

## 12. 栃木県足尾地域の微小地震について

地震研究所 荻野 泉

(昭和48年12月28日受理)

### §1 はしがき

栃木県今市市付近には、1949年12月  $M=6.4$ ,  $M=6.7$  の双発型の地震（いわゆる今市地震）が発生し、死者8人、全壊家屋334戸の被害をもたらした。また1969年8月中旬から下旬にかけて、最大  $M=4.2$  を含む有感地震が、鹿沼市北方域で、群発している（神沼他、1973）。

この群発地震については、東京大学地震研究所地震予知観測センターの地震観測班によって tripartite array 方式による臨時観測が行われた（神沼他、1970）。観測場所はこの震源域から約 15 km 西に離れた栃木県古峰ヶ原・古峰神社 ( $\varphi=36^{\circ}39'11''N$ ,  $\lambda=139^{\circ}31'50''E$ ,  $H=700\text{ m}$ ) であった。観測を実施したのは、有感地震がほとんど無くなった同年8月下旬からであったが、同有感地震発生域での地震（特に微小地震）活動よりも、観測点の西 10 km の足尾町付近での地震活動のほうが活発であった。

また宇都宮大学のスタッフによる臨時観測の結果でも、古峰ヶ原西北地域で時々微小地震が群発していることが認められている（鈴木他、1972）。

今までの観測によれば、この地域の微小地震活動は、非常に活発なことが推定されているが、いずれも観測期間が短かかったので、この活動が常時起っているいわゆる background seismicity によるものであるのか、あるいは異常活動によるものであるのか、もし異常活動ならばその継続時間はどの位であるのか、などの活動の性質は明らかになっていない。これらの問題点を調べる為に、やや長期間の臨時観測を行った。観測期間は1972年8月20日から1973年3月15日までである。

### §2 観測場所及び観測方法

観測点は第1図に示したように、栃木県上都賀郡足尾町銀山平 (GIN) にある国民宿舎「かじか荘」( $\varphi=36^{\circ}39'15''N$ ,  $\lambda=139^{\circ}24'44''E$ ,  $H=800\text{ m}$ )、栃木県上都賀郡粟野町田ノ端 (TAN) の農家 ( $\varphi=36^{\circ}34'43''N$ ,  $\lambda=139^{\circ}31'25''E$ ,  $H=440\text{ m}$ ) の2点に設置し、もう1点は、1969年8月から観測を行っている前記古峰ヶ原 (KOB) 観測点 ( $\varphi=36^{\circ}39'11''N$ ,  $\lambda=139^{\circ}31'50''E$ ,  $H=700\text{ m}$ ) を利用した。上下動地震計による一辺約 10 km の大きな tripartite array 方式である。

観測方法の概略を、ブロックダイヤグラムで第2図に示した。銀山平に設置した地震計（勝島製作所、1 c/s）は山の斜面にある大きな岩盤を利用し、noise も少なかった。田ノ

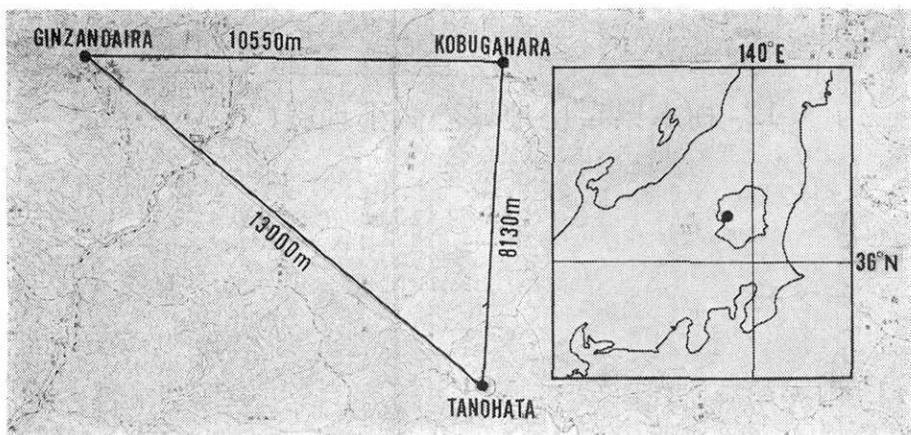


Fig. 1 Location of observation points; GIN; Ginzandaira, TAN; Tanohata and KOB; Kobugahara.

