

伊賀・伊勢地方の地震活動

中村 正夫・小泉 誠

SEISMICITY OF MICROEARTHQUAKES IN THE IGA AND ISE REGIONS IN CENTRAL HONSHU, JAPAN

By Masao NAKAMURA and Makoto KOIZUMI

Synopsis

In order to study seismic activity of microearthquakes in the Iga and Ise regions, a temporary observation was carried out at four high sensitive stations in the region from August 22 to December 6 in 1974. About 40 shocks could be located within this area, although several hundreds microearthquakes were recorded at each station during this period. Some following results were obtained;

- 1) The seismic activity is very low in this area except northwest of Iga-Ueno city. Particularly, no earthquakes were detected in an area from the middle of the Ise-Plain to the Iga-Basin, in spite of very high detection capability.
- 2) In the northwestern part of Iga-Ueno city, where the Iga-Ueno Earthquake of 1854 took place, a relatively high level of seismic activity has been detected around the southwestern half of a presumed fault. Their focal depths are confined to 5-15km. Its lower limit appears to suggest the deeper boundary of the presumed fault plane.
- 3) The focal mechanism of the largest earthquake ($M=3.3$) that occurred near Iga-Ueno city during this observation period, shows the radiation pattern consistent with right lateral faulting, suggesting that the Iga-Ueno Earthquake also might have been caused by the same type of fault movements.
- 4) The area concerned has a number of active geological faults, but many of them were not traced by the present observation of microearthquakes.

1. 序

伊賀、伊勢地方は近畿中部を東西に横断する領家変成岩帯に属し、北は鈴鹿山脈を経て琵琶湖、東は伊勢湾、南は中央構造線、西は生駒山脈、大阪平野を経て大阪湾に囲まれ、また、近江-伊賀大断層をはじめ、多くの地質断層が認められており、地形的にも、地質的にも特徴ある地域に当たっている¹⁾。(Fig 1) この地域の地震活動については気象庁による結果 (Fig 2) および、周辺微小地震観測網による結果 (Fig 3) 共に極めて低く、周辺部の、京阪地域、濃尾地域、紀伊半島北西地域が高い活動を示すのとは対照的であると考えられてきた²⁾。一方、1854年7月9日当地に起った伊賀上野地震は内陸性地震としては規模も大きく ($M=6.9$ と推定されている。)、大被害をもたらしている。この地震では、顕著な前震活動もあり、地震に伴う地変は伊賀上野の近傍柘植川沿いの各所に現われ、また、活発な余震活動があったとされている³⁾。この他にも、近年、奈良、伊賀上野、四日市、津で局地有感地震も若干数報告がある。以上のような理由で、現在の当地域の地震活動調査のため、三重県中部を中心に臨時観測網を設け、1974年8月末より同12月初旬まで高感度観測を行なった。

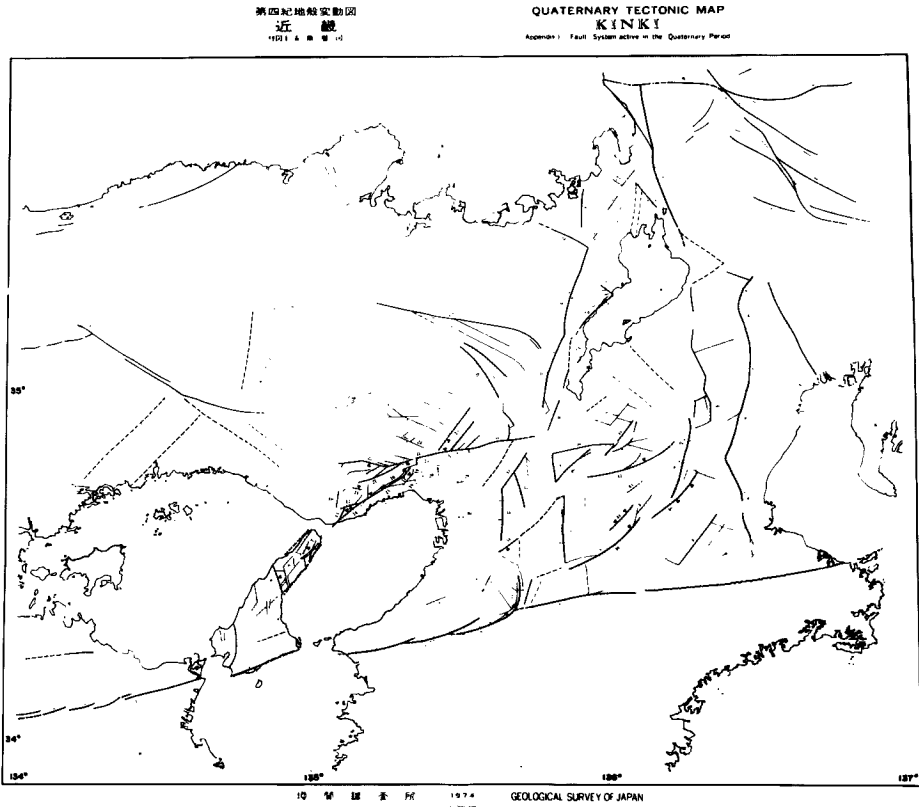


Fig. 1 Active fault system in the quaternary period in the Kinki district. (after Huzita et al)

