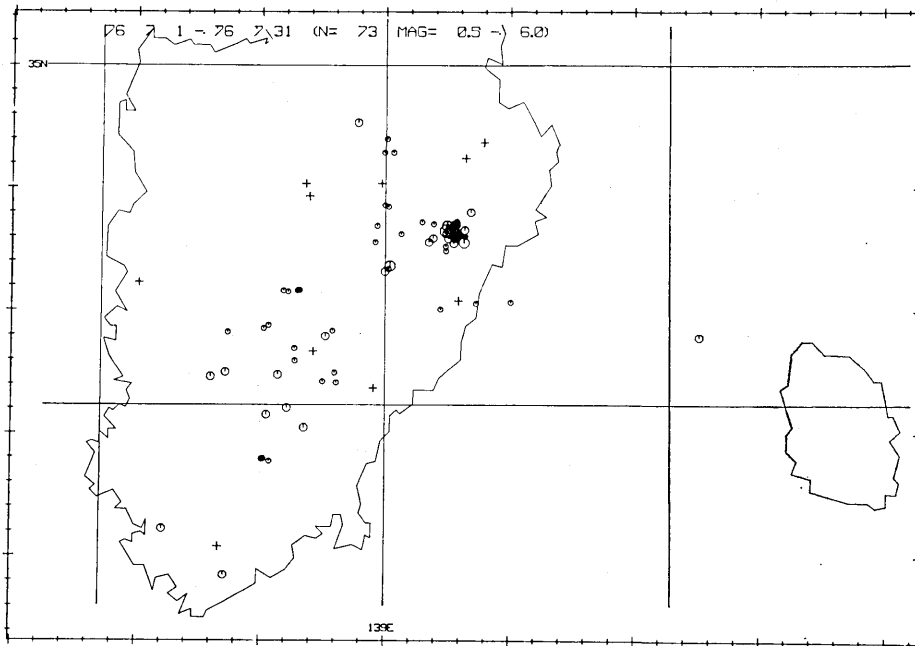


Fig. 14. Epicentral distribution of microearthquakes in July 1976.

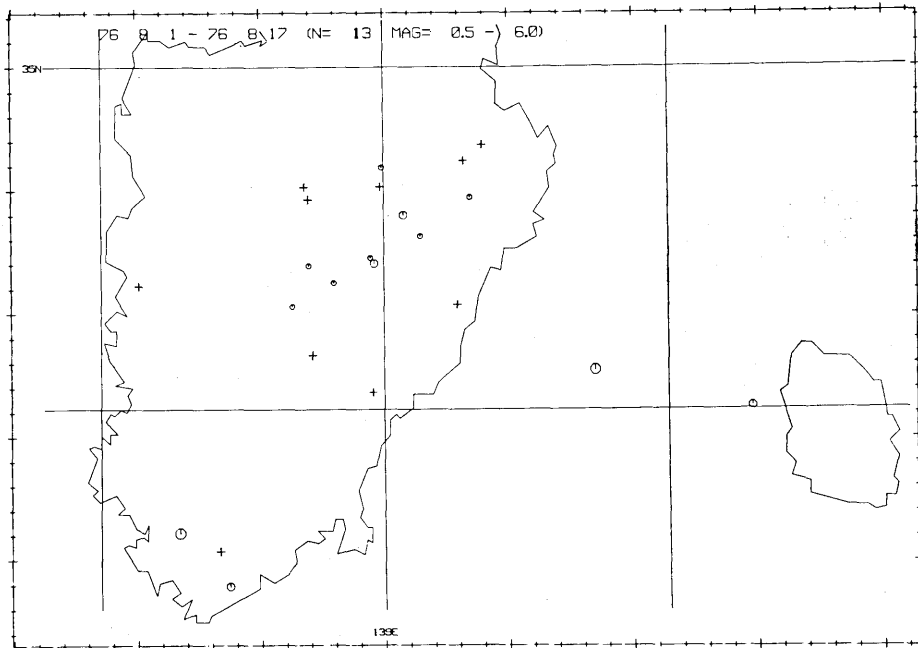


Fig. 15. Epicentral distribution of microearthquakes in the period from August 1 to 17, 1976.

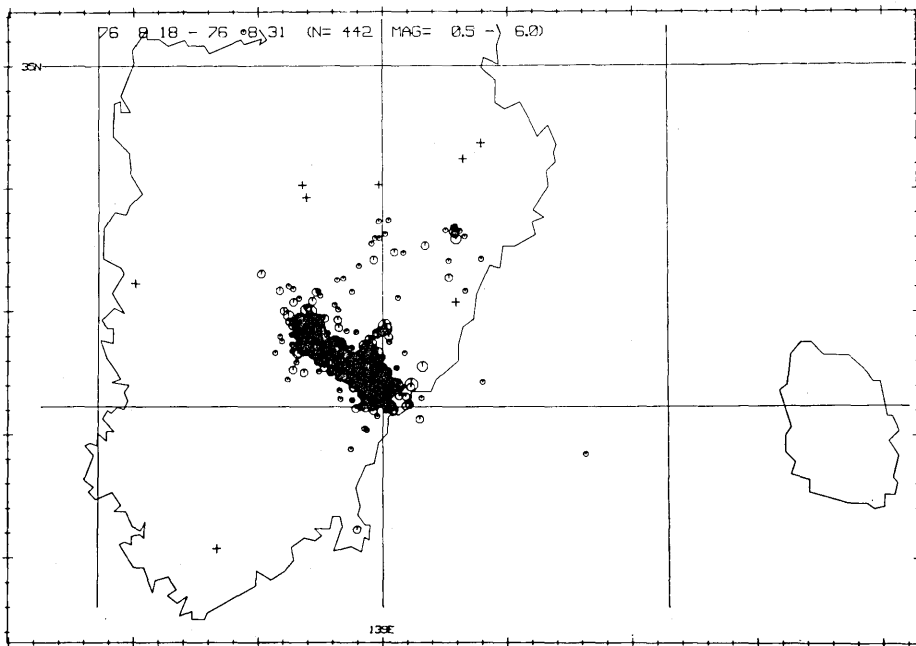


Fig. 16. Epicentral distribution of microearthquakes in the period from August 18 to 31, 1976.

