

中国地方東部・近畿地方北部における最近の地震活動

鳥取微小地震観測所

RECENT SEISMICITY OF MICROEARTHQUAKES IN EASTERN CHUGOKU AND NORTHERN KINKI DISTRICTS

By TOTTORI MICROEARTHQUAKE OBSERVATORY

Synopsis

Using data observed by 5 stations attached to the Tottori Microearthquake Observatory for 7.5 years from 1965 to June, 1972, the analysis of recent seismicity of microearthquakes in eastern Chugoku and northern Kinki Districts were done. Epicenters of microearthquakes determined in these districts were 410 or so for one year. Regional differences of space and time distributions were discussed by the analysis of time-accumulated frequency curves.

1. 序

1963年から開始された鳥取微小地震観測所の微小地震観測網は近畿地方北部・中国地方東部に広がっていて、当初から一貫した観測システムを続行し、高い観測精度(400 μ kine/cm, 変位倍率は約10万倍)を保持している。そして、この観測に基づいて基礎的な微小地震の研究がなされてきた。例えば、seismicityの研究^{1),2)}、この地方の地殻構造の研究とその検定³⁾、それに因る震源決定精度の向上、群発地震の研究^{4),5)}、活断層等構造地質学との関連⁶⁾、微小地震の発震機構の研究等多くの研究が列記される。⁷⁾そして、この観測期間を通じて、観測機器の改良が行なわれている。これらを総合してこの地方の地震活動の概略が明らかになりつつある。これらの研究は長期間に渡る定点観測によるデータの積み重ねによって初めて可能になるものが多。本論文では今まで報告された記録も含めて、10年間近くに及ぶ微小地震観測に基づいて、この地方の地震活動の空間分布・時間分布・その活動度の地域性について述べる。用いるデータは主に定点観測網で記録され、震源が決定された1965年から1972年6月までの7年半の微小地震である。

微小地震観測所は観測に基づいた研究を行い、地震学の発展、地震予知の解明に寄与すべきであるのに、観測所の実情は毎日記録される膨大な観測データの整理に追れている、それに地震観測は本所だけでなく通常委託観測を数点行っているなのでその維持・管理にも多くの時間が費される。その後、記録を読取り実際の研究に役立てるまでのデータ処理が必要であり、データ処理に力を注げば研究活動を行う時間がなくなってしまふ。反面、このデータ処理をしなければ記録を役立てることが出来ない。この矛盾する事をいかに処理するか観測所の所員に大きくのしかかっている。我々はこの現状から出来る限り本来の目的である研究を行う時間を作るために、電算機をフルに活用しているが、委託観測によるドラム式レコーダーの地震記録では地震記象の読取り作業が重要・不可欠であり、この観測システムを改新し、電算機を中心にしてデータレコーダーによる磁気テープ記録、A-D変換機等の結合による観測システムに移行しない限り五十歩百歩である。ここでは、現在我々がやっているデータ処理の方法、主に読取り以後の電算機利用による記録の処理方法について述べる。

この地方の地震活動について今まで多く報告されているが特に注目すべき事柄について略述する。第一に

は地震活動に地域性が見られる, すなわち構造地質学で見出された活構造の周辺, 山崎断層・三峠断層, 鳥取地方・淀川地震帯等が活発な地域である。それと共に無地震域あるいはほとんど地震の発生しない地域が存在することも明らかになりつつある。今後これらの地域に本当に地震が発生しないのかは不明ではあるが, 有史以来地震の発生が記録されていない地域であることも確かである。⁹⁾ 平面的な揺りだけでなく, 微小地震は 20 km 以深にはほとんど発生せず, 5~20 km の地殻上部に集中して発生していることも判明している。¹⁰⁾ 又, この地方の微小地震の発震機構の解析から Tectonic Force はほとんど水平な東西主圧力であることも分った。¹¹⁾ 我々はこれらの研究を基に, 山崎断層周辺の臨時観測, 鳥取地方のより高精度の観測を実施している。これらについては別に報告を行う。

2. データ処理と震央分布図

観測網及び観測システムは今までも度々詳細に記述されているのでここでは概略を述べる。Fig. 1 に示す様に記録方式はドラム式レコーダーでインク書き, 紙送りの速度は 4 mm/sec である。この様な観測方式

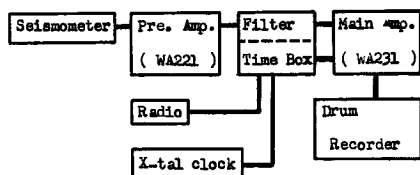


Fig. 1 Observation system of Tottori micro-earthquake observatory.



Fig. 2 Observation stations attached to the Tottori microearthquake observatory.

を三日月観測室 (MZ), 泉観測室 (IZ), 氷上観測室 (HM), 大屋観測室 (OY), そして 1970 年 7 月まで船岡観測室 (FO) それ以後は智頭観測室 (CZ) にそれぞれ委託して, 鳥取微小地震観測が実施されている。(Fig. 2)

