

船岡観測点付近に発生した地震の前震・余震について

西 田 良 平

ACTIVITY OF EARTHQUAKES OCCURRED IN APRIL 1970 NEAR FUNAOKA STATION

By Ryohei NISHIDA

Synopsis

In April 7 th 1970 a mainshock, $M=4.3$, occurred at $35^{\circ}16'N$, $134^{\circ}14'E$. It had 17 foreshocks and more than 150 aftershocks, and continued for 20 days or so.

As the focal depth of there earthquakes were 5~6 km and in their focal mechanism the direction of principal pressure were E-W, they did not belong to a group of earthpuakes in Sanin Pref. but in southern part of Hyogo Pref.

In a process of foreshocks-mainshock-aftershocks mechanisms of foreshocks are also regular, they are equal to the one of mainshock, and direction of principal pressure of some aftershocks changed from E-W to NE-SW.

1. 序 論

1970年4月7日01時41分に、鳥取県智頭町付近に気象庁発表 Magnitude=4.3の、この地方では比較的大きな地震が発生した。この地震は10数個の前震と150個以上の余震を伴っているので、この地震の発生場所や前震—主震—余震の過程の発震機構の時間的変化を研究する。この主震前後、約20時間を船岡観測点でドラムの常時観測の外に、DATA Recorderによる観測を行なっていたので、波形の分類等の詳細な解析も行なえた。

この地方は今まで地震活動が比較的静かな場所であり、この周辺で記録されている大地震・中地震は、今回の地震より15kmほど北へ離れた鳥取市周辺で1943年に $M=7.8$ の鳥取地震があり、南東方向へ約30kmの山崎町付近に、1961年に $M=6.3$ の地震を中心とした群発地震が発生している。又、1964年から始まった鳥取微小地震観測網の観測からも、船岡観測点付近における活動はあまり顕著でなく、 $S-P$ time=4.0 sec以内の地震の発生率は1日平均約0.5個である¹⁾。1970年1月から3月までの船岡観測点に於ける、 $S-P$ time分布から見れば、4.0 sec以下の地震数は84コで1日平均約1コで、少し活発になっている。又、前の解析では $S-P$ timeが2~3 secの地震が一番多かったのに、三カ月間の $S-P$ time分布は1~2 secに地震が多い。(Fig. 2) それに、今回の地震の前震・余震のすべてが船岡観測点での $S-P$ timeが0.9~1.1 secの間に入ることから、この地域の地震活動が活発化したものと推定される。(Fig. 3)

従来、この地方の地震活動は瀬戸内海側の地震群と、日本海側の地震群が異なる主応力を持つと言われているが、この地震発生の相違がどこにあるのか、今回の地震がどちらの地震群に入るのか、それはこの地方の地殻の研究においても、地質学の事象を考察する時にも、一つの参考資料となるであろう。

2. 震 源 分 布

微小地震を研究する場合、その発生場所を決定することはその第一歩として大切なことである。ここでは、橋爪・岸本²⁾が決定した地殻構造モデルを用いて、震源決定を行なった。求まった震源は、船岡観測点から

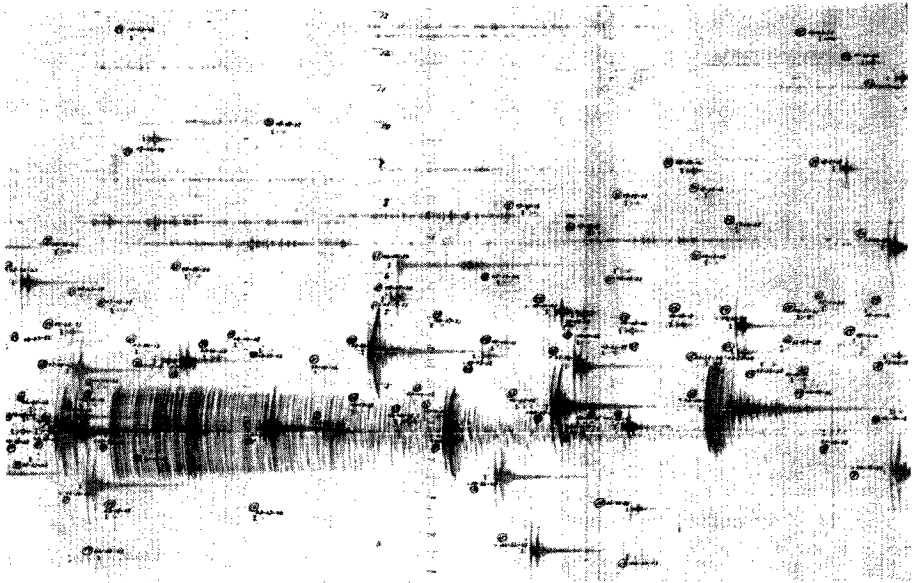


Fig. 1 An example of seismogram at Funaoka.

