

Fig. 1. Map showing the observation stations.

Table 1 Observation stations

Station	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude	Sensitivity*
OKU	137°03'09".3	35°52'51".0	640 m	35,500
MAZ	137°09'21".4	35°53'26".6	575	59,800
IWS	137°08'21".4	35°43'02".4	300	37,600
SHR	136°53'44".7	35°53'38".4	545	95,000
HAT	136°57'59".6	35°45'01".0	255	23,700

\* measured at 10 Hz.

IWS, MAZ はそれぞれ白鳥, 奥住, 八幡, 岩瀬および馬瀬観測点の略号である。各観測点には Fig. 2 に示す特性をもつ速度型の地震計上下動成分を置き、すず書きレコーダーで連続記録を行なった。なお紙送り速度は 2 mm/sec で秒マークを 0.02 秒のパルスにして挿入し、NHK の時報で毎時較正を行なった。Fig. 3 は地震記象の一例である。この記録にも見られるように P 波初動の立ち上りは明瞭であり且つ秒マークが入っているので 0.05 秒以上の読取り精度は容易に得られる。S 波については相の見分けが困難なことが多いが、読取り可能な場合は P 波と同様な精度が得られる。各観測点の総合感度は雑微動の大きさと兼ね合いでまちまちであるが、Table 1 にまとめて示してあるように 10Hz



でおよそ 40,000 倍程度に低くした。これは記録すべき地震の下限を マグニチュード 0 程度におさえたことおよび比較的長期間、安定した観測が行なえるよう考慮したためである。

### 3. 余震発生 の 時間 分布

余震発生 の 時間 的 分布 関 して は、大森 の 研究 を はじめ す で に 多 くの 論 文 が 発 表 さ れ て いる。これら の 成 果 は 最 近、UTSU<sup>1)</sup> に よ っ て 余 震 活 動 関 する 他 の 現 象 と 共 に 総 括 的 に 述 べ ら れ て いる。従 来 の 研 究 で は 比 較 的 大 き い 余 震 を 取 扱 っ て いる が、こ こ で は マ グ ニ チ ュ ー ド 0 程 度 の 小 さ い 余 震 も 含 め て こ れ ら の 結 果 が 成 り 立 つ か ど う か を 調 べ る こ と に し た。

Fig. 4 は 1 日 毎 の 地 震 回 数 を 本 震 後 約 170 日 に わ た っ て plot し た も の で あ る。記 録 で は

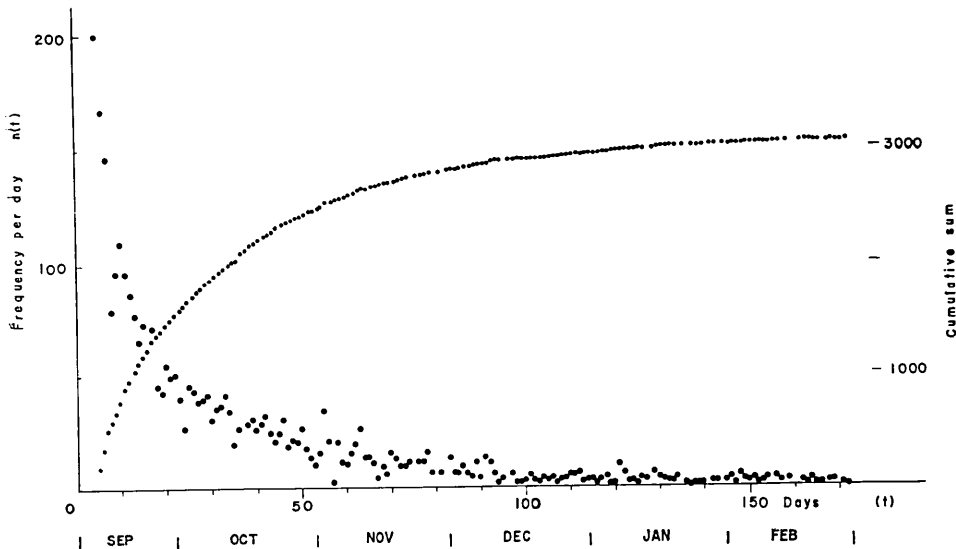


Fig. 4. Daily number of aftershocks and its cumulative sum plotted against time.

