

4. 栃木県・古峰ヶ原における極微小地震観測

—1969年8月13日の地震の余震観測—

地震研究所 { 神 沼 克 伊
 津 村 建 四 朗
 松 本 英 照
 唐 鎌 郁 夫

(昭和44年9月22日発表—昭和44年11月29日受理)

§1. はしがき

1969年8月13日、02時46分頃と03時20分頃、栃木県鹿沼市北方域に有感地震が起り、地鳴りを伴った余震がかなり続いた。8月21日からの現地調査(森本, 恒石, 柴野; 1969)の結果、地鳴りと小さな有感地震が依然として起つていたので、同地域近傍で地震観測をすることになった。

観測場所は、前述の地震の震源から西方へ約15km離れた所で、1963年に宇都宮大学と協同観測を実施した栃木県古峰ヶ原古峰神社(36°39'11"N, 139°31'50"E)を選んだ。上下動3成分による、いわゆる tripartite array 方式で、8月29日から9月6日まで、夜間のみ観測を行なった。9月6日から10月7日までは、上下動1成分の観測を委託で行なった。

tripartite array 方式では、初動のたちあがりの時間差から波動の到来方向とみかけ速度、さらに仮定した地下構造と P-S 時間を使用し震源を決めるが(宮村他, 1961)、このようにして決めた震央分布は、前記地震の余震と思われるものよりも、むしろ観測点西方の足尾附近に起つた地震の数の方が多かつた。

§2. 観測方法

観測に使用した器械は、爆破グループの FM 式データレコーダーで、そのブロックダイアグラムを第1図に、総合特性を第2図に示す。

観測点附近では、近くで砂防用堰堤工事、道路工事等が行なわれていて、日中のノイズは非常に大きかつたので、観測は夜間のみ(大体18~08時)行なった。地震計を設置した形は、第3図に示したような三角形をなす。

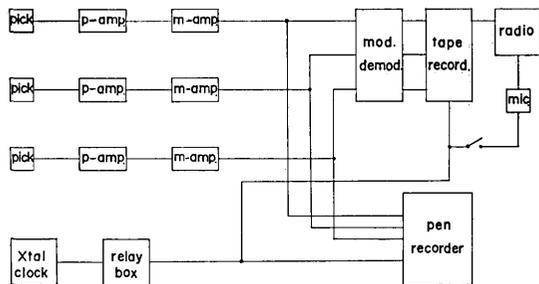


Fig. 1. Schematic diagram of the instrumentation used at Kobugahara on September, 1969. pick: 4CV, pre-amp: GPA 201 S, main-amp: GMA 301, mod. demod.: FMA 23-S, tape recorder: MA 33-4 S, pen recorder: WA 231-3C.

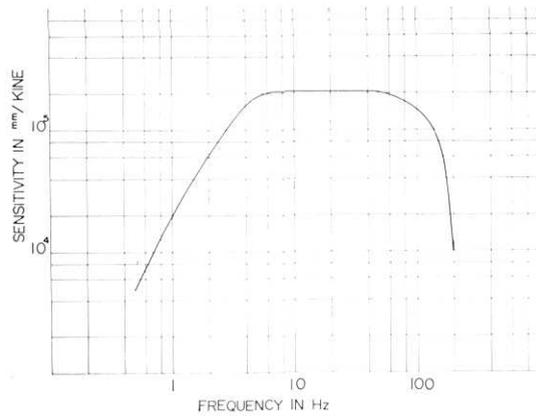


Fig. 2. Frequency characteristic curve of the seismograph system.

震源決定をするための、テープ再生時の紙送りの速さは 50 mm/s である。したがって読みとりの時間差精度は、記録紙上で 0.5 mm すなわち 10 milli second は充分にあると考える。

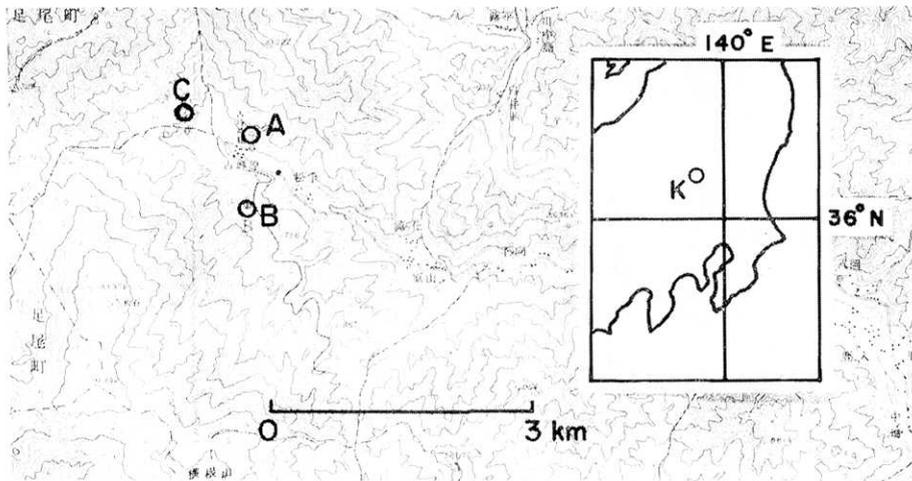


Fig. 3. Location map of the tripartite stations for the observation of aftershocks accompanying the Earthquake $02^{h}46^{m}$ and $03^{h}20^{m}$, Aug. 13, 1969, near Kobugahara, Tochigi Prefecture. The distance of A-B; 640 m, B-C; 970 m, C-A; 740 m.