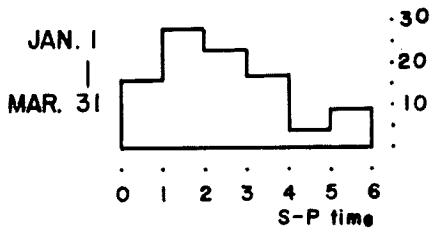


Fig. 2 *S-P* time distribution for 3 month at Funaoka.

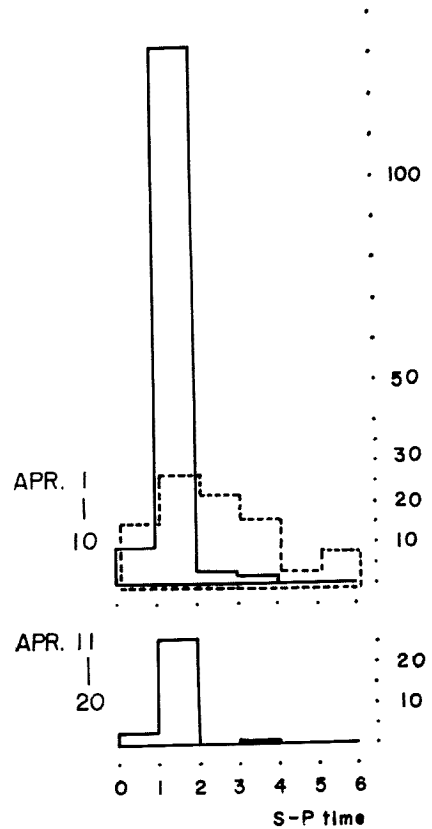


Fig. 3 *S-P* time distribution in April 1970 at Funaoka.

南南西約5kmの智頭町付近で、震源の深さは5~6kmである。深さが5~6kmと言うのは船岡観測点のS-P timeが約1秒なので、それほど無理のない値である。

Fig. 4は、今まで、鳥取微小地震観測網で観測された、Magnitude=0.0~3.0の地震の震央分布図で、従来から言われているように、地震は瀬戸内海側ではNW-SE方向と、NE-SW方向の交差する帯状に分布している、この内、NW-SE方向は山崎断層、みとけ断層の走向と同一であり、それに沿う分布状態を示している。又、日本海岸に沿う震源分布は南側の震源分布の走向とは少し違って、この相違は発震機構の相違にもあらわれている。それに、鳥取地震は、日本海岸沿いに余震域を持ち、この分布の場所とほとんど同じである。これについては別に詳細に議論される。又、1961年のM=6.3の地震を中心とする群発地震は、山

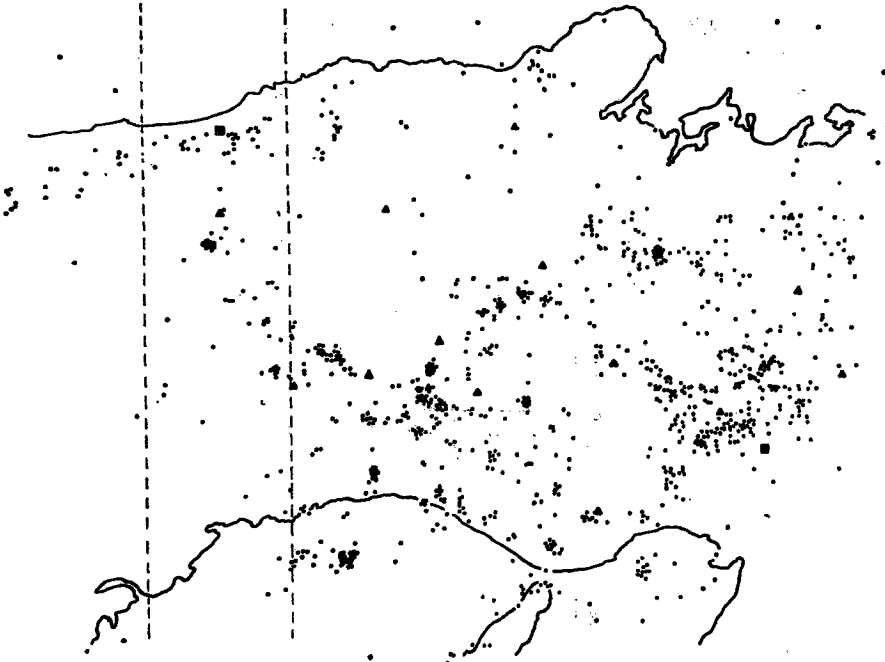


Fig. 4 Epicenter distribution of the northwestern part of the Kinki district and the eastern part of the Chugoku district. The open circle show earthquakes in April 1970.