更に小さいものも多数読みとることができるが、下限をおさえる意味で少なくとも 2 観測点で同時に記録されたものを数え plot した。この操作はほぼマグニチュード 0 以下の地震を切捨てたことになる。なお小さい黒丸は地震回数の積算値を時間に対して示したものである。次に Figs. 5~7 の黒丸は同じ値を log-log および semi-log で書きなおしたものである。なお、ここに比較のため震源域からおよそ 170 km 離れた丹南観測点 (135°12'50.0'' E, 35°01'55.8'' N) で読み取られた余震回数を白丸で示してある。このように図を書きなおすと分布の特徴が明瞭にみられる。Fig. 5 をみると本震後 37 日までは余震回数 (黒丸) はよく直線にのり、その傾斜はほぼ  $-1.0$  である。しかしこれ以後は急に折れ曲り傾斜は大き

1) T. UTSU, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII*, 3 (1969), 129-195.

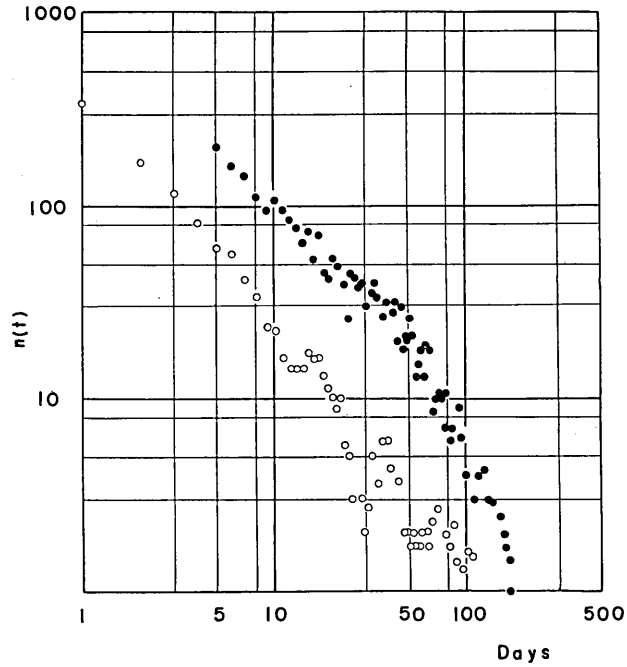


Fig. 5. Daily number of aftershocks plotted on a log-log chart. Solid circles: data obtained at the stations listed in Table 1; open circles: data obtained at the Tannan station about 170 km away from the focal area.

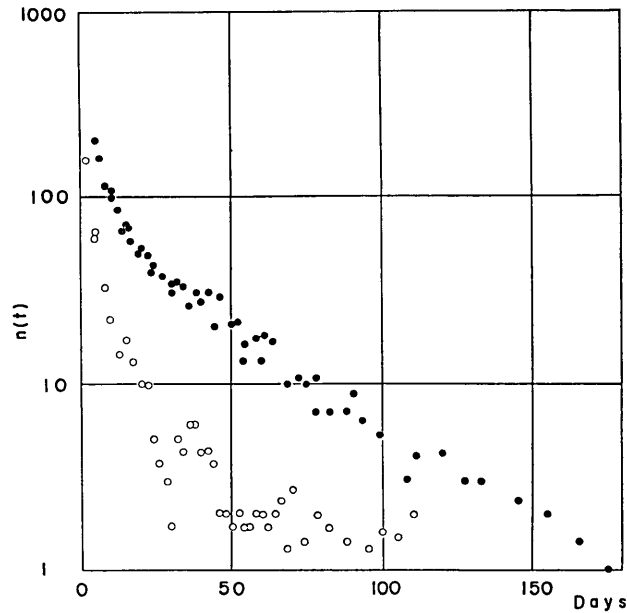


Fig. 6. The same data as in Fig. 5 plotted on a semi-log chart.

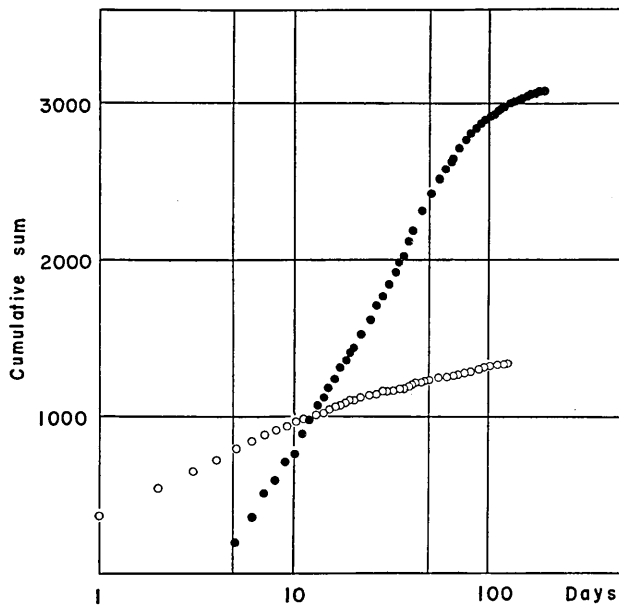


Fig. 7. Cumulative sums of the daily number of aftershocks plotted on a semi-log paper. Solid and open circles correspond to the same data as in Fig. 5, respectively.