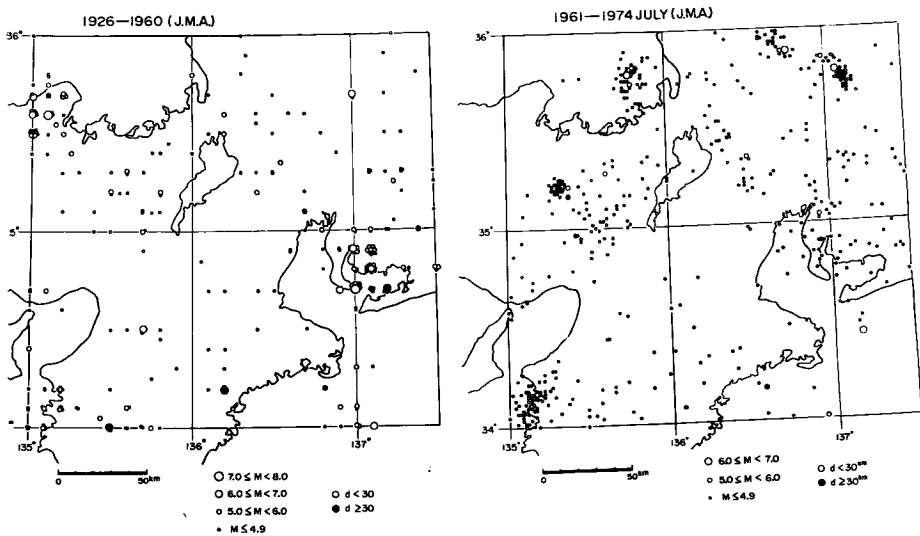


Fig. 2 Epicentral distribution determined by the JMA for larger earthquakes in the Kinki district.

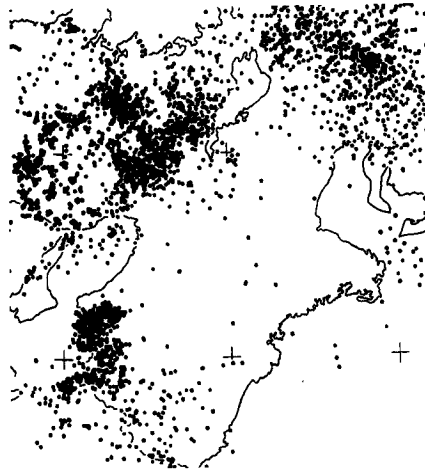


Fig. 3 Distribution of microearthquakes in the Kinki district. (after Matsumura & Oike)

2. 観測の概要

観測点は周辺微小地震観測網を考慮して約 25km 間隔とし、伊賀上野地震の震央近傍と考えた法花観測点

(HO)、伊勢平野中央部で一志断層近傍の光明寺観測点(KM)を東西に、近江-伊賀大断層沿いに城立観測点(JR)、鮎河観測点(AK)を南北に計4点を加えた。(Fig 6 参照)、観測点位置、期間等は Table 1 に示す。用いた装置は和歌山微小地震観測所が Routine 観測に使用しているものと同種で上下動一成分であるが、S/N 比向上を計るため、High cut filterを加えた。Fig 4 に各点の感度曲線を示す。記録はすべてインク書き、紙速度 4mm/sec のドラム方式で委託観測とした。記録状況は概ね良好であったが、一部、地震計設置状態の不良、刻時装置不調、インクがすれによる欠測があった。

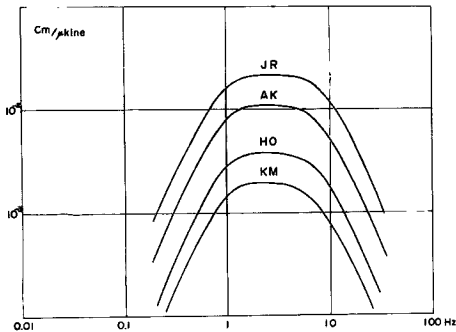


Fig. 4 Over-all response curves for the temporary observation stations.

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

Station	Abbr.	Latitude	Longitude	Altitude	Observation period	Observer
HOKKE	HO	34°44'14", 6	136°04'57", 6	215m	22 AUG.-5 DEC. '74	R. INAGAKI
KŌMYŌJI	KM	34°44'19", 5	136°26'18", 0	80m	27 AUG.-4 DEC. '74	S. KOMIYA
JŌRYU	JR	34°37'17", 7	136°17'09", 0	220m	28 AUG.-5 DEC. '74	Y. KAWAGISHI
AYUKAWA	AK	34°57'28", 8	136°20'45", 8	350m	4 SEP.-6 DEC. '74	I. OGURA

3. 観測結果

観測期間中に記録された地震の数は、感度、観測期間の差異、部分的欠測のため異なるが、城立 (JR): 約900, 法花 (HO): 約500, 鮎河 (AK), 光明寺 (KM): 約300個であった。各点に共通に得られた地震は約250個に達するが、S-P時10sec以内の数は各点とも、全体の約1/3に過ぎなかった。

3.1 S-P時頻度分布

観測全期間中の各点の S-P 時頻度分布を示したのが Fig 5 であり、対象とした地震を観測網近傍、深さ70km以浅としたため、S-P時を10sec以内に限っている。なお、期間中、各点とも数多くの発破が記録されたが、区別できたものはすべて省いている。観測網内および近傍局々地震の検知能力は $M: 0 \sim 0.5$ に及ぶにも拘らず、S-P時2sec以内の地震は法花 (HO) を除けば極めて少なく、S-P時5sec以内についても法花 (HO) 近傍の局々震群を除けば僅かである。一方、S-P時5~10secに当る地震が多いのは周辺の京阪地域、濃尾、三河地域の活動を反映したものである。