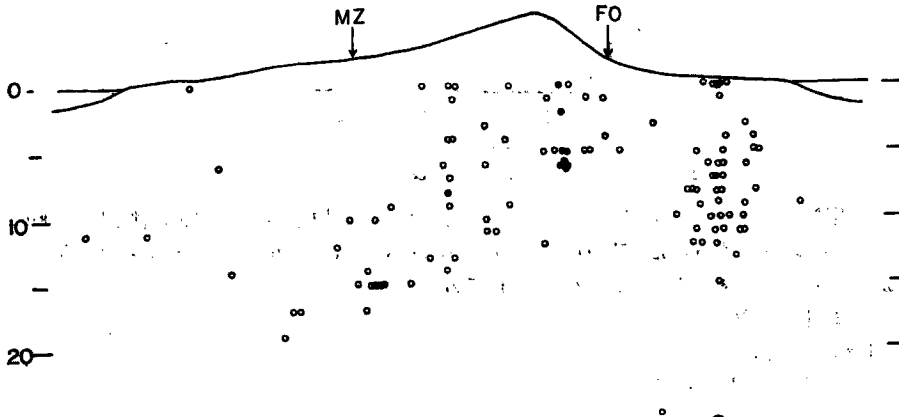


Fig. 5 Depth distribution in N-S section of the part shown in dotted lines on Fig. 4.

崎断層に沿う地震群中に位置している。

今回の地震は白丸で示してあるが、この位置からみれば、南の山崎断層に沿う地震群の延長上にある様に思われるが、これは次の震源の深さ分布でも議論する。

震央分布図において、点線の部分の地震の南北断面図 (Fig. 5) より、震源の深さ分布をみれば、地震活動は南ほど深い地震がある、三日月観測点付近、山崎断層が顕著に見られる地域、では深さが 10 km から 20 km の間にあり、船岡観測点までは地震の発生の下限が漸次浅くなり、数 km 付近でのみ地震が発生する最浅点に達し、それより北へ進むと、日本海側の地震群が浅い所から深い所までバラバラと発生している。この様に見て行けば、南の地震活動と北の日本海側の地震活動は異質の活動形態を持つことが、推定される。

その区切りは船岡観測点の少し北にある様に思われるが、これについては後で議論する。この図で、黒丸で示してあるのが今回の地震である。船岡観測点の $S-P$ time 分布で推定した様に、新しい地震活動が始まったと言うのではなく、今までの地震活動の一環として発生した地震であることが震央分布図や深さの分布状態からも言える。

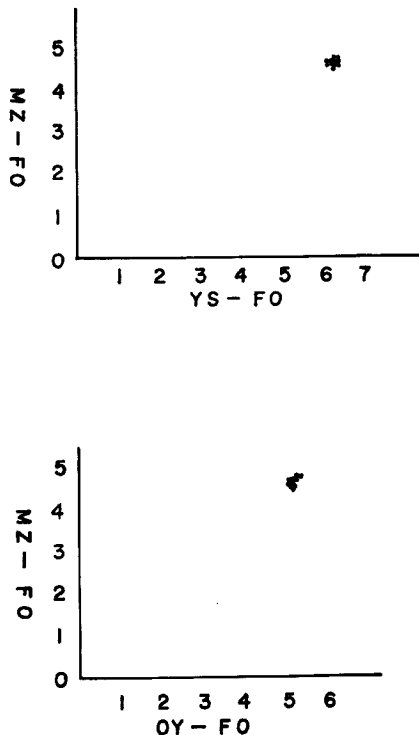


Fig. 6 Arrival time difference between two stations.