これらの記録は鳥取微小地震観測所に集められ, 記録の状態の点検, 観測機器の不備等を調べ, もし不完全であれば修理等に観測室に向向く。次に, 記録紙から地震記象を読取る。この時, 読取る事柄は必要に応じていろいろ考えられるが, 当観測所では P-time, S-time, P-Rank, S-Rank, F-P time, 最大振幅とその周期, P 波初動の方向の諸値が読取られる。この読取り作業は不可欠のもので, これに多くの時間と経験が必要である。読取られた数値はコーディングシートに記入され, カードにパンチされる, このカードを 'Card No. 1' とする。このデータの流れを Fig. 3 に示す。主に, 電算機を用いて観測値から Bulletin を作り, 地震の発震時・マグニチュード・震源等を計算し, 震央分布図を作製するまでを示す。これには合計 6 コのプログラムを使用し, 又, カードも 3 種類になる。次に, 順を追って説明して行く。'Program No. 1' は 'Card No. 1' のパンチミスをなくす。'Card No. 1' は読取り値であるのでこれと時間補正值のカードと振幅補正值のカードを 'Program No. 2' に掛ける。'Program No. 2' は Seismological Bulletin を作製するプログラムで, out put として 2 種の Bulletin が印刷される, すなわち観測点別と地震ごとにまとめられたものである。同時に後者と同様の数値がカードとして打ち出される。このカードを 'Card No. 2' と呼ぶ。次に, 'Card No. 2' を in put として 'Program No. 3' は地震別の Bulletin を 5 さつ作製する。そして, 'Program No. 4' でこれらの微小地震の震源を求める。震源決定の方法は今まで鳥取微小地震観測所で用いられている方法で, こ

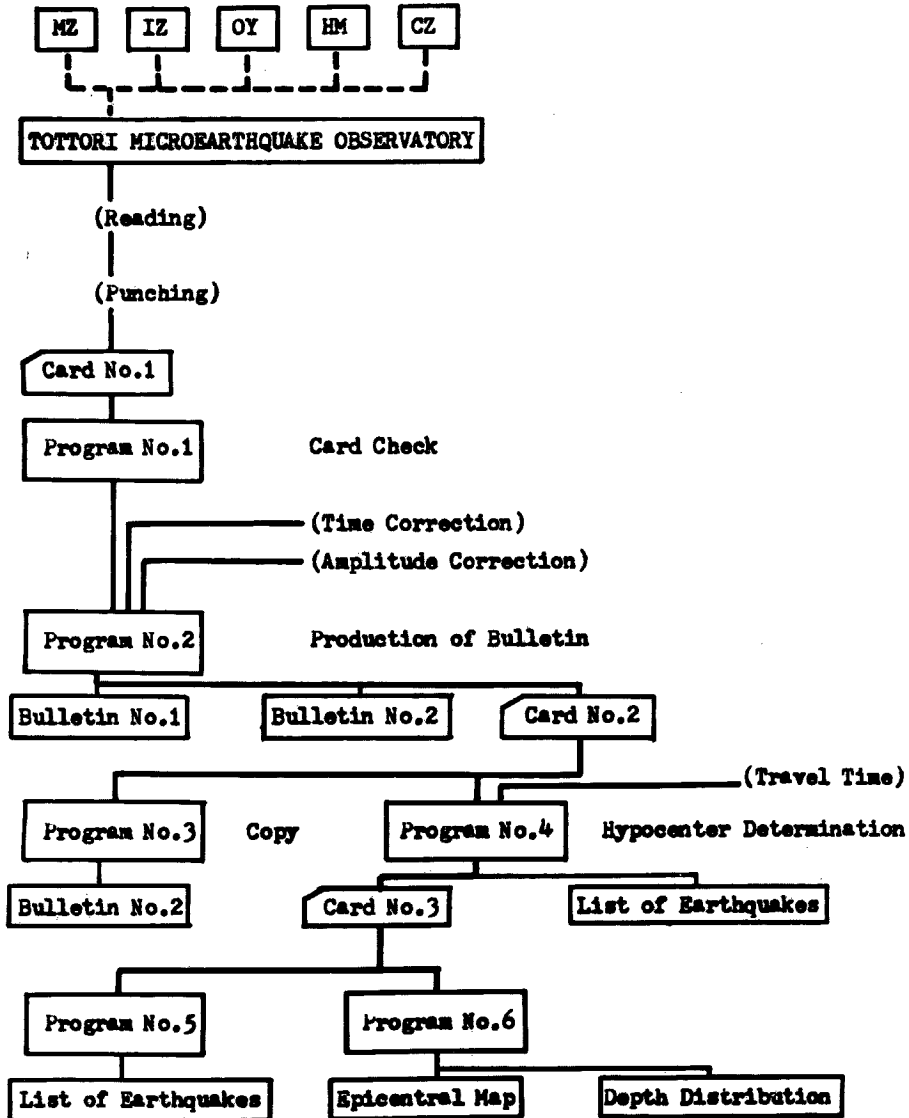


Fig. 3 Data processing by computer. Seismological bulletin and list of earthquakes are computed, and epicentral map and focal depth distribution are described.

の地方の地殻構造を仮定して走時曲線を計算しておき、地震の各観測所の P-time と S-P time から発震時を求め、各観測室までの Travel Time から震源を求める。¹²⁾ この方法をプログラムしてある。決定された震源は list の印刷とカード出力で out put されている。このカードを 'Card No. 3' とする。1 年分あるいは半年分の震源を 'Program No. 5' と 'Program No. 6' で微小地震を震源の位置で区分した list の作製と、震央分布図・深さ分布図（切断面図）を作製する。ここまでを当観測所で行って、地震研究の基礎的資料の作製と蓄積とする。これを行うために我々は多大の時間と労力を注ぎ込んでいる。これ以後はこれらのカードを用いて興味深い問題をいろいろ研究することが出来る。例えば、地震分布の異常性のチェック、発震機

構を求める，地震の統計的諸問題の研究等はプログラムを作りさえすれば簡単に行える。これらについては漸次発表を行っている。

電算機でプロットされた震央分布図を Fig. 4・5・6 に示す。Fig. 4 は 1964~67 年のデータで震央分布図と X-方向と Y-方向に 50 km ずつ区切った切断面図を示す。震源の深さはほとんど 20 km 以浅で，X = -50 ~ 0 と X = 0 ~ 50 の切断面図において日本海側と瀬戸内海側を区分する様に中央に 5 km ほどの深さまでし