3.2 震源分布

全期間中、3点以上で初動が読みとれた地震で、各点とも S-P 時10sec以内の地震は約60個に過ぎず、 $M > 3$ の規模の地震は2例のみであった。震源計算に用いる地殻構造モデルとしては、この地域に関する詳しい結果は未だ得られていないので、京都近傍の地震に対する紀伊半島観測網への走時結果を参考とし、 $V_p = 5.8 \text{ km/sec}$ の均質構造を仮定した。周辺観測網のデータも加え、平均値として求めた震央分布を Fig 6に、東西断面に投影した深さ分布を Fig 7に示す。なお、精度を考慮し、対象範囲は今回の臨時観測網の最も近い点より35 km以内に限ったので、Fig 6には約40個の震央しか示されていない。該当地域内では全体的に低活動であるが、観測網の中心に当り、検知率の最も高い範囲 ($M > 0.5$ は検知可能) である布引山地を中心に伊勢平野、伊賀盆地にわたる三重県中部の広範な地域に地震発生が全く確認されなかった。目立った活動としては、伊賀上野の法花 (HO) の西北寄りの局々震活動 (I) と伊勢湾西岸沿いの活動 (II) 程度であり、他には、北の鈴鹿山地と中央構造線の南側の森観測点 (MO) 付近の若干の活動のみである。震源の深さについては、仮定した地殻構造モデルの適否に依存するが、浅発地震で最寄りの観測点の S-P 時が小さい場合は殆んど差はない。今回用いたモデルは上部地殻の平均速度を考慮しており、今後、詳しい構造が求められたとしても大きな変更は考えられず、また、観測網近傍に限った場合は充分の精度があると考えてよいであろう。従って、Fig 7に見られるように、上記の地震はほぼ5~15kmに限られていることから、地殻上層部内に限った活動と思われる。一方、やや深い地震については4例のみが求まり、27~32kmの範囲に当る。この深さの地震に対しては、 $V_p = 5.8 \text{ km/sec}$ の均質構造モデルは不適當で、 $V_p = 6.3 \text{ km/sec}$ 程度の値が妥当である。この場合で計算すると、深さは30~35kmとなり、モホ不連続面の深さとはほぼ一致することからマントル最上部の地震と考えてよいであろう。観測期間が短かったためであろうがマントル内地震の活動を十分に知るデータは得られなかった。しかし、上記4例の地震の存在は、紀伊半島中部に多発するマントル内地震と中部地方南西部に多発するマントル内地震

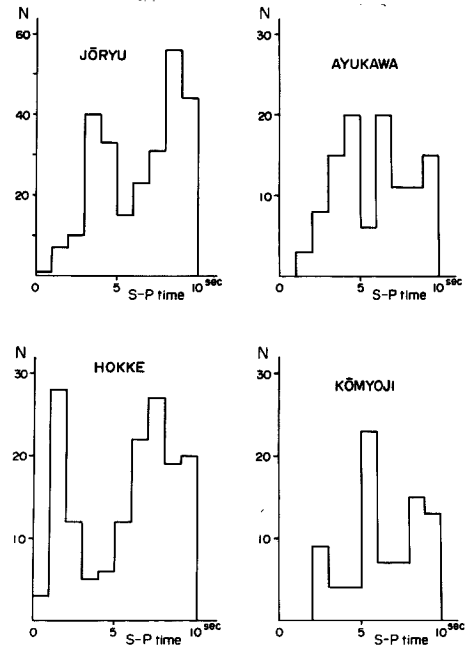


Fig. 5 Frequency distribution of S-P times for each temporary observation station.

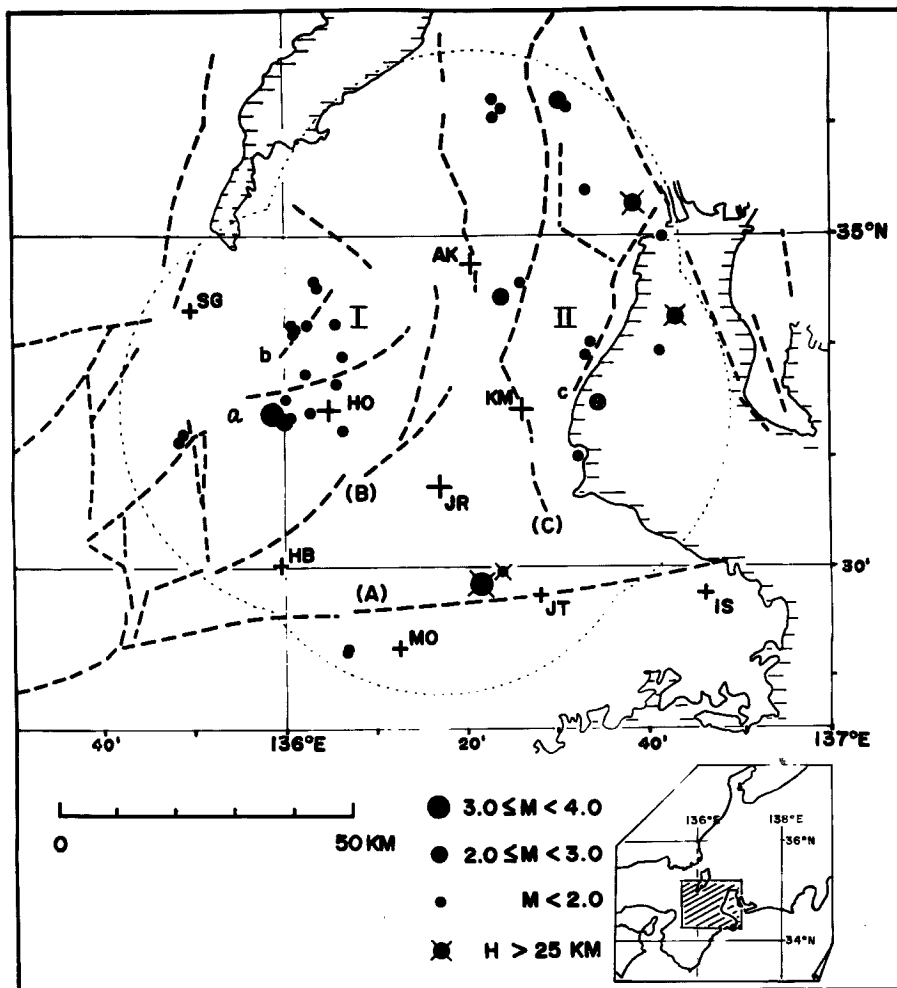


Fig. 6 Distribution of epicenters obtained from the present observation in 1974.
 + : observation stations.
 HO, KM, JR & AK are four temporary stations.