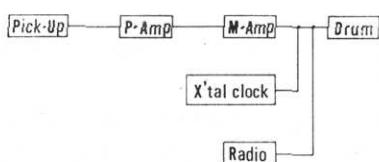


Fig. 2 Schematic diagram of the instrumentation used at Ginzandaira and Tanohata points. The magnification of instrument is about  $8 \times 10^4$  at both points.

端に設置した地震計(勝島製作所, 1 c/s)は山の斜面にくり抜いた穴(高さ約1m, 幅1.2m, 入口から1m位入った所で右に折れて, 更に2m入った所の中央)を利用した。岩がなかば風化していたので, 平たい石をセメントで固定して, その上に乗せたが, 銀山平に比較してnoiseは, やや多めであった。倍率は銀山平, 田ノ端ともに約84,000倍, 古峰ヶ原が約100,000倍である。

観測に使用した記録器は, ドラム式記録器, 紙送り速度は4 mm/sec, ピッチは1 mmでインク書き方式である。記録紙は1日1回交換した。プリアンプは国際電子製 GPA-402 メインアンプは渡辺測器製 WA-231 を使用した。時刻較正はSONYのデジタルラジオを改造し, 1時間ごとにNHKの時報を刻時した。1973年1月~3月は, 古峰ヶ原では記録器の故障による欠測が続いたためあまり震源決定はできなかった。

### § 3 日別地震回数

今回の足尾地域で行った観測の結果, 銀山平, 田ノ端で記録された地震のうち, 地震と判断されたのは銀山平3,579個, 田ノ端2,275個である。このうち  $P-S < 5$  sec の地震につき日別地震回数を第3図に示した。田ノ端に比較して銀山平が約2倍の地震を観測している。これは両観測点に同時に観測される地震以外に, 銀山平だけにしか記録されない地震が多いことを示している。銀山平では1日に数個から, 30個位の地震が観測されている。 $P-S < 5$  sec の地震が記録されなかった日は少なく, 最大は35個である。また田ノ端では1日に観測される地震は数個から15個位である。銀山平で群発的(例えば1日30個以上)に地震が発生したのは1972年9月23日, 10月1日, 1973年2月25日, 2月26日, 3月5日, その他25個~29個ある日が数日あるのに対し, 田ノ端では1日30個以上の日はない。

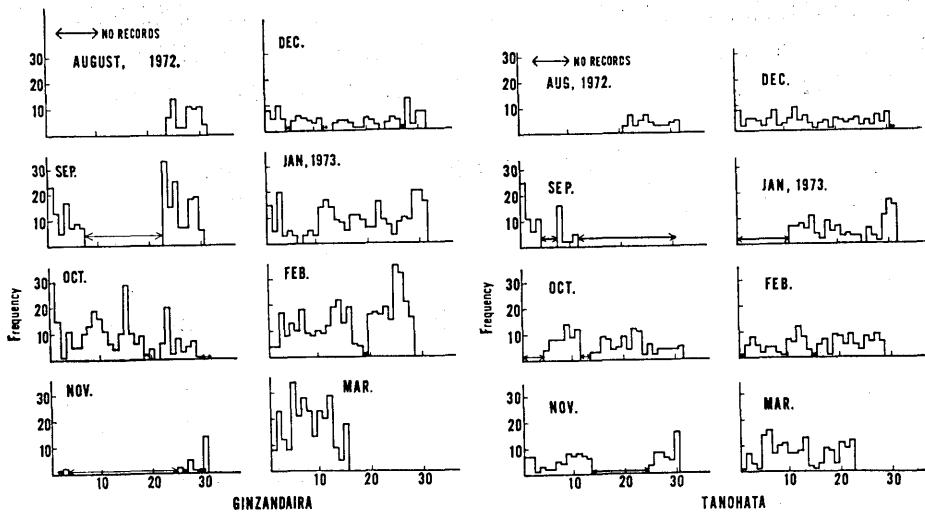


Fig. 3 Daily frequency of earthquakes whose P-S time is less than 5 seconds at Ginzandaira and Tanohata from August, 1972 to March, 1973. The arrows show the period in which the records are not obtained by some instrumental troubles.