くなっている。この後の部分は Fig. 6 から指数関数で表わされることが分る。更に Fig. 7 の積算曲線にも Fig. 4 では不明瞭であった折れ曲りが確められる。以上の結果をまとめると、本震発生後 37 日までは余震回数は  $n(t) = k/t$  で表わされ、その後  $n(t) = k' \exp(-\lambda t)$  に従うことが分った。最初の部分は有名な大森公式  $n(t) = k/(t+c)$  で  $t \gg c$  としたものと同じであり、また改良大森公式  $n(t) = k/(t+c)^p$  で  $p \rightarrow 1.0$ ,  $t \gg c$  とした特別な場合としても表わされる。一方、比較的大きい余震のみを数えた Fig. 5 の白丸をみると、折れ曲りは明瞭ではなく時間の経過と共にばらつきが大きくなり全体として上に凸の分布をしているようにみえる。しかし極く初期の部分を除いて直線で表わされると見做せば、改良大森公式で  $p=1.3$ ,  $c=0.3$  day として表現することができる。このように同じ余震系列をみながら同じ結果が得られないのは如何なる理由に依るものであろうか。もしこれは単に地震発生回数の数え方ないし地震規模の下限に起因するものであるとすれば、震源域に近づいていわゆる“解像力の高い”観測をすれば解決される問題である。これと全く同様な事実が 1968 年 8 月の京都中部 (和知) 地震 ( $M=5.6$ ) についても確められた<sup>2)</sup>ので、前述の結果「余震系列の初期においては余震回数は単純に  $n(t) = k/t$  で表わされ、ある時期以後は  $n(t) = k' \exp(-\lambda t)$  に従って減少する。」を一つの作業仮説として他の余震系列についてもこの様な観測を通じ調べてみたいと思っている。

2) H. WATANABE and A. KUROISO, *Special Contributions, Geophys. Inst. Kyoto Univ.*, 9 (1969), 123-136.

## 4. 余震の震源分布

余震の震源分布およびその時間的変化をみるため、全期間を通じて約1,800個の震源決定を行なった。ここでは第一近似として最も簡単なモデルを用いることにした。すなわち  $V_p=5.64$  km/sec,  $V_p/V_s=1.72$  の均質な層を仮定し、P波およびS波の読取値が少くとも3個得られた地震について震源決定を行なった。このうち異常な深さを示すものは、震央と観測点の配置を考慮しながら記録を読み直し再決定を行なった。震源決定の精度についての check は特に行なっていないが、Fig. 1 に示した観測網の内部に決められた震源については、震央に関して  $\pm 0.3$  km, 深さについても  $\pm 0.5$  km 以上の誤差は含まないと考えても差支えない。しかしこれはあくまでも相対的な精度に過ぎないので(特に深さに関して)、将来、より現実的な層構造を仮定して再決定を行なう予定である。

ところで余震分布の時間的変化をみるために、期間を適当に区切って分布図を作った。Figs. 8(a), (b) は余震系列の極く初期の部分を取り出したものである。このうち(a)図は9月22~23日の震央分布である。余震域はまだ比較的小さくまとまっているが、 $N 25^\circ W$

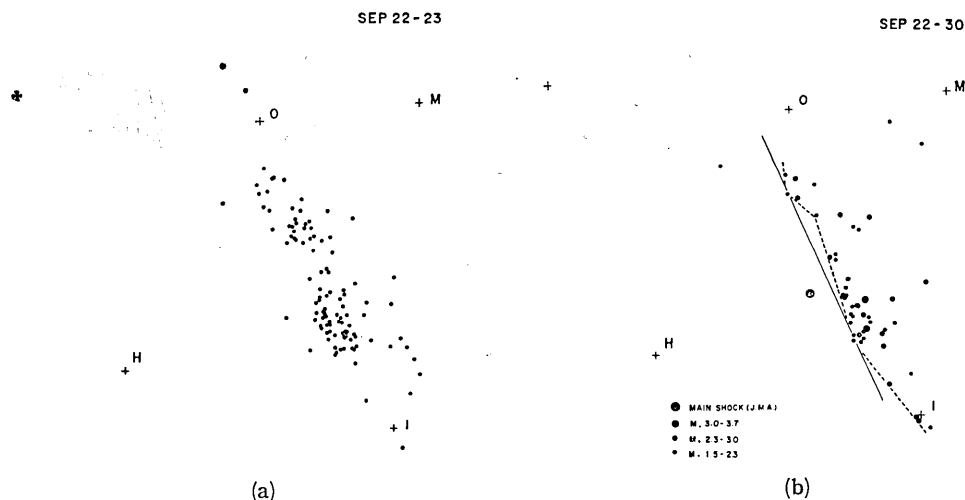


Fig. 8. Epicenter distributions for the early part of the aftershock sequence. (a): data for 24 hours from 22 to 23, September, (b): somewhat larger events for 8 days from 22 to 30, September.