§ 3. 栃木県下の地震活動

日光、今市附近の地震活動については、1949年の今市地震の折、河角(1951)により詳しく報告されている。第4図は、栃木県下で1926年から1967年の期間に起つた地震を、気象庁の地震カタログから選びだして示した(堀による)。

日光、今市附近の一つのグループは1949年の今市地震とそれに伴う余震である。足尾

附近のマグニチュード3の地震群は 1962 年 6 月から 10 月に起つたものである。この二つの出来事以外は、地震はほとんどなく、この地域の日常の、気象庁観測網に記録される程度の地震活動は極めて低いと言える。

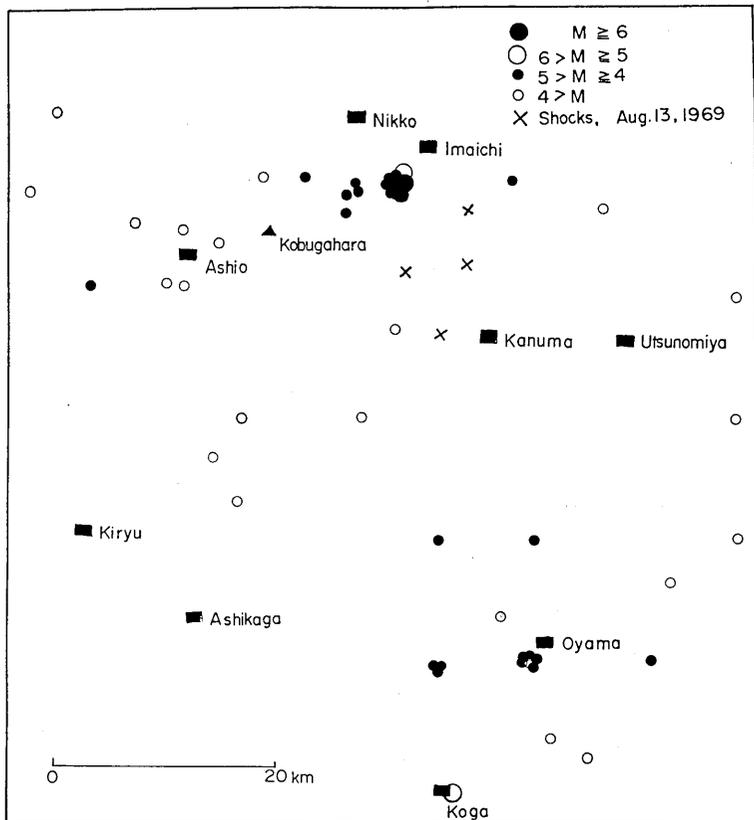


Fig. 4. Seismicity map of Tochigi Prefecture. Epicenters were determined by J.M.A. during 1926 to 1967. Shocks near Imaichi were main and aftershocks of Imaichi Earthquake in 1949 and those near Ashio occurred between June and October 1962. (Drafted by M. HORI)

§4. 本震の震源

今回の地震活動を本震-余震型とするか、群発地震型とするかは、議論の分れるところである。宇都宮大学の越川教授による加速度計の観測によれば、一般に本震と呼ばれている 02 時 46 分の地震の 1 時間 30 分前 (01 時 20 分) にも地震を記録している。また、同大学の観測結果では、一般に第 2 震と呼んでいる 03 時 20 分の地震の加速度は約 2 gal、本震は 3 gal で両者の大きさに差のないことを示している。

第 1 表には、気象庁で決めた震源と、三雲 (1966) が爆破グループや重力の結果を考慮して作った関東地方の地下構造のモデルに基づき、地震研究所の観測網、宇都宮大学、気象庁の観測網等の観測結果からきめた震源とマグニチュードとを示した。われわれのき

Table 1. The locations of Earthquakes on Aug. 13, 1969 determined by J.M.A. and by the authors using the data of Utsunomiya University, J.M.A. and ERI.