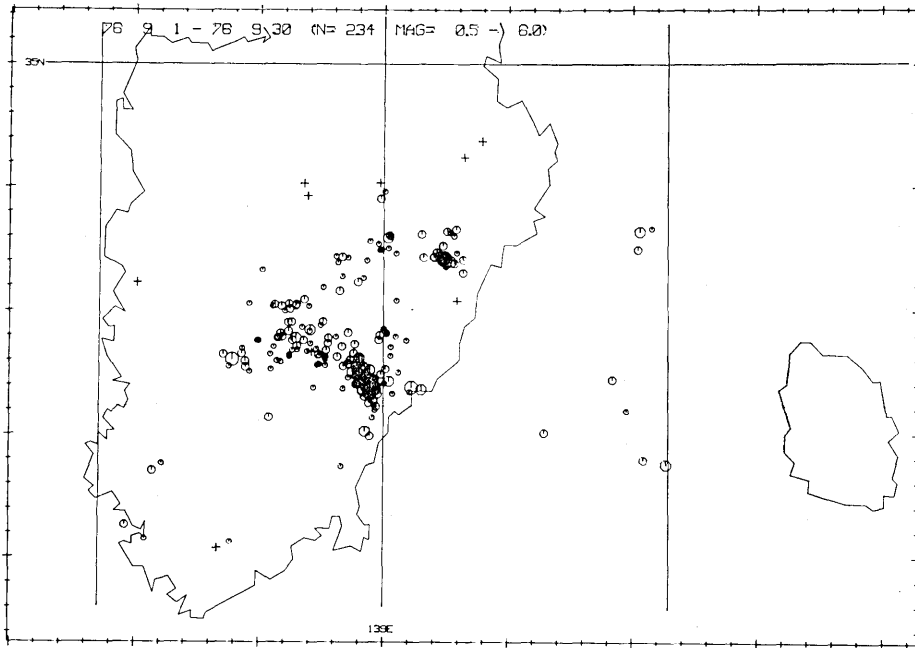


Fig. 17. Epicentral distribution of microearthquakes in September 1976.

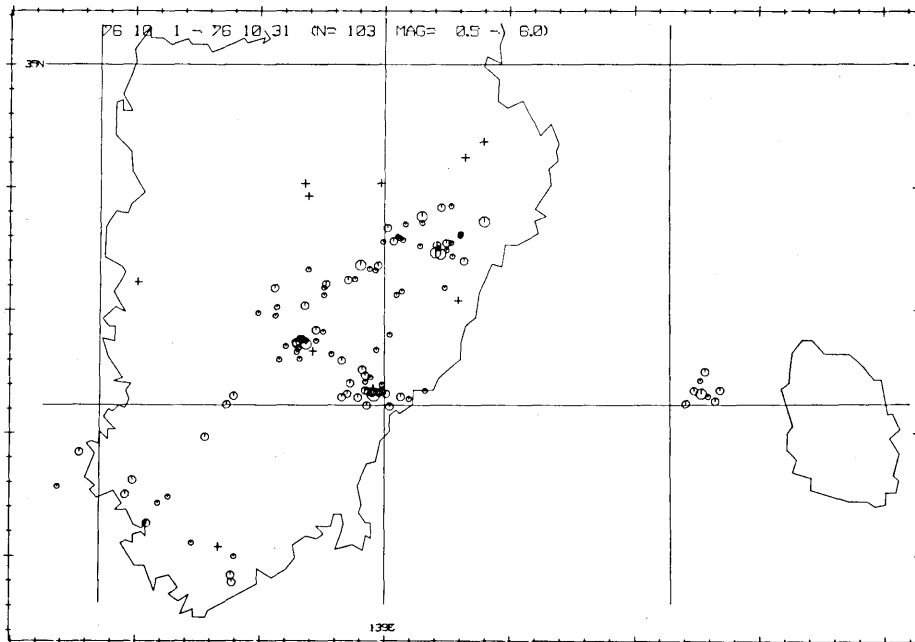


Fig. 18. Epicentral distribution of microearthquakes in October 1976.

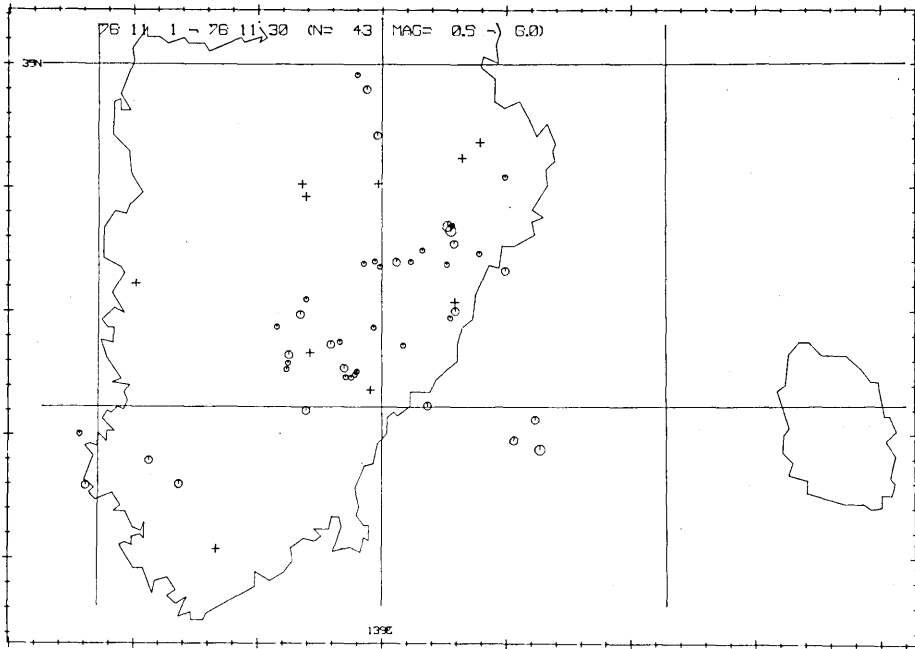


Fig. 19. Epicentral distribution of microearthquakes in November 1976.

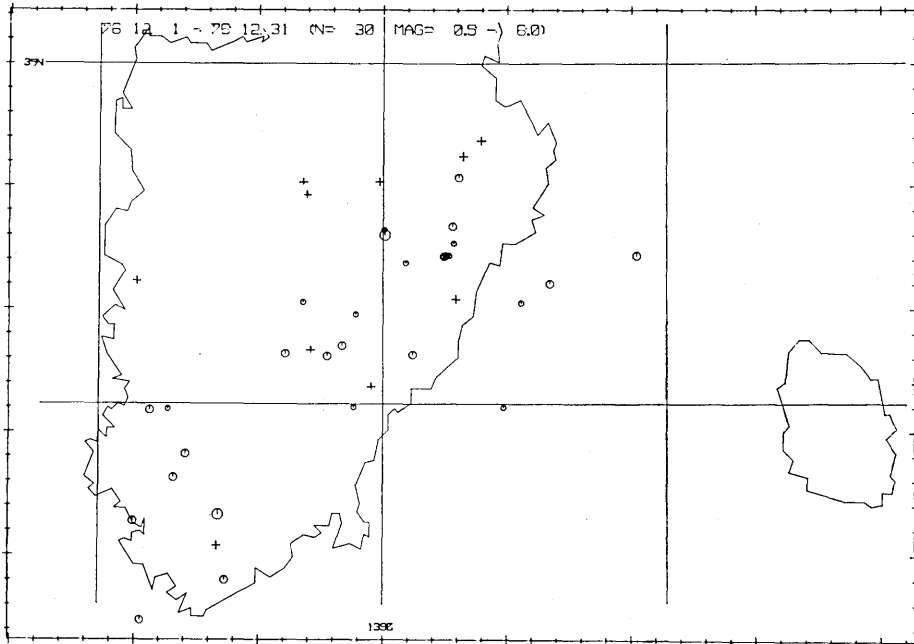


Fig. 20. Epicentral distribution of microearthquakes in December 1976.