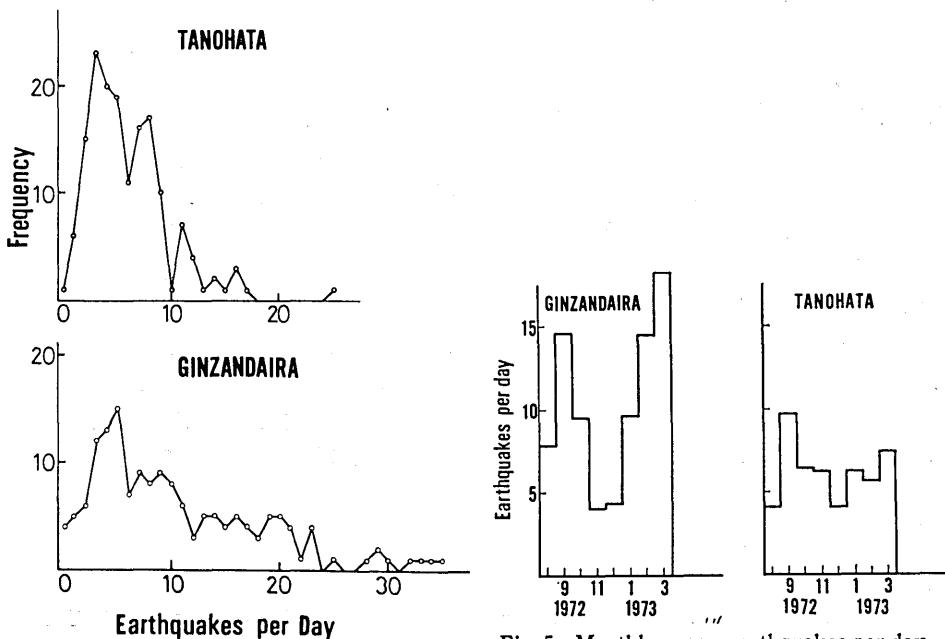


Fig. 4 Frequency distribution of number of earthquakes per day, recorded at Ginzandaira and Tanohata.

Fig. 5 Monthly mean earthquakes per day observed at Ginzandaira and Tanohata.

1日ごとの地震回数の分布を第4図に示した。田ノ端では1日の地震数が10個以下の日が、161日の観測日数のうち、142日で88%であるのに対し、銀山平では156日のうち、95日で61%となる。これは銀山平のみで観測されるような地震が群発的に発生していることを示している。

月別に平均した1日当たりの地震回数を第5図に示した。銀山平が田ノ端にくらべて、約2倍地震が多いことがより明確に示されている。両観測点とも8月は、観測日数が8~10日と少ない。また銀山平では11月に記録器の故障により欠測が多く、観測日数は6日間であった。8月と11月の地震数が少いのは、このような原因によるのかも知れないが、とにかく銀山平では1日平均して少なくとも10個位、多い場合は30個以上の地震が記録されている。地震の多い月と少ない月とでは、1日当たりの地震数にして約3倍の差があるのに對して、田ノ端の1日当たりの地震数は5~10個位と、ほとんど同じ程度の発生頻度である。

特に観測期間の後半の1973年1月~3月は、銀山平の地震数が増加している。これはおそらく、田ノ端では記録されにくい方向、例えば銀山平から見て北とか北西方向に微小又は極微小地震が発生していることを示している。宇都宮大学の調査(鈴木他, 1973)は、古峰ヶ原西北方向にも地震活動の活発な地域があることを示しているが、銀山平のみで観測される地震は、この活動に対応するものと思われる。

#### §4 P-S 分布

銀山平と田ノ端のP-S<5 sec の地震の頻度分布を月別に第6図に示した。両観測点とともにP-S 1.1 sec~1.5 sec 付近に著しいピークがみられ 2.5 sec 以上になると数は少なくなる。この事実は両観測点とも観測点から数km以内に、地震が発生する地域があることを示している。銀山平で群発地震が記録された時期に、銀山平及び田ノ端でP-S 1.1 sec~1.5 sec の地震の数は、銀山平の方が2~3倍多い。銀山平と田ノ端の中間に地震が発生しているとすれば、両観測点間の距離約13 km, 大森係数  $\kappa=5.5$ ( $\kappa$ の値については後で述べる)と仮定して、両点でP-S 約1.2 sec となる。この場合、両点でほぼ同数の地震が記録されるはずである。しかし実際には田ノ端で記録された地震は、銀山平に比べて非常に少ない。銀山平で記録される大部分の地震の震源を銀山平の北ないし北西地域と考えると、田ノ端では少なくともP-S が 2.5 sec 以上の地震が記録されるはずであるが、そのような地震はほとんど記録されていないし、地震波の減衰を考えても、少なすぎる。これは§3で述べたように、銀山平の北方域に発生する極めて小さな地震と思われる。