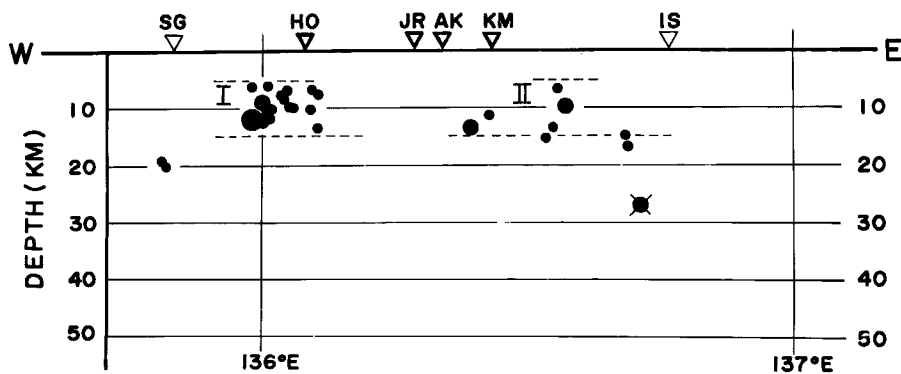


Fig. 7 Distribution of focal depth projected on the vertical section along the W-E direction in the region from 34°00' in Fig. 6.

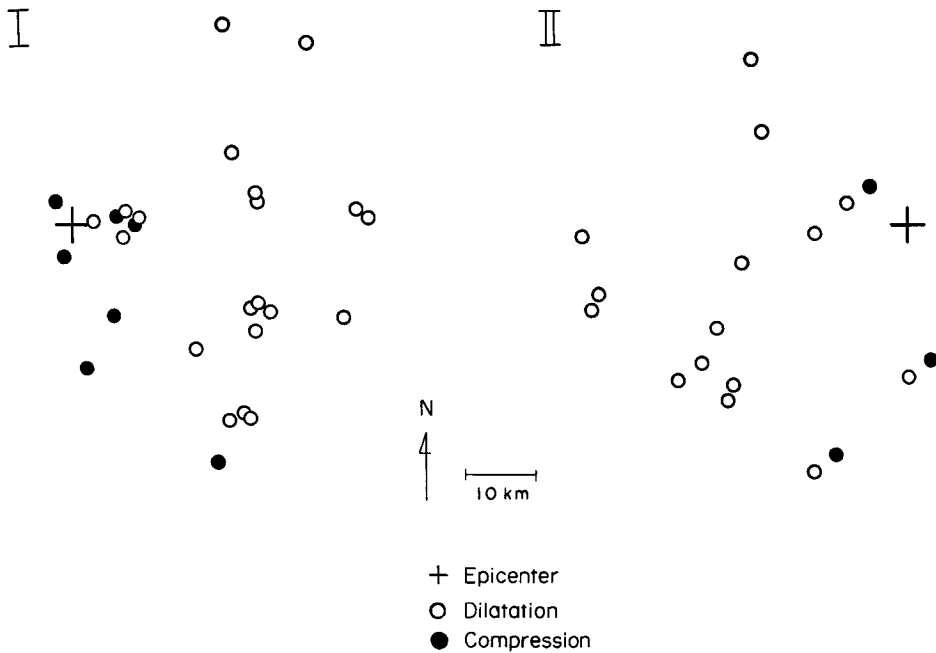


Fig. 8 Composite distribution of first motions of P waves for the earthquakes occurring in the region I and II shown in Fig. 6.

とに関係があると思われ、マントル内地震の発生領域が、紀伊半島から中部地方南部にかけて連続していることを示唆している。しかし、40km以深の地震発生の有無、伊勢平野より北西側のマントル内地震の有無については未だ明らかにできていない。特に境界がどの地域に当るかは重要であるが、今後の観測を待たねばならない。

3.3 発震機構

個々の地震に対する各観測点の初動を、明瞭なものに限って、重ね合わせ法によって示したのが Fig 8 である。I は伊賀上野の北西の局地々震群を、II は伊勢湾西岸近傍の地震群を示す。後者の内、鮎河 (AK) 近傍の一例については4点とも dilatation で例外となるが、他については、東西に dilatation、南北に compression としたモデルにほぼ適合し、東西主圧力を示唆する。Fig 9 は I のグループで今回の観測期間中に起った最も大きい地震 (M=3.3; 局地有感) について初動分布を Wulff net に示したものである。近畿全域のデータが使えたため、節面の解も精度よく求まり、N50°E, N40°W を2垂直面とする Strike slip

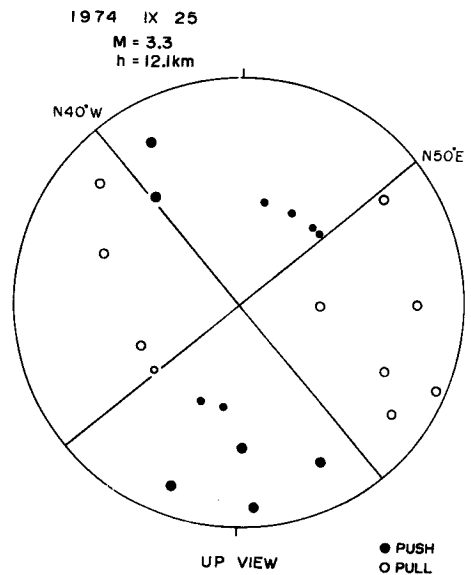


Fig. 9 Radiation pattern of P wave first motions for the earthquake occurring near Hokke station on Sep. 25, 1974.

