

北陸地方の微小地震活動（第1報）

渡辺邦彦・平野憲雄・岸本兆方

MICROSEISMICITY IN THE HOKURIKU DISTRICT. (PART 1)

By Kunihiro WATANABE, Norio HIRANO and Yoshimichi KISHIMOTO

Synopsis

A telemetering observation of microearthquakes started in May 1976, at the Hokuriku Microearthquake Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.

In this article, seismicity in the Hokuriku area of these 20 months since May 1976 was investigated.

Though the microseismicity is high in the areas from Fukui plain to the north-eastern side of Lake Biwa, and Nobi plain, it is relatively low in Lake Biwa, off Japan Sea, western Fukui plain, and northern Gifu and Ishikawa Prefectures.

Generally, the major active structures, such as the Neodani, Yanagase, Isshi, Hanaore and Fukui Earthquake faults, form boundaries between seismically active and aseismic areas. This seems to suggest that the major active structure forms the boundary between two tectonic blocks, and that microseismic activity is high on one side of the boundary.

1. はじめに

北陸地方およびその周辺地域には、古来数多くの破壊的大地震が発生してきた。1891年濃尾地震(M=7.9)は根尾谷断層を生じ、また1948年福井地震(M=7.3)はいわゆる直下型で、人々の記憶に新しい。一方、地体構造をみると、花折・柳ヶ瀬・根尾谷・跡津川等々、大規模活断層が多く分布し、過去の大地震活動との関連も深い。

北陸微小地震観測所では、この地方において、従前よりドラム委託方式による微小地震観測を実施してきたが、1976年5月からは電々公社線利用による微小地震テレメーター観測が開始された。これによって、微小地震記録の精度や即時性は格段に向上し、観測資料は質量ともに増大した。

本論文では、このテレメーター開始以来、1977年12月までの20カ月間の微小地震観測結果にもとづき、北陸地方のサイスミシティについて述べる。

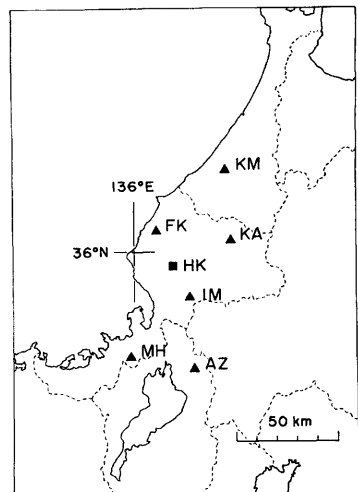


Fig. 1. Location map of observation stations.

Table 1. Coordinates of observation stations. Origin of X, Y coordinates is $136^{\circ}00'00''E$, $36^{\circ}00'00''N$. X is positive to the east, Y to the north.

Station	Code	Longitude	Latitude	X (km)	Y (km)	Alt. (m)
KOMATSU	KMJ	$136^{\circ}30'20.6''$	$36^{\circ}21'52.3''$	45.387	40.567	70
FUKUI	FKJ	$136^{\circ}7'24.0''$	$36^{\circ}5'38.9''$	11.107	10.453	90
KATSUYAMA	KAJ	$136^{\circ}31'41.3''$	$36^{\circ}2'55.2''$	47.590	5.528	300
IMAJO	IMJ	$136^{\circ}18'10.0''$	$35^{\circ}47'53.4''$	27.369	-22.353	240
AZAI	AZJ	$136^{\circ}19'26.0''$	$35^{\circ}28'38.0''$	29.394	-57.956	370
MIHAMA	MHJ	$135^{\circ}58'44.2''$	$35^{\circ}31'50.2''$	-1.910	-52.081	260
HOKURIKU OBS.	HKJ	$136^{\circ}12'45.0''$	$35^{\circ}56'15.0''$	19.175	-6.914	20

2. 観測および資料処理

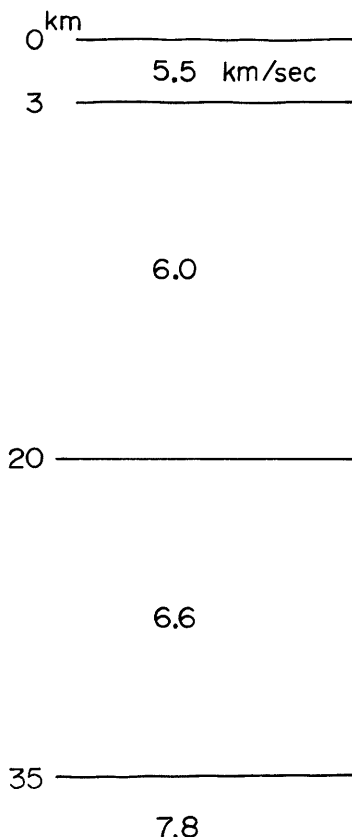


Fig. 2. Crustal structure used in calculation of hypocenter.

