東中国・北近畿地方における 微小地震系列の研究 (I)

京都大学防災研究所 佃 為 成・中尾 節 郎

(昭和 51 年 11 月 25 日受理)

Study on Microearthquake Sequences in the Eastern Chugoku and Northern Kinki Districts, Southwest Japan (I)

Tameshige TSUKUDA and Setsuro NAKAO

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(Received November 25, 1976)

Hypocenters and focal mechanisms of microearthquake clusters were determined by using data obtained through the telemetering observation system of the Tottori Microearthquake Observatory. The events which occurred during the period April 24-September 30, 1976 were analysed.

The linear dimension of source region of a microearthquake cluster is found to be about several hundred meters; in a particular case, 200-300 m. Focal mechanisms of the events in a certain source region are similar to one another. Fault plane and geometry of a source region is discussed from the view point of hypocentral distribution and focal mechanism.

Time sequences of respective clusters are of swarm type except for one cluster which shows a main shock-aftershock sequence. There seems to occur migration of activity from a certain source region to another.

§ 1. はじめに

微小地震はしばしば 1~2 km 四方というような狭い地域に集中して発生する。数時間で終わってしまう活動もあるが、数ヶ月から数年というようになり長期間に渡ることもある。また、ある場合には、間欠的に活動が続くこともある。例えば、岡山県東部の大原町付近で、1974 年 3 月に群発地震があつたが、約 1 年後の 1975 年 6 月に再び群発地震が発生した。それらの震源の位置は 1 km も離れていない [TSUKUDA (1976) の Table 6]。

定常活動の震央分布は、大まかに、線状配列の集合とみなされる場合が多いが、細かく観察すると、線状配列にも震源の密なところと疎なところがある。定常活動ばかりでなく、余震の震源分布の中にも震源の集中を見い出すことができる [例えば、EATON *et al.* (1970) の Fig. 8]。

Table 1. Coordinates of the observation stations.
Origin is (134°30'00"E, 35°00'00"N)

Station	Code	Longitude	Latitude	x (km)	y (km)	Altitude (m)
Kurayoshi	K Y (T)	133°50'01.9''	35°26'21.2''	-60.49	48.93	100
Shikano	S N (T)	134 01 13.3	35 24 37.8	-43.57	45.65	200
Tottori	T T (T)	134 14 16.0	35 30 52.9	-23.79	57.14	10
Chizu	C Z (T)	134 17 36.8	35 16 10.1	-18.79	29.92	300
Mikazuki	M Z (T)	134 26 40.5	34 59 12.0	-5.06	-1.48	200
Oya	O Y (T)	134 39 56.8	35 19 18.5	14.98	35.93	230
Izumi	I Z (T)	134 53 15.5	34 58 20.0	35.40	-3.01	230
Hikami	H M (T)	135 02 36.6	35 13 35.5	49.48	25.27	250

このように、微小地震の震源分布は一樣ではなく極めて不均質である。同じ所で地震がくり返し何回も発生する場合、そのような場所は「地震の巣」と呼ぶにふさわしい。

我々は、本研究において、「地震の巣」を数多く見出し、その大きさや形状を明らかにし、近接する「地震の巣」の活動がどのように関連し合っているかを究明する。

地震が破壊現象だとすれば、破壊による割れ目が生成され、生長拡大し、最後に固結して消滅するという一連の過程が、実際の地震現象にどのような形で現われているだろうか。また、テクトニクスの立場から観察した場合、地殻のブロック運動とそれぞれの「地震の巣」の生成や活動がどのように関り合っているのだろうか。

§ 2. データと解析方法

この研究は、京都大学防災研究所鳥取微小地震観測所の微小地震テレメータ観測システムで記録された地震のうち同観測所の観測網の内側およびその周辺で発生したものを対象とする。同観測所の常設観測点の位置は Table 1 と Fig. 1 のとおりである。CZ (T) の座標が尾池 (1975) のものと多少異なっているが、再実測と 5 万分の 1 地図にもとづく再計算の結果、改訂したものである【佃他 (1976)】。

京都大学防災研究所の微小地震テレメータ観測システムは、今年 4 月より観測を開始した【鳥取微小地震観測所他 (1976)】。各地からテレメータで送られてきた地震の波形は 14 チャンネル FM データレコーダに集中記録される。磁気テープを再生することにより、0.005~0.01 sec の分解能で読取を行うことが可能である。また、ペン書きドラム式レコーダの時代に比べ、S/N が格段に向上し、例えば、初動の押し引きの判定も、より正確になつた。周波数特性は、速度感度の場合、1~70 Hz においてはほぼ平坦である (-3dB)。

このテレメータ・システムで検出される自然地震や人工地震の数は 1 ヶ月で約 300 個である。

Fig. 1. Epicentral distribution of natural earthquakes (solid circle), and rock bursts or explosions (open circle). Hypocenters were determined by P times of four stations on the assumption that the medium is a homogeneous half-space with a P velocity 6.0 km/sec. Reading was based on the seismograms as shown in Fig. 2.