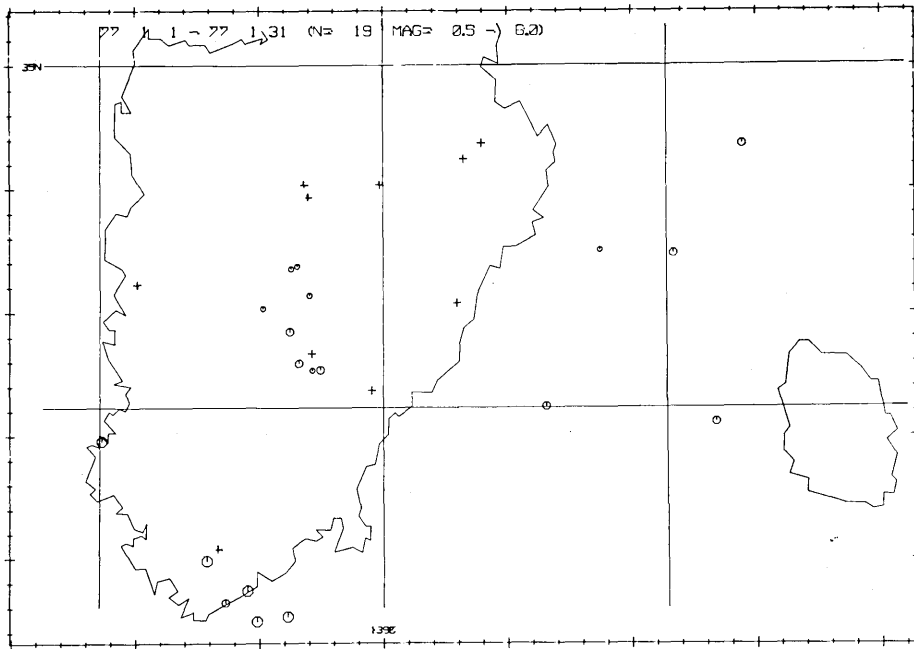


Fig. 21. Epicentral distribution of microearthquakes in January 1977.

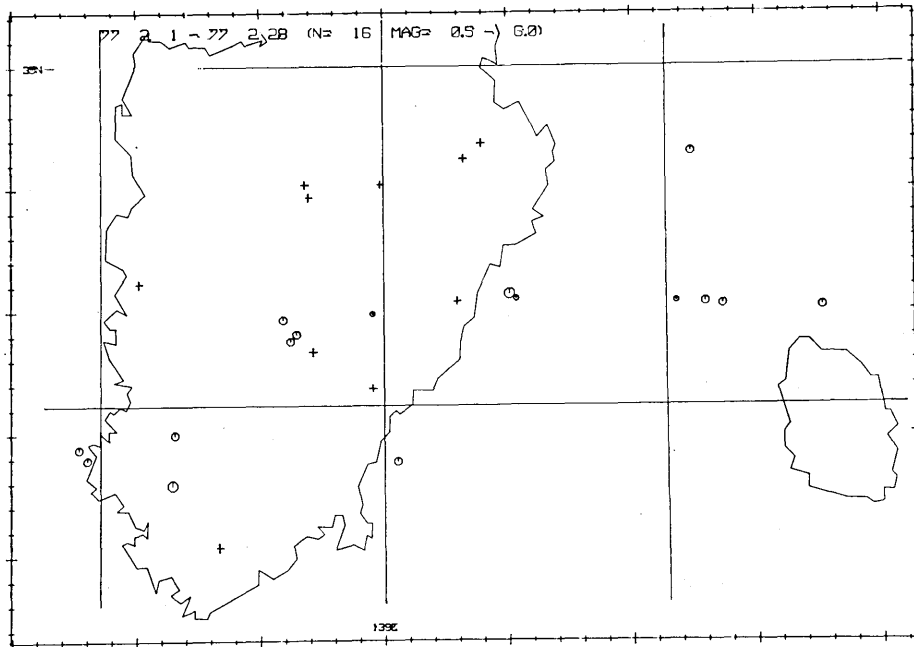


Fig. 22. Epicentral distribution of microearthquakes in February 1977.

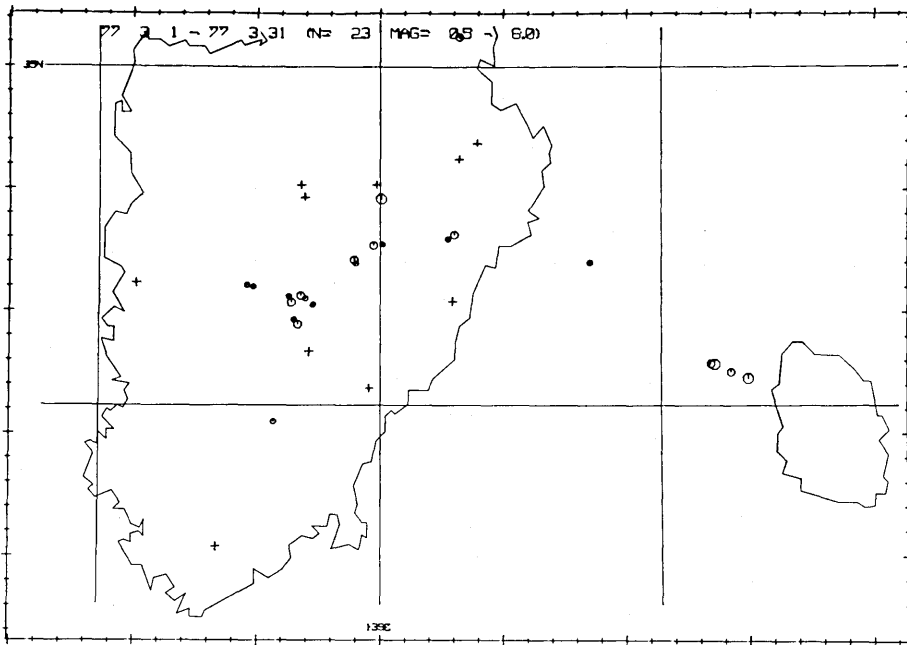


Fig. 23. Epicentral distribution of microearthquakes in March 1977.

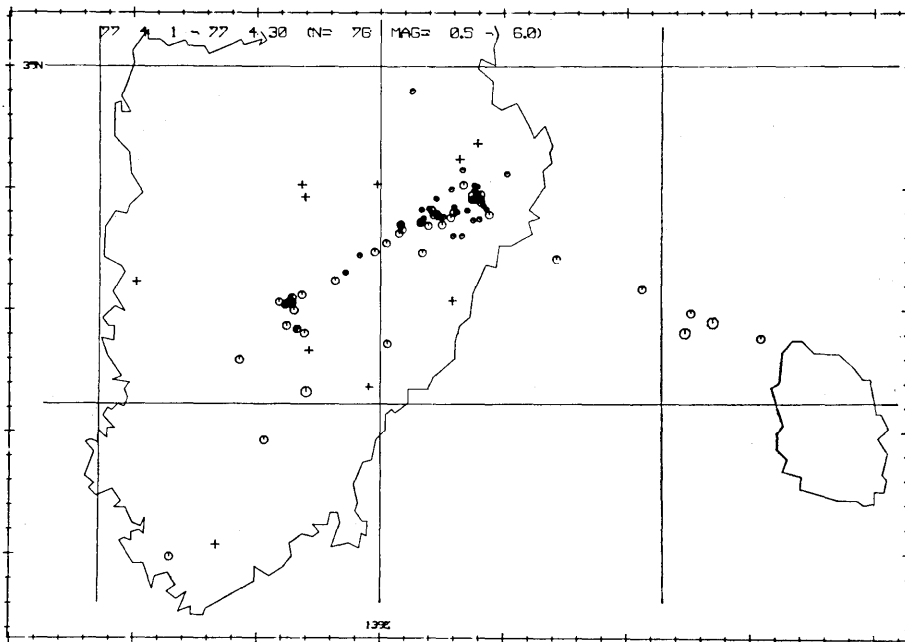


Fig. 24. Epicentral distribution of microearthquakes in April 1977.