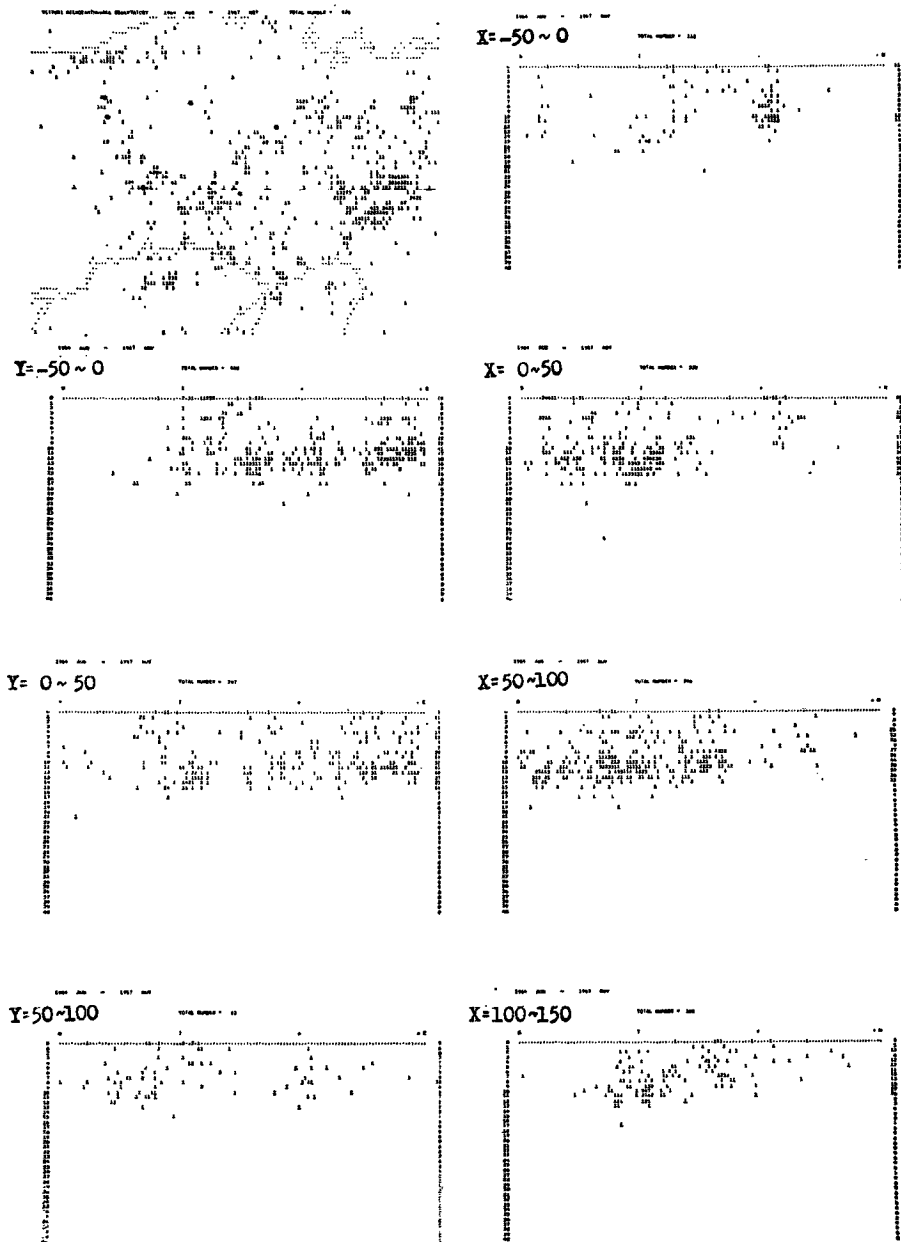


Fig. 4 Epicentral map and focal depth distribution from 1964 to 1967 described by computer.

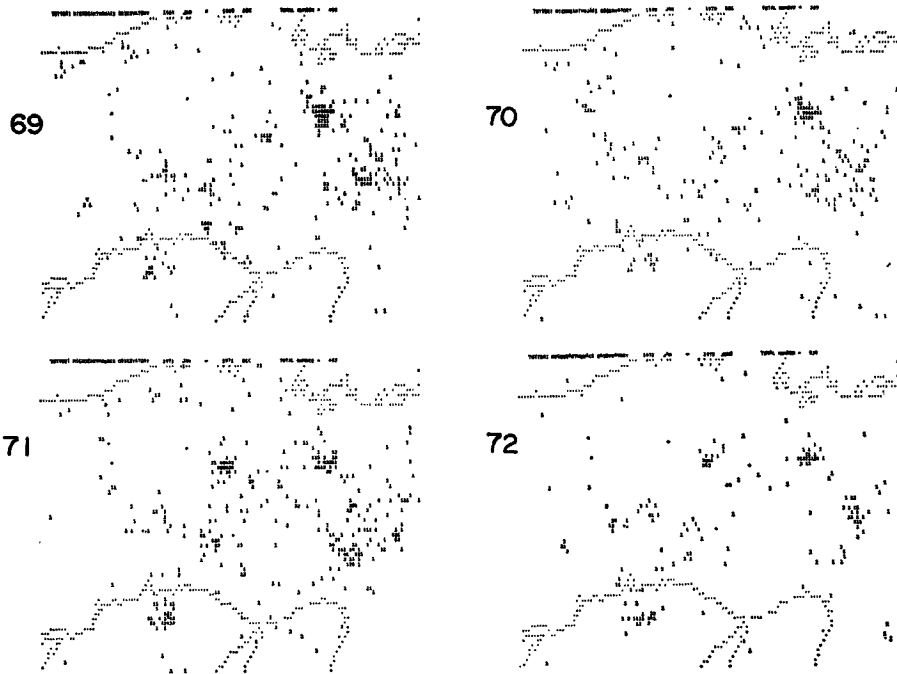


Fig. 5 Epical map of each year from 1969 to 1972 described by computer.

