根尾断層周辺に発生する 極微小地震の観測

京都大学理学部 三 木 晴 男
阿武山地震観測所

同 渡 辺 晃

同 島 田 充 彦

(昭和 40 年 6 月 27 日受理)

Observations of Ultra Microearthquakes in the Vicinity of Neo Valley Fault in Central Honshu, Japan.

Haruo MIKI, Hikaru WATANABE, Mitsuhiko SHIMADA

Abuyama Seismological Observatory, Faculty of Science, Kyoto University

(Received June 27, 1965)

On August 1963, the observations of ultra microearthquakes were carried out by the Research Group for Ultra Microearthquakes. One of the main purposes of these observations was to elucidate the seismic activity of microearthquakes occurring in Chubu and Kinki Districts, especially in the vicinity of Neo Valley Fault in Central Honshu, Japan. Most of these observations were made by use of velocity seismographs with high magnification (about $10^6 \sim 10^7$ mm/kine at short period less than 1 sec.) in order to register very small earthquakes of seismic magnitudes less than zero and to get a good noise-to-signal ratio at the short period.

During the observation period, about 1,500 earthquakes were observed by our Group at temporary stations, 9 in total, and also at 4 routine stations of Kyoto and Gifu Universities, spread widely over Kinki and Chubu Districts up to distance of about 170 km. As the result of the observations, we could find that about 50 earthquakes, including microearthquakes of M less than 2 or 3, were occurring every day in this region. This fact shows that the seismicity of a given region of high activity can be estimated from high-gain recordings during a very short time interval.

§ 1. まえがき

1963 年 7 月 25 日から 8 月 31 日に亘つて、極微小地震研究グループの第1回目の共同観測が、岐阜県根尾谷をかこんで行なわれた。この共同観測では根尾断層附近に発生すると予想される極微小地震を小規模な観測網で記録すると同時に、さらにその周囲を大規模な観測網でとりかこみ、近畿および中部地方の広い範囲にわたつて発生する微小地震の観測を行なつた。

昭和 39 年 5 月 7 日地震学会で発表。

この共同観測によつて観測された地震は験震表にまとめて別に発表してあるので、ここではこれから得られた結果の概要を報告するにとどめ、さらに詳細な研究は他の論文にゆずりたい。

§ 2. 観測の概要

この共同観測に参加した各機関、観測点の位置および観測期間を一括して Table 1 および Fig. 1 に示す。このうち根尾谷周辺の5観測点 (Neo Valley network と呼ぶことにする。) は、神所を中心にして、5~7 km の間隔で配置され、マグニチュード0以下の極微小地震の観測に主目標をおき、特に刻時精度および記録装置の感度の向上をはかつた。このような高感

Fig. 1. Distribution of observation stations. The triangle corresponds to the location of Neo Valley network which is given in lower right corner of the figure.

度観測では back ground noise とのかねあい、観測点の位置および感度が左右されるので、あらかじめ、短周期常時微動が $10\sim 20\ \mu\text{kine}$ 以下になる場所を選び観測点を決めた。さらにこの S/N 比を向上させるため、夜間の静隠時を選び (21 時～04 時)、約 7 時間の連続観測を行なうことにした。

Table 1. List of temporary and routine stations, observation periods and observers.