#### §5 震源分布

銀山平、田ノ端、古峰ヶ原の3点のP-S 時間を使い、大森係数  $\kappa=5.5$ として震源を求めた。 $\kappa=5.5$ はこの地域での $\kappa$ の値( $\kappa=6.0$ , 宇都宮大学鈴木将之氏私信)よりも小さいが、これは観測点近傍の地震のみを対象としたので、このような値を用いた。

観測点の座標を  $x_i, y_i, z_i$ , ( $i=1, 2, 3$ ), P-S 時間を  $\tau_i$ , 震源の座標を  $x, y, z$  とすると、次式により震源が求められる。

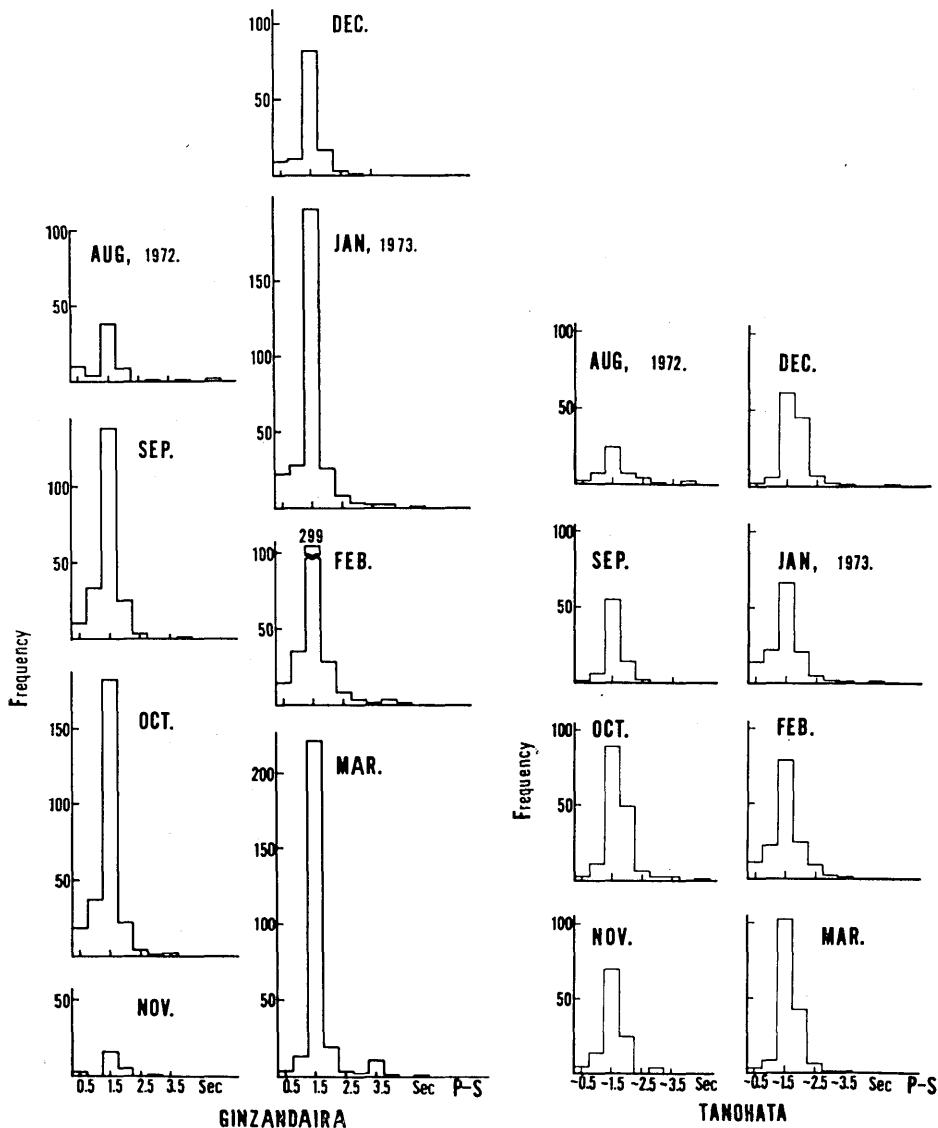


Fig. 6 Frequency distribution of P-S time which is less than 5 seconds at Ginzandaira and Tanohata.