次に、前震域・余震域がどれだけの拡りを持つのか、大きい余震の震源決定による拡りは、2 km 四方であり、2つの観測点の P 波の発震時の差による震源移動を見た (Fig. 6) が、バラツキは 0.3 秒以内に入り、 P 波の速度を 6 km/sec にしても 1.8 km 以内である。

一方、宇津一関の式³⁾

$$\log A = M + 6$$

A : 余震域の拡り

M : 主震のマグニチュード

に、 $M=4.3$ を代入すれば、この地震の余震域の面積は 2 km^2 の内におさまり、上述の観測値とほぼ一致している。

3. 時間的变化

船岡観測点で記録された地震数の時間的变化を Fig. 7 に示す。地震数の減衰の仕方は、本震前後で 64 コの地震が記録されているのに、4 時間後の地震数は 16 コと $1/4$ に減少している。又、最大余震は 14 カ日後の 4 月 21 日に発生しているがこれに伴う余震は数が少なかった。これを地震の放出エネルギーのグラフから見れば、主震でほとんどのエネルギーが解放されていることが分る。(Fig. 8)

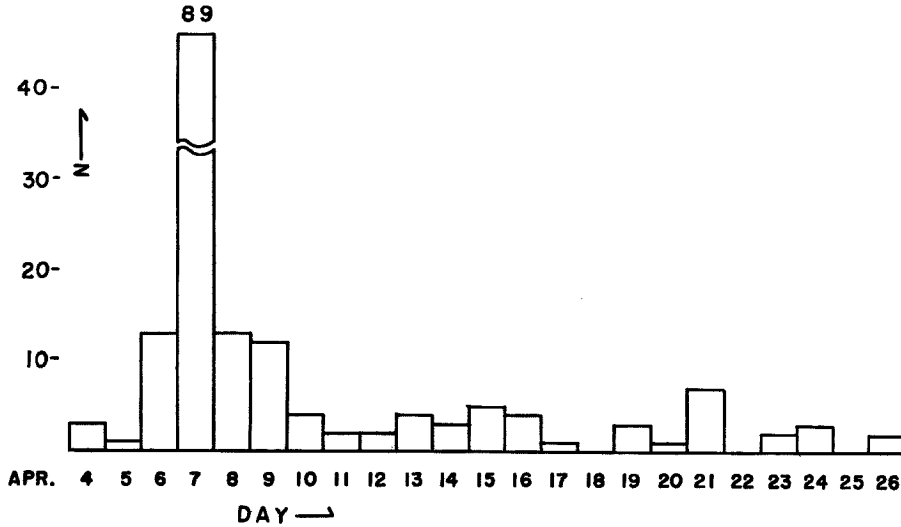


Fig. 7 Variation of the daily frequency of shocks observed at Funaoka.

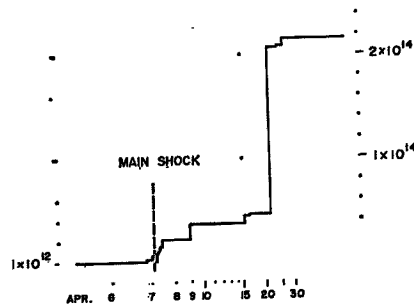


Fig. 8 Seismic energy release curve.

地震群全体についての時間的経過は、上述のごとくであるが、主震前後の約 10 時間を詳細に検討するために、Fig. 9 は船岡観測点における地震の最大振幅 (μ Kine) を縦軸に、時間を横軸に採ってある。これによると、主な前震は主震の 5 時間前から始まり、主震まで間隔をあけて 3 つほどのグループで発生している。主震以後、急激に地震数が増加するが、この発生の仕方も時間的にかたまっている。これは、地震が時間的にランダムに発生するのではなく、一つの地震に続いて発生するというを示す。ここで、地震活動が時間的に密集して発生しているのをより詳細に検討するために、主震前後の地震波形の類似性を見

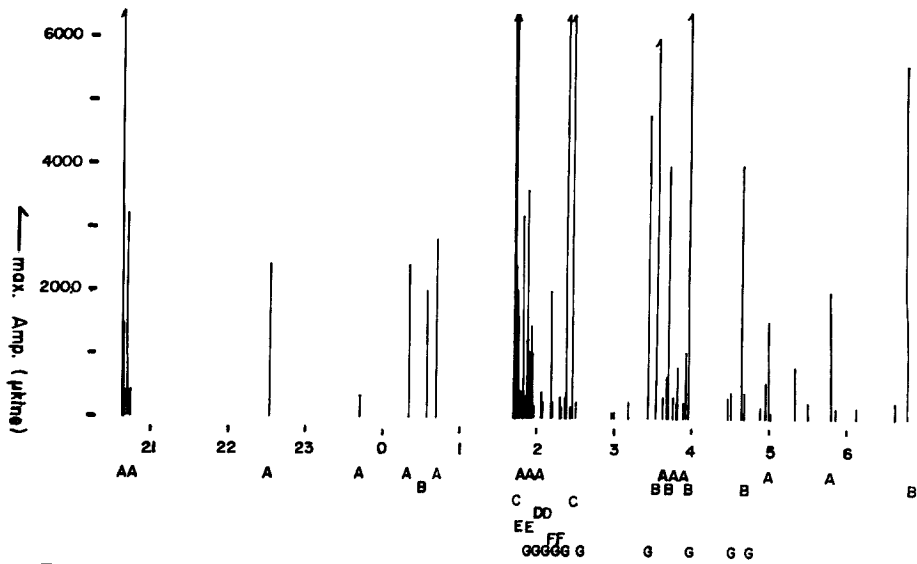


Fig. 9 Velocity amplitude of successive shocks at Funaoka from 06 th 20 h to 07 th 07 h. An English letter in lower column shows a wave type of Fig. 10.