そのうちの約 200 個が観測所のルーチン・ワークとして震源決定される。時刻の読取りには、Fig. 2 に示すようなモニター用ペン書記録が用いられる。Fig. 1 に示した震央分布はそうにして求められた。

これらの地震の中から、次に述べる方法で主な地震 ($M \geq 2$) やくり返し同じ所で発生する地震のデータを抽出する。

1) モニター記録 (Fig. 2 参照) を 1 つ 1 つ見比べ、各観測点へ地震波が到着

した時刻の相対的な関係がほぼ同じものを拾い集める。判定には、2つの記録紙を重ね合せ、透してみればよい。

Fig. 2. An example of seismogram records obtained by the pen-writing monitoring recorder with a paper speed 8.0 mm/sec.

2) モニター記録の読取值や、その値を用いて決定された震源の要素からなる地震の表を検索する。

上の2つの方法を並行して進めることにより、つまらないミスを少なくすることができる。

個々の「地震の巣」は、付近の地名、深さ、主な活動時期の3つのパラメータを用いて区別する。地名は原則としてその付近の主な都市（市または町）の名前である。

「地震の巣」の中で時間空間的に近いものを1つのグループにまとめ、そのようなグループに属する地震群を1つの地震系列として取り扱うことにする。

震源は、半無限均質媒質の仮定のもとに、4観測点のP time だけで決定する。P 波速度は6.0 km/sec とする。この値は、震源が観測網近辺かつ深さ 5~20 km の場合に有効と考えられる [TSUKUDA (1976) の Fig. 2]。深さが虚数になつたり 0 km に求められる場合、実際は 2~5 km であるかもしれない。計算には、ミニコンピュータ HITAC-10II を使用し、以下のような震源決定方程式を数值的に解く。

$$\left. \begin{aligned} 2(x_i - x_1)x + 2(y_i - y_1)y - 2v^2(t_i - t_1)t &= v^2(t_1^2 - t_i^2) + x_i^2 + y_i^2 - x_1^2 - y_1^2, \\ i &= 2, 3, 4 \\ h^2 &= v^2(t_1 - t)^2 - (x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

但し、 x , y , h , t , v は、それぞれ震源の x 座標、 y 座標、深さ、発震時、P 波の速度。また、 (x_i, y_i) と t_i はそれぞれ i 観測点の座標と P 波の到着時刻である。

発震機構は、上にように求められた震源の要素と倉吉・花房爆破で決められた成層構造 [例えば、尾池 (1975) の Fig. 15] にもとづく射出角を用い、初動の押し引きのパターンによって決定する。必要があれば、dislocation モデルに対する P 波および S 波の radiation pattern を計算し、実際の波形と比べてみる。fault plane solution が一意に求まらない場合は、いろいろ考えられる解の中で最も vertical strike slip に近いものを選ぶのを原則とする。

以上述べた、震源決定と発震機構、決定の2つが我々の解析の主な手法である。この他に、波形の考察や時系列の議論を若干取り入れるつもりである。

今回は、1976 年 4 月 24 日から 9 月 30 日の間に発生した微小地震について調べた。解析した地震は、「地震の巣」や地域毎に Table 3 (Appendix) に掲げておいた。

§ 3. 鳥取付近の微小地震系列 (1976 年 8 月 22 日~9 月 7 日)

鳥取およびその周辺の地震活動はこの1~2年、非常に穏やかであつたが [佃他 (1976)], 今年8月末から9月初旬にかけて、最近の活動としては極めて顕著な群発地震があつた。Fig. 3 に示すように、この地震群 (8 月 22 日~9 月 7 日) は時間と空間の両方において、他の

Fig. 3. Microearthquake sequence which originated in the Tottori region during the period Aug. 22-Sep. 7, 1976. Epicenters are represented by solid circles. Focal depths are also shown. All the events are listed in Table 3 (Appendix). These are completely isolated from other events (open circle) in both time and space. Hypocenters and radiation patterns of initial motion (equal area projection of upper focal-hemisphere) are shown in the case of the swarm of Aug. 31-Sep. 7. Open and filled circles indicate dilatational and compressional initial motion, respectively.