の方向へ帯状の分布をしているのが目立つ。(b)図は9月22~30日の8日間でマグニチュード1.5以上の比較的大きい余震を取り出したものであるが、分布の方向は(a)図と全く同じである。すなわちこの帯状分布は地震の大きさに関係なく余震分布の骨子を成していることが分る。また帯状分布の南々西側の境界は(b)図の直線で明瞭に示すことができ、北々東側の分布とは対照的である。更に、こまかくみればこの境界は(b)図の点線で示すようにいくつかの折れ線で結ぶこともできる。もし仮にこの境界線が本震による地震断層に相当するものであるとすれば、本震の震源はこの境界線上にある筈である。気象庁の観

測によれば本震の震央は (b) 図にみられるように南西方向にずれている。しかし本震の初動分布から得られた nodal lines の一つはこの境界線の方とよく一致する。

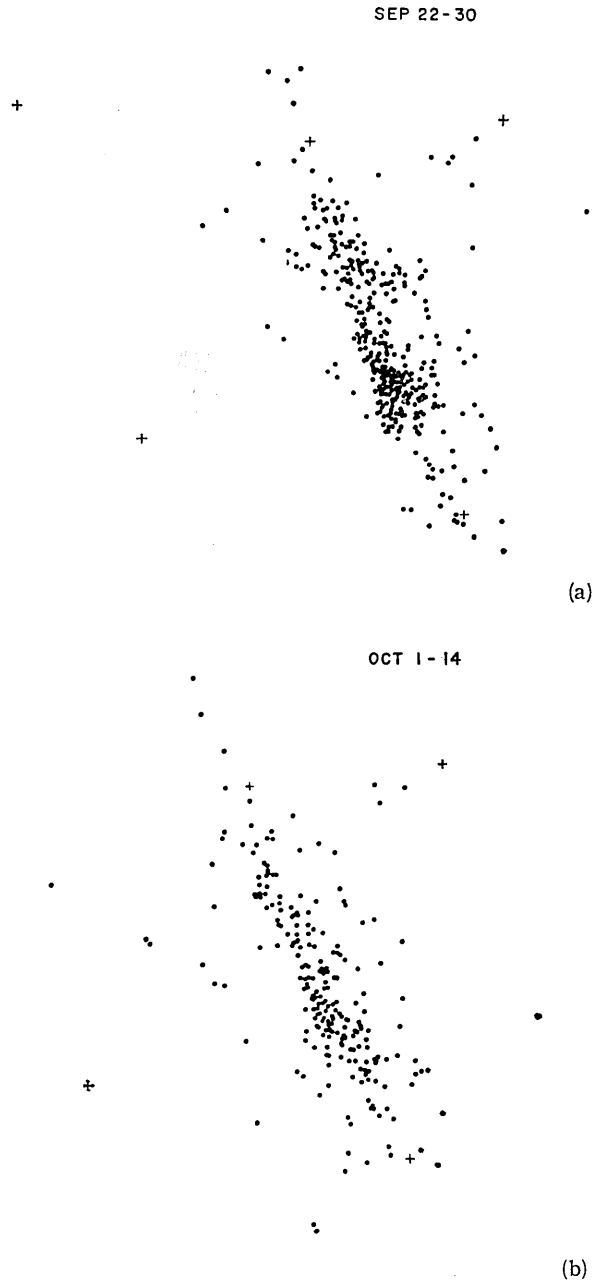


Fig. 9. (a—b)