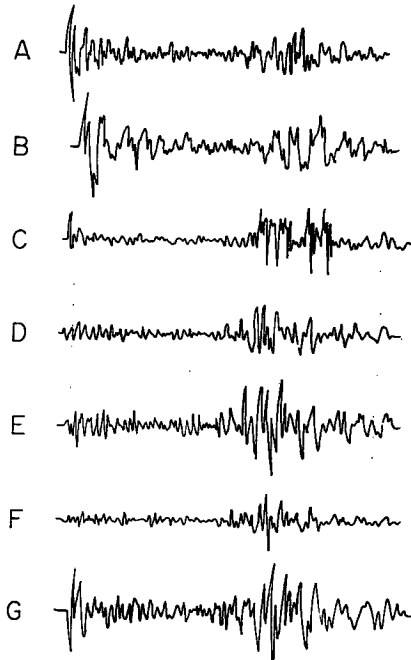


Fig. 10 Types of seismic waves recorded by magnetic tape at Funaoka.

る。波形は大体 Fig. 10 の 7 つの型のいずれかに分類され、解析した 38 コの地震は、A 型 14 コ、B 型 6 コ、G 型 10 コで、他の C, D, E, F 型はそれぞれ 2 コずつで、特に A, B 型で全体の過半数以上の地震数がある。

り、G型は約1/4で、C, D, E, F型を合せても1/4に満たない。この様に、大別して2つか3つの型のみ限定されることが判る。

次に、この波形の時間的変化を検討するために、Fig. 9の下欄にそれぞれの地震に対応して、A, B, C, D, E, F, Gの記号を記した。これらより、前震7コについては、B型が1つあるだけで他はすべてA型となり、主破壊の前の小破壊が同じメカニズムを持つことを示している。主震後、短期間は種々の型が存在するが、時間が経つにつれて、波形はA, B, Gの3つの型のみになる。A, B型は前震からずっと続いて発生し、G型は主震後現われた型で、主震の影響による他のメカニズムによる地震か、又、震源が少し移動しているのか、波形だけでは結論を下せない。後で述べるが、主震はA型であり、4月21日の最大余震もA型かB型である。余震活動とは主震によって、2~3の地震発生系列が隆起され、それぞれがある地震活動を持ち、直後に入り乱れて発生し、時間が経てば主な系列のみが残るのではないか。

今回の地震活動は、次の様に述べても良いのではないかと、すなわち、ある系列（波形ではA, B型）の地震活動が存在し、それが前震—主震—余震と地震発生期の基調をなし、主震の影響で第2次、第3次の地震系列（波形ではG型とその他の型）が隆起され、それらの活動が2・3の例外を残して短期間で終わっている。

この波形の分類が何を意味するのか、短周期地震計では特に観測点付近の影響が入ると言われるので、これを震源の問題に結びつけるためには、震源の移動と発震機構の変化について考察する必要がある。

4. 発震機構

この地方の発震機構から主応力の方向を議論した研究に、市川の研究⁴⁾がある。日本海側の地震としては、鳥取地震の前震・余震の主応力の方向の平均はN66°Wであり、兵庫県西部、山崎町付近の地震の主応力の方向の平均はS81°Wと言われ、これは橋爪の微小地震の発震機構の重ね合せにおいてもこの傾向は表われている。

今回の地震群も初動の押し引き分布から、主応力・主張力の方向を決定することを試みたが、主震においても23カ所の観測点で、一意的にnordal planeを決定することは難しいが、この地震群の主応力の方向をある程度の誤差を見積って、時間的に変化する状態を見ることは出来る。

ここでは、代表的な例として、前震・主震・余震の中でも大きい地震5コについてWulff netに投影して

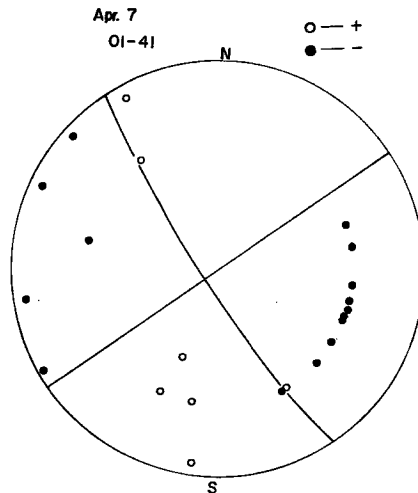


Fig. 11 Distributions of the first motions of P waves for main shock, shows Wulff net of lower focal hemisphere, open circle and closed circle show compression and dilatation, respectively.