観測網は、衛星観測点 6 カ所および観測所本所の計 7 点からなり、Table 1, Fig. 1 にその位置・分布を示す。各観測点とも 1 Hz 3 成分観測である。観測データの伝達・集録システム¹⁾については本稿では特に触れないが、トリガー観測点の組み合わせは、観測開始より、福井 (FKJ)―勝山 (KAJ)、浅井 (AZJ)―美浜 (MHJ) の各 2 観測点の AND 2 組とし、それらを OR で結んだ。前者で観測網の北部、後者で南部の地震を主として検出するためである。1977 年 8 月以降は、前者を小松 (KMJ)―勝山 (KAJ) の組み合わせに変更した。トリガー条件は、振巾レベル、周波数帯域、信号継続時間を夫々、 60μ kine, $2 \sim 20$ Hz, > 0 秒に設定した。この条件でトリガーがかかり磁気テープに集録された地震は、20 カ月で約 4500 個、そのうち震源が求められた近地微小地震は約 1500 個ある。観測所におけるルーチン処理としての震源で決定は、磁気テープのモニターペンレコーダー記録 (14 ch., 8 mm/sec. 送り) を XY リーダーを用いて読み取り、ミニコンピュータで計算している。また、マグニチュードは、別の長期間レコーダー²⁾の記録の F-P 秒から算出している。

3. 震源決定

地震活動状況の把握には、できるだけ数多くの地震の震源を求めることがまず望ましい。近地微小地震の震源決定方法は、大別すると P-time のみから求める方法と、S-P time を併用する方法となる。我々は、3 観測点以上の P-time とそのうち 1 観測点以上の S-P time を読み取ることができた地震について震源決定計算をすることとした。理由は、各観測点のノイズレベルからみた

検知能力や観測点配置と地震波減衰状況等を考慮した結果、4点以上の P-time を必要条件とすれば震源が求まる地震が少くなるためである。具体的には、まず S-P time よりポアソン比を 0.25 として origin time を求め、各点への走時から、仮定した地下構造に従って深さ毎の震央距離を計算する。そしてその震央距離を半径とする円が最もよく交わる場合を採用する方法である。実際に求める深さは、0~40 km まで 2 km 毎とした。

仮定した地下構造は、Fig. 2 に示す水平成層構造である。当地方に関わる爆破解析結果は、御母衣³⁾・花房一倉吉⁴⁾・渥美一能登⁵⁾があるが、採用した構造はこれらを総合して定めた。このモデルは、上記の各解析結果と実際に比較試算しても、平均的に残差が小さく良い結果を示している。ただし、当地方に水平成層構造を仮定することにはやや疑問があり、現在数値的検討を行いつつある。

マグニチュードは長時間レコーダーから F-P 秒を読み、経験式： $M=2.82 \log (F-P)-2.15$ から求めた。その結果は、地震月報や他観測所の解析結果と比較しても、割合に良い一致を示している^{6), 7)}。

4. サイズミシティ

1976 年 5 月から 1977 年 12 月まで 20 カ月間の震央分布を Fig. 3 に、松田⁸⁾らによる活断層分布との重ね合わせを Fig. 4 に示す。

地震活動の全体的傾向は次のとおりである。最も活発な活動は、福井平野から南方へ、琵琶湖北東側から濃尾平野にかけての地域にみられる。琵琶湖北西岸から西にかけても活発である。これに対して、琵琶湖を頂点とする三角地帯、岐阜県北部から石川県にかけての地域、福井平野の西側、日本海沖等是不活発である。そして大規模な活断層がこれらの活動域と不活動域の境界をなしているようである。Fig. 3 には求まった全