OCT 15 - 31

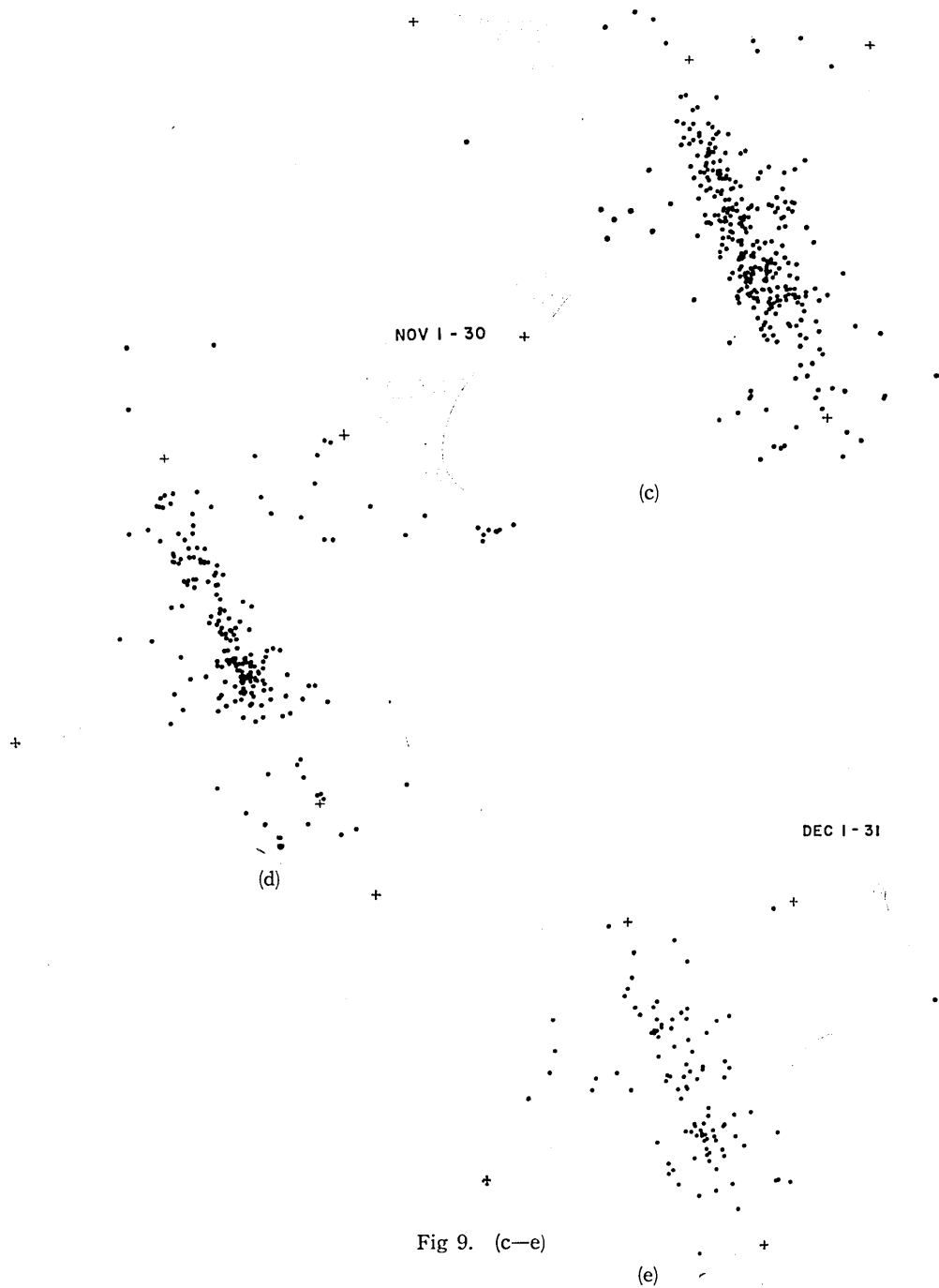
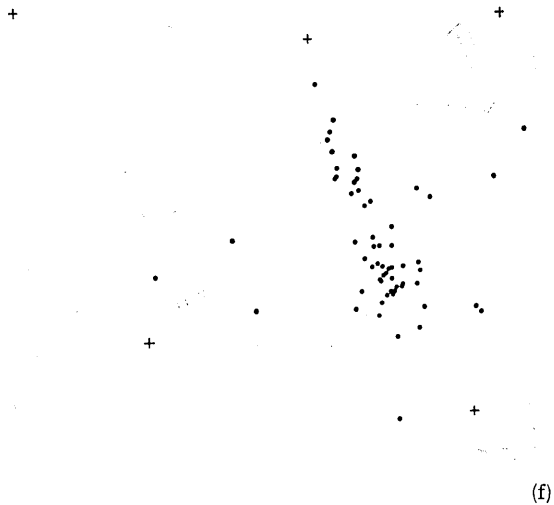


Fig 9. (c-e)

JAN 1 - 31



FEB 1 - 28



Fig. 9. (f-g)

Fig. 9. Epicenter distributions for the respective periods, showing the time variation of the distribution.