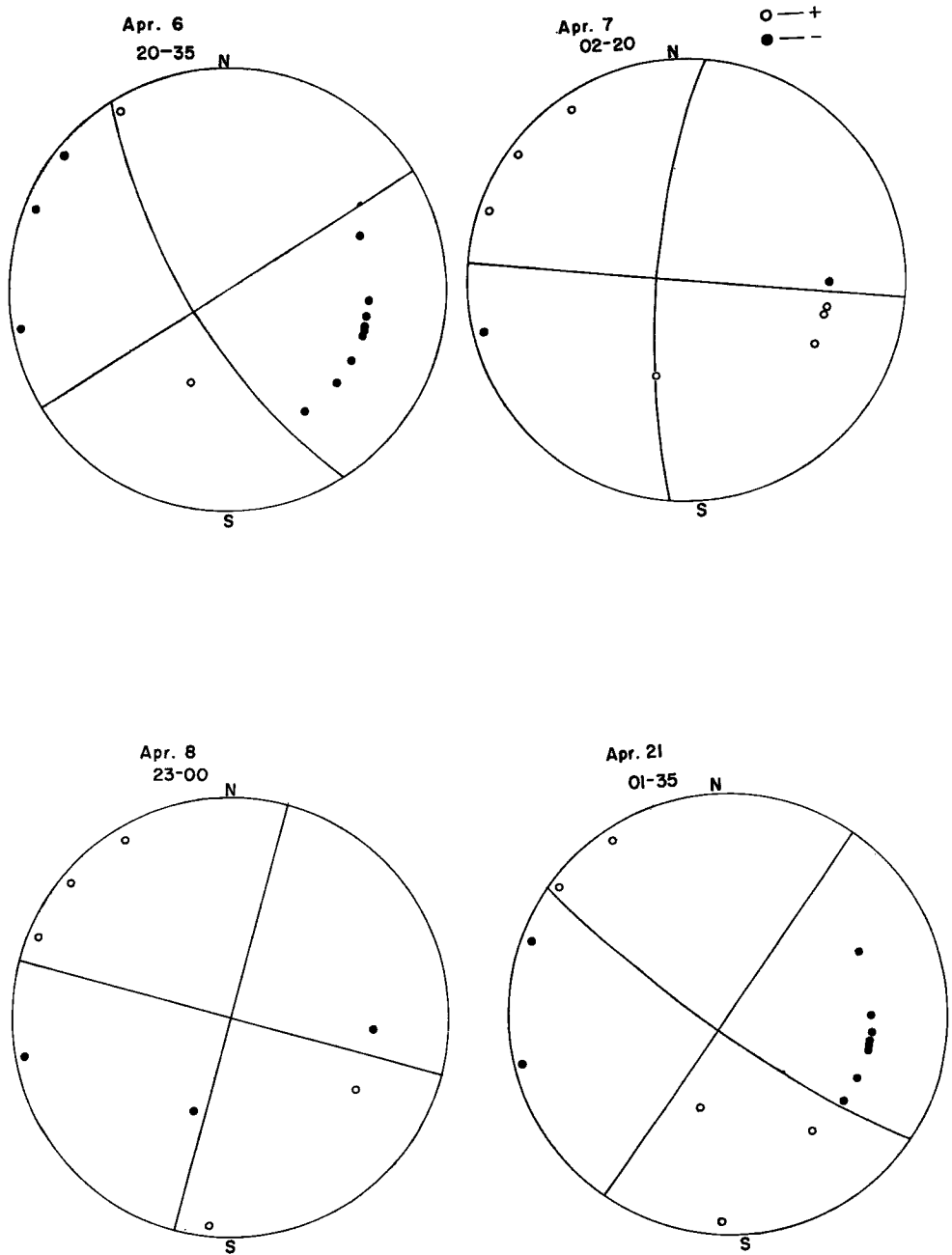


Fig. 12 Distribution of the first motions of *P* waves for foreshock and aftershocks.