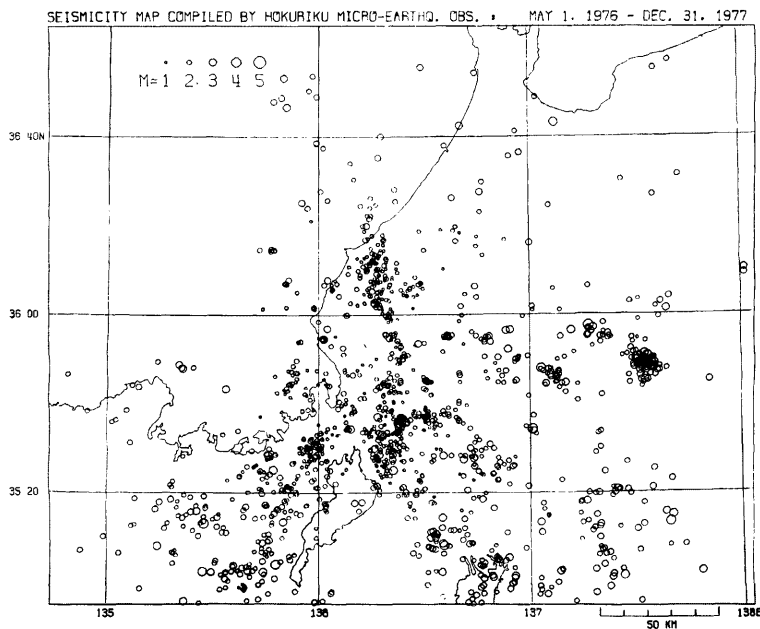


Fig. 3. Distribution of epicenters from May 1976 to December 1977.

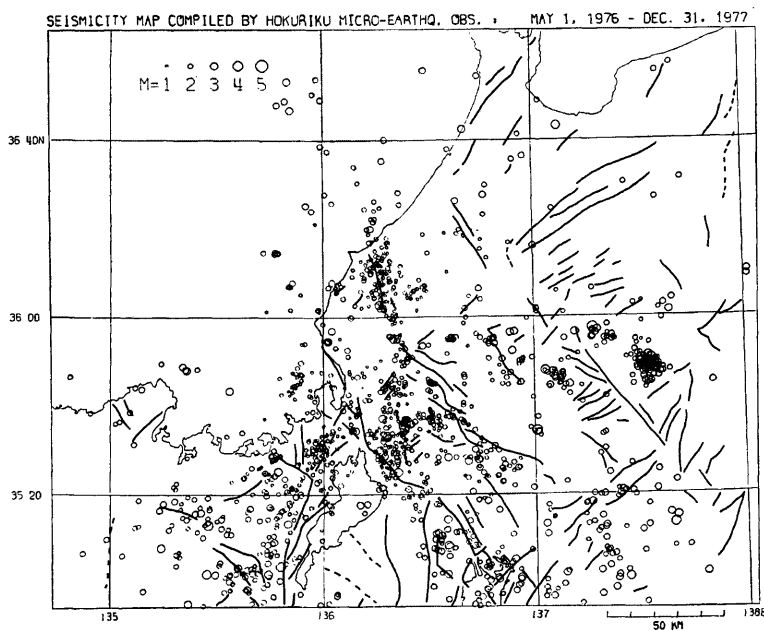


Fig. 4. Active faults (solid lines, Matsuda et al. (1976)) and epicenters.

ての地震をプロットしてあるので、観測網の近傍と周辺の検知能力の差を考慮する必要があるが、それでも上述の傾向は変わらない。これらの様相を詳しくみるため、代表的な 4 地域について、震源が比較的精度よく求まった地震のみをプロットして Fig. 5～Fig. 8 に示す。

まず、琵琶湖北東側の活動 (Fig. 5) は、非常に明瞭に、柳ヶ瀬断層・一志断層ラインを西の境界とし、根尾谷断層を東北の境界としている。この地域の活動は我々の観測網周辺で最も定期的に活発である。それを詳しくみれば、定期的な中にもいくつかの「地震の巣」状に、時間的・空間的にまとまって発生する傾向がある。この「地震の巣」は繰り返し同じ場所に発生することもあるが、新たな場所に移ることが多く、長期間にわたってみれば、地域全体の活動が活発にみえる。これらの「地震の巣」は、直接的には柳ヶ瀬・根尾谷断層という巨大活動構造ではなく、むしろその副次的な微細活構造に関連しているように思われる。微細活構造がこの地域に発達しているであろうことは、有史以来の大地震⁹⁾の余震域に覆われた回数が多いことから推察し得る¹⁰⁾。また、地体構造や小地震の発震機構¹¹⁾からは、琵琶湖北東岸にブロック構造の境界を考え得ることもこの地域の複雑さを示唆している。