	Origin time	Lat.	Long.	Depth.	M
J.M.A.					
1st shock	02 ^h 46 ^m 56.8 ^s	36°38'	139°44'	10 km	4.2
2nd shock	03 20 20.8	36°39'	139°41'	0	3.9
Authors					
1st shock	02 46 53.38	36°39.6'	139°43.2'	6.78	3.0
2nd shock	03 20 24.47	36°36.6'	139°40.8'	4.75	3.1

めたマグニチュードは、地震研究所の地域センターで、すでにきまつている公式（萩原他、1962）により計算した。気象庁の結果とは、約1違うが検討を要する。

第5図は本震の起つた8月13日から、古峰ヶ原の臨時観測を終了した9月6日迄の間、堂平微小地震観測所の1点である筑波観測点の記録上で数えた12時間ごとの、鹿沼市附近の地震数である。8月13日の地震数には、前震・本震及び第2震も含まれている。地震の数が急激に少なくなっているのは、今市地震の時、宇都宮気象台で調べた有感余震数の減衰（河角：1951）と非常に良く似た傾向を示している。

震源域から約60 km 離れ、最高倍率 60 万倍程度の地震計で、ようやく記録出来得る程度の大きさ ($M \approx 1.5$) の余震活動が、ほとんど無くなつた頃から、古峰ヶ原で観測を始めたことになる。

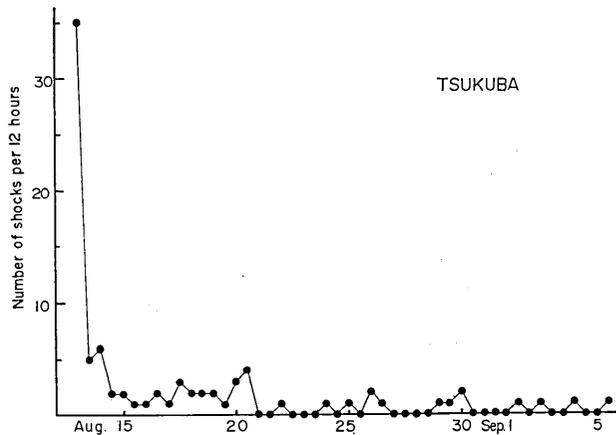


Fig. 5. Number of shocks in every 12 hours which occurred near Kanuma city, Tochigi Pref. recorded at Tsukuba, a branch station of Dodaira Micro-earthquake Observatory. The magnification of instrument is about 60×10^4 and the epicentral distances is about 60 km.

§5. 観測結果

第6図 a) は、観測点の東側から伝播してきた地震、b) は西側からの地震の記象を示した。a) の地震例では、P 波の初動の立上りが非常に明瞭であるが、b) ではそれほどでもない。この他、いわゆる前駆波がきた後、切れの鋭い P 波が到達する例が沢山あつた。この場合、前駆波の立上りは、SN 比が悪く、読みとつても、phase の “miss identification” による誤差が大きいため、震源の決定精度が悪い。このため、多少深さの精度が悪