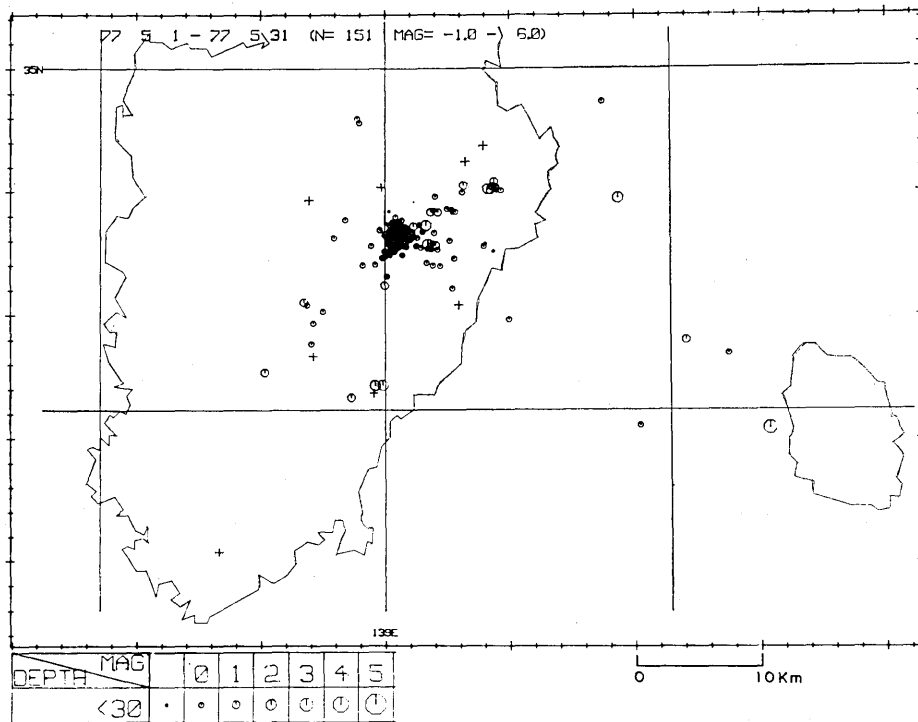


Fig. 25. Epicentral distribution of microearthquakes in May 1977.

2日16時19分に発生した $M=2.6$ にすぎなかった。地震回数は7日頃から急減、特に11日5個、12日1個という極端な落ち込みを示した後、再び増加し始め、14日05時27分に $M=3.7$ の最大地震が発生した。この地震は、特に明瞭な余震活動を伴わなかったが、活動レベルはやや高まり、16日には日回数60回の第2のピークを示した。結局11月30日までに、OKNで $S-P < 2.0$ 秒の地震は、2043個にも達したが、 $M \geq 2$ の地震は僅か16個発生したにすぎない。12月に入っても、活動は主として遠笠山附近に集中していたが、天城峠方面にも若干活動がみられた。第7図に、11月20日～12月末の震央分布図を示す。深さは、4～7kmに多発している。

1976年1月には、遠笠山附近の活動以外に天城峠附近(9日～10日と14日～15日頃、最大 $M=1.6$)と大室山附近(25日～31日、最大 $M=2.3$)などに小規模な群発がみられた(第8図)。

1976年2月9日02時01分から東海岸の北川附近に新しい活動が始まり、09時15分の本震($M=3.6$)までに、KWZでは計23個の前震を記録した。前震活動の経過は、第27図(A)に示すように、02時から03時30分頃まで活発であったが、それ以後の数時間はむしろ静穏化している。震源の深さは、遠笠山附近のものにくらべて、やや深く5～8km位が多い。この地震の余震活動は約1箇月続いた。北川附近の活動に続いて、2月12日20時頃から、伊豆大島との間の海底で群発活動が始まり、増減をくりかえしながら翌月中旬まで続いた。最大地震は2月20日18時53分の $M=2.9$ であった。

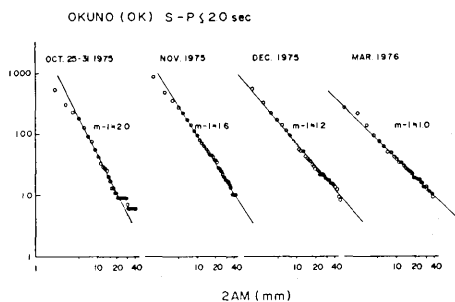


Fig. 26. Cumulative frequency distribution of the maximum trace amplitudes observed at OKN showing very large b-value ($\approx m-1$) in the initial stage of the Togasa-yama swarm.

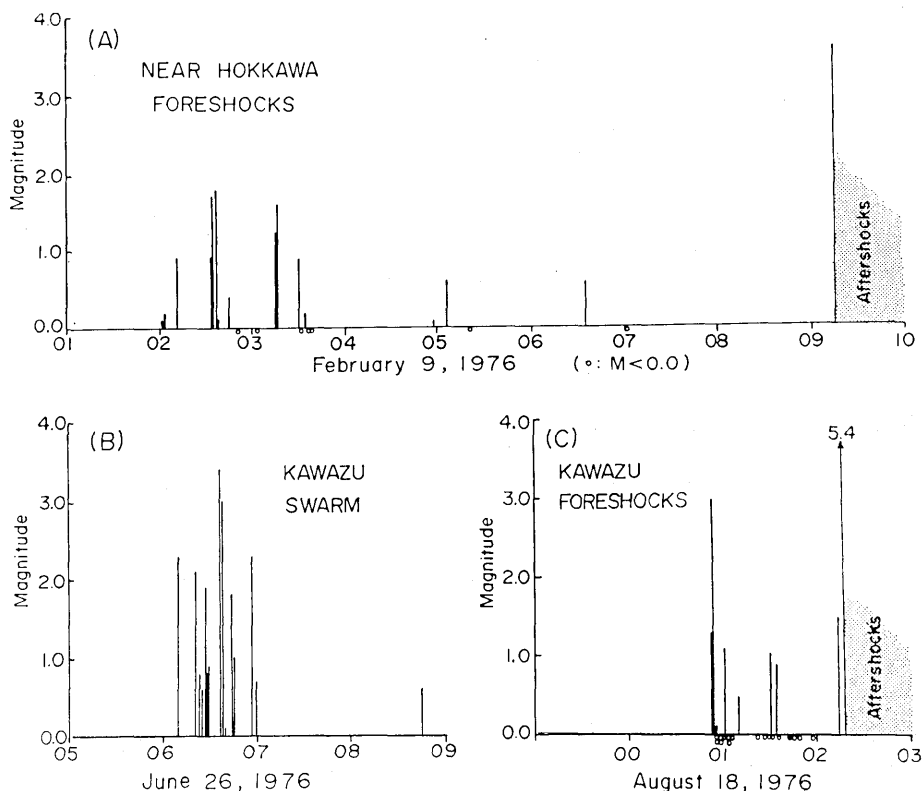


Fig. 27. A plot of magnitude versus time of occurrence; (A): foreshocks of the earthquake near Hokkawa ($M=3.6$) on February 9, 1976, (B): earthquake swarm near Kawazu on June 26, 1976, and (C): foreshocks of the Kawazu earthquake ($M=5.4$) on August 18, 1976. No observation at KWZ for event (B). Small circles indicate shocks with $M \leq 0.0$.