湖西地方でも、やはり、花折・比良・堅田断層系を境界として西側に地震活動が活発であり、琵琶湖側は不活発である (Fig. 6)。特に琵琶湖北西部は、花折・熊川・三方各断層の遡進部にあたり、ストレス集中地域であるのか活発な微小地震活動がみられる。琵琶湖西岸もやはり地体構造や発震機構¹¹⁾からブロック構造の境界と考えることができ、結局、琵琶湖はその両岸をブロック構造の境界とする三角形の不活発領域とみられる。これは、Huzita¹²⁾の云う Kinki Triangle の頂点部分に一致する。

福井平野には 1948 年の福井地震 ($M=7.3$) によって福井地震断層が $N 10^{\circ} W$ 走向の左ずれ断層として発生した¹³⁾。Fig. 7 にみるとおり、現在の微小地震活動はこの地震断層に沿ってその東側に活発であり、北は日

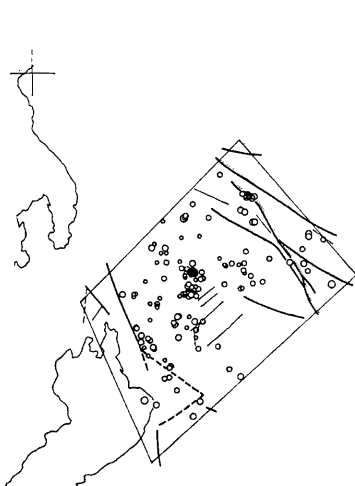


Fig. 5. Epicenters in the area of north-eastern side of Lake Biwa. Active faults (Fig. 5 and 6) are quoted from Quaternary Tectonic Map (edited by HUZITA).

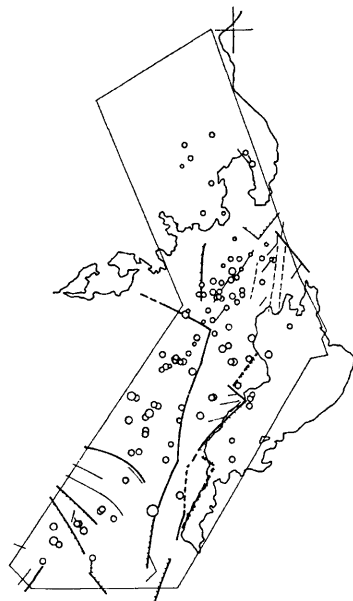


Fig. 6. Epicenters in the area of north-western side of Lake Biwa.

本海中にまで延びている。この活動が30年前の福井地震の余震活動か否かは何とも云い難い。しかし発震機構について云えば、福井地震が上述の断層面およびそれと直交する nordal plane による strike slip type と云われるのと同様に、現在の微小地震活動も統計的にはほぼ $N 10^{\circ} W$ の一方の nordal plane を有する strike slip type を示していて、相互の関連を無視できない。この地域には過去に福井地震のほか、1640年 $M=6.7$ 、1858年 $M=6.9$ 、1952年 $M=6.8$ （大聖寺沖地震）が南北に並んで発生し⁹⁾、現在の微小地震活動はほぼそれらの余震域に一致している。そして他方、この活動帯の南西側に狭いながらも非常に明瞭な空白域が存在することは興味深い。地震の深さ分布に関しては、北に深くなっているのが特徴的である。これが事実であれば非常に興味深いし、逆にみかけの現象とすれば、特定観測点の走時異常が水平成層構造の仮定が誤っているかであろう。いずれにせよ、地下構造を反映しているものであり、今後の課題である。

濃尾平野の活発な活動は観測網から離れているが認められる（Fig. 8）。活動域は一志・養老断層系を西の境界として Kinki Triangle に接している。この地域には下部地殻と思われる地震の存在が軽微であり、これは大井田¹⁴⁾らの指摘するとおりである。

以上述べた活動域はその境界を活断層で区切られているが、この地域の残る代表的活断層である阿寺断層、跡津川断層は、こう云った顕著な活動の境界をなしているとは認められない。長野県王滝村に1976年8月から群発地震が発生したが、この活動と阿寺断層の関連については判っていない¹⁵⁾。また跡津川断層周辺には和田¹⁶⁾らによれば微小地震活動が認められているが、我々の観測網では殆んど捉え得なかった。その原因としては、地震の規模、地震波の減衰、トリガーシステム等が考えられ、今後検討を要する。また日本海も陸に近い地域に時折の活動がみられる程度で、やはり不活発と云えよう。ただし、若狭湾内東部には幾分の活