(a) Fault plane solution for major shocks (F-P time ≥ 25 sec) of the swarm. Azimuth (ϕ_P) and inclination angle measured from the vertical (θ_P) of maximum pressure axis are as follows:

$$\phi_P = N43^\circ W, \quad \theta_P = 76^\circ.$$

(b) Push-pull distribution of initial motion for some minor shocks of the swarm.

地震から完全に孤立しているので1つの地震系列とみなす。震源はすべてほぼ同じ深さにあり、図に矢印で示したように移動していった。最後の活動(8月31日~9月7日)は非常に狭い所に集中している。この小さな「地震の巣」の大きさや形状を吟味してみよう。

震源決定の精度を見積るため、各観測点の P time にゆらぎを与え、震源の位置のバラツキを調べた (Fig. 4)。この場合、P time の観測点間の差には、 ± 0.005 sec の不確かさがあるとしてシミュレーションを行なった。図より、震央において東西に ± 20 m、南北に ± 70 m、深さにおいて ± 150 m 位のあいまいさを覚悟しなければいけないことがわかる。このことを

Fig. 4. Extent of a hypocenter belonging to the swarm of Aug. 31-Sep. 7, 1976 in the Tottori region, estimated by the simulation of hypocenter determination. Let P_1, P_2, P_3, P_4 be reading times for P arrivals at the four stations (SN, TT, CZ, OY). We assume that P_i takes one of following values: $P_{i0}, P_{i0}-\Delta t$ or $P_{i0}+\Delta t$, for $i=2, 3, 4$. P_1 takes P_{10} . $P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{40}$ are standard values. 27 ($=3^3$) hypocenters corresponding to the respective perturbed reading times are determined putting $\Delta t=0.005$ sec. Large solid circle is for $P_1=P_{10}, P_2=P_{20}, P_3=P_{30}$ and $P_4=P_{40}$.

Fig. 5. Comparison between the two waveforms of initial motion for the event which originated in the Tottori region. Epicentral distances of CZ and SN stations are 23.4 and 24.3 km, respectively.

念頭に置いた上で、上の「地震の巣」の震源分布は、震央については南北 200 m～300 m、東西 100 m の、南北にやや細長い分布であると推定される。深さ分布の形はあまりはつきりしない。

比較的大きな地震 ($F-P>30$ sec) 3 個について震源を調べると、時間とともに順次北へ移動していったことがわかる (Table 3)。また、この 3 つを含む $F-P\geq 25$ sec の地震 (4 個) の発震機構は Fig. 3 の (a) のように、strike slip 型で、かつ fault plane の 1 つは南北方向に strike をもつ。

以上の事柄から、8 月 31 日～9 月 7 日に活動した「地震の巣」の破壊領域は、ほぼ南北方向に広がっていると思われる。

震源過程の面から「地震の巣」を調べることも重要なことである。詳しい議論は別の機会に譲るとして、ここでは波形に関する若干の考察にとどめる。Fig. 5 は、8 月 31 日に始まっ

た群発地震の一番最初の地震の初動付近の波形である。観測点 SN と CZ は震源からほぼ等距離にあり、それぞれ、震源に対しほぼ真西と真南に位置する。もし、破壊が北の方角へ進行する形で地震が発生したと考えれば、南側の CZ においては、SN と比べ、ドップラー効果によつて、初動における主要動の継続時間が長くなつて当然である。図の波形はそれを表わしているように考えられるが、結論を提出するにはもう少し詳しい解析が必要である。

8 月 22 日の地震の初動の押し引きは Fig. 3 の (a) とまったく同じである。したがつて発震機構もほぼ同様だと考えられる。この発震機構は、1973 年 9 月 18 日に鳥取市南部で発生した地震 (M 3.7) [佃他 (1976)] の場合とよく似ており、たいへん興味深い。

過去の活動を調べてみると、この節で扱つた「地震の巣」、あるいはその付近で起つた地震で確実なものは、1974 年 2 月 17 日の地震 (M 1.6) である [TSUKUDA (1976) の Table 6]。1~2 km 以内に存在すると思われるが、それ以上精密なことはわからない。

この節で行なつた発震機構の決定において留意した点は次のとおりである。

1) CZ 観測点は nodal line に近い。初動の押し引きが、大きい地震と小さい地震とで反転する (Fig. 3)。

2) 東西に近い方向に strike をもつ fault plane は垂直に近い。SN 観測点の S 波は SH 成分が卓越している。

3) SN と CZ の V 成分の S 波の振幅比は約 1/5 である。SN と CZ の震央距離はほぼ等しい。この結果、南北方向に strike をもつ fault plane の dip angle は水平に対し 70° となつた。