次に時間の経過と共にこの基本的な分布が変化して行く様子を示したのが Figs. 9 (a)~(g) である。(a)~(d) の期間では帯状分布の両側へ震源がしみ出し、余震域は拡大しつつある。これは (d) 図 (11 月) で最大に達するが、図からみられるように一様な拡がりではなくいくつかの枝が伸び成長している様に見える。このうち特に東へ伸びたものは下呂と萩原を結ぶ位置にまで達し、帯状分布の方向とおよそ  $75^\circ$  で交わる conjugate set を作っているかのようである。(e) 図 (12 月) になると余震域の拡大は止み余震活動は衰え始める。このような余震域の拡大と共に注目すべきことは地震断層に相当する帯状分布の境界線が全期間を通して明瞭に保存されている事実である。Fig. 9 の分布を重ね合わせ、二期間に分けて示したのが Figs. 10 (a), (b) である。系列の初期の状態を示す (a) 図にこの事実は一層明瞭にみられる。震源が帯状分布の両側へしみ出しているにも拘らず境界線がよく保存されると云うことは、境界線の南西側近傍には余震が全く発生しない地域があると云うことに他ならない。このことは本震によってひどく破碎された断層は余震分布の境界線そのものではなく、これに沿った 1 km たらずの巾をもった地域に相当すると考えることができる。

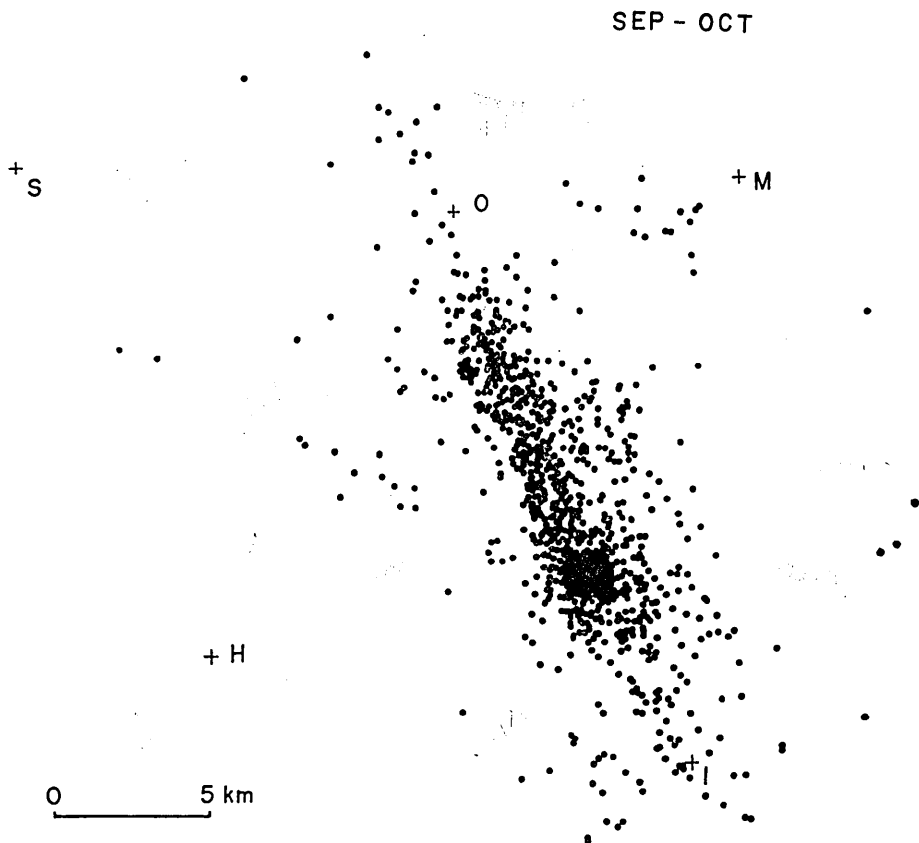
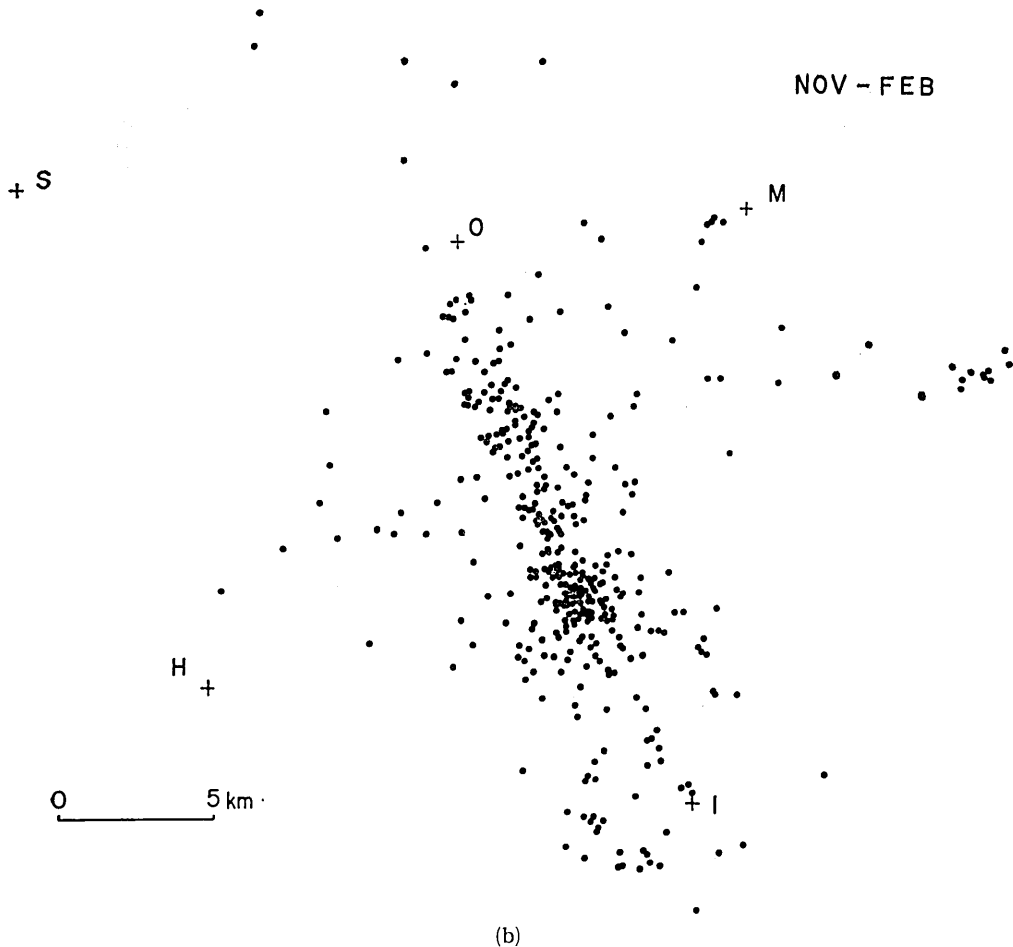