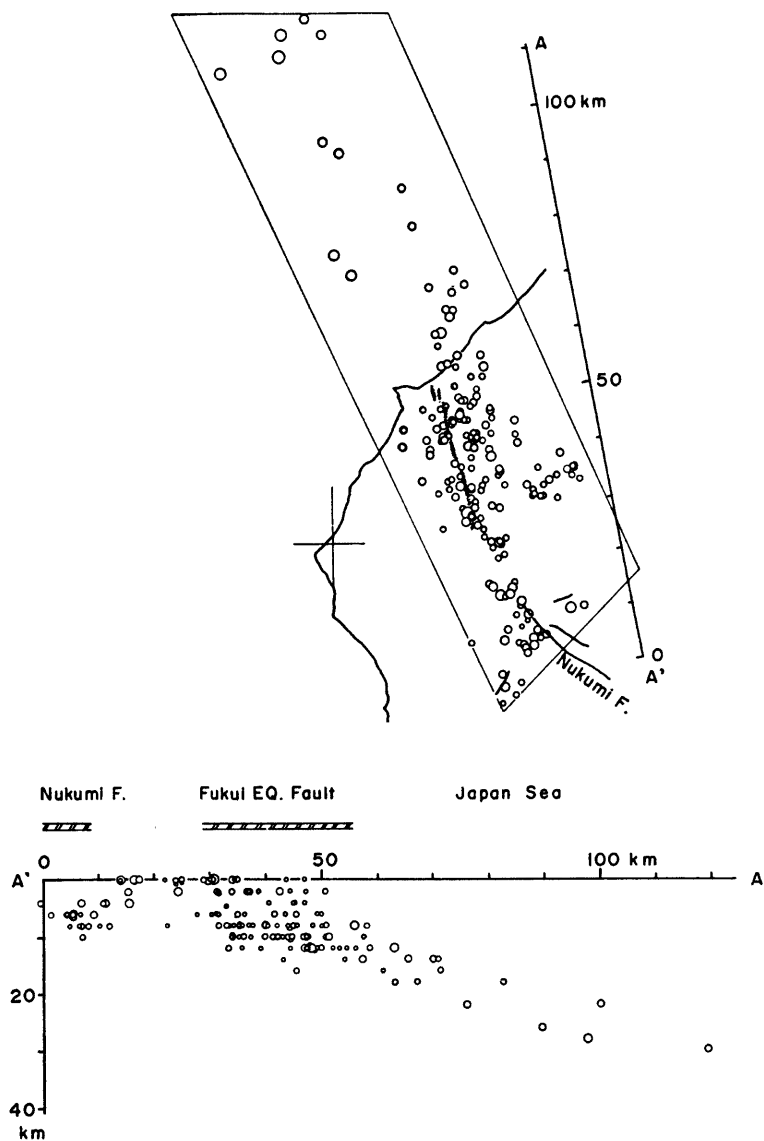


Fig. 7. Epicenters along Fukui earthquake fault and vertical distribution of hypocenters in the area.