§ 4. 氷上観測点 (HM) から泉観測点 (IZ) へかけての地域の微小地震系列 (1976 年 5 月~7 月)

HM 付近から IZ 付近へ至る地域は元来、微小地震の活動が活発なところである。今年 5 月をピークとする活動を調べた結果、いくつかの明瞭な「地震の巣」が見い出された。Fig. 6 にその位置が示してある。1つ1つの「地震の巣」の活動は、i) 本震一余震 系列 (加美, 5 月 17 日~6 月 19 日), ii) 1~2 ヶ月にわたり群発活動が続いたもの (氷上, 5 月; 福崎, 5~6 月), iii) 数時間以内の群発活動 (夢前, 5 月 17 日; 福崎, 7 月 9 日) のように分類できる。

§ 3 の Fig. 4 のように、それぞれの「地震の巣」における震源決定精度を見積つてみると Table 2 のようになる。§ 3 の場合と比べ精度が悪いので、「地震の巣」の形ははつきりしないが、それぞれ数百メートルの大きさであることは確かである。それぞれの「地震の巣」では、ある 1つの観測点について初動の押し引きが反転することはあるけれども、多くの観測点では

Fig. 6. Microearthquake sequence which originated in the HM-IZ area during the period May-Jul., 1976. The locations of the source regions where microearthquakes repeatedly occurred are indicated by solid circles with their depths. The activity in the Kami region shows a main shock-aftershock sequence. Other are of swarm type. Activity migrated from the northeast to the southwest. All the events are listed in Table 3 (Appendix).

変化がない。したがって、そこでは、発震機構もほぼ同様であろうという推測が成り立つ。そこで、我々は、個々の「地震の巣」の平均的な発震機構を求めてみた。押し引きが反転する観測点があれば、**nodal line** の1つが、そこを通過するとし、§2で述べた原則に従って、**fault plane solution** を求めた (Fig. 7)。

福岡付近では、**strike slip** 型で、主圧力軸はほぼ水平かつ北東-南西の方向を示す。一方、HM付近には、**normal faulting** が存在する。この主張力軸の水平面投影は、だいたい北東-南西の方向を示し、福岡付近と対称的である。この付近には、過去にも **normal fault** の例が存在するようである。確実と思われるのは、1969年3月3日07時13分と、1970年3月15日06時07分の地震の2例である [KISHIMOTO *et al.* (1973) 参照]。

上に述べた5つの「地震の巣」に属する地震の群を1つの地震系列とみなし、その主な性質を列挙すれば次のとおりである。

- 1) 時間的に、活動が北東部から西南部へ移動する傾向がある (Fig. 6)。
- 2) 北西-南東方向の沿直断面に震源を投影すると、その切り口に沿って南東から北西方向

Fig. 7. Fault plane solutions for respective source regions (Fig. 6) in the HM-IZ area. Half-filled circles indicate that both compression and dilation occurred. Other notation is the same as Fig. 3. Azimuths and inclination angles of maximum pressure axes (ϕ_P, θ_P) and those of maximum tension axes (ϕ_T, θ_T) are as follows: Hikami, $\phi_T = N13^\circ E, \theta_T = 75^\circ$; Kami, $\phi_T = N49^\circ E, \theta_T = 88^\circ$; Fukusaki ($h = 13$ km), $\phi_P = N49^\circ E, \theta_P = 85^\circ$; Fukusaki ($h = 8$ km) $\phi_P = N48^\circ E, \theta_P = 87^\circ$; Yumesaki, $\phi_T = N2^\circ E, \theta_T = 66^\circ$.

へ進むほど、「地震の巣」の深さが浅くなっている (Fig. 6).

3) 発震機構 (Fig. 7) からわかるように, HM 付近と IZ 付近では, ほぼ逆のセンスの起震応力が働いている。

これらの性質は, 今後, 地殻の運動のメカニズムを究明する上で重要なカギになるであろう。

ここで調べた「地震の巣」の1つ1つが今後どのように活動してゆくか, 我々

Table 2. Extents of hypocenters estimated by the simulation of hypocenter determination for $\Delta t = 0.01$ sec. A hypocenter exists in the following range: $-\Delta x \leq x \leq \Delta x, -\Delta y \leq y \leq \Delta y, -\Delta h \leq h \leq \Delta h$.

