

北陸地方の微小地震活動の特徴について（その2）

竹 内 文 朗

ON THE FEATURES OF THE MICROEARTHQUAKE ACTIVITY IN THE HOKURIKU DISTRICT (PART II)

By *Fumiaki* TAKEUCHI

Synopsis

Almost 7 years have passed since the Telemeter Observation System was set up at the Hokuriku Microearthquake observatory. The number of earthquakes observed by the system amounted to 7978 from the beginning of May 1976 to the end of December 1982. Monthly numbers of events were counted for 10 regions in the Hokuriku and Northern Kinki Districts. In 1978, the activities rose up to a peak in the eastern regions, namely, near Azai Satellite station, around Shirotori and Gujohachima, near Takayama, and Ohtaki with its vicinity. In the western regions, that is, near Mihama satellite station and westward areas, however, the activity was very low in that year. This fact suggests that a discontinuity of stress field lies between the two groups of regions.

Earthquake swarms near Mt. Akasagi, at the border of the Fukui and Ishikawa Prefectures, are also studied. This area was a seismic gap before the swarm occurred in June 1980. In December 1982 another swarm of a smaller number of events and of a shorter time duration occurred about 2 km west of the first one. These two swarms may show an expansion of an active seismic zone.

1. 序

北陸微小地震観測所のテレメータシステムにより、すでに約7年間、微小地震の観測が続けられている¹⁾。この間、ルーチン処理として扱われた地震は7978回にのぼり、北陸地方を中心とした地域での地震活動や地殻構造の解明に重要な役割を果たしてきた^{2),3),4)}。途中、1980年には、ミニコンピューターにディスク装置が増設され、ルーチン処理による読取値や震源パラメータの整理が進められた。このため、前報⁵⁾で論じた、活動域相互の活動のパターンの比較が容易になった。本論では、この点について述べるとともに、この7年間のうち、もっとも特徴的な地震活動である赤兎山付近の群発地震⁶⁾について考察を加える。

2. 地域わけと活動パターンの比較

Fig. 1 に、北陸地域のサイスマシィマップを示した。この図には、1980年1月から1982年12月までの3ヶ年間の地震だけをプロットしたが、本論文の議論では1976年5月から1982年12月までの、全期間のデータを扱っている。震源決定法は、前報⁹⁾の時とは若干の変更がなされた。すなわち、地下構造モデルとして、**Fig. 2** に示されたものを採用したこと、および、震源計算には、*P* 波の到着の早い方から3点の値と、各点の *S-P time* と *P time* から決定される *origin time* の平均値を用いている点である。しかし、これらの変更は、個々の地震については、震源座標に変化を与えはするが、比較的大きな地域の活動度を見る上では、ほとんど影響を及ぼさない。震源精度も、*P* 波の残差の二乗平均が1秒以内というゆるい条件にしてあるが、これも、ほとんどの地震が、残差 0.00 sec に求まっていることから考えて、もっときつい条件を与えても、マップに顕著な変化は生じないと思われる。図に番号をつけた多角形で示したのが、地震活動域の区