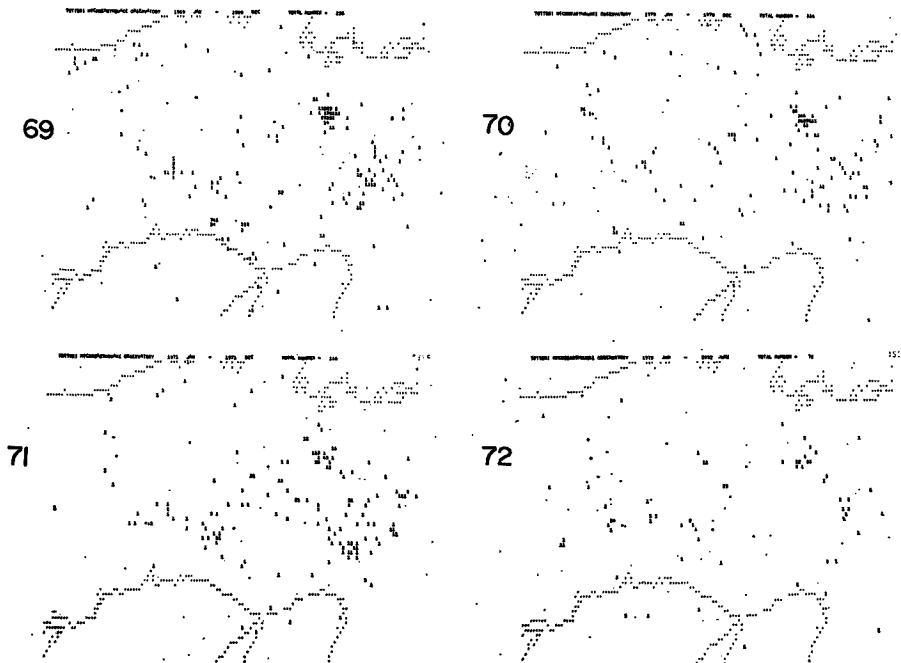


Fig. 6 Each year's epical map of earthquakes occurred from 20:00 to 08:00 of nextday described by computer.

か地震の存在しない地域があるのが良く判る。Fig. 5 は 1969 年から 72 年 6 月まで各年ごとの震央分布図を示す。大略は相似している。微小地震の観測倍率は高いので、自然地震以外に多くの人工的のノイズが振動として記録され解析されていることがある。特にダム工事・道路工事等で固い岩盤を切り崩すために用いられるダイナマイトによる発破作業にはまきらわしいものが多い。我々はこれらのノイズの発見・消去に注意をしているがより確実にするために、午後 8 時から翌日の午前 8 時までの夜間 12 時間のみの震央分布図を作製してみた。これらを Fig. 6 に示す。これによると、全日の震央分布からほとんど消去されたのは瀬戸内海の家島付近と 71 年の生野町北部の地震群である。これらは家島の石切場の発破作業と、関西電力 k.k. の多々良木ダム建設工事による発破だと推定される。

次章で詳細に議論するが、この地方の震央分布の特長の概略を述べれば、鳥取地方（山陰地方）では海岸沿いに地震が発生している、そして山崎断層周辺（三日月観測室のすぐ北を南東—北西方向に分布している）、泉観測室付近、泉観測室から氷上観測室に沿う地域、淀川地震帯、和知地震の前震・余震域（三峠断層周辺）が目立った地震多発地域である。それと逆に無地震帯としては大屋観測室周辺と岡山県中部、日本海等が挙げられる。これらの特長は各年の震央分布図に共通している。

3. 地震活動度

大略の活動域については前章で述べたが、ここでは区域分割してその活動の分布状態・時間的変化の特長を調べ、地域の活動の相連等を議論する。微小地震観測網を中心にして、横 240 km、縦 200 km の区域を 20 km 平方の 120 コの小区域に分割して、その小区域の地震活動を調べてみた。(Fig. 7)

この地域全体の活動度を知るために、震源がこの地域内に求まった地震の半年ごとの数の変化を Fig. 8 に示す。1965 年・66 年は観測機器の故障、精度の不一致、観測機器の改良等のため観測が一定せず震源が決定された地震数が少ないと推定される。それ以後は観測機器の整備・改良が一段落したため、この地域の実際の活動を示していると考えられる。1968 年・69 年は地震数が異常な高値を示しているが、これは 68 年 8 月に発生した Magnitude = 6.2 の和知地震の余震活動に因るものである。以後は平均 410 コ前後の地震

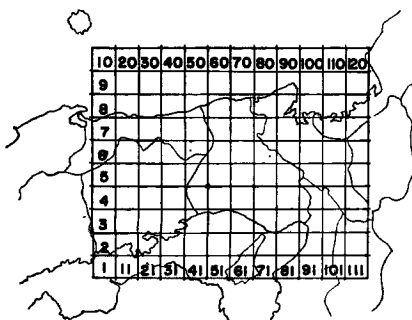


Fig. 7 The distribution chart of 120 small regions divided.

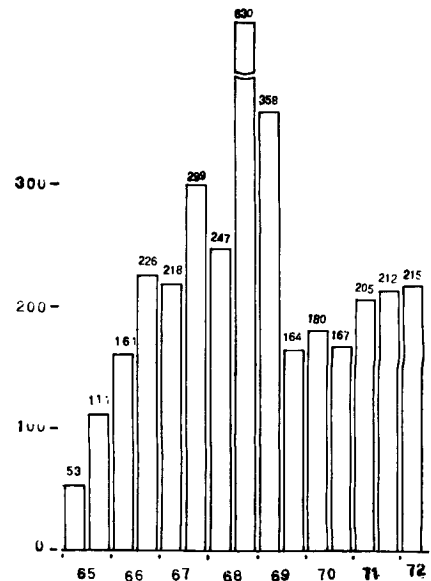


Fig. 8 Variation of the frequency of micro-earthquakes for a half year.