Region	Δx (m)	Δy (m)	Δh (m)
Yumesaki	30	300	(0)
Fukusaki ($h = 8$ km)	80	190	880
Fukusaki ($h = 13$ km)	100	190	640
Kami	100	70	950
Hikami	850	30	890

Fig. 8. Waveforms of initial motion for the events which originated in the Fukusaki region at the depth of 8 km. The onset of the first shock (01^h27^m) is very sharp in comparison with the later events.

ない。図に載せてないもつと小さな地震についても同じである。このことから、最初の地震は、今まで無キズであつた所に発生した可能性が高いと思われる。これは、新しい「地震の巣」の誕生を意味する。

§ 5. 和知および篠山付近の微小地震活動 (1976 年 6 月 1 日～8 月 15 日)

京都府和知町付近は、1968 年の大きな活動 [WATANABE *et al.* (1969)] 以来、微小地震活動が活発な地域である。最近の活動でも、この地域は、これを取り巻く地域と比べ活動度が高い [例えば、伊藤他 (1976) の図参照]。「地震の巣」がこの地域に集中していると考えられる。

は注意深く監視してゆかねばならない。

また、過去の活動についてもドラム式レコーダ時代のデータを検索する仕事が残されている。

「地震の巣」の古さや新らしさを議論するには、長期間に渡るデータの蓄積が必要であるが、地震の波形を解析することによつて判定できないものであろうか。

例えば、えびのの群発地震 (1968 年) について、渡辺 (1970) が報告しているように、震源域の中心部で発生する地震のスペクトルは周辺部のものより長周期成分が卓越している。これは、破壊の進んだ所と新たに破壊が始まった所が地震波によつて区別できることを示唆している。

Fig. 8 は、福崎付近の「地震の巣」($h=8$ km) で発生した地震の初動付近の波形である。一番上が 7 月 9 日の群発活動の最初の地震で、比較的シャープな立ち上りを示している。それに対し、その後発生した地震は、それ程シャープでは

Fig. 9a. Extent of a hypocenter in the Wachi region estimated by the simulation of hypocenter determination. Procedure is the same as Fig. 4 and $\Delta t=0.03$ sec. Stations are MZ, OY, IZ and HM.

Fig. 9b. Extent of a hypocenter in the Sasayama region. Procedure is the same as Fig. 4 and $\Delta t=0.03$ sec. Stations are MZ, OY, IZ and HM.

このように、和知とその周辺は、微小地震の調査の上で欠くべからざる重要な地域であるが、鳥取微小地震観測所の観測網からやや離れているため、震源決定精度を 1 km 程度に上げるのは困難である。Fig. 9a, b に示すとおり、震央において東西 $\pm 1 \sim 5$ km、南北に ± 1 km、深さにおいて $\pm 2 \sim 5$ km 程度のあいまいさが生ずる。したがって、我々は、この地域の精密な「地震の巣」の探查はあきらめなければならない。上のような不確かさを許容した上で以下の議論を進める。

今回は、1976 年 7 月 13 日に発生した篠山付近の地震 (M 3.6) を中心に、この地域の活動を調べてみた。この地震の前震はなく、余震が 8 月 15 日まで続いた。ここで、前震、余震とは、本震の「地震の巣」(1~2 km 以内の大きさと考えられる)に発生したものをいう。調査の期間を 6 月 1 日~8 月 15 日とし、その間の震源分布を求めたのが Fig. 10a, b, c である。篠山の地震の前は、福知山や和知付近で活動が活発であつた。さらに前の 5 月には、氷上付近の活動がある (§ 4)。また、篠山付近が活発な時は、和知付近が静かである。1968 年のいわゆる和知地震は、($135^{\circ}20'$, $35^{\circ}15'$) のあたりに発生した [WATANABE *et al.* (1969) の Fig. 7; 尾池 (1975) の Fig. 6]。

この地域の活動を観察すると、10 km $\times$ 10 km ほどの地震の起らない区域を取り囲んで、そのまわりで交互に地震が発生している。そして、その地震の空白区域は、尾池 (1975) によって編集された震源表と震央分布図にも現われている。このように、「地震の巣」が全く存在しない場所を探索するのも本研究のねらいの 1 つである。

Fig. 10a. Hypocentral distribution of the major shocks ($M \geq 2.0$) in the Fukushima-Wachi and Sasayama regions for the period Jun. 1-Aug. 15, 1976. An aseismic area of $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ can be recognized.