この活動は、第9図の如く、遠笠山や北川の活動にくらべてやや広い範囲にわたり、また断面図(第5図(B))でみると、深さは5 km から西下りに約20 km まで及んでいるように求まっているが、観測網のかなり外側に位置し、震源決定誤差により、このような見掛け上の分布が現われている疑いがあるので、石橋(1977)や藤井(1977)の提唱している aseismic creep を起している断層面を表わしている証拠として採用するには、さらに検討を要する。この附近は群発地震がしばしば発生している場所であるので、北川の活動とこの活動が偶然一致したものかどうかは分からない。2月中には、この他、21日に天城山附近に小規模な群発活動(最大 $M=2.3$)がみられ、また、下旬には河津方面にも極く小規模な群発活動がみられた($M\approx 1$)。遠笠山附近の活動は、引続き活発であるが、OKNにおける地震回数でみると1月に比べ半減した。

3月には、遠笠山から天城峠方面にかけて広い範囲に活動がみられた(第10図)。また、29~30日頃修善寺附近に極く小規模な活動($M\approx 1$)がみられた。北川附近の活動はほとんどみられなくなっている。4月には、15~18日頃伊豆大島との中間で2月よりも北側に新しい群発活動(最大 $M=2.6$)があったが短期間で衰えた(第11図)。5月には、下旬に伊東附近に極く小規模な活動(最大 $M\approx 1$)がみられた他は、特に変わった現象はみられなかった。しかし伊豆半島沖地震の余震域では、2日01時31分に $M=4.2$ の地震が発生し、若干の余震を伴った(第12図)。

6月で最も目立った活動は、26日早朝、河津町に発生した群発地震であった(第13図)。この頃は、KWZ欠測であったため、後に発生した河津地震の前震活動ほど小さい地震までは調べられないが、06時から09時の間に第27図(B)に示すように15個が観測され、そのうち6~7個は現地で有感であったらしく、気象庁経由で、有感地震が頻発しているという情報が入った。この活動では、大きい地震の割合に小さい地震の数が少なく、いわゆるbの小さい(0.5位)ことが注目される。

7月では、14日から15日にかけて、遠笠山附近の活動が活発化し、14日09時59分に $M=3.4$ の地震があり、15日にはOKNで45個が記録されたこと、21日中伊豆町で、極く小規模な群発活動があったこと($M\approx 1$)、などがやや注目された。また、後の河津地震の余震域の南西側に当る地域の活動がやや活発であった(第14図)。

7月26日頃から天城山以南の活動が低調となり、特に、8月前半には、この方面には震源決定可能な地震はほとんど発生しなくなった。第15図で、天城山以南にプロットされている地震は、14日~17日の間に発生したものである。この著しい静穏状態は第6図によく示されている(但し、8月4日までは欠測の影響も含まれている)。河津地震前約10日間は、遠笠山附近の活動もほとんど停止している。

河津地震の直接の前震活動は、18日00時54分から始まり、02時19分の本震($M=5.4$)までに、第27図(C)に示すような経過で27個の前震が観測された。最大の前震は、00時55分の $M=3.0$ であって、これは現地震度II位であったようである。18日中の主な余震は、第28図に示すように、北西-南東方向に約12 km にわたって帯状に分布しており、この附近の活断層の走向とよく一致している。深さはほとんど2~6 km に求まっているが、KWZでは、第29図に示すようにS-P 0.25秒位の地震も記録されているので、更に浅いものも発生しているものと考えられる。前震は、第28図のように、

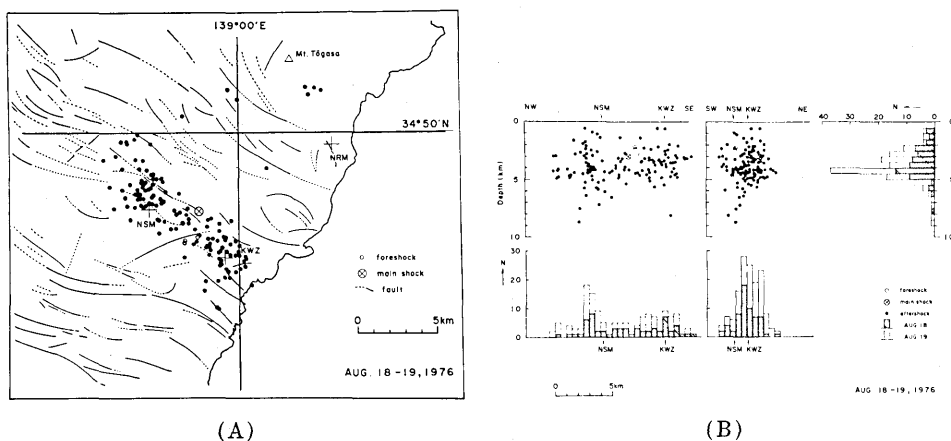


Fig. 28. Epicentral distribution of foreshocks (○), main shock (⊗) and major aftershocks of the Kawazu earthquake on August 18 and 19, 1976 (A), and vertical distribution of foci (B). Active faults shown in (A) are taken from MURAI and KANEKO (1976).

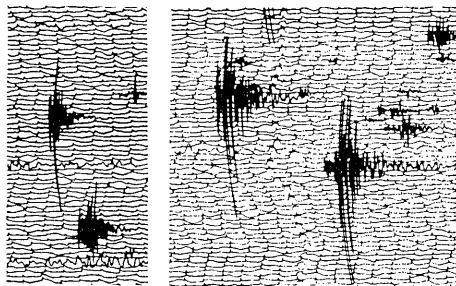


Fig. 29. Seismograms of microearthquakes with very short S-P time recorded at KWZ on August 26, 1976. Second marks are recorded on the trace. The shock on the left has S-P time of about 0.25 sec.