がコンスタントに求まっている。小区域ごとに1965年から72年6月までの7年半の地震数を積算した総地震数の分布を Fig. 9 に示す。Fig. 9 a は小区域内の積算された地震数が20を越える地域を示している。この内で特に多発地域(積算数が100以上)は和知地震余震域(三峠断層周辺)、山崎断層周辺、淀川地震帯の各地域である。次に、50以上の地震が記録されている地域は日本海沿岸の鳥取地方、泉観測室から水上観測室に分布する地域がある。これらに比べれば地震数が少ないが、丹後地震の余震域はこの周辺地域に比べて多くの地震が発生していることが分る。そして、瀬戸内海沿岸・明石・淡路島・六甲も active zone と言うことが出来る。これと反対に地震数の少ない地域を Fig. 9 b に示す。地震数7以下の地域を列記すれば、岡山県・日本海・大屋観測室周辺・瀬戸内海等である。ここで興味を引くのは六甲山脈のすぐ北側の区域が積算地震数15とその周辺区域に比べて非常に少ないのが、大屋観測室周辺の区域と共に注目される。これはこの地方の地震活動が交差する数列の地震帯により形成されていると今まで述べていることから、この区域がちょうど地震帯の中間の空白部分に相当する。これらは今まで震央分布で述べられていたことを改めて指摘している。

時間的な変化を知るために、積算数が20以上の小区域について Fig. 10 の様をグラフを作り、その特長を調べた。これは横軸を半年ごとに65年から72年6月までに15に区切り、縦軸に半年ごとに地震数を積算していった積算曲線である。そのグラフにおいて、傾きが最小になる様な2本の平行線でこの折れ線(積算曲線)をすべて包含してしまう様に引き、この平行線の傾き 'm' とその間隔 'Δ' を各小区域について求めた。

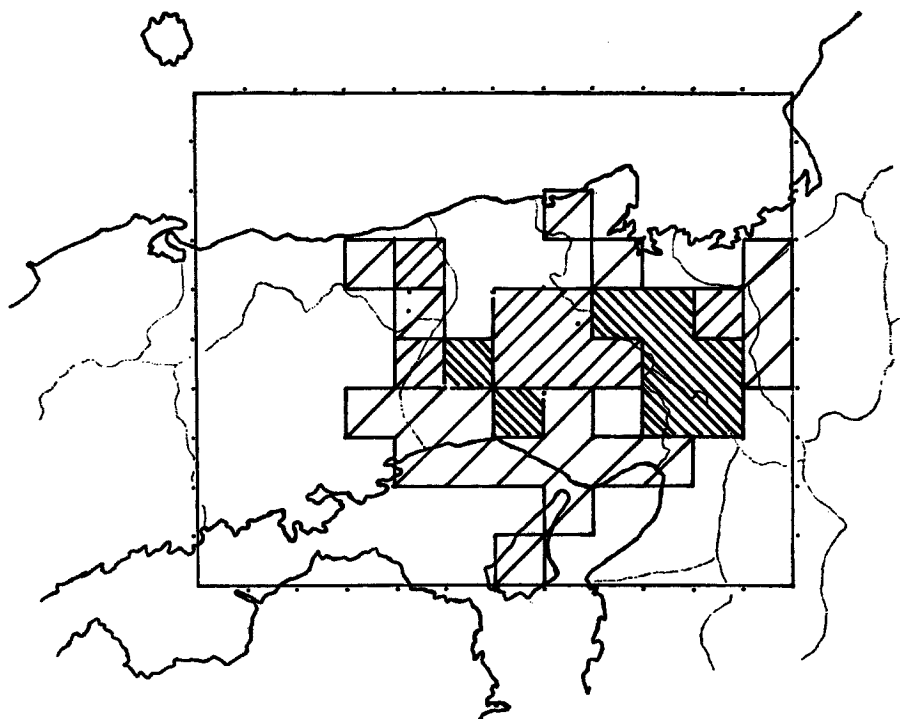
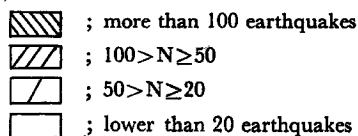


Fig. 9 a) The distribution of active seismic regions.