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = \kappa^2 \tau_i^2 \quad (i=1, 2, 3)$$

ここでは、深さ  $z=1\sim10$  km と 1 km ごとに仮定し、それぞれの  $z$  について  $x, y$  を求め、誤差の最も小さな  $(x, y, z)$  の組合せを震源とした。ただし深さ ( $z$ ) が 1 ~ 2 km 変わっても、震央 ( $x, y$ ) の移動はほとんどの場合 1 km 以下である。3点の観測網の大きさが約 10 km, ほとんどの地震がその内側に分布することなどから、ここに決められた地震の震央は、相対的には ± 1 km 程度の精度はあると考える。

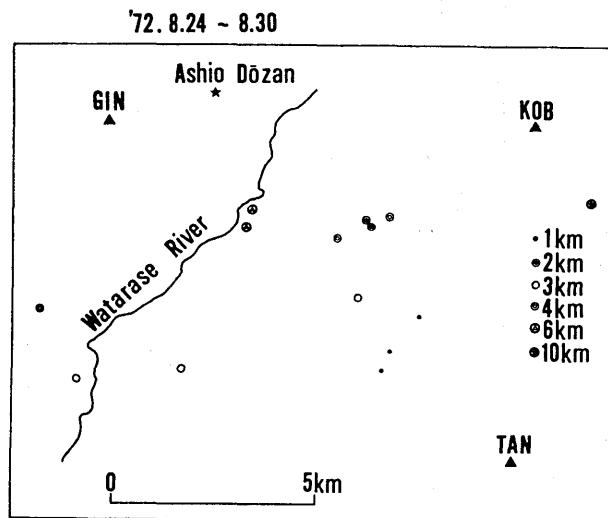


Fig. 7・1

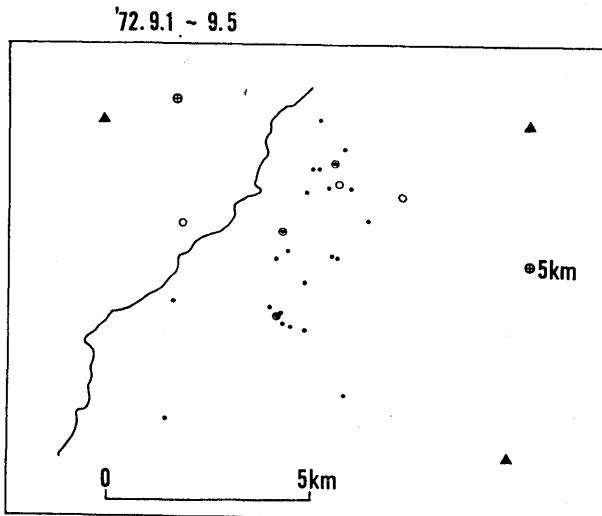


Fig. 7・2

残念ながらこの臨時観測の後半は、古峰ヶ原の欠測が多く、震源決定の出来た地震が少なかったが、全期間を通じて約230個の地震の震源を決めることが出来た。求めた震央を月別に示したのが第7図である。