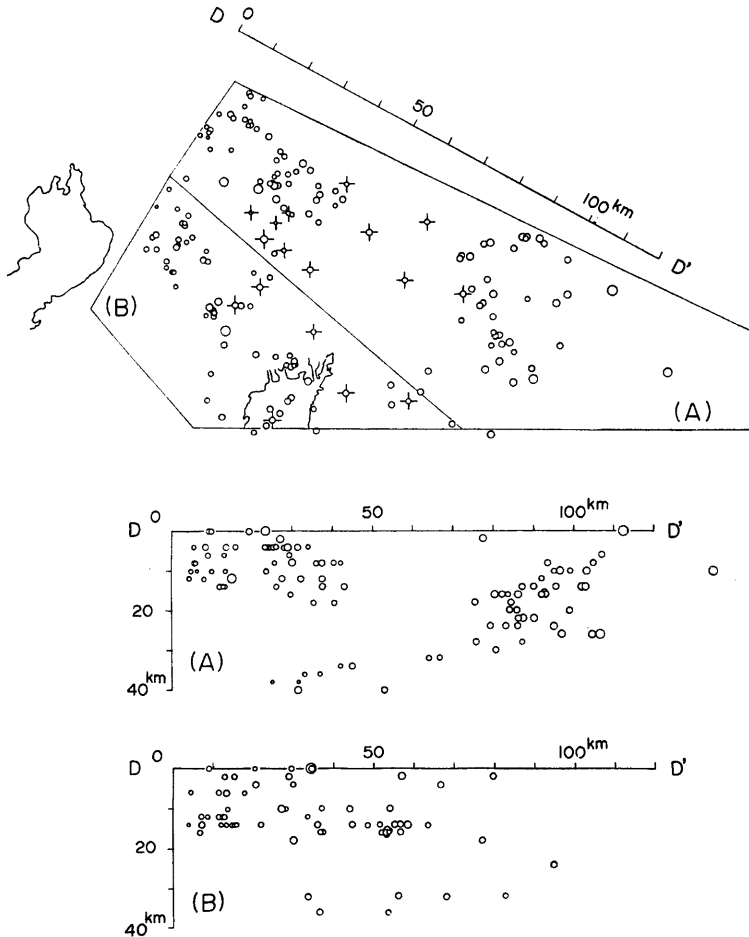


Fig. 8. Epicenters in Nobi plain and vertical distribution of hypocenters. $\odot$ shows the epicenter which is more than 30 km in depth.

動が認められる。これは位置的には1963年の越前沖地震 ($M=6.9$) の余震域に含まれるようである。

震源の深さは地殻の構造や物性を考える上で重要な意味を持つ。そこで地域全体の傾向を調べるために、Fig. 3 の全域および福井地震断層周辺、琵琶湖北東側の各地域について精度を厳選して個数分布を求め、Fig. 9 に示す。これによれば 8~12 km に最も集中している。これは北陸周辺の他地域でも比較的一般的な値である。

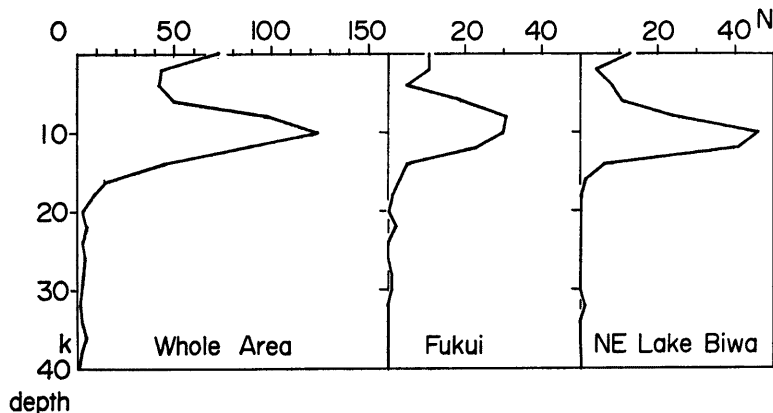


Fig. 9. Frequency distribution of depth of hypocenters. Hypocenters of good accuracy are counted.

5. 時間変化およびマグニチュード分布

福井平野から琵琶湖北東部にかけての細長い範囲内の地震の NS座標の時間変化を Fig. 10 に、琵琶湖北西部から北東部にかけての東西に細長い範囲の地震の EW 座標の時間変化を Fig. 11 に示す。これから、琵琶

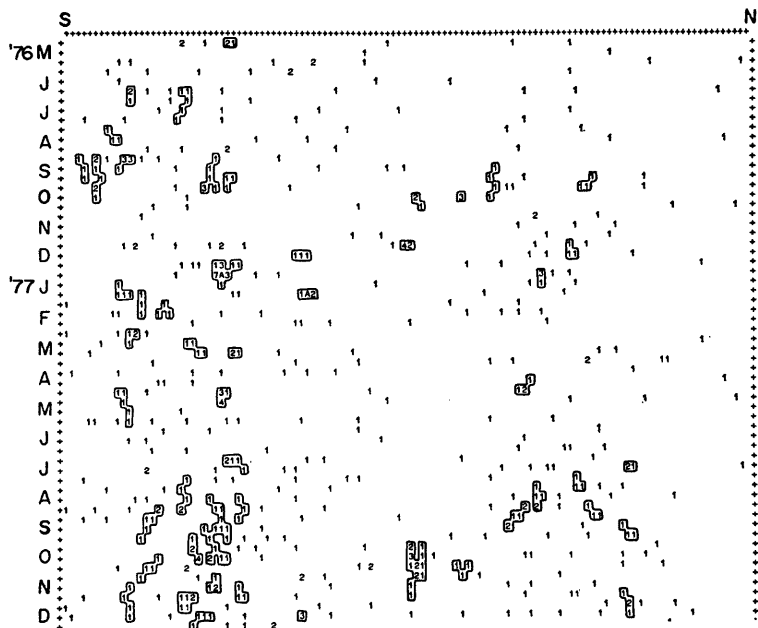


Fig. 10. Y-T distribution of epicenters. The analyzed range of X-coordinate is 0 km to 60 km and Y-coordinate is -70 km to 50 km. Each surrounded region shows that which contains more than 3 earthquakes continuously in this plane.