Observation station	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Observation period	Observers
Abuyama	34°51' 24.4''	135°34' 22.4''	215	routine	Abuyama seismological Obs., Kyoto Univ.
Hino	34 59 09.0	136 16 47.0	260	24 July~28 Aug.	Ditto
Iwao	34 52 57.0	136 07 56.0	400	20 July~28 Aug.	Ditto
Tsuchikura	35 35 30.3	136 18 16.1	340	25 July~29 Aug.	Geophysical Inst., Kyoto Univ.
Sinpukuji	35 27 16.2	136 47 35.7	50	routine	Gifu Univ.
Hirukawa	35 31 14.0	137 21 46.0	360	routine	Ditto
Furukawa	36 12 23.0	137 08 58.0	670	routine	Ditto
Hachiman	35 45 22.0	136 58 21.0	264	29 July~29 Aug.	Earth. Res. Inst., Tokyo Univ.
Kurozu	35 41 24.0	136 35 47.0	370	15 Aug.~28 Aug.	Geophysical Inst., Tôhoku Univ.
Matsuda	35 39 29.0	136 39 24.0	292	15 Aug.~28 Aug.	Geophysical Inst., Tokyo Univ.
Kôdoko	35 38 10.0	136 36 29.0	265	29 July~28 Aug.	Earth. Res. Inst., Tokyo Univ.
Okutani	35 37 19.4	136 39 13.2	260	13 Aug.~28 Aug.	Inst. of Earth Science, Nagoya Univ.
Takao	35 35 49.0	136 37 42.0	180	12 Aug.~28 Aug.	Abuyama seismological Obs., Kyoto Univ.

一方、大規模な観測網 (large network と呼ぶことにする.) は、京都大学、岐阜大学の既設の観測所を含め、約 20 km 間隔のネットを作り、24 時間の連続観測を行なった。

各観測点の位置は三角測量にもとづく方法で決定した。二三の既設観測所を除き、大部分の観測点では、固有周波数 3 cps の地震計を使い、これを増幅器に接続し、電磁オッシュログラフまたは磁気テープに記録した。刻時装置は JJY または NHK のラジオシグナルで校正され、Neo Valley network および large network ではそれぞれ 1/100 秒および 1/10 秒の精度を保った。

地震計および記録装置の感度は各観測点により、また back ground noise により一定し

ていないが、Neo Valley network では 10~100 cps でほぼ一定感度をもつ速度地震計を使用し、その最高感度はほぼ $10^6 \sim 10^7 \text{ mm/kine}$ である。

§ 3. 地震記象

観測期間中に記録された地震の総数は 1489 個であつた。これらの地震の読取りは各観測者の主観に依つたので、各観測点から報告された地震の総数はかなりのちがひがある。一般に、一観測点のみで記録された記象が地震であるかどうかの判定は困難な場合が多い。Fig. 2 および Fig. 3 は高尾で記録され、他の隣接した観測点では記録されなかつたものの例である。Fig. 2 の記象にみられるように、比較的明瞭に P 波および S 波が記録され、これは一見して極めて近距離の地震であろうと考えられるが、他点の記象と比較することができないので、自然地震であるかどうかの判定がむずかしい。さらに Fig. 3 の記象は震動継続時間が 0.3 秒以下で、いわゆる地震のかたちをしていない。しかし観測点のほとんど真下に発生した極めて近い地震であるかも知れない。Fig. 4 は高尾で記録した記象の震動継続時間についての頻度

Fig. 2. An example of seismograms recorded at Takao station.

The P and S waves are clearly recorded so that these traces should not be rejected merely because they are not registered at the other stations.
(Time marks: every 0.1 sec)

Fig. 3. An example of traces of back ground noises or electric circuit noises recorded at Takao station. (Time marks: every 0.1 sec)

分布である。黒くぬりつぶした部分は、高尾1点のみで記録されたものの数である。これによると、継続時間1秒以下の記象は地震であるかどうか疑わしいものがほとんどを占めるが、2秒以上になると、少なくとも2点以上の記録が得られ、自然地震であると考えても差し支えないようである。

このように極めて小規模な地震の判定

方法が確立されていない現在、比較的規模が大きく、少なくとも2点以上で同時に記録されたものを地震であると考え、さらに3点以上で同時に記録されたものの震源を決定した。

§ 4. 地震の発生頻度

全期間に亘り観測された地震の1日当りの頻度分布を Fig. 5 に示す。空白部分は少なくとも2個所の観測点で記録されたもので、地震と考えて差し支えないものの数である。黒くぬり

Fig. 4. Frequency distribution of duration times of shocks recorded at Takao station. The black portions denote the number of shocks recorded at Takao station and not at the other stations.