Fig. 10. (a)



(b)  
 Fig. 10. Epicenter distributions for the two periods together. Most of the foci are clustered on the northeastern side of the fault striking  $N 25^{\circ} W$ , as deduced from the focal plane solution of the main shock.

Fig. 11 は帯状分布の方向に沿って截った面上に投影した深さ分布である。Figs. 10 (a), (b) に相当する二期間に分けてあるが、双方で大きい変化はみられない。図から明らかのように、帯状分布で最も震源が密集した地域は深さ分布では最もばらつきが大きく殆んど 0 km から 15 km の範囲にある。ところが帯状分布に沿って北々西方向へ進むとばらつきは次第に小さくなりほぼ深さ 8 km あたりへ収斂する。すなわち  $N 25^{\circ} W$  の方向 (帯状分布の方向) へ打ちこんだ厚さ約 5 km (帯状分布の中)、全長約 27 km のくさび形をした領域に余震が集中して発生したことが分る。これは全余震のおよそ 80% に相当する。すなわち余震活動の大部分はこのくさび形の内部におこり、しみ出し枝分れしたものは数においても、また時間的にみても二次的な活動であると考えられる。従ってこのくさび形は本震に伴って発生した破壊領域を示すものであろう。

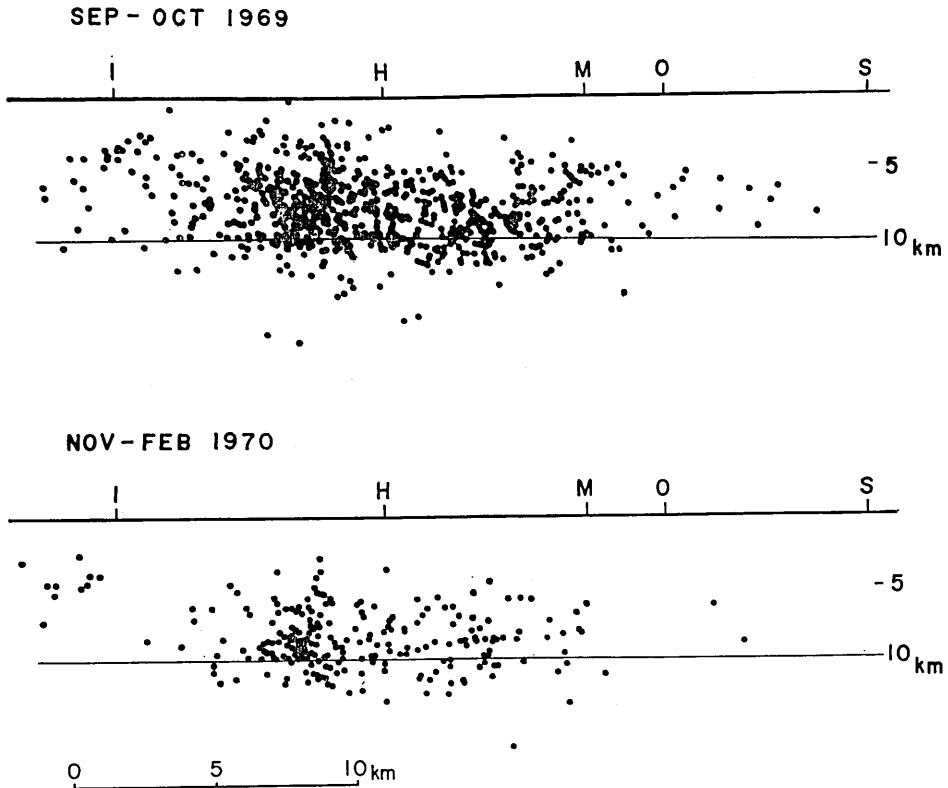


Fig. 11. Depth distributions plotted on a vertical plane parallel to the fault for the same periods as in Fig. 10, showing a wedge-shaped distribution.

ところで地質構造図によれば、この地域は大ざっぱにみて南西側の古生層（美濃帯）と北東側の深成岩（濃飛流紋岩）の境にあたること分る。更にこの構造線の位置および走向は前述の地震断層と良く一致し、大多数の余震は北東側の比較的新しい層に集中して起っているのは興味深い事実である。また余震分布にみられるいくつかの分枝も同様に微細な地体構造と関連させることができるかも知れない。例えば前述の東へ伸びた下呂—萩原へ達したもの、八幡と白鳥の中間へ伸びたものおよび奥住の南から馬瀬へ伸びたものなどである。一方深さ分布をみると震央分布の分枝とは反対に、くさび形の内部でも地震の全く起らない部分があることに気づく。例えば、Fig. 11でIからHへ傾斜した細長い部分およびHとMの間の $\omega$ 形をした部分である。これらの無地震地域も同様に微細な地体構造に起因するものであると考えられるが、現在、更に詳しい資料が得られないので立入った議論は差控えたい。

以上余震の空間分布に関していくつかの結果を羅列したが、本震に伴う地震断層と余震活動との関連を更に詳しく調べ、地震の発生機構に関する研究の資料にしたい。

## 5. おわりに

この報告では岐阜県中部地震に伴う余震系列の概略をみるために、余震発生回数の時間分布および余震の空間分布について二、三の考察を行なった。しかしこの他にマグニチュードおよびエネルギーに関する問題や地下構造モデルについての考察など重要な問題が残されている。更に構造地質学の成果を基にして、余震活動と微細な地体構造との関連を総合的に調査することも必要であろう。