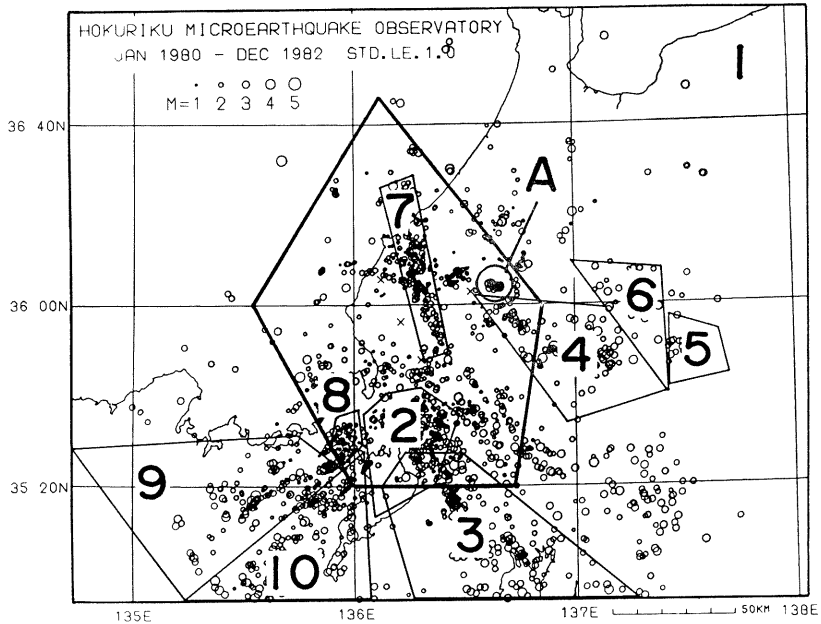


Fig. 1 A seismicity map of the Hokuriku District from January 1980 to December 1982 presented by the telemeter observation network system of the Hokuriku Microearthquake Observatory. Numerals indicate 10 active regions. The region enclosed by thick lines almost coincides with the high detectivity area of the network. Letter A denotes Mt. Akasugi where two earthquake swarms occurred in 1980 and 1982.

わけである。1は、マップの全域を示すが、ただし、この域に含まれる数百個の手取川ダム工事の発破²⁾は除いて考える。2, 5, 7, 8の各域は、前報と同じ地域であり、順に、琵琶湖北東部(浅井観測室付近)土田村、福井地震断層とその延長部、美浜観測室付近となっている。3, 4, 6, 9, 10は、今回新たに扱う場所であり、それぞれ、養老断層付近、郡上八幡と白鳥付近、高山付近、和知を含む地域、長岳湖西域といった、活発な地震活動のあるところである。区域わけには、任意性が強いが、ここでは前報¹⁾の地域を主にして、あとは、地震の並びを重視して分割した。また、太い実線で示した範囲は、ネットワークの中心部にもあたり、後に群発的な活動を、この範囲に限って選ぶなど、重要視している地域である。Fig. 3に、これらの月別の地震発生数を棒グラフで示した。グラフの左肩にナンバーのあるものは、Fig. 2の地域のナンバーと対応している。また、図の最上段は、地震月報による、 $M \geq 6.5$ の地震数で、日本およびその近傍、たとえば、台湾、中国、千島方面のものまで含まれている。上から3段目のものは、Fig. 1のmap内の $M \sim 3.5$ の地震数である。その下のSwarmsとあるのは、同じわく内で、各月に群発的な活動があったかなかったかを示すもので、図にみられるように10回しか発生しなかった。群発的な活動というのは、ここでは、数キロメートルの範囲に、ある1日に5個以上の地震が起こり、かつその前後数日に、合計10個以上の数に及ぶものという、ゆるい定義を用いた。これらの図で、上から8段目すなわち地域番号5までのものは、大局的にみて、1978年に活動のピークがあることがわかる。さらに、1976年にも、やや活動が高かったようで、それらの間の1977年は、逆に谷になっている。1978年のピークは、1979年にかけて下降をはじめ、1980年から

1981年は活動の低下がうかがわれる。同様のことは、地域6についても、その総数が121個と少ないながらも、おおむね成り立っているようである。つまり、北陸地域の微小地震活動は、この7年間では、1978年に最大の活動期があって、それは、地域2, 3, 4, 5, 6の諸地域の活動期を意味している。しかも、日本列島付近の $M \geq 6.5$ の大きな地震の発生ひん度とも、似かよったパターンを示しており、北陸地域の応力場が、より広域のそれに対応づけられることを示唆している。また、 $M \geq 3/5$ の地震や、群発的な活動の発生も、北陸地域の地殻活動度を、反映しているようである。一方、8, 9の地域は、これらとは違って、1977年に発生数が多く、1978年はむしろ谷になっている。そして1980年、1981年には、逆 γ 数がふえて、1つのピークになっている。10の地域は、いずれとも判じ難いが、1978年が大きなピークになっていないという点で、後者に属するようと思われる。地域7の福井地震断層も、