型の地震であることがわかる。この場合 Fault 面がいずれに相当するか明確な根拠となるデータはないが、今回の震央分布域の南西端に当ることから、**N50°Eを垂直面とする右横ずれ断層**である可能性が高い。他の地震については、個々の詳細が決め得ないため、統計的な扱いはできなかったが、上記の一例が代表的な地震発生様式を示していると考えてもよいであろう。

3.4 時系列

地震の発生間隔の問題を扱うには、今回の観測地域は活動が低いいため、約3ヶ月のデータでは難かしい。但し、伊賀上野近傍の局地活動に限れば、観測期間中約40個の地震発生が確認され、内17個については震源も求められている。この地震群の活動の時系列を示したのが **Fig. 10** であり、数の積算と $M \geq 1.0$ の地震発生時期を表わしている。9月25日の $M=3.3$ の地震の前後でも大きな活動の変化は認められず、寧ろ、規模の違いはあるが、発生頻度を見る限り、かなり定常的な活動が続いていると解せられる。

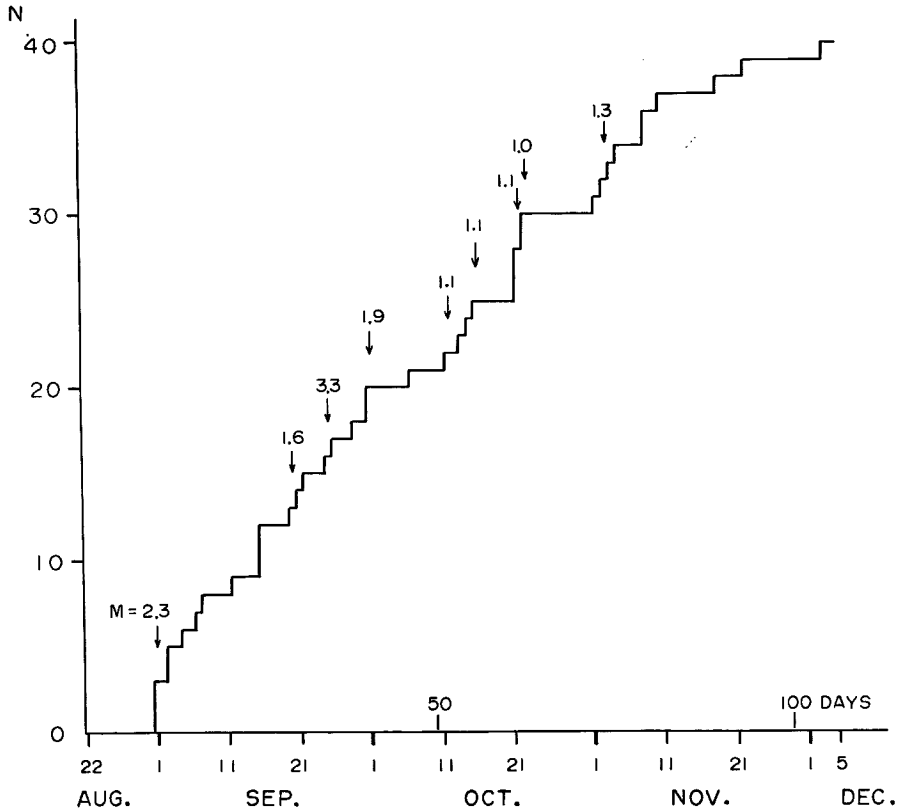


Fig. 10 Cumulative frequency curve of earthquakes for an active region near Hokke station.

4. 考 察

4.1 過去の地震活動との関係

伊賀、伊勢地方に発生した大地震は伊賀上野地震 (1854. 7. 9 ; $M=6.9$) の一例のみである。周辺地域では、京都—大阪—奈良の境界付近、滋賀北部、愛知南部、三重—奈良境界の南部付近に起っており、近代に起ったものとしては、菟野地震 (1903. 7. 6 ; $M=6.7(6.2)$)、河内大和地震 (1936. 2. 21 ; $M=6.4$)、三