余震域のほぼ中央で発生した。

本震の震源要素は、気象庁によれば、

震源時：18日02時18分59.7秒

震央：34°47'N, 138°57'E

深さ：0 km

である。また臨時観測網では、KWZの記録が、本震を含め約6時間分が、余震により塗りつぶされてよみとり不能であること、NRMがたまたま前日より時計故障のため時刻精度不良であったこと、などのため、前震・余震と同精度で本震震源を求めることはできないが、他機関を含む次の観測点のP時刻のみを用いて決定した震源要素は、

震源時：18日02時18分59.9秒

震央：34°47.3'N (±0.9 km), 138°58.0'E (±0.9 km)

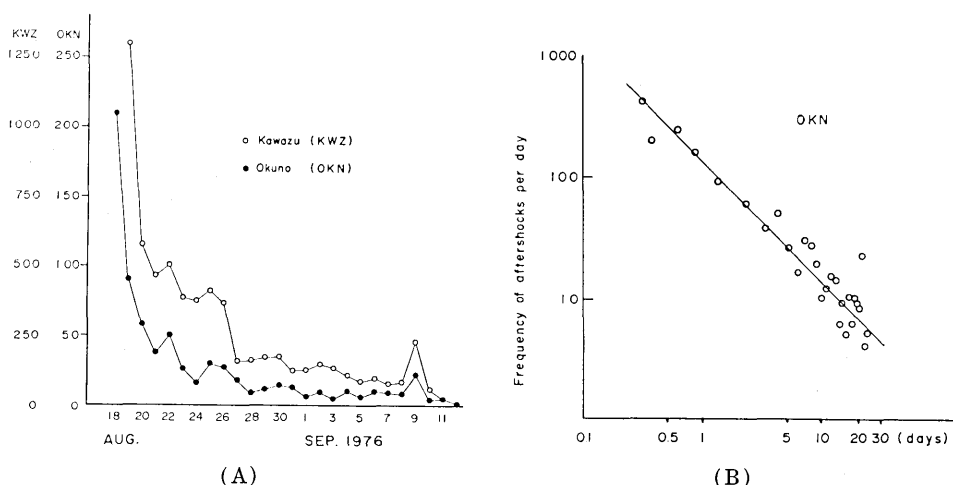


Fig. 30. Decrease of the daily frequency of aftershocks observed at KWZ and OKN (A), and a log-log plot for the latter (B).

深 さ: 3.0 km (± 1.8 km)

となる。この震源決定に用いた観測点は、市山、奥野、石廊崎、網代、三島、大島、静岡、富士川、水見色、御前崎、大山の 11 点である。いずれをとっても、本震は余震域の中央近くに発生したことになる。主な前震や、8月26日13時55分に発生した $M=4.5$ の最大余震の震源もこれに近い。しかし、余震の発生回数は、中央部ではむしろ少ない傾向がみられ、短期間の分布図を作ると、両端のみに震央が求まっている場合が度々みられた。

余震活動は、第 30 図に示すように、全体としてみると $p=1.0$ の改良大森公式に従って順調に減衰したが、くわしくみると、時間、空間的に著しく集中した活動がくりかえしみられた。なお、25日02時11分に発生した地震 ($34^{\circ}49'N$, $139^{\circ}00'E$, 深さ 4.4 km, $M=3.6$) や、9月4日02時51分に発生した地震 ($34^{\circ}47'N$, $138^{\circ}52'E$, 深さ 6.5 km, $M=3.6$ (3.0, JMA)) は、北西—南東にのびる主な余震域から、北東および西側に数 km ずつ離れた場所に誘発された活動であって、それぞれ本震—余震あるいは前震—本震—余震型の変化を示した。

9月以降では、9月28日から10月1日頃にかけて、遠笠山附近の以前より少し南東側が活発化したこと (最大 $M=2.9$)、同時期、中伊豆でも極く小規模な活動がみられたこと位が目目された活動であった。河津地震の余震域は、先に述べたように北西側と南東側の 2 つに分かれ (たとえば第 17, 18 図)、南東側の方が早く減少した (第 20~22 図)。

11月26日~27日には、中伊豆の今回の活動では最も北側に 3 個の微小地震が発生した (第 19 図)。

1977年1~3月は、第 21~23 図のように極めて静穏に経過したが、同年4~5月には、大室山から天城峠に至る北東—南西にのびる地域で、再び群発活動がみられた (第

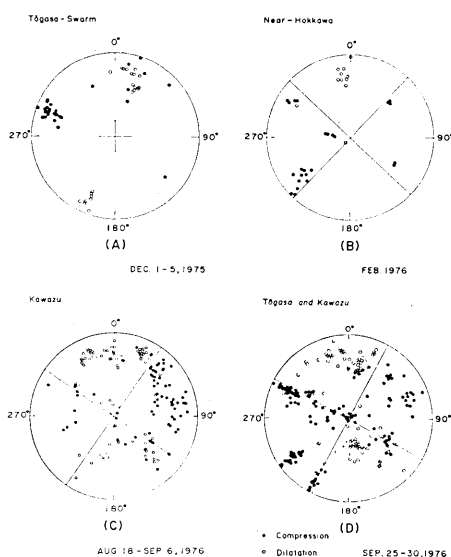


Fig. 31. Upper hemisphere Wulff net projection of composited first-motion data for Togasa-yama (A and D), Hokkawa (B), and Kawazu (C and D) events.

24~25 図). 特に, 4 月 9 日の大室山附近の活動 (最大 $M=2.3$) と 5 月 4 日の天城山北方の活動 (最大 $M=2.9$) が顕著で, OKN で S-P 1.5 秒以内の地震回数は, 1975 年 12 月以来のピークを記録した (第 4 図).

第 31 図に, 臨時観測網による初動分布 (重ね合せ) の結果の一部を示す. 観測点数が少ないので, 正確な nodal plane を求めることは難しいが, 活断層分布図 (たとえば, 村井・金子, 1976) に示されている右横ずれの断層運動から期待されるものと一致する. 阿部 (1976, 私信) によれば, 河津地震の断層面と運動様式は走向 $N124^{\circ}E$, 傾き (北東へ) 82° , 長さ 9 km, 幅 3.5 km, 平均変位量 20 cm の右横ずれと推定されており, これともよく一致している.

今回の活動による地震エネルギーの放出量は, 河津地震とその前震, 余震によるものが圧倒的に大きく, 約 9×10^{10} エルグと見積られる. その他は, 高感度の観測により多数の震源が求められているので一見極めて活発な活動のようにみえるが, 遠笠山附近 5×10^{17} ($M3.9$ 相当エルグ), 北川附近 3×10^{17} エルグ ($M3.8$ 相当), 大島との間の活動 1×10^{17} エルグ ($M3.5$ 相当), 伊豆半島沖地震の余震域 13×10^{17} エルグ ($M4.2$ 相当) 程度にすぎず, エネルギー的には微弱な活動であったと言える.

4. 二, 三の考察

第 5 図を概観すると, 今回の群発地震は, 南西海岸沿いに残っている伊豆半島沖地震の余震を含め, 伊豆半島東岸に平行して, 陸側に約 20 km の幅で活動域を形成しており, 伊豆半島沖地震と今回の活動は, 一連のものであるようにみえる.