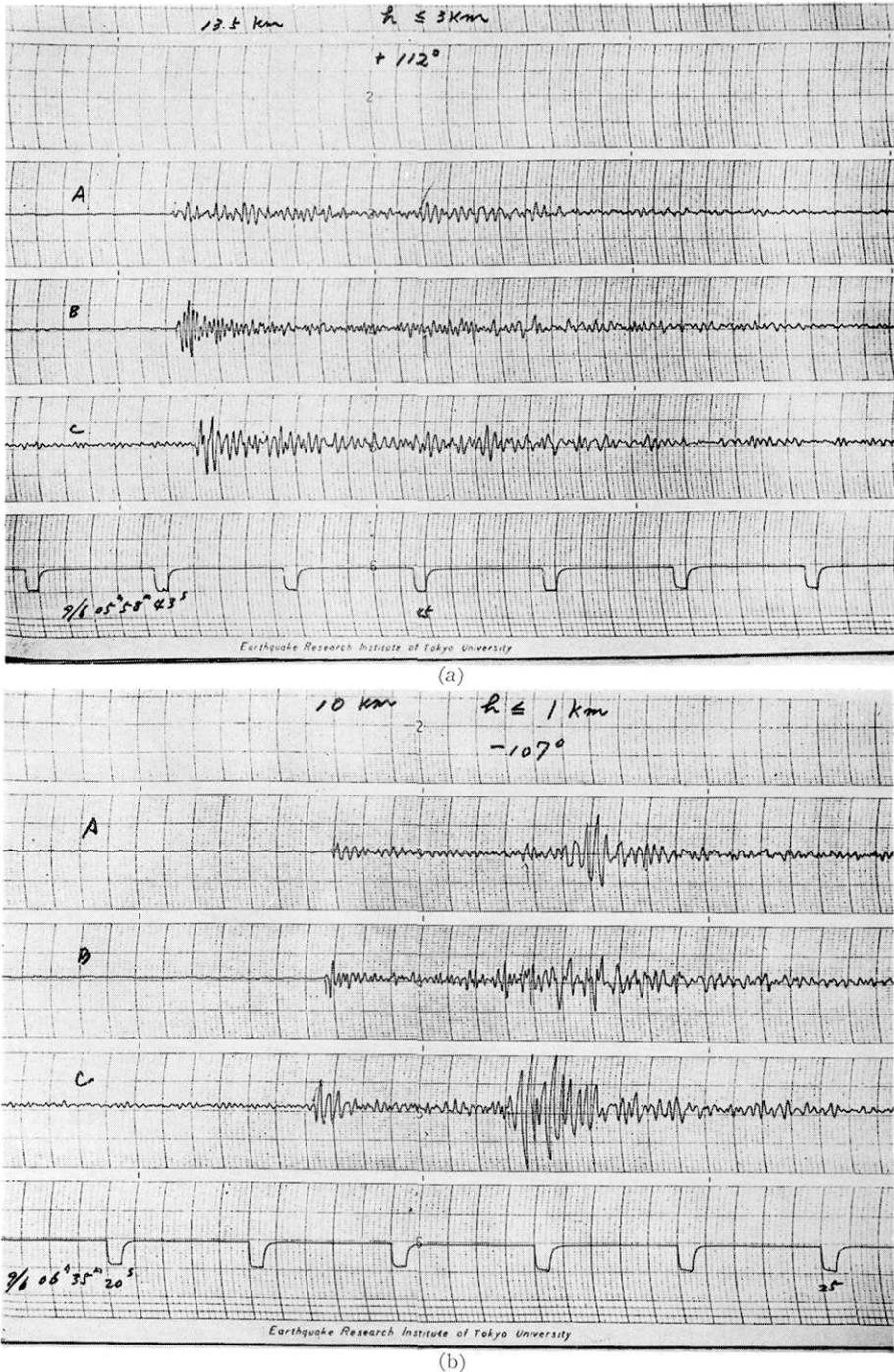


Fig. 6. Examples of the reproduced records.
 a) An example seismogram of aftershock. The azimuth is 112° and the epicentral distance is 13.5 km.
 b) An example seismogram of the shock near Ashio. The azimuth is -107° and the epicentral distance is 10 km.

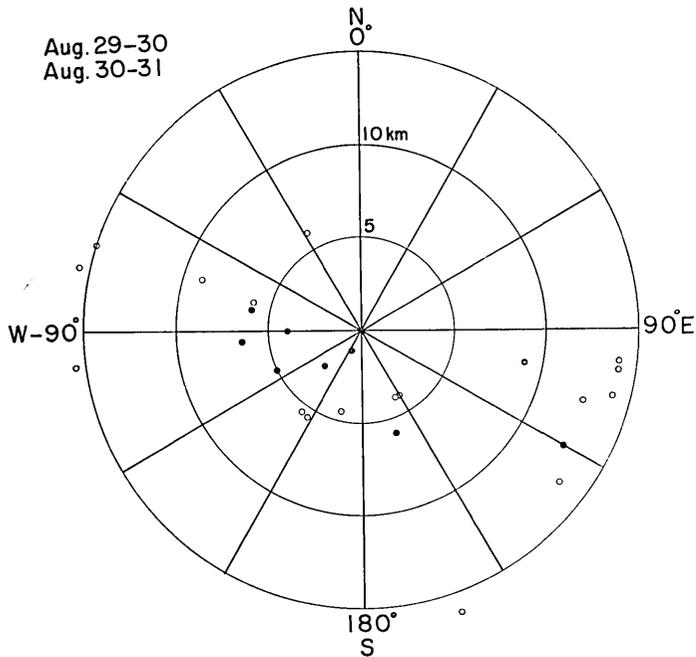


Fig. 7. Epicenters of micro-earthquakes of which S-P time is less than 3 sec, in Aug. 29-30 and 30-31, determined from the tripartite array.

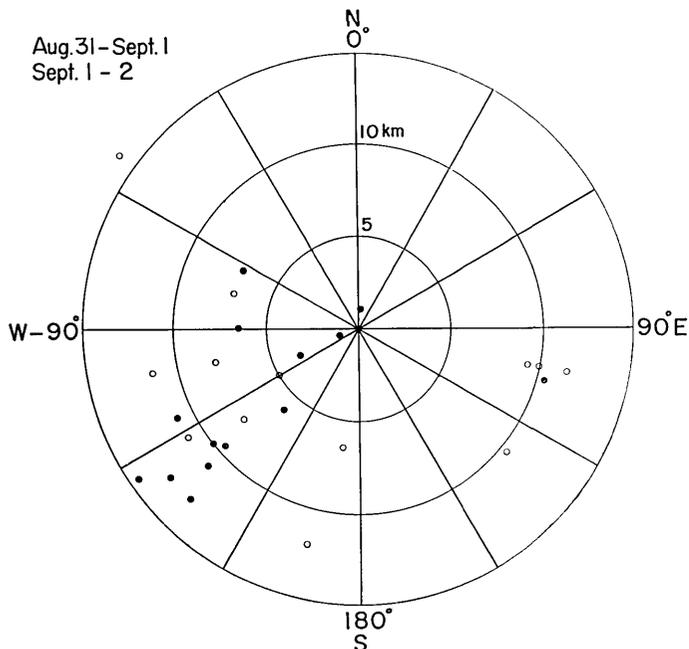


Fig. 8. Epicenters of micro-earthquakes Aug. 31-Sept. 1 and Sept. 1-2.