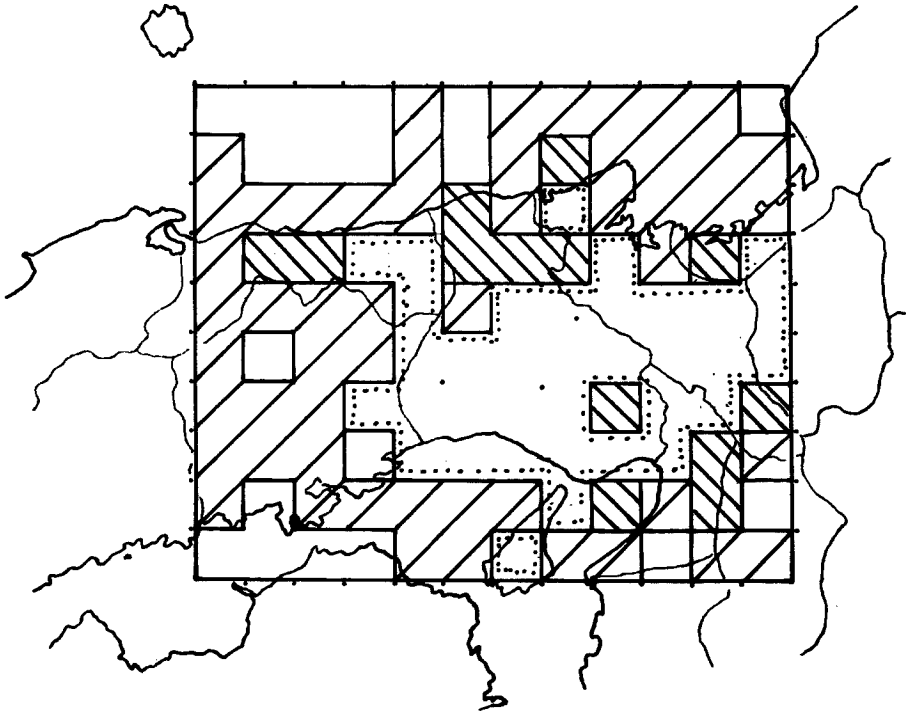


Fig. 9 b) The distribution of low seismic regions.

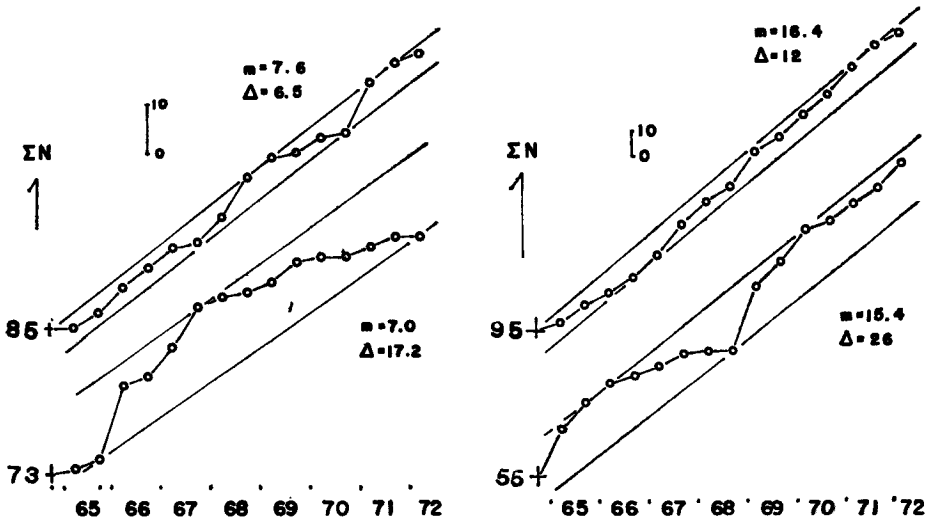
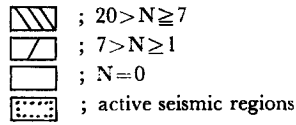


Fig. 10 Time-accumulated frequency curves 'm' and 'Δ' are indicated the average number of earthquakes for year and the distance of parallel lines. The number of left side shows ones of small regions.

この平行線の傾きは年平均の発生数を表わし、平行線の間隔は地震発生数の時間的バラツキ度を表わしている。定性的に言えば、間隔 ' Δ ' が大きいほど時間的な地震の発生の変化が大きく、間隔が小さいほど年平均からのズレが少なく常時一定の地震が発生している地域である。これはエネルギー放出の形態の差だとも考えられる。このグラフの数列を Fig. 10 に示している、Region 85 と 73 では発生数の年平均 ' m ' はそれぞれ 7.6 コと 7.0 コであるが、その間隔 ' Δ ' は 6.5 コと 17.2 コで 2 倍半以上の差がある。又、Region 95 と 55 でも同様に ' m ' は 16.4 コと 15.4 コであるのに、' Δ ' は 12 コと 26 コで 2 倍以上の差がある。Region

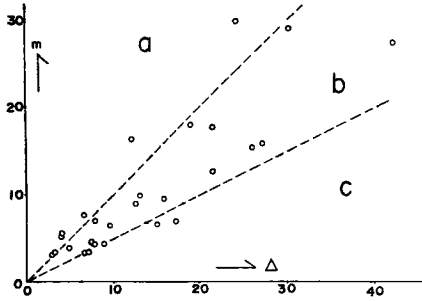


Fig. 11 The relation of ' m ' and ' Δ '. a, b and c-zone are divided to ' m ' = $1.0 * \Delta$ ' and ' m ' = $0.5 * \Delta$ '.

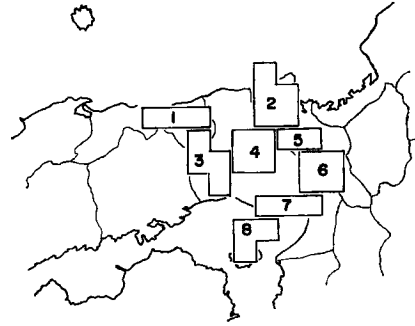


Fig. 13 Map of the number of divided regions in this districts.