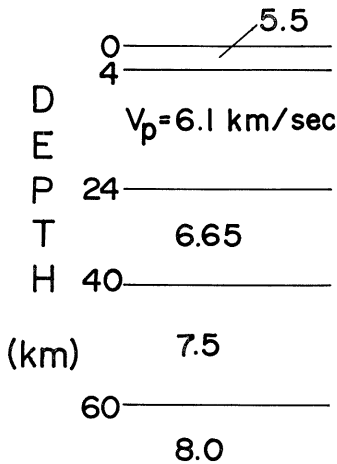


Fig. 2 P wave velocity structure model for the hypocenter determination at the Hokuriku Microearthquake Observatory.

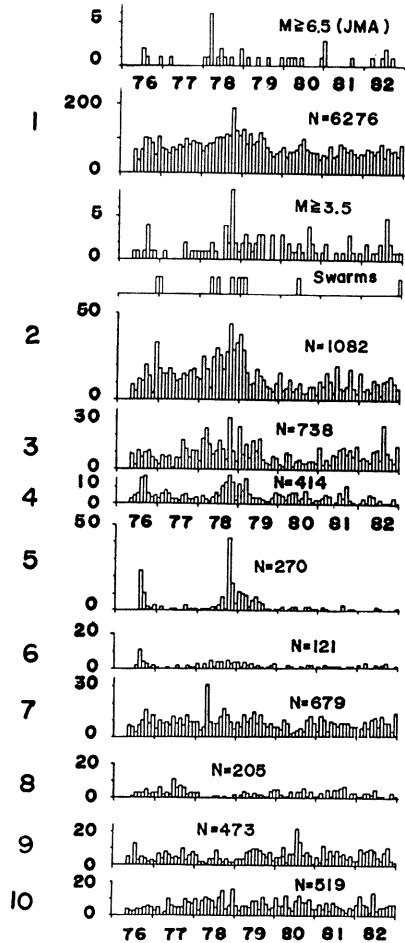


Fig. 3 Monthly numbers of earthquakes. Numerals at the left of the graphs indicate the regions shown in Fig. 1. The top graph shows the number of earthquakes of magnitudes greater than or equal to 6.5 reported by JMA. The third one from the top shows the numbers of earthquakes ($M \geq 3.5$) in the whole area in Fig. 1. Swarms are selected by the following conditions, ie, ten or more events occurred in several kilometers from each other, of which five or more occurred in one day. From the top to the seventh graphs show a similar pattern in a sense that the peak of the numbers appeared in 1978 and the activity decreased afterwards, while in regions 8 and 9, the level of activity is very low in that year.