Fig. 10b. Hypocentral distribution in the Fukushima-Wachi and Sasayama regions for the period Jun. 1-Jul. 12, 1976. All the events plotted are listed in Table 3 (Appendix).

Fig. 10c. Hypocentral distribution in the Fukushima-Wachi and Sasayama regions for the period Jul. 13-Aug. 15, 1976. All the events plotted are listed in Table 3 (Appendix).

§ 6. 議論とまとめ

日常頻繁に発生する微小地震を発生地域毎に分類整理することが諸々の微小地震研究の出発点になる場合が多い。その最も小さい区分として、「地震の巣」というものを考えた。その中では、震源がいわば連続的に分布しているか、個々の位置を区別する分解能を我々は持たない。微小地震 ($M \leq 3$) の「地震の巣」の大きさは、 1 km 以内であり、そこで何回も地震が発生し

ている。

同じ地域で発生する地震の波形はよく似ている場合が多くあり [例えば, 浜口他 (1975)], そのような観点から地震を分類することも考えられる。しかし, 我々はあくまでも, 同じ場所 (地震の巣) で発生する地震を集めておいて, その上で波形が似ているかいないかを研究する立場をとる。実際, 波形が微妙に異なる場合が見つかつている (Fig. 8)。

「地震の巣」の探求の途上においては, 比較的小さく, かつ他の地震から孤立しているものは, データ収録の網にひつかからないことも起こり得る。このような目立たない「地震の巣」についても, 観測期間が長くなり, 地震の数が増えるにしたがい, 次第に明らかになつてゆくであろう。

次に我々は, それぞれの「地震の巣」の活動が, 他の近接する「地震の巣」の活動とどのように関連しているかを調べた。HM—IZ 地区では, 「地震の巣」から「地震の巣」へ活動が移動してゆく現象が見られた。震源の移動 (migration) ということがよく言われるが [例えば, 笠原 (1974)], 元から存在した「地震の巣」の活動を誘発したのか, 新しく「地震の巣」が発生したのかなど, これから研究すべき事は多い。

今回の研究で明らかになつた主な点は次のとおりである。

- 1) 震源分布の詳しい調査によると, M 1~3 の地震の「巣」の大きさは, せいぜい数百メートル, ある場合には, 200~300 m であつた。
- 2) 「地震の巣」における震源分布の形状は, 精度の限界から, はつきりわからない場合が多い。特に深さの精度が低い。ただ, 鳥取付近の「地震の巣」(1976 年 8 月 31 日~9 月 7 日) の場合の震央分布は南北にやや細長いことがわかつた。
- 3) 今回調査した「地震の巣」では, そこで発生する地震の発震機構がほぼ同様であつた。
- 4) 京都府和知町と兵庫県篠山町の間に 10 km 四方の, 震源の空白域が存在し, それを取巻くように微小地震が活発に活動している。

おわりに, 原稿に目を通していただき, いろいろと御注意を賜つた京都大学防災研究所の岸本兆方教授ならびに尾池和夫助教授に厚く御礼申し上げます。

Appendix

Table 3. List of the earthquakes studied in this paper. The origin of the coordinates is (134°30'00''E, 35°00'00''N). Stations used for hypocenter location are presented by the initial letters of the station codes in order of arrival time; for example, TSCO means that the arrival time at TT is less than that at SN and so on. F-P time is regarded as that observed at the station where the seismic wave first arrived. Magnitude of each event can be roughly estimated by the formula: $M=2.97 \log(F-P)-2.56$ [OIKE (1975)]. Reading error presented is the maximum value of the probable reading errors of P times for the four stations. The events whose hypocenters could not be determined are also listed when they are identified by seismograms.