くなくとも、到来方向と震央距離とを正確に決めるためには、鋭い立上りをもち、同一 phase とみなされる波について、到来時刻差の読みとりをした方がよいことは、筆者等の経験で解っているので、この方法を用いた。

第7図～第10図は、2晩ごとの震央を示し、第11図には、全観測期間の震央を示した。第11図には1949年の今市地震の第1震と第2震の震央も示した。第11図によれば、第1震がいわゆる余震域からはずれているが、これは tripartite と大ネットによる震源決定の系統的なずれによるものかもしれない。今回の tripartite による震源決定の精度は、方向が 10° 以内、震央距離が2~3 kmの範囲内に入ると考えられる。なお余震域の大きさは、この精度を考慮すれば $12\text{km} \times 5\text{km}$ の程度と思われる。

今市地震の余震域は、地震研究所の余

震観測班 (1951) 及び Hagiwara and Kasahara (1951) により決められている。両方の観測精度を考えに入れた場合、今市地震と今回の地震の余震域が隣り合っているのか、あるいは、一部が重なりあっているのかは判別出来ない。

今回の観測から注目されることは、いわゆる余震よりも、むしろ観測点の西側 5~15 km の距離にある地域の微小地震活動の方が活発なことである。観測点からの方位、北より時計まわりに 80°~130°; 距離 9~15km の地域 (余震の起っている地域) を A, -90°~180°; 5~16 km の地域を B, -20°~-90°; 5~18 km の地域を C, 観測点から 5km 以内の地域を D とし、第7図~第10図の地震の数を、それぞれの地域ごとにまとめたのが第2表である。

この表から、B 地域の地震活動は、余震活動の約 3 倍、C 地域も余震活動とほ

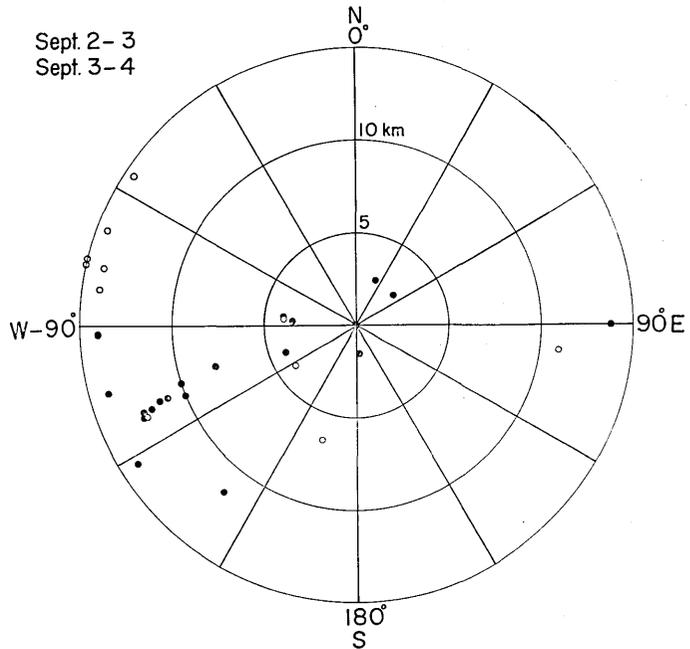


Fig. 9. Epicenters of micro-earthquakes Sept. 2-3 and 3-4.

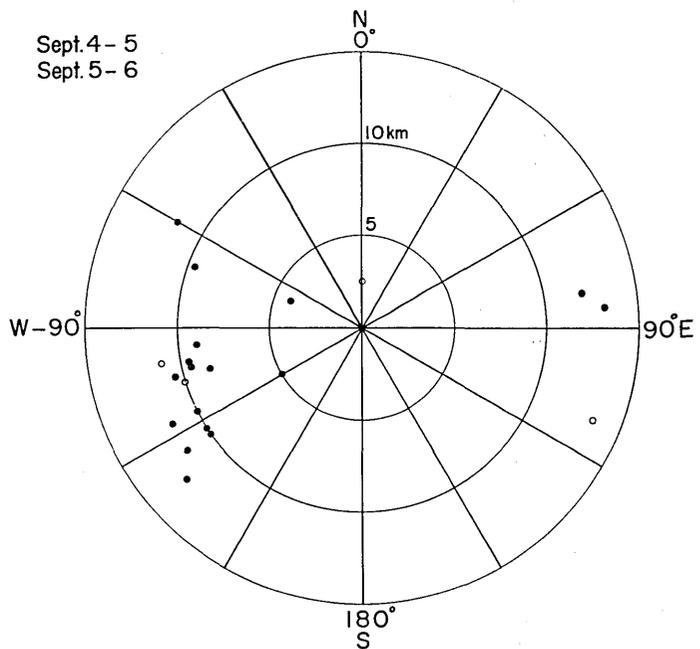


Fig. 10. Epicenters of Micro-earthquakes Sept. 4-5 and 5-6.