図を見る限りにおいては、月によって地震の集中性が認められるが、震央分布のパターンに大きな変化は認められない。第7図を1枚の図にまとめ、東西、南北の面に投影した

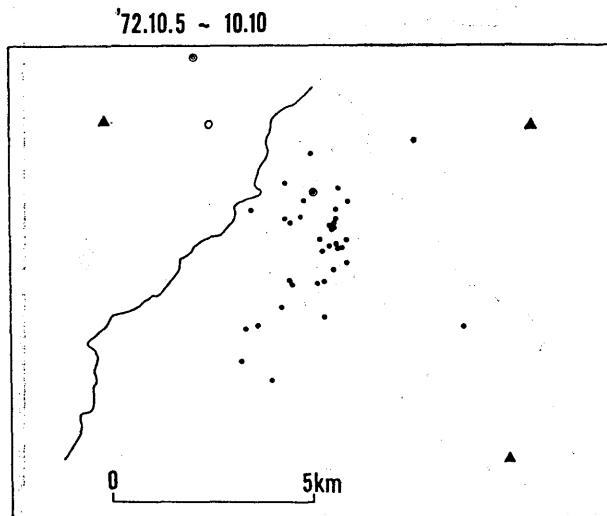


Fig. 7・3

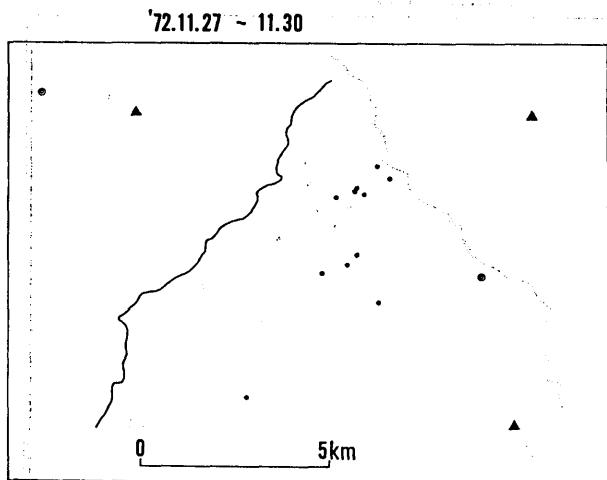


Fig. 7・4

垂直分布図をつけたのが第8図である。前述のように震源の深さは1kmごとに決めたので、精度のやや劣るものもある。しかし大部分の地震が非常に浅いところで起っているのは確かなことである。

また第8図では10月、12月、3月などの震央分布図に認められた地震の集中性が明瞭になっている。観測網の中でも、地震は一様に起っていない。3観測点から最も遠い南西地

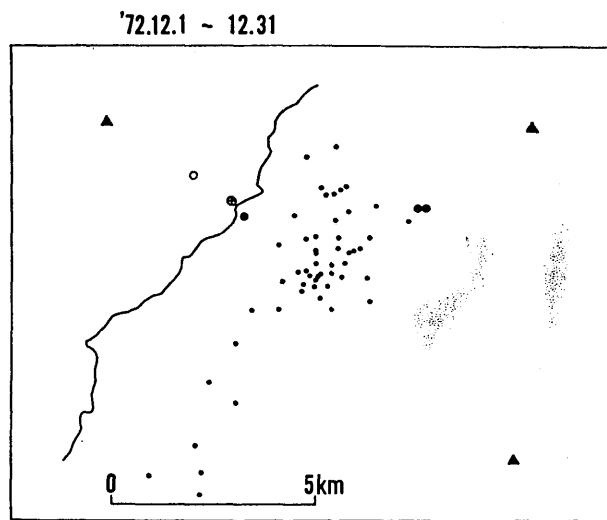


Fig. 7・5

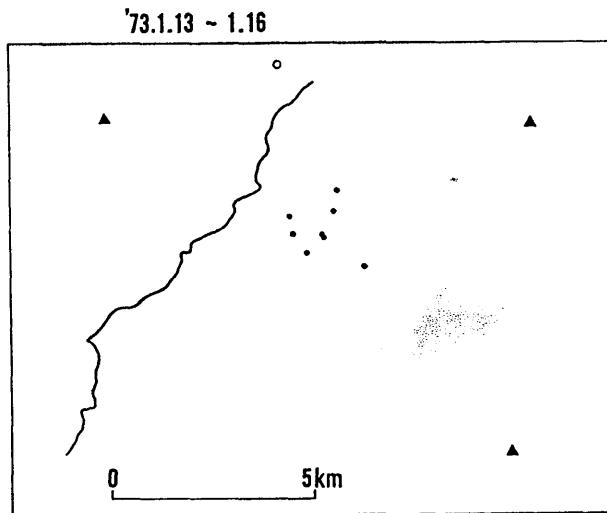


Fig. 7・6

域の地震も震源決定されていることを考えると、第8図の分布は充分な意味を有すると思われる。この震央分布のパターンは、過去の臨時観測でも示された震源分布とよく対応している（神沼他, 1970）。