いずれとも決め難いパターンである。ここで、これらのパターンに相関関係があるかどうかを、相関係数をとって調べてみた。Table 1 にその結果を示す。よく知られるように、2つの時系列の相関が高ければ、相関係数 r は1に近づき、逆相関であれば-1に近づく。相関が低い場合には、0に近い値をとる。Table 1 には、相関係数を100倍して表示した。さて、よこの1~10は地域番号に相当する。同じ地域の相関、すなわち自己相関は1、よって表には100として示されている。最上段は、全域と、各域との相関で、数値の大きい方から、地域番号2, 5, 4, 3, 6と続き、上記のグループの一番目のものが主力をなしていることがわかる。地震数が $N=679$ と割合多い7の地域は、全域の消長への寄与が、あまり大きくないこともわかる。この相関係数を計算するにあたり、月別の地震数をそのまま用いるのではなく、となり合う3ヶ月の地震数に各々、1, 2, 1の重みをつけて加算し、その合計をもって中央の月の数とするという重みつき移動平均78ヶ月の結果を採用した。こうすることにより、1ヶ月単位で、地震数を区切ってかんじょうするという人工的な影響が軽減されるからである。なお、参考のため、78組の乱数同志の相関係数を、20例計算してみたところ、ほとんどが-0.1~0.1の間で、絶対値が、0.2をこえたのは3例にすぎなかった。最大のものは、-0.33と求まり、これから推察すれば、0.4程度の値は、ほとんど相関のないことを意味すると思われる。表の中で、地域1を除いて、互いに相関の高いところを、その絶対値が0.6以上という条件で選び出してみると、2と4, 5, また4と5, 6そして5と6の5組だけに限られる。これらは、浅井観測室付近から、王滝村付近までの約100kmの地域であり、前報で述べた傾向が、そのまま続いていることを示している。一方、地域8, 9は、1から7の各域に対し、相関係数が負に求まっている。それらの絶対値は、0.5に満たないものばかりであるから、上述の乱数の例からみて、相関がないと考えてもよいが、あえて言えば、逆相関すなわち一方の活動期は、他方の休止期であるという関係に近いものと考えられる。注目すべきことは、2の地域に対して、すぐ隣接する8の地域が、無相関ないし、逆相関の関係にあるのに対し、100kmも離れていても2と5のように、活動期の一致をみる地域があることである。これは、2以東の地域と8以西の地域とに、決定的な違いがあることを示すものと考え、今後追求してゆきたい。

3. 赤兎山付近の群発地震活動

Fig.1 の A 文字で示された地域が赤兎山付近の群発地震の発生域である。ここは1980年5月以前には、ほとんど地震の発生をみなかった所である。同年6月に入って、最大 $M=3.4$ (JMA) を含む数十個の地震が、トリガー装置にかかり、注目された。Fig.3 の時系列の *Swarms* に示された活動で、後方の2つはこの赤兎山付近のものであり、他の8つは、地域2と7に含まれるものである。2と7は、各々、江濃地震 (1909 $M=6.9$)⁸⁾ および福井地震 (1948 $M=7.3$)⁹⁾ の余震域と思われる地域であり、ここで群発的として選んだ地震群も、これら余震域内に発生したものである。それに比べ、赤兎山付近は、近くに北濃地震 (1961 $M=7.0$)⁸⁾ が発生しているが、テレメータネットワーク始動以来約4年間は、その余震らしきものもなく、空白域に近い状況であった。そのようすを Fig.4 に時空分布として示す。縦軸には震源の東西方

Table 1 Correlation coefficients of the monthly numbers of earthquakes in two regions. The weighted sums of the numbers of events for 3 months are adopted as the numbers in the center month. Numerals in the first row and the first column indicate the regions in Fig. 1. Coefficients are multiplied by 100.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	83	63	69	80	63	47	-21	-16	39
2		100	56	63	68	57	39	-30	-48	22
3			100	28	46	44	49	-32	-33	11
4				100	84	72	16	-6	-24	2
5					100	75	31	-24	-25	12
6						100	34	-32	-32	16
7							100	-18	-36	26
8								100	20	29
9									100	8
10										100

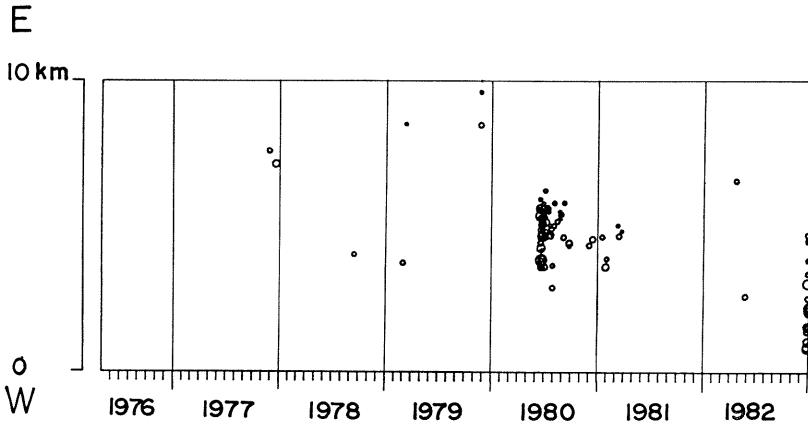


Fig. 4 A space-time plot of swarms near Mt. Akasagi. Earthquakes plotted are selected in a 10 km × 10 km region including the swarms in the center. From May 1976 to May 1980, only a few events occurred in this region.