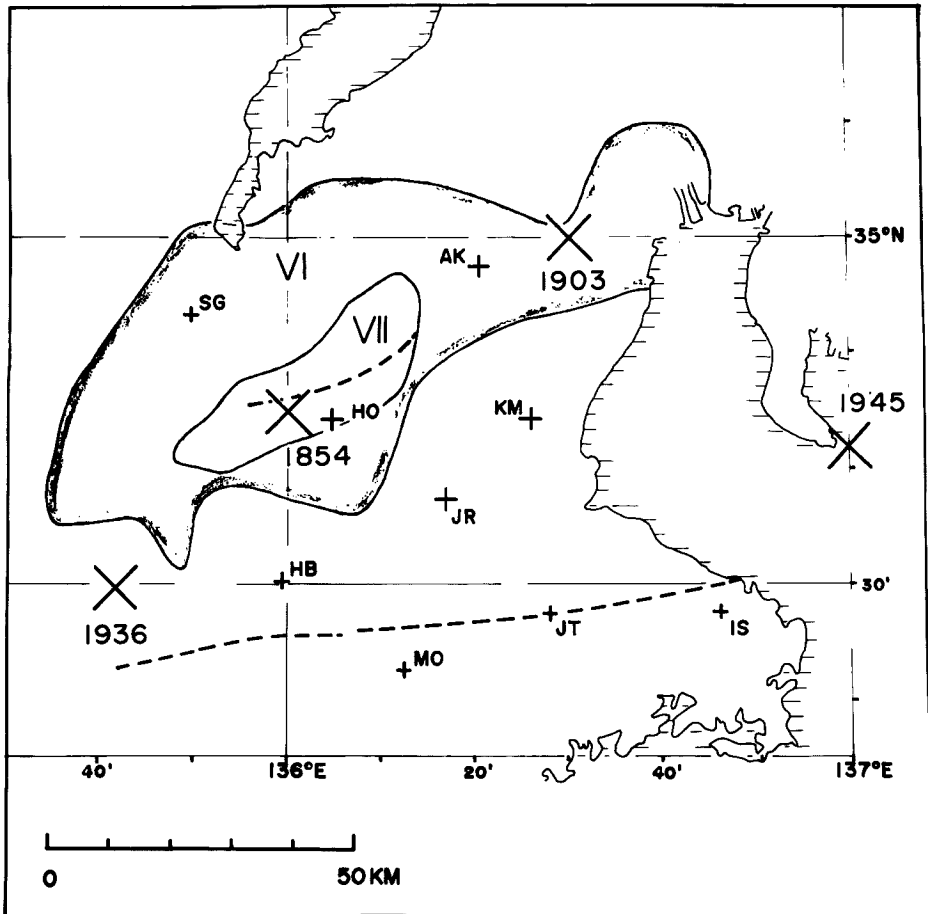


Fig. 11 Epicenters of destructive earthquakes occurring in the Iga region and its neighbourhood, and isoseismal map for the Iga-Ueno Earthquake. (after Usami)

河地震 (1945. 1. 13; $M=7.1$) がある。(Fig. 11) 他に、吉野地震 (1952. 7. 18; $M=7.0$) があるが、深さ $h=70\text{km}$ のマントル内地震であり、上記の各地震とは異なる。

伊賀上野地震については、地震観測発足以前ではあるが、近世のことであり、口述等により、被害、地変等のかなりの資料が伝えられ、また残存している。この地震の概略を示すと次の通りである。

a. 本震の位置と規模

理科年表による本震の位置は、 34.8°N , 136.2°E で規模は $M=6.9$ であるが、宇佐美⁹⁾が被害に基ずく震度分布から決め直した本震の位置は、 $34.75 \pm 0.15^{\circ}\text{N}$, $136.0 \pm 0.2^{\circ}\text{E}$ である。Fig. 11 には後者の結果を示す。なお、震度VIの範囲から求めた規模は、 $M_{VI}=7.6$ で大きな値を示している。

b. 前震

前震は本震の3日前より感じられたとあり、鳴動を伴った地震が多く、方向は、伊賀上野地方では、西北の高畑山の方角に聞えたとある。この範囲は局部に限られていたようである。また、2日前には2度の強震があり、家屋の一部の小破損、地面の小亀裂、泥水湧出現象があり、戸外へ逃避行動をとった人も多かったとある

から、震度Ⅳ～Ⅴに達したものと思われる。上記の地震は極浅発地震の性質を示し、和歌山や松代の地震と対比して考えると、 $M \approx 5.0$ 程度と推定される。また、小地震に関しては、前々日に27回、前日に23回を数えたことあり、活発な前震活動があったことは確実である。

c. 本震とこれに伴う地変

本震については、「俄然上下動を伴える裂震を起し、瞬時に家を倒し、地を裂き多数の死者を云々」とあるから直下地震であったことは確実で、伊賀上野市の北の旧三田村、野間村では家屋が主として北側へ、旧東村では南側に倒れたとあるが、他には確実な証拠は見出せなかったようである。地変については、柘植川沿いの各地で見られているが、沖積層の地割れ、陥没が主で、明瞭な断層線は十分な追跡調査はされていない。但し、被害分布、地割れの方向が東西が多いこと、震動の推定方向等からの結果として、**WSW—ENE 方向の断層**の存在が示唆されている。なお、断層線として、笠置の南部より、鈴鹿山脈、経ヶ岳付近に至る震央線が求められているが、東側の部分については、地変の証拠がなく疑問である。

以上の項目を今回の結果と対比すると、局地々震活動が認められた地域と、大震の際の前震活動域はよい一致を示し、地変が主として認められている地域ともほぼ一致している。一方、伊賀上野市北部から鈴鹿山系の経ヶ岳に至る北東部については地震活動が全く認められず、大震時に断層運動があったのか、また、余震活動があったのか再考吟味する必要がある。本震の位置については、今回認められた活動域が一種の余震活動の継続と考えるなら、宇佐美の結果に適合する。深さ分布は Fig. 7 に見られるように、5～15km に集中し、下限の15km という値は、最近、各地における一級の活断層沿いに発生する微小地震の深さ限界と良い一致^{6),7),8)}にある。現在、断層を伴った大地震に対し、地震波動の研究から進められている断層モデル^{9),10)}を、過去の大地震についても適用して考えていくためには、断層の地質学的な検証とともに、現在の微小地震活動を詳しく調査することが有力な手段となることを示している。更に、全体的にも、地殻下層部は地震発生が見られず、各地の結果にもほぼ共通した事実があり¹¹⁾、今後、地殻上層部と下層部の物性の違いを断層発生と関係づけて考える必要がある。伊賀上野地震の発震機構に関しては、現在までに定説はないが、この地震の推定断層が WSW—ENE の方向であるとする結果と、3.3に述べたように、今回同地域で観測した地震に対し、N50°W の水平右横ずれ運動を示唆した結果とを対照して考えると、方向がほぼ一致している点から、伊賀上野地震も、右横ずれ断層であったのではないと思われる。しかし、大震に際し、断層の南側で、最大1.5mの沈下、沈下区域は1km×4kmであったとの報告がある³⁾。但し、この地域は水田に当たっており、この上下変動が基盤についても確かだとすると、単なる水平右横ずれ断層モデルではかたづけられない。断層に関する再調査が望まれる。特に、北東部の断層運動の確かな証拠が得られていない点は気懸りである。