震央が渡良瀬川の東側に沿い平行に帯状に分布していることは、大変興味深いことである。この帯状の分布は、幅が2～3 km、その中心は渡良瀬川から約2 kmである。渡良

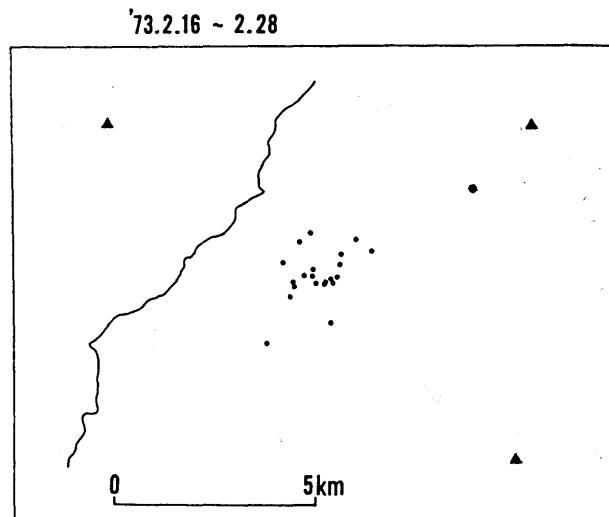


Fig. 7・7

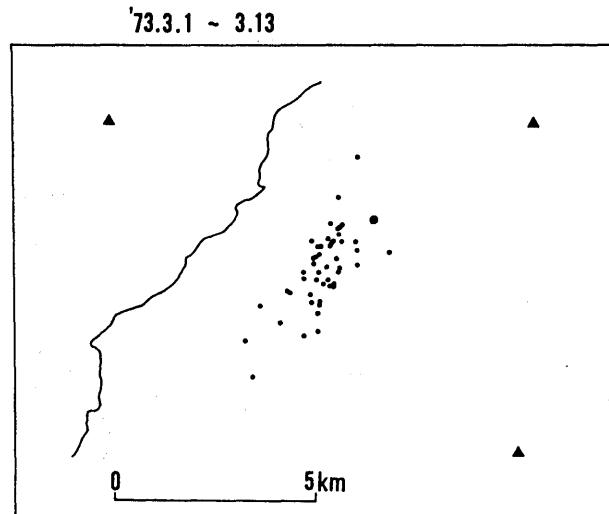


Fig. 7・8

Fig. 7 Epicenters of earthquakes which P-S time is less than 5 seconds in every month determined from P-S time of three observation points.

瀬川の西側に分布する地震の震源は、相対的に深くなっている。

震源決定した地震の基準は、3点で記録されている  $P-S < 5 \text{ sec}$  の地震としたが、結果的には各点とも  $P-S 0.5 \text{ sec} \sim 2.0 \text{ sec}$  の間に集中した。