第 32 図は, 第 5 図のデータに, 隆起量のコンターを書き加え, 両者の関係を示した

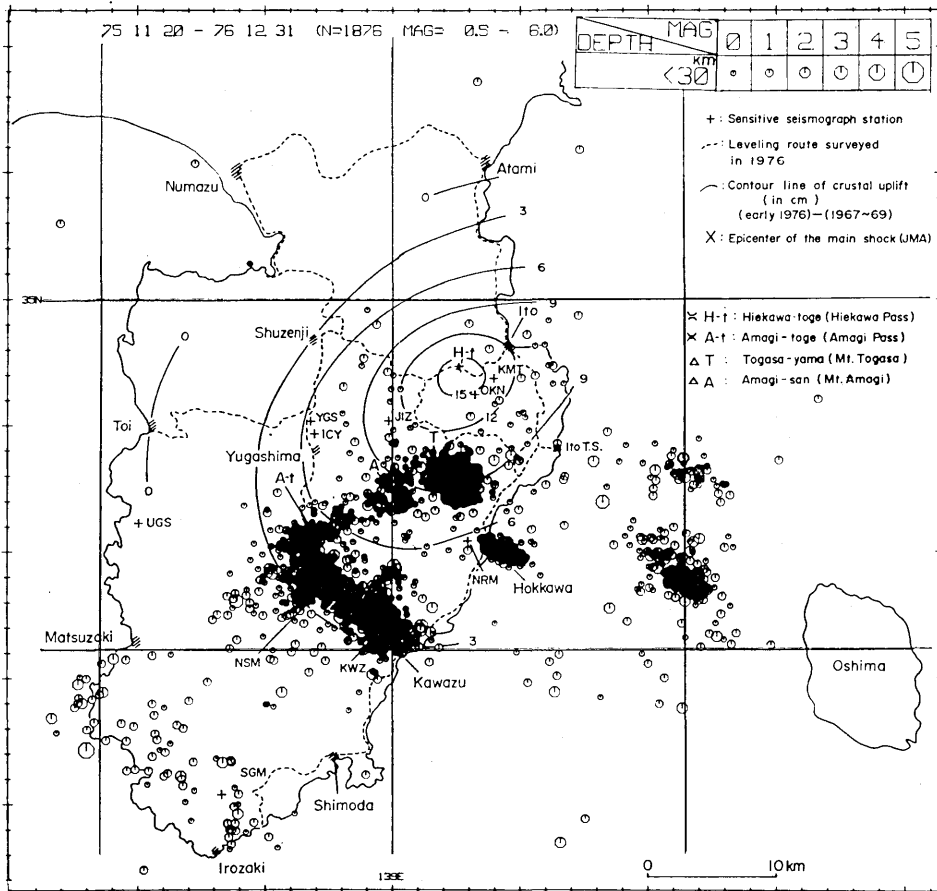


Fig. 32. Map showing spatial relationship of the earthquake swarm and the crustal uplift found by re-leveling carried out early 1976 as compared to 1967~69 data (after GEODYNAMICS DIVISION, GEOGRAPHICAL SURVEY INSTITUTE, 1976).

ものである。今回の群発地震と異常隆起の関係は、伊東群発地震や松代地震の場合とは少し異なっているようである。後者では、隆起域の中心部と地震活動の最も活発な場所とがほぼ一致していたのに対し、第 32 図にみられるように、今回の群発地震は、隆起域の南側に集中的に発生しており、その中心部や北側では著しく活動度が低い。また、今回の隆起は、主として 1975 年中に進行し、1976 年に入ってから、頭打ちとなっているようである（国土地理院地殻調査部，1976）が、地震活動はこれよりかなり遅れて進行しており、すでにくわしく述べたように、微小地震の微弱な異常活動は、隆起の始まりより半年余り遅れた 1975 年 8 月に始まり、顕著な活動は、10 月下旬以降に生じている。さらに、最大の河津地震は、隆起がほぼ停止してから約半年を経て発生している。このような地震活動の遅れは、松代地震において、地震活動と地殻変動の進行が極めてよく一致していた（たとえば、KASAHARA, 1970）のと、著しく違っている。以上のような事実から、

今回の場合は、群発地震活動に伴って異常隆起が生じたと考えられるよりも、異常隆起による地殻歪変化を引き金として群発地震が発生したと考えた方が妥当であるように思われる。異常隆起を起した機構の説明としては、地下のマグマ溜における圧力増加（いわゆる茂木モデル）（地震研究所測地移動観測班，1976）や、やや深部で生じたクリープ状の非地震性断層運動（石橋，1977；藤井，1977）の仮説が提唱されている。地震活動が主として隆起域の南側で活発であった理由としては、1930年の伊東群発地震や北伊豆地震により北側の歪が解放され、その後充分蓄積されていないであろうという推定がまず考えられる。河津附近では、1906年8~9月に今回と類似の群発地震が発生しているので、約70年間に再発するだけのエネルギーが蓄積されたことになる。気象庁の資料によれば、すくなくとも1926年以降は、河津附近が明瞭な空白域となっている（気象庁地震課他，1977の第1図）。また、荒牧（1976）は、今回の地殻活動地域と最近数万年間の火山活動地域の一致を指摘している。この関係を重視すれば、過去の火山活動による地体構造の不均質性による地震の起りやすさ、深部におけるマグマ活動の影響が想像される。

第32図では、遠笠山から天城峠に連なる活動域、河津地震の余震域および北川附近の活動域に囲まれた $10 \times 10 \text{ km}^2$ 位の地域では著しく活動度が低いことが目立つ。この部分は、重力異常が正の区域（地質調査所，1976，予知連絡会討議資料）とよく一致していることが指摘されている。（萩原，1977，私信）。しかし、この部分にも活断層が存在することが推定されている（たとえば、村井・金子，1976）ので、長期間にわたって無地震地域であると即断するのは早計であろう。

次に今回の活動で、最大地震となった河津地震（ $M=5.4$ ）の前兆について考えてみよう。今回の活動の地震エネルギーのほとんど（約97%）は、河津地震とその最大余震によって放出されたのであるが、異常隆起および群発地震全体を河津地震の前兆と考えるには、それらの範囲が広すぎるように思われる。河津地震もまた、限界近くまで歪が蓄積されていたところに、隆起による歪が加わり、その発生が促進されたものと推定される。松代地震では、活動域が拡大する場合、まず微小地震が発生し始め、数ヶ月後に $M=5$ 位のやや大きい地震が発生するという経過が報告されている（HAGIWARA and IWATA, 1968）。今回の活動に於いても、河津地震発生約半年前に当る1976年2月頃から、河津附近で極く小規模な活動が始まり、6月にはさらに顕著な群発地震が発生するなど類似の中期的な経過が観測された。

河津地震の前にみられた著しい静穏状態と河津地震の関係については、

1) 河津地震の断層面でゆっくりした破壊（クリープ）が先行し、これにより周辺の歪状態に変化が生じ、静穏状態が現われた。

2) 広範囲にわたって何等かの原因で歪状態に変化が生じ、静穏状態が現われ、同時に河津地震の発生に最終的な引き金作用を及ぼした。

3) たまたま静穏化したのであって、特別な因果関係はない。

という3つの場合が考えられる。今回は、隆起域において当時、地殻変動連続観測が行われていなかったため、これらの解釈のいずれが妥当であるかを判断し得る材料はないが、第6図をみると、7月中旬から遠笠山附近の活動状態にも変化を生じているようにみえるので、1)あるいは2)の現象が生じたように思われる。