Table 2. The number of micro-earthquakes with the ratio. A is the region of the azimuth $80^{\circ} \sim 130^{\circ}$ and the epicentral distance $9 \sim 15$ km. B is the region of the azimuth $-90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ and the epicentral distance $5 \sim 16$ km. C is the region of the azimuth $-20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ and the epicentral distance $5 \sim 18$ km. D is the region of the epicentral distance less than 5 km.

	A	B	C	D
Fig. 7	7 (41%)	5 (10%)	6 (32%)	6 (32%)
Fig. 8	5 (29%)	15 (31%)	4 (21%)	3 (16%)
Fig. 9	2 (12%)	14 (29%)	7 (37%)	8 (42%)
Fig. 10	3 (18%)	14 (29%)	2 (10%)	2 (10%)
Total	17 (16%)	48 (47%)	19 (18%)	19 (18%)

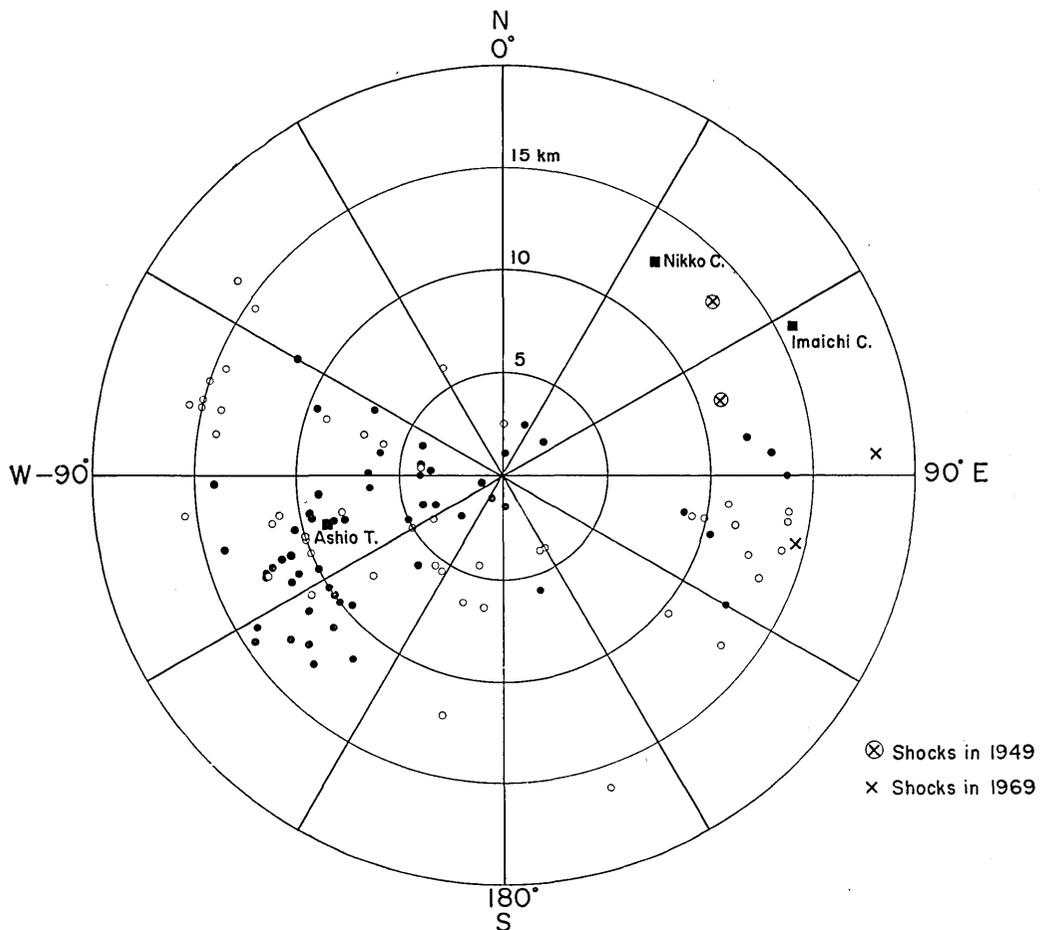


Fig. 11. Epicenters of micro-earthquakes with $S-P \leq 3$ sec at Kobugahara, Tochigi Prefecture during Aug. 29 to Sept. 6. The symbols \times shows the epicenters of shocks on Aug. 13, 1969 and the symbols \otimes show the epicenters of Imaichi Earthquake in 1949.