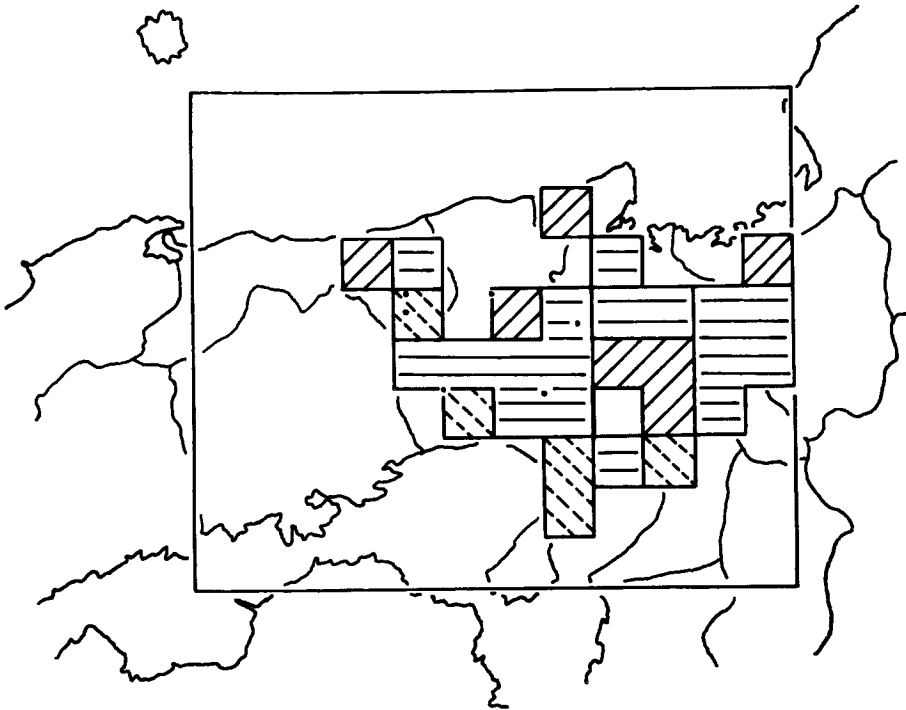


Fig. 12 The distribution map of small regions divided a, b and c-zone.

▨ ; a-zone ≡ ; b-zone ▤ ; c-zone

85 と 95 では半年ごとの地震数にあまり変化がないのに、Region 73 と 55 では地震活動に消長が見られる。

この様に求められた小区域の傾きと間隔から地震発生の形態に差のあることが判明した。Fig. 11 は横軸に平行線の間隔 '△'、縦軸に平行線の傾き 'm' を採り、各小区域の値を図示し、このグラフ上で便宜上 3 つの zone に分けた、それぞれ a-zone, b-zone, c-zone とする。a-zone は平行線の傾きが大きく間隔が小さい区域、すなわち常時一定型活動域と目される区域である。これは鳥取地方・丹後地方の様な過去の大地震が発生した地域と、淀川地震帯・水上観測点付近の小地震が多い地域である。c-zone は地震活動の消長の激しい地域であり、山崎断層周辺・六甲・明石・淡路島の各々、活構造が発達していると言われている地域が相当する (Fig. 12) この分布図から見られる様に、この地方の地震活動の形態は大まかに言って日本海側と瀬戸内海側で相違が見られることである。この事実は震央分布図・深さ分布図・発震機構の分布等からも推定されている。

今まで、小区域の地震発生数について論じてきたが、これまで判っている地震域、鳥取地方(1)、丹後地方(2)、山崎断層周辺(3)、水上観測点周辺(4)、和知地震の余震域(5)、淀川地震帯(6)、六甲地方(7)、明石・淡路島地方(8)の各地域の時間的変化の特長を調べてみた。(Fig. 13) Fig. 14 は各地域の地震数

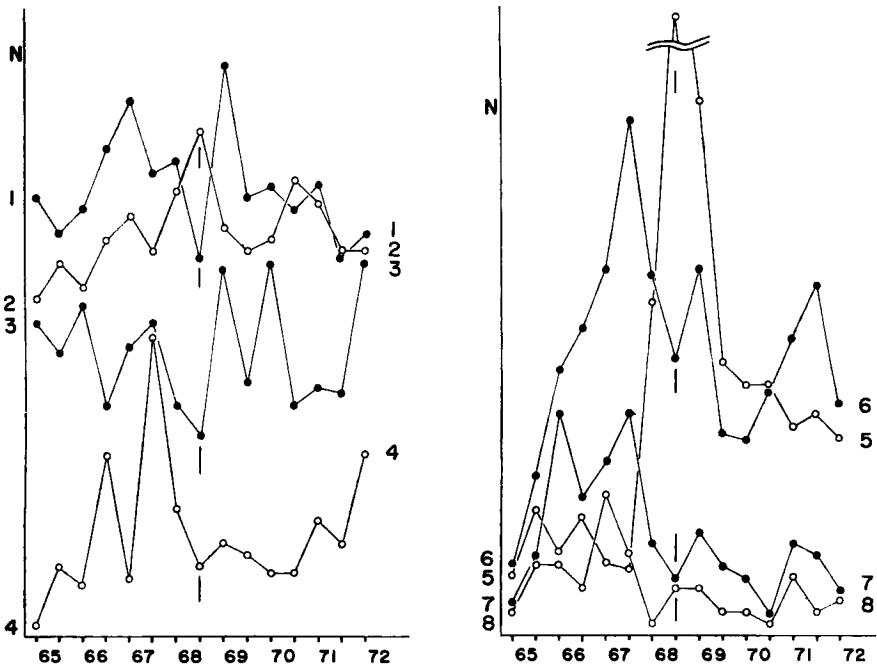


Fig. 14 Variation of the frequency of microearthquakes for a half year in each region.

の時間的変化を示している、この地震域の活動がどの程度関連し合っているのかを調べるため、半年ごとの地震数の変化の相関係数を求めた。

時間関数 $x(t)$ と $y(t)$ との相関係数 r は

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

によって与えられ、 x と y とが比例するならば、 $r = +1.0$ 、反比例するならば、 $r = -1.0$ で無関係ならば $r = 0$ である。¹³⁾ 各地域について計算された結果を Table I に示す。強い正の相関があるのは丹後地方(2)と和知地方(5)、六甲地方(7)と明石・淡路島地方(8)であり、これらは連続した地震域か、又は隣接した

Table 1 A coefficient of correlation on each region.