nordal plane を求めた。(Figs. 11, 12) 主震の nordal plane は $N36^{\circ}W \cdot D=10^{\circ}, N54^{\circ}E$ で主応力の方向は市川の書き方によれば, $N81^{\circ}W$ で東西方向より時計廻りで 9° ずれた方向に求まる。主震の発震機構と同じ nordal plane で説明できる地震は, 6日の20h35mの前震があり, 21日01h35mの最大余震の発震機構は, $N52^{\circ}W \cdot D=10^{\circ}, N38^{\circ}E$ の nordal plane を持ち, 主応力の方向は $N97^{\circ}W$, すなわち, 東西方向より反時計廻りに 7° ずれた方向に求まる。これら3つの地震は, 東西方向の主応力として説明できる地震であるが, 7日02h20mと8日23h00mの2つの地震は主震の発震機構では説明することが出来ず, それぞれの nordal plane は $N8^{\circ}E \cdot D=20^{\circ}$ と $N98^{\circ}E, N15^{\circ}E$ と $N105^{\circ}E$ であり, 主応力の方向は $N53^{\circ}E$ と $N60^{\circ}E$ となり, 東西方向より反時計廻りに 37° と 30° ずれている。これら2つの地震は, 東西方向の主応力では到底説明できず, 異種の系列と考えている。又, 浜坂群発地震で見られる様に, 時間的な変化については, Fig. 13により各観測点の初動が押しの場合○印, 引きの場合●印で示すと, 前震は一つの例外を除いて主震まで各観測点の押し引きに変化はない。これは, 波形の分類の場合と同じ結果を示し, 波形の分類は発震機構の変化と対応している様である。

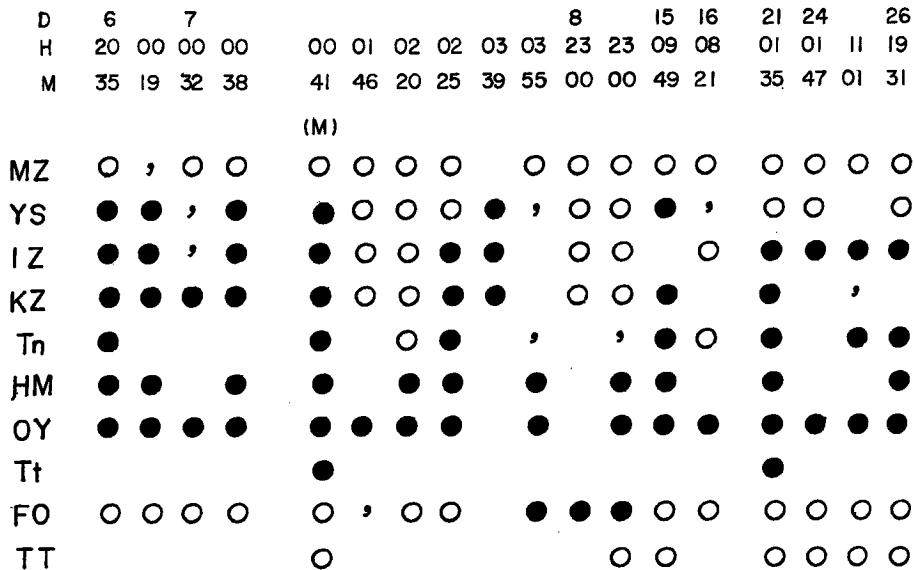


Fig. 13 Variation of the first motions of P waves. open circle and closed circle show compression and dilatation, respectively.

主震直後は, 地震も多く発生しているし, 発震機構も主震と違う地震が見られるが, 大体これらは7日02h20m 8日23h00mの地震と同じ発震機構を持つと推定して良い。この種の発震機構を持つ地震は18コの地震中6コあり, 全体では1/3をしめ, 前震・主震と同じ発震機構を持つ地震は6コで, 少し相違している発震機構を持つと推定される地震, すなわち21日01h35mの地震等, は6コある。

発震機構の時間的な変化としては, 前震期と余震前期と余震後期と, 3つの時期に相違がみられる。前震期では, 発震機構の型がほとんど変わらず, しかも, その発震機構は主震の発震機構と一致している。これは波形の分類のところで述べたことと一致している。次に, 余震前期では, 発震機構にバラツキが見られ, 主震の発震機構で説明できない地震が存在し, 波形の分類の第2次, 第3次の系列と見なすことが出来る。余震後期において, 発震機構は最大余震を含めてほぼ前震—主震の発震機構と等しくなり, この地震群は終わっている。