ほぼ同じ程度の活動を示している。もちろん、A 地域より、B、C 両地域の方が、やや面積が大きいこともあるが、とにかく、B、C 両地域は余震域と同じような、またはそれ以上に、微小地震活動度が大きいと言える。

観測期間中、余震は減少している傾向を示しているが、B 地域の活動は観測 3 日目から増えている。また C 地域は特に増減の傾向は見られない。

第 12 図は 9 月 6 日から 10 月 6 日まで行なつた委託観測で P-S 時間が 3 秒より短い地震（震源を決定した地震はすべて P-S 時間 3 秒以内）の数である。余震が減少していることを考慮に入れば、第 2 表の割合から、この地震の 70% 以上は、B、C 両地域で起つて

いると思われる。第 12 図のハッチの部分は、昼間のノイズの多い時の地震数を有効時間との比から推定したものである。推定数を除いた地震数は 188 個、このうち全振幅 16 mm 以上の地震数は 71 個である。欠測日を除くと、1 カ月の観測のうち有効なのは 20 日である。つまり記録上で全振幅が 16 mm 以上の地震は 1 日平均 3.5 個、地震と認められるものを含めると、1 日平均 9.4 個起つていることになる。

これに対し、1964 年の臨時観測の頃の地震活動は全般に低く、1964 年 7 月～8 月の観測結果では、実効観測日 23 日に対し、P-S 時間 3 秒以下で、今回の全振幅 16 mm 以上の地震に相当する地震は 24 個を記録したにすぎず、1 日平均約 1 個の地震が観測された程度であつた。

以上のことから、観測点の西側、特に足尾附近の微小地震の活動度は 1964 年当時と比べて数倍高くなつてきていると言える。

このような活動が、かなり定常的な活動なのか、今回の地震により excite されたものであるかは不明であり、またいわゆる back ground としての微小地震の活動との関係を、どのように考えて良いかも不明である。今後検討を要する問題であろう。

ある局地的地域の back ground seismicity の調査方法として、多くの場合、数週間の短い観測だけで、その地域の seismicity を推定することが行なわれている。しかし今回のような事実を見ると、この方法は氷山の一角を見るに過ぎない場合が起り得るので注意を要する。

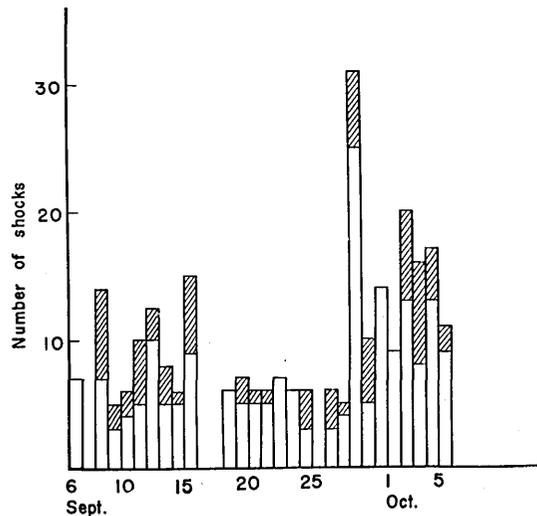


Fig. 12. The daily number of micro-earthquakes with S-P \leq 3 sec. at Furumine Shrine, Kobugahara, Tochigi Prefecture during Sept. 6 to Oct. 6. The white column is the real number of observed shocks and the hatched column is the estimated number of shocks for the noisy time.

§ 6. 謝 辞

本観測の実施に際し、宇都宮大学、越川善明教授には、観測場所の紹介をはじめ、諸資料の提供など、さまざまな援助を受けた。ここに厚く御礼申上げる。

また、古峰神社には、観測場所の提供、委託観測の遂行、宿泊所の提供など、陰に陽に後援をえた。ここに厚く感謝の意を表す。

今回の出張観測に関し、本所所長森本教授、予知センター長力武教授の熱心な御後援について謝意を表す。両教授の督励なくしては、本観測は実施出来なかつた。

観測点の測量は、測地部の岡田、井筒屋両氏が担当された。また、観測器械の設置や撤収には、大学院生の安藤雅孝、須藤研、深尾良夫、阿部勝征の諸氏の協力を得た。ここで改めて御礼申上げる。