おわりにあたって、観測に便宜を与えられた岐阜県立郡上高校、名古屋大学犬山微小地震観測所および岐阜大学地学教室の諸氏に深く感謝する。また観測および記録整理に際して有益な助言および助力をいただいた阿武山地震観測所の諸氏に厚くお礼を申し上げる。更に、論文掲載に際してお世話下さった地震研究所長森本良平教授および坪川家恒教授に深く感謝する。なおこの研究の一部は文部省科学研究費によるものである。

---

### *67. Aftershocks of the Earthquake of the Central Part of Gifu Prefecture, September 9, 1969.*

By Hikaru WATANABE and Akio KUROISO,

Abuyama Seismological Observatory, Faculty of Science, Kyoto University.

On September 9, 1969, an earthquake with magnitude 6.6 occurred in the central part of Gifu Prefecture. Aftershocks were recorded with a temporary seismographic network equipped with high frequency instruments. This study shows the general aspects of the aftershock sequence.

The daily number of aftershocks, including very small events, was found to decrease according to a rather simple formula,  $n(t)=k/t$ , during the early part of this sequence, whereas the rate of decrease changed at about 40 days after the main shock and the daily number was well represented by an exponential law  $n(t)=k' \exp(-\lambda t)$  till the end of February 1970.

The hypocenter distributions indicated the fact that just after the main shock the foci were clustered only on the northeastern side of the fault, deduced from the focal plane solution of the main shock and they, afterwards, spread gradually towards both sides of the fault, forming a peculiar pattern of distribution of foci. An attempt was made to relate this pattern to the geotectonic structure of the focal region.

---