No.	Date			Origin time		Hypocentral coordinates (km)			F-P time (sec)	Stations for hypocenter determination	Reading error (msec)
	Y	M	D	h	m	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>h</i>			
Tottori (Aug. 22-Sep. 7, 1976)											
1	1976	8	22	17	49	-22.47	53.26	11.43	12	T S C O	10
2			28	17	11	-21.91	52.29	10.71	35	T C S O	5
3		8	31	00	12	-20.45	53.29	10.88	35	T C S O	5
4				08	19				13		
5				22	56	-20.46	53.32	10.84	35	T C S O	5
6				22	57	-20.46	53.45	11.04	22	T C S O	5
7		9	1	01	50	-20.48	53.19	10.78	12	T C S O	10
8			2	07	18	-20.47	53.35	11.01	12	T C S O	10
9			3	22	17	-20.40	53.38	10.95	20	T C S C	10
10			4	05	29	-20.48	53.37	10.96	35	T C S O	5
11			4	15	45	-20.50	53.31	10.93	15	T C S O	10
12			5	09	19				12		
13			7	02	25	-20.43	53.34	10.87	25	T C S O	5
Yumesaki (May 17, 1976)											
1	1976	5	17	15	36	15.30	-2.21	(0.0)	30	I M O H	10
2				15	56	15.30	-2.21	(0.0)	35	I M O H	10
3				16	43	15.30	-2.52	(0.0)	16	I M O H	20
4				17	25	15.30	-1.96	(0.0)	13	I M O H	50
5				17	53	15.29	-2.18	(0.0)	35	I M O H	10
6				18	44	15.28	-2.64	(0.0)	18	I M O H	50
Fukusaki (Jul. 9, 1976)											
1	1976	7	9	01	27	22.31	-2.05	8.34	15	I M H O	5
2				01	29	20.84	2.54	(0.0)	15	I M H O	50
3				01	31	22.24	-1.93	7.88	15	I M H O	10
4				01	35	22.32	-2.01	8.20	20	I M H O	5
5				01	36	22.26	-1.86	7.63	10	I M H O	10
6				01	36	22.37	-1.98	8.33	15	I M H O	10
7				01	43	22.28	-2.00	7.93	12	I M H O	5
8				02	13	22.24	-2.04	8.33	15	I M H O	10
9				02	32	22.30	-2.06	8.40	20	I M H O	10
10				04	09	22.41	-2.17	8.89	15	I M H O	10
Fukusaki (May 9-Jun. 28, 1976)											
1	1976	5	9	04	00	24.51	-0.66	13.00	15	I M H O	10

(Continued Table 3)

No.	Date			Origin time		Hypocentral coordinates (km)			F-P time (sec)	Stations for hypocenter determination	Reading error (msec)
	Y	M	D	h	m	x	y	h			
2	1976	5	19	17	15	25.36	-2.17	17.28	13	IMHO	100
3			21	18	50	24.44	-0.80	13.33	20	IMHO	10
4				18	59	24.56	-0.58	12.90	10	IMHO	30
5				19	00				10		
6				23	22	24.46	-0.72	13.18	15	IMHO	30
7			23	06	44	24.45	-0.73	13.33	13	IMHO	50
8			24	00	34	24.74	-0.71	13.71	10	IMHO	50
9			5 27	00	18	24.50	-0.53	12.80	15	IMHO	20
10			28	23	52	24.44	-0.63	13.00	15	IMHO	20
11			6 10	05	58	24.48	-0.61	12.83	20	IMHO	10
12				08	14	24.46	-0.83	13.31	22	IMHO	5
13			20	09	54	24.84	-1.15	14.24	14	IMHO	100
14			24	04	27	24.42	-0.43	12.48	15	IMHO	10
15				10	09	24.45	-0.69	13.12	25	IMHO	10
16			25	10	30	24.41	-0.49	12.65	20	IMHO	10
17			27	00	29	24.45	-0.48	12.71	15	IMHO	100
18				18	34	24.41	-0.64	13.02	20	IMHO	20
19			28	02	40	24.55	-0.63	13.56	12	IMHO	100
Kami (May 17-Jun. 19, 1976)											
1	1976	5	17	10	46	35.03	12.95	7.43	60	IHOM	5
2			6 17	01	58	34.84	13.10	5.63	35	IHOM	20
3			6 18	10	56	34.80	13.17	5.10	15	IHOM	50
4				11	23	34.41	13.58	(0.0)	20	IHOM	100
5			19	02	45	32.60	12.00	6.68	10	IOMC	50
Hikami (May 13-Jul. 14, 1976)											
1	1976	5	13	08	49	54.47	25.49	14.58	17	HIOM	20
2			15	03	55	54.62	25.53	14.80	45	HIOM	10
3			16	15	22	54.78	25.47	14.93	45	HIOM	10
4			18	09	06	55.85	25.93	15.90	20	HIOM	30
5			28	15	28	55.94	25.91	15.78	20	HIOM	10
6			30	02	56	55.69	25.91	15.59	20	HIOM	20
7			7 14	08	25	56.37	25.98	15.83	18	HIOM	50
Fukuchiyama-Wachi (Jun. 1-Aug. 15, 1976)											
1	1976	6	3	11	15	74.40	28.28	12.59	15	HIOM	10
2			7	21	47	64.46	29.43	13.88	14	HIOM	30
3			15	11	04	68.96	31.09	16.14	30	HIOM	30
4			20	05	59	75.52	25.45	11.47	15	HIOM	50
5				09	09	60.77	30.58	3.57	30	HIOM	30
6			27	03	17	77.66	23.34	(0.0)	25	HIOM	50
7				22	59	71.98	29.10	11.44	20	HIOM	30
8			7 3	19	14	65.92	30.43	15.00	20	HIOM	50
9				22	03	68.55	31.39	15.85	20	HIOM	50
10			4	10	04	60.29	24.77	9.17	20	HIOM	50
11			5	15	39	67.20	28.84	9.49	35	HIOM	20
12				15	58	77.49	28.99	13.00	30	HIOM	50
13			8	15	14	62.37	28.57	13.01	23	HIOM	30