つぶした部分は前述のように非常に小さい地震や、地震と誤認された noises を含んでいる。この図でまず注目されることは、7月29~30日に1つの極大がみられることである。この極大部分のほとんどの地震は古川で観測されたものである。これは、その附近で短時間継続した群発地震であるか、または大きい地震に附随した余震群ではないかと思われるので、各観測点の読取り値をもとにして、この期間の P-S 時間の度数分布をつくってみた。Fig. 6 は古川のものであり、P-S 時間4~5秒に顕著な極大がある。他の観測点の結果は地震の数が少なくて、このような明瞭な極大は表われていない。Fig. 1 に示したように古川は large network の北東の端に位置し、この地震群は他の隣接した観測点でほとんど記録されていないことを考慮すると、large network の外側で群発したものであると考えられる。

Table 1 に示すように、large network の連続観測が本格的に始まったのは7月30日からであり、それ以前は準備段階であつた。また Neo Valley network の夜間観測は8月14日から始められた。こういう事情を考慮して、1日当りの地震数の変化をみると、観測点の数によつて地震が数がどう変化するかがみられる。すなわち前述の古川の

みで観測された地震を除き、さらに Neo Valley network の夜間の高感度観測により観測される地震数の急激な増加を考慮して Fig. 5 をみると、全期間を通じて1日当り発生する地震数の変化はあまりないと考えてもよいようである。

次に観測点の数のみでなく、いかに地震計の感度によつて観測される地震数が変化するかを

Fig. 5. Change of number of shocks in a day. The white portions correspond to the number of shocks registered at 2 stations or more.

Fig. 6. Distribution of P-S intervals of shocks recorded at Furukawa station. The black portions denote the number of shocks recorded at Furukawa only.

示したのが Fig. 7 である。これは Neo Valley network の観測期間中（8 月 15～28 日）の地震の総数を発生時刻によつて示したものである。これによると、夜間の高感度観測実施中は昼間に比較して、1 時間当りの地震数が約 3 倍に増加している。また仮にこの程度の高感度連続観測がこの地域で行なわれたとすれば、マグニチュード 0 以下の極微小地震を含めて 1 日当り平均、約 50 個の地震が記録されることがわかる。

§ 5. 震央分布

5 個以上の観測値をもつ地震については、P 波の arrival time から、均質、半無限のモデルを仮定し、発震時、平均速度および震源位置を決定した。また、少なくとも

3 個以上の P-S 時間が得られた地震については、別に図式解法で震央を決定した。震央はこれらの方法でかなり異なる場合がある。それぞれの方法で求めた震央のくいちがいの度数分布をつくつてみると、そのちがいが 20 km 以下で決められるものは総数の約 60 % であるが、二三の地震は 80 km にも及んでいる。このように、震央決定の精度が極めて不十分である場合がある。P-S 時間を用い、大森係数 K を仮定して震央を求めると、多少の誤差が含まれることは避けられない。しかし K の値を適当にとつた場合、非常に大きいあやまりを check することができる。一方 P 波の arrival time を用いる場合、使用し得る観測値が 5 個に比較して十分多くなければ、ただ 1 個の観測値でも大きな誤差を含めば、十分な精度で震源が求められない。このような事情を考慮して、P-S 時間の観測値が少なくとも 3 個以上あり、図式解法で震央が比較的精度よく決つたものを Fig. 8 の黒丸で示してある。また P-S 時間では精度よく決まらなかつたものおよび P-S 時間の観測値がなく P 波 arrival time で決めた地震を白丸で示した。なお観測網のひろがりおよび震央決定の精度を考えて、Fig. 8 に示した範囲の地震に制限した。

このようにして求めた震央分布が観測点配置の非一様性に影響されていることは明らかである。特に根尾谷周辺では高感度観測が行なわれているので、一見この附近で地震が多いように

Fig. 7. Change of number of shocks in an hour. The white portions denote the number of shocks recorded at 2 stations or more.