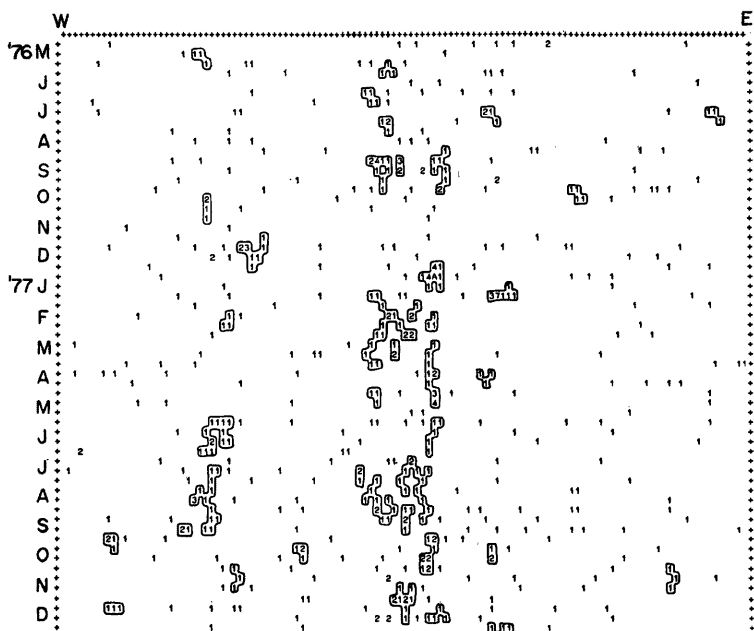


Fig. 11. X-T distribution of epicenters. The analyzed range of X-coordinate is -30 km to 90 km and Y-coordinate is -70 km to -10 km.

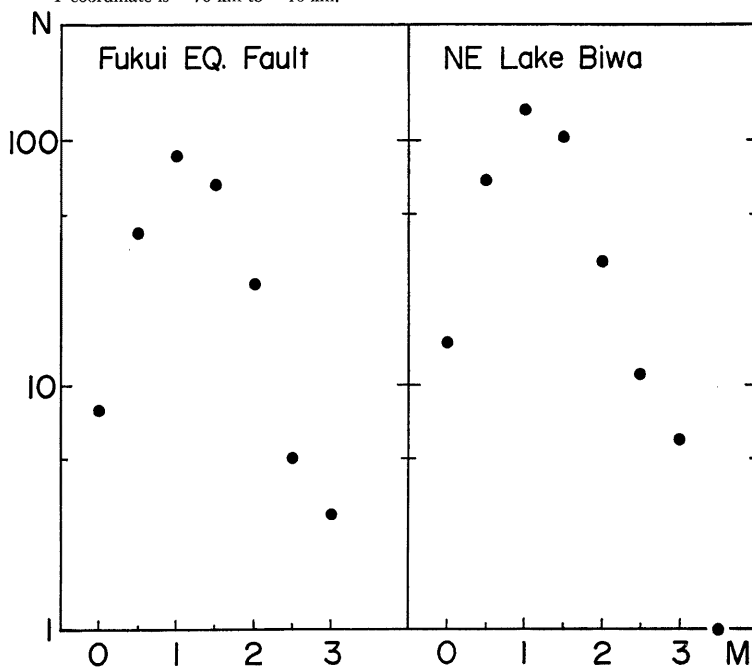


Fig. 12. Frequency distributions of magnitudes of the two seismically active areas.