5. 議 論

今まで述べてきた観測結果から、この地震群は震央と深さの分布が、日本海側の地震群よりも、南の山崎断層に沿う地震群の延長と見ることが出来、発震機構から求めた主応力の方向が東西方向ないしは北東-南西方向であるのは、南の地震群に属することを示している。これは、日本海側の地震群から 10 km も離れていない位置にあるのに、30 km も離れた地震群と同じ stress の方向を持っていることは、地殻構造の研究や地質学などからも面白いことである。それに、この地域の少し北側に地震活動を分割するような場所の存在は、今後山崎断層や山陰地方の地震を研究する時や、地殻変動の研究などで留意すべき事であろう。特に、震源の深さが 5~6 km のこの地域の地震が、同じ東西方向の主応力で説明出来る山崎町付近の深さ 10 km 以下の地震と本当に同じ機構を持つのか、又、それが山崎断層の深さとどの様に関連するのか、興味ある問題である。

この地震群は、前震-主震-余震の通常形態を採り、主震のマグニチュードは 4.3 と発表されているが、村松の式³⁾を用いて、振動継続時間 $F-P$ time と M_{MR} の近似式から、マグニチュードを求めたら、 $M_{MR}=2.5$ と大変小さく求まった。この相違については、今後検討を加えて行く必要がある。そして、最大余震のマグニチュードは $M_{MR}=1.6$ で、主震のマグニチュードとの差は 0.9 である。

この地震群の時間的推移は、震源の移動、波形の分類、発震機構とそれぞれ述べてきたが、ここで、総合して地震群全体を見て行く。震源がどれだけの揺りを持つか、又、時間的に震源が移動して行ったかを、2つの観測点の P -time の差で見たが、震源の大幅な移動は前震・余震を通じていない。次に、波形においては、前震はほとんど同一の A 型であり、発震機構の結果と一致している。主震の発震機構でこれらの前震はほとんど説明することが出来、主震の波形も A 型と推定され、この地震群の基調の地震の波形は A 型で、東西主応力の発震機構であるだろう。それに、前震のメカニズムが主震のメカニズムと同一であるのは、主破壊に至る前兆現象として前震が意味を持つ。主震直後の余震群の波形や発震機構を見るに、前震・主震のメカニズムはもちろんあるが、他のメカニズムで発生している地震を、波形の分類や発震機構の解析で知る事が出来る。そして、その発震機構は主震の発震機構よりも、 40° も反時計廻りに主応力が廻転しているものもある。この時期の波形はいろいろな型が表われ、発震機構の不均一と同じことが言える。だが、少し時間が経てば、波形では A・B 型と G 型の 2 種類となり、発震機構でも大体 2 種類と見なすことが出来る。主震後 14 日目に、A・B 型の最大余震が発生し、東西主応力の発震機構が卓越して、この地震群は終る。

以上、結論として、今回の地震群は、鳥取地震と同じ系列の地震でなく、兵庫県西部の山崎断層に沿う地震活動の最北端部に発生した地震で、この中国地方の地震活動を区切る地域は、船岡観測点の少し北に存在する。

前震-主震-余震の過程において、地震群全体を通じて基調となるべきメカニズムが存在し、主破壊に至るまでの小破壊は主破壊と同じメカニズムを持ち、主震後、少し時間が経てば、余震のメカニズムは、2~3 に限られる。特に、主応力の方向が 40° も主震と違う余震が存在するのは、実際に主応力の方向が変化しているのか、すべり面（断層面）の方向によるのか、これは今後の問題である。

最後に、御指導下さいました岸本兆方教授初め、多くの有益な助言下さいました地殻変動部門の方々から感謝致します。又、観測に多大の御努力を下さいました中尾節郎氏並びに矢部征氏に感謝いたします。又、煩雑な観測業務をお引き受け頂いている鳥取微小地震観測所の観測室の方々に、厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岸本兆方・橋爪道郎・西田良平：近畿地方北半部における最近の微震小地活動，京都大学防災研究所年報，第 11 号 A，昭 43. 3，pp. 75-89.
- 2) 橋爪道郎・岸本兆方：微小地震の震源の求め方について，京都大学防災研究所年報，第 10 号 A，昭 42. 3，pp. 35-41.

- 3) 宇津徳治・関 彰：余震域の面積と本震のエネルギーとの関係，地震，2, 7, 昭 30, pp. 233-240.
- 4) 市川政治：日本付近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二，三の問題，研究時報，18 卷 2 号，大 11. 2, pp. 83-154.
- 5) 村松郁栄：Magnitude の定義式について，地震，2, 17, 昭 39, pp. 210-221.