次に、1926年以降の気象庁観測網の結果 (Fig. 2) によれば、該当地域での浅発地震は約20個あり、伊勢湾内に発生したものを除くと10例あり、1960. 4. 15, 1973. 9. 14の2例は伊賀上野の北西で、今回の局地々震活動 I に起っており、1926. 2. 8, 1941. 4. 17, 1958. 5. 28, 1961. 7. 1, 1970. 4. 11, 1973. 1. 7の6例が伊勢湾西岸沿いの地域 II に当る。また、1962. 12. 6の地震は志摩半島に起っており II の南の延長上に当る。1953. 11. 7の地震のみが伊勢平野中央部 (34°42'N 136°24'E h=10km, M=4.9) に発生したことになっており、今回の結果に抵触する。しかし、この地震は誤差範囲が大きいことから、やや東寄りの II の地震とも解せられる。いずれにせよ、三重県中部一帯が極端な低地震活動領域であることは明らかである。

4.2 地質断層との関係

今回対象とした地域には、Fig. 1 に見られるように数多くの地震断層が存在している。この内の代表的な断層について、今回の結果との関係を示したのが Fig. 6 である。地震活動の認められた地域に当る断層としては、a) 木津川断層、b) 信楽断層、c) 四日市推定断層があり、一方、A) 中央構造線、B) 近江—伊賀大断層、C) 一志断層については、地震活動は殆んど見られない。特に、三重県中部地域では、第4紀における地殻変動量がかなりあるとされているにも拘らず、今回の観測期間中には、地震活動が皆無であったことは注目すべきことである。現在、全く変動が無いのか、別な様式の変動があるのか問題となるが、伊賀上野北西局地々震も、伊勢湾西岸の局地々震も発震機構からは、東西主圧力を示し、従って、三重県中部には、やはり東西圧縮

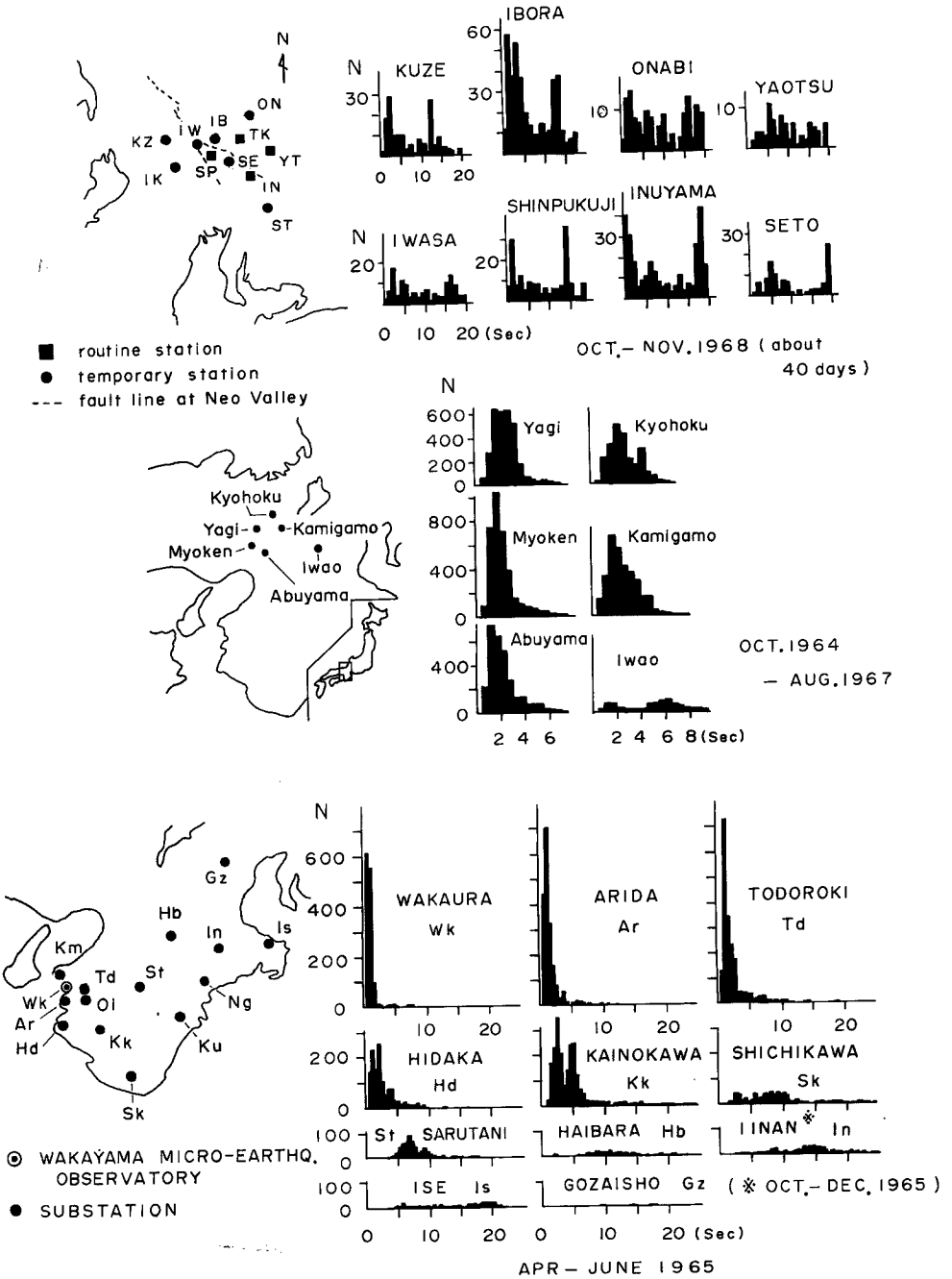


Fig. 12 Frequency distribution of S-P times surrounding networks stations.