Region	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0	0.003	0.294	0.101	-0.288	0.397	0.374	0.374
2	0.003	1.0	-0.536	0.007	0.705	0.298	-0.254	-0.059
3	0.294	-0.636	1.0	0.091	-0.387	-0.070	0.177	0.156
4	0.101	0.007	0.091	1.0	-0.149	0.678	0.423	0.125
5	-0.288	0.705	-0.387	-0.149	1.0	0.019	-0.252	-0.083
6	0.397	0.298	-0.070	0.678	0.019	1.0	0.647	0.389
7	0.374	-0.254	0.177	0.423	-0.252	0.647	1.0	0.702
8	0.374	-0.059	0.156	0.125	-0.083	0.389	0.702	1.0

地域で強い影響を及ぼし合う地域だと推定される。次に関連の強い地域は水上観測点周辺(4)と淀川地震帯(6)、淀川地震帯(6)と六甲地方(7)である。逆に負の相関が強いのは山崎断層周辺(3)と丹後地方(2)・和知地方(5)である。和知地方には山崎断層と走向が同じ三峠断層が存在し、1968年の和知地震はこの断層に関連した地震活動と推定されている、この様な相似の横ずれ活断層を持つ80 kmほどしか離れていない地域の地震活動が反比例の関係にある。又、交差している地震域、Region 3と4には相関関係が存在しない。発震機構の解析から、この地方に加わっている Tectonic Force はこの地方全体に大体様で水平な東西主圧力だと言われ、この stress の基で、この地方の地震活動は、NW-SE 系の地震域、Region 3と2,5は反比例の関係、NE-SW 系の Region 4と6,7は比例の関係にあるのは大変興味深い。Region 6がNE-SW系の地震域だと断言することは出来ないが、六甲地方(7)との関連が強い地域であることは確かである。Fig. 14の中で縦線が引いてあるのは和知地震が発生した1968年を示している、この前後の各地域の地震活動を見ると、丹後地方(2)を除いて各地域共67年は高い活動度を示し、和知地震の余震活動の活発な時には低い活動度を示している。これは和知地震の影響がこの地方全体の地震活動に及んでいることを示している。M=6.2では余震域の広さは宇津一関の式、 $\log A = M + 6$ 、から推定される様におよそ200 km²で前後の小区域の1コの面積以下である。¹⁾ その何十倍もの広い地域に影響を与えると言うのは、前述したが、Tectonic Force が様であることからこの地方の stress 場が M=6.0クラスの地震により変化するためだろう。これについてはまだ資料不足であり、今後の問題である。

4. 結 語

この地方の seismicity について、多くの研究により大略が判明しつつあるが、今回はこれらの研究の一環として活動度の地域性をよりはっきりと知るために行った。そして主な点をまとめると次の様である。

1) 地震活動度の地域分布で主なる活動域と無地震域がより鮮明に求められた。大地震の余震域である鳥取地方・丹後地方、地質学で活構造と見られる山崎断層周辺・和知地方・六甲・淡路島地方、淀川地震帯が地震多発地域である。そして、岡山県、日本海、瀬戸内海、内陸部の地震域の中間部分等が活動度の低い地域である。

2) 地震活動の時間的変化の形態を a, b, c の3つの型に分け、その地域分布を調べてみた。常時活動型(a)は日本海側と内陸部の淀川地震帯に、活動の変化型(c)は瀬戸内海側の活構造と関連する地域に分布している。

3) 地震発生の時間的変化の相関係数を求めた。丹後地方と和知地方、六甲地方と明石・淡路島地方、六甲地方と淀川地震帯には強い正の相関があり、山崎断層周辺と和知・丹後地方に負の相関が見られた。

4) 和知地震前後の地震活動において、丹後地方を除く他の地域で前年は高い活動度を示し、和知地震の余震活動が活発な時は低い活動度を示した。

5) 微小地震の記録の処理に電算機を活用し、震央分布図までを一連のプログラムで求める様にした。

最後に、微小地震観測は多くの人々の協力のもとに実施されている。毎日の観測の繁雑な業務をお引受け

頂いている三日月観測室屋部光崇, 泉観測室上中善信, 氷上観測室細見五郎, 大屋観測室枳尾喜太郎, 智頭観測室中西利一, 又, お引受け頂いていた大屋観測室四方恒男, 船岡観測室小倉龍一の諸氏に厚くお礼申し上げます。

観測網の保守・観測所の維持は中尾節郎・矢部 征・西田良平・岸本兆方, 記録の読取りは古賀光子, データ処理の電算機関係は津島 祐・西田良平, 解析は岸本兆方・西田良平の各々が分担して行っている。尚, 本論文の計算は京都大学大型計算機センターの FACOM 230-60 を使用した。

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小地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 11 号 A, 昭 43. 3, pp. 75-89.
- 2) Hashizume, M.: Investigation of Microearthquakes —On Seismicity—, Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 19, 1969, pp. 67-85.
- 3) loc. sit. 2)
- 4) Kishimoto, Y. and M. Hashizume: On the Mechanism of Earthquake Swarm at Hamasaka, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 16, 1966, pp. 41-55.
- 5) 西田良平：船岡観測点付近に発生した地震の前震・余震について, 京都大学防災研究所年報, 第 14 号 A, 昭 46. 4, pp. 165-175.
- 6) 藤田和夫・岸本兆方：近畿のネオテクトニクスと地震活動, 科学, Vol. 42, No. 8, 1972, pp. 422-430.
- 7) Nishida, R.: Earthquake Generating Stress in eastern Chugoku and northern Kind Districts, Japan, (in press).
- 8) loc. sit. 6)
- 9) 東京天文台：理科年表, 丸善株式会社, 昭 46 年, 地 144-地 173.
- 10) loc. sit. 2)
- 11) loc. sit. 7)
- 12) 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, 昭和 42. 3, pp. 35-41.
- 13) 坪井忠三：地球の構成, 岩波文庫, 昭 36. pp. 163-192.
- 14) 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, Vol. 7, 昭 30. pp. 233-240.