Fig. 8. Distribution of epicenters. The solid circles correspond to the locations of earthquakes determined by use of P-S intervals with considerable accuracy.

Fig. 9. Distribution of epicenters determined from both P wave arrival times and P-S intervals obtained at 8 stations (large network) and at Kôdoko station (Neo Valley network).

みえる。この影響をとり除いてみるために、Neo Valley network の5観測点のうちそのほぼ中心にある神所以外すべて無視して決めた震央分布をつくつてみると Fig. 9 のようになる。したがつてこの観測網で決められた地震は前述のマグニチュード0以下の極微小地震ではなく、マグニチュード0以上の比較的大きい地震がほとんどであると考えられる。

Fig. 8 および Fig. 9 の両図から共通して注目されることは、特に観測点の配置に影響されないで、地震の発生しない空白部分がかなり明瞭にみられることである。例えば琵琶湖の北側、郡上八幡の東側などに特に顕著に表われている。このことは換言すれば、地震の活動度が地域によつてかなりの相異があるということである。Fig. 8 に特に明瞭にみられるように、このような微小な地震についてもほぼ北東から南西にわたるいくつかの地震帯が形成され、互いにほとんど平行に走っている。このことは、大規模な地震帯および地体構造に関連して非常に興味ある問題である。

Fig. 10. Directions of the horizontal components of the maximum pressures determined under an assumption of the quadrant type pattern of initial P waves.

§ 6. 微小地震の発震機構

微小地震の発震機構として、四象限モデルを考え、ある観測点で初動が **Up** なら震源におけるその観測点の方向の力は引きで、**Down** なら震源におけるその方向の力は押しであり、この押し引きの方向は震源において直交すると仮定する。このようにして決めた主圧力の方向は震源をとりまく観測点の配置によつては非常に大きな誤差を含むおそれがある。したがつて、押し引きの方向がはつきり決まらないものはすべて除外し比較的よく決まつたものだけを **Fig. 10** に示した。あまり明瞭ではないが、全体として主圧力の方向が **E-W** 方向の地震が多いようである。しかし琵琶湖の北東から根尾谷にかけての地域では、この傾向がかなり乱れており、主圧力の方向が同じ地域でほぼ直交する地震がいくつかみられることは注目に価する。

この主圧力の方向は **P** 波の方向のみならず **P** 波振幅分布および **S** 波の分布も同時に考慮して、精度の向上をはかるべきであり、またここで仮定した四象限モデルにも問題が残されている。したがつてさらに立入つた議論は、将来の研究に俟たねばならないと思う。

§ 7. お わ り に

極微小地震研究グループが結成され、今回が第1回目の共同観測である。このグループの大きな研究目標の1つは、微小な地震の活動状況を調べ、破壊的地震の発生との関係を調査、研究することであつた。またこのような微小な地震の最も合理的な観測方法の研究も大きな課題であつた。

微小な地震を観測して、小さい領域の **seismicity** を研究するには、それに相応した密な観測網が必要であることはいうまでもない。今回の共同観測のうちでも、特に根尾谷周辺の夜間の高感度観測はマグニチュード0以下の極微小地震を含めて、1時間当り約2個の地震を記録することができた。一般に地震計の最高感度は **back ground noise** とのかね合ひで決められることであるが、この程度の高感度観測が **routine work** として行なわれるならば、非常に短期間の観測で、十分多量な資料が得られるはずである。このことは **seismicity** およびそれに附随した多くの研究に明るい見透しを与え、このような観測網の整備がまたれる。

今回の共同観測はこの種の観測の最初の試みであつた。したがつて、観測計器、観測方法、観測点の配置などにまだ多くの問題が残されている。これらの諸問題は、今後くわしく研究され、最も合理的な観測方法および資料の解析方法が確立されるであらう。

なお、この観測は文部省科学研究費によつて行なわれたものである。