さらに直前の前震活動について云えば、北川附近の地震(第27図(a))の場合も、河津地震(第27図(c))の場合も、前震活動開始後暫くして活動度が低下し、本震に至っている。また、1975年10月26日から11月14日の最大地震に至る遠笠山附近の活動経過も時間軸を圧縮してみれば、同様な経過とみることもできる。しかし、これらの例からは、前震活動の活発さや継続時間から本震の発生時間や M を推定し得る法則性は認められず、このような前震と第27図(b)に示したような群発地震とを区別することは極めて難しい。目下のところ、この程度の前震をとらえて予知情報を出し、災害軽減をはかるためには、数回に1回あるいはそれ以下の適中率でも、受け入れられるという社会的な理解が必要である。北川附近の地震や河津附近の地震は、そのような条件下で、常時監視を行なっていれば、直前予知が可能なタイプに属するであろう。

5. む す び

今回の群発地震は、伊東群発地震や松代群発地震にくらべ、はるかに活動度の低いものであったが、その徴候が比較的早期に発見され、適切な臨時観測網を展開することができたので、約4000個の微小地震の震源が求められるなど、その活動経過が詳細に追跡された。これにより、水準測量、光波測量などの調査の時期が早められ、異常隆起等の実態の把握に役立つことになった(津村, 1977)。地震活動については、遠笠山附近の極めて長期にわたる活動、北川および河津の地震の前震および余震活動、河津地震に先行した異常な静穏状態など地震予知研究上、興味あるデータが得られた。これらのデータは今後さらに詳しく解析され、群発地震の研究に貢献し得るものと考えられる。

謝 辞

本報告の基礎となっている地震記録はほとんど委託観測により得られたものである。長期間にわたり観測に当って頂いている、小川一雄(奥野)、後藤利雄(河津)、堀井修二(市山)、千葉大学園芸学部附属熱川暖地農場(奈良本)、鈴木範良(湯ヶ島)および大塩富彦(梨本)の皆様ならびに地元自治体等の関係者各位の御協力に心から御礼申し上げます。なおデータ整理の一部は、井本良子氏が分担し、震源計算等は、地震研究所地震予知観測センターのIBM 370/125により処理された。処理プログラムの作成に当っては、同センター計算機室小竹美子氏の協力を得た。

本研究に要した経費の一部は、時期を追って、昭和50年度文部省科学研究費(自然災害特別研究、代表者 津村建四朗)、昭和51年度文部省科学研究費(総合研究(A)、代表者 浅田 敏)、昭和51年度文部省特定研究費および昭和52年度「関東東海地域地殻変動特別観測」経費より支出されたことを付記して、当局ならびに浅田教授に謝意を表します。

文 献

- 荒牧重雄, 東伊豆地域の火山活動のアセスメント—東伊豆の群発地震地殻変動に関連して—, 地震予知連絡会会報, 16 (1976), 92-94.
- HAGIWARA, T. and T. IWATA, Summary of the seismographic observation of Matsushiro swarm earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 46 (1968), 485-515.
- 堀 実, 堂平微小地震観測所の観測による近地地震のマグニチュードの決定, 地震研究所研究速報,

10 (4) (1973), 1-4.

- 石橋克彦・山科健一郎, 1974 年伊豆半島沖地震の本震主断層に共役な活断層の活動, 一7月9日の $M=4.9$ の地震を中心として一, 1974 年伊豆半島沖地震災害調査研究報告, (1975), 27-32.
- 石橋克彦, 伊豆半島異常隆起のクリープモデル, 一伊豆東方線スラスト深部の非地震性断層運動一, 地震予知連絡会会報, 17 (1977), 65-67.
- 藤井陽一郎, 伊豆半島地殻隆起のクリープモデル, 地震予知連絡会会報, 17 (1977), 68-70.
- KASAHARA, K., The source region of the Matsushiro swarm earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48 (1970), 581-602.
- 唐鎌郁夫・津村建四朗・高橋正義・荻野 泉・酒井 要, 1974 年伊豆半島沖地震の余震観測—伊豆半島下賀茂, 松崎および奥野における観測速報一, 地震研究所研究速報, 14 (1974), 55-67.
- 気象庁地震課・地震活動検測センター, 駿河湾及び東海沖の地震活動について, 地震予知連絡会会報, 17 (1977), 105-108.
- 国土地理院地殻調査部, 1976, 伊豆半島中部の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 16 (1976), 82-87.
- 村井 勇・金子史朗, 南関東の活断層分布図 (関東地区災害資料の解析・総括の研究), (1976), 1-14.
- 東京大学地震研究所地殻変動移動班, 伊豆半島北東部の光波測量, 地震予知連絡会会報, 16 (1976), 99-100.
- 東京大学地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 伊豆半島北東部の群発地震, 地震予知連絡会会報, 15 (1976a), 91-93.
- 東京大学地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 伊豆半島北東部の群発地震 (2), 地震予知連絡会会報, 16 (1976b), 77-81.
- 東京大学地震研究所測地移動観測班, 伊豆半島の重力変化, 地震予知連絡会会報, 16 (1976), 95-98.
- 津村建四朗, 関東地方の微小地震活動, 関東大地震 50 周年論文集, (1973), 67-87.
- 津村建四朗, 伊豆半島の異常地殻活動と地震予知, 地震予知研究シンポジウム (1976), 46-55.
- 渡辺 晃, 近地震のマグニチュード, 地震, 24 (1971), 189-200.
- 余震共同観測班, 伊豆半島沖地震とその余震の観測, 1974 年伊豆半島沖地震 災害調査研究報告, (1975), 11-20.

8. *Observation of the Earthquake Swarm in the Izu Peninsula (1975-1977).*

By Kenshiro TSUMURA, Ikuo KARAKAMA, Izumi OGINO,
Kaname SAKAI and Masayoshi TAKAHASHI,
Earthquake Research Institute.

A temporary network of 3-5 sensitive seismograph stations has operated since 1975, in the eastern Izu Peninsula, central Honshu, where the remarkable crustal uplift has developed with accompanying the shallow microearthquake swarm. About 4,000 epicenters were located by the network until the end of May 1977. The microearthquake activity began in August 1975 and became much more active in October and November. The epicenters clustered near Togasa-yama in those periods, but spread towards NE and SW in early 1976. Other activities were also observed in the areas near Hokkawa and east off the Peninsula in February. Then the seismicity was gradually decreasing with some fluctuations, but the largest earthquake in the present activity ($M=5.4$) occurred near Kawazu in the southernmost part of the uplift area on August 18, 1976, and caused some property damages. Twenty-seven foreshocks including a $M 3.0$ shock were observed during about 1.5 hours before the mainshock. An extremely quiet state of about 3 weeks before the Kawazu earthquake might be a precursor too. The epicenters of the aftershocks distributed in an elongated zone of $12 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ extending in the NW-SE direction, which agrees with the trend of the active faults (right lateral strike-slip) geologically mapped in the vicinity. The focal depths were mostly 2-6 km. The earthquake mechanism inferred from the P-wave initial motions is consistent with the above-mentioned fault movement. The present seismic area mostly covers only the southern part of the uplift area, and the seismic activity delayed for more than half a year as compared to the process of crustal uplift. These facts may suggest a different nature of the present activity from the 1930 Ito and the 1965-66 Matsushiro earthquake swarms, in which the seismic and crustal activities correlated each other more closely in space and time.