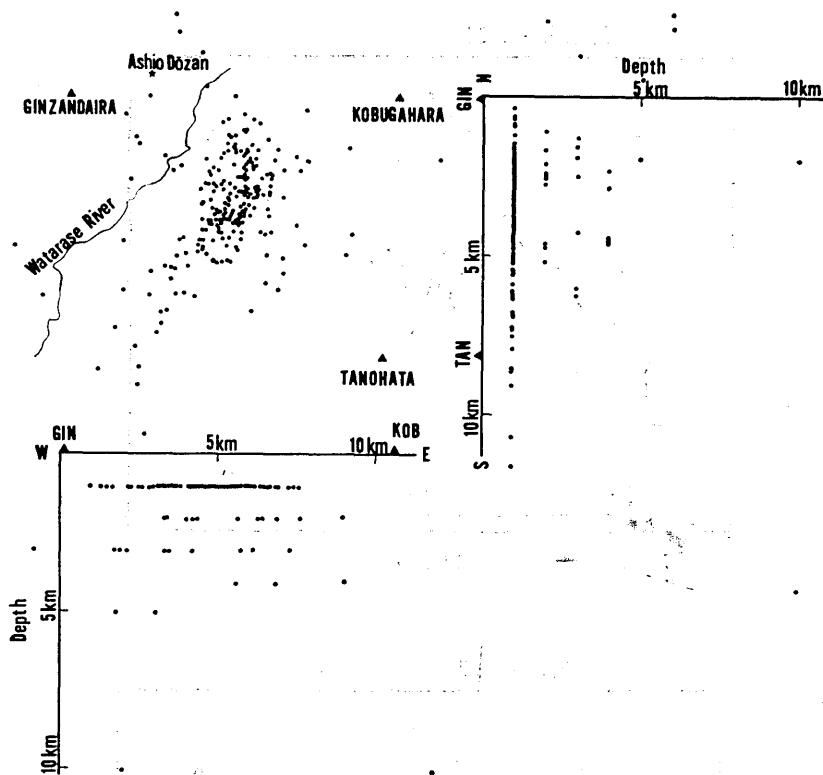


Fig. 8 Distribution of epicenters determined by the P-S time of three observation points and of hypocenters projected on east west and north south vertical planes.

## § 6 結 論

1. 7カ月の観測結果から、P-S<5 sec の1日当たり平均地震回数は、銀山平10.5個、田ノ端6.0個である。
2. この地域では1日約5~10個の近地地震が定常的に起っており、それに加えて、時時群発地震が起っている。これだけの観測期間では、確定的なことはいえないが、ほぼ1カ月に1回以上の割合で群発地震が起きているようである。
3. 大部分の地震は、渡良瀬川の東側に川と平行に、幅2~3 km、長さは約10 km以上の帯状の地域に集中している。深さはほとんど1 kmである。
4. 渡良瀬川の西側に分布する地震の震源はやや深い(2~6 km)。
5. 銀山平の日別地震回数とP-S分布から判断すると、震源決定できた地震は少ないが、この付近でも地震活動は活発で、群発地震も起っているようである。

## § 7 謝 辞

本観測の実施に当たり、地震移動観測室の酒井要氏、石川良宜氏には、観測点設置、定期点検など、さまざまな協力を受けた。ここに厚く御礼申上げます。

宇佐美竜夫教授、地震移動観測室の唐鎌郁夫氏には、観測に際し御援助をいただいた。

また国民宿舎「かじか荘」の皆様、田ノ端の斎藤定男氏には、観測点設置、観測場所の提供、委託観測の遂行など、さまざまな協力を受けた。また、大間々営林署長、同署足尾林業事務所の皆様方には国有林の提供等の協力をいただいた。ここに厚く御礼申上げます。

原稿をまとめるに当り、いろいろな点で御指導、御注意をいただいた、地震研究所神沼克伊氏、茅野一郎氏、津村建四郎氏、岩田孝行氏には、ここで改めて御礼申上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 神沼克伊、岩田孝行、茅野一郎、大竹政和、1973、図説日本の地震 1872年～1972年、地震研究所研究速報第9号。
- 2) 神沼克伊、津村建四郎、松本英照、唐鎌郁夫、1970、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——、地震研究所彙報、48, p. 53～63.
- 3) 鈴木将之、亀山弘、1972、栃木県西部における地震活動(I), 宇都宮大学教育学部紀要, 第22号, 第2部, p. 45～52.
- 4) 鈴木将之、亀山弘、越川善明、 笹沼武美、栃木県西部の微小地震活動(II), 昭和48年度地震学会秋季大会講演予稿集, 1973, No. 2.

### *12. Seismic Activity in Ashio Area, Tochigi Prefecture.*

By Izumi OGINO,

Earthquake Research Institute.

A temporary seismological observation is carried out in and near the Ashio area, Tochigi prefecture from August 20, 1972 to March 15, 1973. Two observation points were temporarily set at Ginzandaira (GIN) and Tanohata (TAN). Local earthquakes whose P-S times are less than 5 seconds are discussed.

The number of earthquakes recorded at Ginzandaira is about two times larger than that at Tanohata. This fact suggests that the seismic activity around Ginzandaira is high compared with the activity near Tanohata.

The seismicity in this area is characterized by the following facts; (1) the seismic activity is relatively high comparing with that in the surrounding area; (2) earthquake swarms occurred sometimes even in the steady period of the seismic activity.

Hypocenters of earthquakes located in the western part of Tochigi prefecture were determined by the records at the above two temporary stations and Kobugahara observation point. The depth of almost all of the earthquakes is less than 5 km. The epicenters are distributed to form a belt whose center is located 2 km east along the Watarase river.