原稿を読んで、細かい点まで御注意下さった宮村教授、図や原稿の整理に協力いただいた、後藤良子嬢、荻野泉君に併記して感謝する。

References

- Earthquake Research Institute, 1951, Observation of aftershocks carried out in Imaichi district, Tochigi Prefecture, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **28**, 387-392.
- 萩原尊礼, 岩田孝行, 前田良弘, 茅野一郎, 1962, 筑波山で観測された 1962 年 4 月 30 日宮城県北部の余震, *地震研究所彙報*, **40**, 625-637.
- HAGIWARA, T. and K. KASAHARA, 1951, On aftershocks accompanied the Imaichi Earthquake, December 26, 1949, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **28**, 393-400.
- KAWASUMI, H., 1951, The Imaichi Earthquake of December 26th, 1949. General Description, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **28**, 355-367.
- MIKUMO, T. 1966, A study on crustal structure in Japan by the use of seismic and gravity data, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 965-1007.
- 宮村撰三, 安芸敬一, 松本英照, 安藤誠一, 1961, 北美濃地震余震観測 一岐阜県八幡町における観測一, *地震研究所彙報*, **39**, 895-908.
- 森本良平, 柴野陸郎, 恒石幸正, 1969, 栃木県板荷, 文狭付近の群発地震の地震調査, 昭和 44 年 9 月 22 日, 第 478 回地震研究所談話会。

4. *Micro-seismic Observation at Kobugahara, Tochigi Prefecture.*

—*Aftershock observations of the Earthquake, August 13, 1969—*

By Katsutada KAMINUMA, Kenshiro TSUMURA,
Hideteru MATUMOTO and Ikuo KARAKAMA,
Earthquake Research Institute.

Two felt earthquakes of magnitude about 4 with rumbling of the earth, occurred at 02^h46^m and 03^h20^m (J.S.T.) Aug. 13, 1969 in the northern parts of Kanuma city, Tochigi Prefecture. To explain the cause and feature of the felt shocks and earthquake sounds which continued from that time, a temporary micro-seismic observation was carried out at Furumine Shrine, Kobugahara, Tochigi Prefecture about 15 km west of the epicenters, from Aug. 29 to Sept. 6 using the tripartite array net and from Sept. 6 to Oct. 6 with one component monitoring system. A block diagram and a sensitivity curve of the instrumentation used are given in Figs. 1 and 2. Tripartite stations were occupied, as shown in the

map of Fig. 3, near the temporary observation room of Furumine Shrine.

A seismicity map of Tochigi Prefecture during 1926 to 1967 is given in Fig. 4. The shocks near Imaichi city were the main and aftershocks of the Imaichi Earthquake of 1949 and the shocks near Ashio Town occurred from June to October of 1962. There was no seismic activity observed by J.M.A. network near this region other than the above two events.

As shown in Fig. 5, the temporary observation was started when the number of detectable aftershocks at Tsukuba decreased and became very few.

The origin time and location of epicenters for the main and secondary shocks are given in Table 1. These epicenters were determined using the arrival times of P wave and S-P times for the records of Utsunomiya University, J.M.A. network and Dodaira Micro-earthquake Observatory network.

The observation was carried out only at night time (18^h—08^h). The epicenter location maps of these shocks with S-P time less than 3 sec for every two nights are shown in Figs. 7-10. Fig. 11 shows the epicenter location of all shocks through the observed full period and the location of shocks on Aug. 13, 1969 and also shows the epicenters of the main and secondary shocks of Imaichi Earthquake in 1949.

According to Figs. 7-11, the number of aftershocks seems to be decreased rapidly. In order to explain a seismic feature of the observed shocks, authors tried to compare the micro-seismic activity in each region given in Table 2, the frequency of micro-earthquakes in region B is higher than that in region A which is the aftershock region, the micro-seismic activity of regions C and D almost equal to that of region A.

The daily number of local shocks with $S-P \leq 3$ sec during the period of a single seismometer observation is given in Fig. 12. The hatched column in Fig. 12 shows the estimated number of shocks for the noisy time, obtained from conversion using the ratio of the effective time to the noisy loss time.

188 shocks with $S-P \leq 3$ sec excepting the estimated numbers were observed during Sept. 6 to Oct. 6, and the number of shocks with trace amplitude larger than 16 mm are 71. The average number of micro-earthquakes per day estimated from the effective time for observation is then 9.5 for all shocks, and 3.5 for shocks with the trace amplitude ≥ 16 mm. More than 70% of these shocks occurred in regions B and C, because the number of aftershocks was decreasing during this period.

After the small earthquakes with magnitude around 3 had occurred in 1962, the temporary observation of a single seismometer station was carried out in 1963 and 1964 by members of the ERI and Utsunomiya University at Kobugahara, the same place as this observation.

Seismic activity in these periods was very low. Only 24 shocks which had larger amplitude than that equivalent to 16 mm (trace amplitude) in the present observation, were observed during 23 effective days in August of 1964. Then the micro-seismic activity from August to October, 1969 near Ashio Town is several times higher than that in August, 1964. But the reason for this high activity is not explained. It is necessary to find the relation between this activity and earthquakes of Aug. 13, 1969, and to carry out temporary observations every one or two years in this area.