琵琶湖北東側の活動は定常的に活発で、詳しくは「地震の巣」とも云うべき狭い地域に集中して発生する傾向があることは前述のとおりである。また琵琶湖北西部も定常的に活発である。しかし、Fig. 10 にみる限り、福井平野の活動は20カ月間の解析期間中に2回のゆるやかな活動の盛衰がある。すなわち、1年程度の周期的変化が推察される。

次に、福井平野地域および琵琶湖北東側地域についてマグニチュード別頻度分布を Fig. 12 に示す。この図における直線関係の成り立つ範囲から推則して、両地域ではマグニチュードが1.0~1.5以上の地震については一様な検知能力を持つことが判る。同様の推則で、Fig. 3 の全域については2.5程度以上の地震について同様と云えよう。なお Fig. 12 の両地域について、グーテンベルグ・リヒターのb値を Ursu¹⁷⁾の方法で求めてみると、0.91 (福井平野)、0.87 (琵琶湖北東側) となった。

6. お わ り に

地震活動の活発な地域とそうでない地域は大規模活構造を境界としているようである。その代表的な構造線は、根尾谷・柳ヶ瀬・養老・花折・福井地震等の各活断層である。これに対し、阿寺・跡津川両断層の近辺には顕著な活動を認め得なかった。また、琵琶湖の両岸にみられる活動は、近震三角帯とその両側のブロックとの境界における動きを反映しているように考えられる。一般的には、微小地震活動はブロックどうしの境界の片側に活発になると云えよう。

本研究にあたり、種々の議論や観測に御協力頂いた、京都大学防災研究所微小地震部門の尾池和夫助教授・見野和夫・竹内文朗・松尾成光の諸氏および防災科学資料センターの松村一男氏に心より感謝いたします。また衛星観測点各地の地元の皆様には観測点保守に際しお世話になりました。御礼申し上げます。なお解析の一部は、防災科学資料センターのFACOM 230-25によりました。

参 考 文 献

- 1) 岸本兆方・尾池和夫・渡辺邦彦・佃 為成・平野憲雄・中尾節郎：鳥取および北陸微小地震観測所のテレメータ・システムについて、地震第2輯，印刷中。
- 2) 尾池和夫・松村一男・竹内文朗・松尾成光・清水 昇：地震観測用長期間連続インク書き記録装置の開発，地震第2輯，第29号，1976，pp. 127-135。
- 3) Mikumo, T., M. Otsuka, T. Utsu, T. Terashima and A. Okada: Crustal Structure in Central Japan as Derived from the Miboro Explosion-Seismic Observations. Part 2. On the Crustal Structure, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 39, 1961, pp. 327-349.
- 4) Hashizume, M., O. Kawamoto, S. Asano, I. Muramatsu, T. Asada, I. Tamaki and S. Murauchi: Crustal Structure in the Western Part of Japan Derived from the Observation of the First and Second Kurayoshi and Hanabusa Explosions. Part 2. Crustal Structure in the Western Part of Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 44, 1966, pp. 109-120.
- 5) Aoki, H., T. Tada, Y. Sasaki, T. Ooida, I. Muramatsu, H. Shimamura and I. Furuya: Crustal Structure in the Profile across Central Japan as Derived from Explosion Seismic Observations, J. Phys. Earth, Vol. 20, 1972, pp. 197-223.
- 6) 津村建四郎：振動継続時間によるマグニチュードの決定，地震第2輯，第20号，1967，pp. 30-40。
- 7) 尾池和夫：鳥取微小地震観測所の震源表について，地震第2輯，第28号，1975，pp. 331-346。
- 8) 松田時彦・岡田篤正・藤田和夫編：日本の活断層（第四紀に活動した断層）分布図，地質学論集，Vol. 12, 1976，付録。
- 9) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975。
- 10) 渡辺邦彦・平野憲雄・岸本兆方：北陸地方のサイスミシティ，地震第2輯，印刷中。
- 11) 伊藤 潔・渡辺邦彦：琵琶湖周辺地域の極浅発地震の発震機構，地震第2輯，第30号，1977，pp. 43-54。
- 12) Huzita, K.: Tectonic Development of Southwest Japan in the Quaternary Period, Journal of Geo-

- sciences, Osaka City Univ., Vol. 12, Art. 5, March 1969, pp. 53-70.
- 13) Tsuya, H. (edited): THE FUKUI EARTHQUAKE OF JUNE 28, 1948.
- 14) 大井田徹・山田功夫：中部地方の微小地震活動（2）——三河地方の微小地震活動——，地震第2輯，第25号，1972, pp. 67-74.
- 15) 藤井 巖・中村 勝・木股文昭・宮島力雄・和田博夫：長野県王滝村の群発地震，地震学会講演予稿集 No. 2, 1977, pp. 22.
- 16) 和田博夫・三雲 健：中部地方北西部の地震活動，京都大学防災研究所年報，第18号 B, 1975, pp. 35-45.