力がかかっていることは明らかであり、地殻変動と微細構造を明らかにして行かねばならない。

4.3 周辺部の地震活動との関係

Fig. 5 の S-P 時頻度曲線は今回対象とした地域の地震活動の低さを物語っているが、周辺部との活動度の比較が必要である。このために、周辺各観測所の S-P 時頻度分布を示したのが Fig. 12 である^{12),13),14)}。観測時期や期間が異なるが、仮に、それぞれが定常活動を表わしているものとすれば、頻度分布の形から活動分布様式が、また、期間を考慮に入れれば、活動度そのものの比較が可能である。大雑把な値として、今回の対象地域は、和歌山近傍局々地震活動とは2桁、京都近傍の局々震とは1桁強、犬山近傍の局々震とは数倍程度低い活動であると云える。

4.4 今後の問題

今回の予備的観測の結果、伊賀、伊勢地方の地震活動にも地域差があることが判り、唯一の歴史大地震である伊賀上野地震については、現在の活動と密接に関係していると思える証拠が得られた。しかし、この地域には多くの活断層が存在しており、地震活動との関係は簡単には結びつかない。従って、個々の断層について再調査が必要であると共に、地殻の微細構造の議論が必要である。また伊賀上野近傍の局々震群に関しては、定常的と考えられるが、時には、有感地震を発生していることから継続監視する必要がある。また大震の際、前震活動が活発であった例は伊賀上野地震と三河地震に類似しているので、この zone の特性とも考えられ、周辺の活動との関係も含めて考え直す必要がある。

5. 謝 辞

今回の研究に御指導と助言を賜りました地震予知計測部門の三雲健教授に心から御礼申し上げます。また、色々と助力賜りました、細善信技官、大学院生の酒井明男、宮武隆の両氏、議論頂きました同研究室の皆様にも厚く御礼申し上げます。なお、地震研究所宇佐美教授には資料の提供を、和歌山微小地震観測所、阿武山地震観測所には観測器材の提供を頂きました、厚く御礼申し上げます。なお、今回の観測に際し、委託観測先の皆様には一方ならぬ御協力を頂き感謝に堪えません。別に御名前を記し、謝意を表します。

観測点	観測者
法花 : 三重県上野市法花2642	稲垣白洋, 六丸.
光明寺 : 三重県安芸郡安濃村光明寺54	小宮史郎.
城立 : 三重県一志郡白山町城立386	川岸信昭, 能久.
鮎河 : 滋賀県甲賀郡土山町鮎河911	小倉茂行, 幾代.

参 考 文 献

- 1) Huzita, K ; Tectonic Development of Southwest Japan in the Quaternary Period., Journal of Geosciences, Osaka City University, Vol 12. Art 5. 1969. pp. 53—70.
- 2) 松村一男・尾池和夫：日本列島のマイクロサイズシシティ，京都大学防災研究所年報，第16号B. 1973, pp 77—87.
- 3) 今村明恒：安政元年夏ノ地震，震災予防調査会報告，第77号，1911，pp. 1—16.
- 4) 中村正夫：微小地震観測網の資料による近畿地方の地殻構造についての一考察，昭和48年度地震学会秋季大会講演.
- 5) 宇佐美龍夫：歴史的地震の震央位置について，震研速報，第12号，1974年，pp. 1—29.
- 6) Watanabe, H. and A. Kuroiso : Aftershocks of the Earthquake of the Central part of Gifu Prefecture, September 9, 1969, Bull. Earthq. Res Inst., 48, 1970, pp. 1195—1208.
- 7) Nishida, R. ; Earthquake Generating Stress in Eastern Chugoku and Northern Kinki Districts, Southwest Japan, Bull. Prev. Inst. Kyoto Univ. Vol. 22, 1973, pp. 197—233.
- 8) 和田博夫・岸本北方：跡津川断層附近における微小地震活動 第1報，地震，第2輯，第27巻，第1号，1974，pp. 1—9.

- 9) Mikumo, T.; **Faulting Mechanism of the Gifu Earthquake of Septmber 9, 1969, and Some Related Problems**, *J. Phys. Earth*, 21, 1973, pp. 191—212.
- 10) 三雲健・安藤雅孝: 濃尾地震の解析的再現, *科学*, Vol. 45, No. 1, 1975, pp. 50—58.
- 11) 中村正夫他: 1973年紀伊水道近傍での臨時観測 (序報), *震研速報*, 第12号, 1974, pp. 149—158.
- 12) **Wakayama Micro-earthquake Observatory**, *Earthq. Res. Inst., Seismological Bulletin of Wakayama Micro-earthquake Observatory and its Substations*. January - June, 1965.
- 13) Okano, K. and I. Hirano ; **Earthquakes Occurring in the Vicinity of Kyoto.**, *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 16, Special Issue, 1968. pp. 141—152.
- 14) 大井田徹他: 中部地方の微小地震活動 (1) —根尾谷周辺の微小地震活動一, *地震*, 第2輯, 第24号, 第3号, 1971, pp. 240—247.