(Continued Table 3)

No.	Date			Origin time		Hypocentral coordinates (km)			F-P time (sec)	Stations for hypocenter determination	Reading error (msec)
	Y	M	D	h	m	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>h</i>			
14	1976	7	11	21	53	77.94	26.11	12.77	30	H I O M	50
15			14	08	25	55.53	25.67	15.40	18	H I O M	50
16			15	16	46	65.79	34.89	14.02	13	H I O M	50
17			15	22	45	83.39	27.90	12.28	13	H I O M	30
18			26	01	57	76.65	25.91	12.86	20	H I O M	30
19			30	11	14	85.96	25.77	13.86	15	H I O M	70
20		8	5	10	30	49.53	28.17	(0.0)	18	H I O M	50
21				19	50	76.30	-30.74	11.90	25	H I O M	30
22				19	51	71.63	-29.71	13.31	15	H I O M	50
23			8	10	44	51.90	29.09	(0.0)	30	H I O M	30
Sasayama (Jun. 1-Aug. 15, 1976)											
1	1976	6	16	05	22	77.09	10.09	9.54	25	H I O M	50
2			7	8	22	80.79	12.84	8.56	20	H I O M	50
3			13	07	33	59.85	15.78	11.23	120	H I O M	50
4				07	45	66.16	15.98	14.37	25	H I O M	50
5				15	52	73.82	13.83	7.35	40	H I O M	50
6			17	11	46	78.70	15.82	4.21	22	H I O M	50
7			22	04	05	69.96	16.30	17.18	30	H I O M	30
8			29	20	09	69.89	12.72	12.37	15	H I O M	30
9		8	7	18	22	74.28	16.54	19.57	30	H I O M	30
10			15	09	01	65.17	17.18	14.02	36	H I O M	30

文 献

- EATON, J. P., M. E. O'NEILL and J. N. MURDOCK, 1970, Aftershocks of the 1966 Parkfield-Cholame, California, Earthquake: A Detailed Study, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **60**, 1151-1197.
- 浜口博之・長谷川昭, 1975, 波形の相似な地震の発生と二, 三の問題, *地震* **2**, **28**, 153-169.
- 伊藤 潔・梅田康弘・平野 勇, 1976, 丹波山地東縁における地震活動の特徴, *地震学会講演予稿集*, 1976, No. 2, 38.
- 笠原順三, 1974, 地震活動の時間的移動, *地震* **2**, **27**, 270-272.
- KISHIMOTO, Y. and R. NISHIDA, 1973, Mechanism of Microearthquakes and Their Relation to Geological Structures, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, **23**, 1-25.
- 尾池和夫, 1975, 鳥取微小地震観測所の震源表について, *地震* **2**, **28**, 331-346.
- 鳥取微小地震観測所・北陸微小地震観測所・微小地震部門, 1976, 京都大学防災研究所の微小地震観測テレメータシステム, *地震学会講演予稿集*, 1976, No. 2, 87.
- TSUKUDA, T., 1976, Microearthquake Waveforms Recorded at Tottori Microearthquake Observatory and Their Relation to Hypocentral Distributions and the Upper-Crustal Structure, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, **26**, 17-55.
- 佃 為成・中尾節郎・岸本兆方, 1976, 鳥取地方の最近の地震活動について, *京都大学防災研究所年報*, **19B**, 1-12.
- WATANABE, H. and A. KUROISO, 1969, Seismic Activity in the Northern Part of the Kinki Districts and Related Problems (I)—Earthquake Swarm Accompanying the Wachi Earthquake of August 18, 1968—, *Spec. Contr. Geophys. Inst., Kyoto Univ.*, **9**, 123-136.
- 渡辺邦彦, 1970, えびの地震に関する 2, 3 の考察, *地震* **2**, **23**, 32-40.