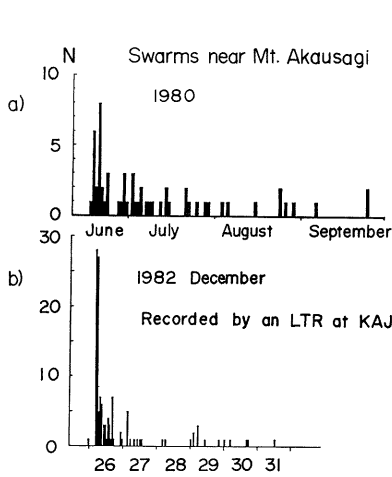


Fig. 5 Numbers of events of the two earthquake swarms near Mt. Akasagi.
 a) Daily numbers of shocks whose hypocenters are determined by the routine work of the Hokuriku Microearthquake Observatory.
 b) Hourly numbers of the second swarm in 1982. Numbers are counted from the paper of the Long Term Recorder of KAJ station.

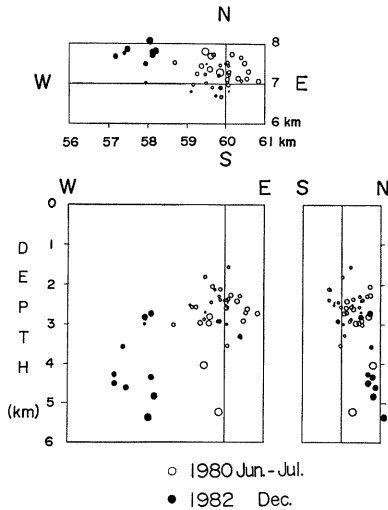


Fig. 6 Hypocenter distributions of the two swarms near Mt. Akasagi. Hypocenters are determined by using the *P* times of 4 stations alone, in order to keep high accuracy. The events in 1982 are located about 2 km west of the first ones in 1980. Larger events seem to occur at a greater depth in each of the swarms.

向の座標をとった。この活動は約半年間で、ほとんど終息したが、1982年12月に再び活動を起こしたことも Fig.4 から読みとることができる。2回目の活動は、前のものに比べ、規模的にも、時間的にも、1ヶタ小さなものであった。Fig.5 に、これらの時系列を示す。Fig.5 の a) が1980年のもので、b) は1982年のものである。時間軸は、比較のため、1982年の方を12倍にひきのばしてある。また、1982年の活動は、トリガー記録器にかかった地震数も少なかったので、勝山衛星観測点の連続記録から、*S-P time* を手がかりに数を拾った。Fig.6 に二度の活動を合わせて、平面図と断面図を示した。この図の震源は、Fig.2 に示された構造を用い、勝山、小松、福井、今庄の4観測点の *P-time* だけから計算した。半無限媒質での計算も行ったが、 $V_p=5.5\text{km/sec}$ とすると、深さ8~9km に求まり、勝山での *S-P time* が、1.2~1.3秒であるという条件を満たさない。 V_p をこれより大きくするほど、震源は浅く求まり、 V_p を6.0km/sec以上にすると、震源は地表より上空に求まる。ここに示した、成層構造での結果は、半無限構造での計算の $V_p=5.9\text{km/sec}$ の場合に近いものになっている。図でわかるように、2つの活動の深さ分布は、だいたい同様に2km~5km に集中しており、しかも、各々で比較的大きな地震ほど、深いところに発生している。平面図上では、2度目の活動は、1度目比べて、その中心が約2km 西へ移っている。このことは、活動域西方10km 付近の勝山観測室での *S-P time* が、1982年の時に、1980年の場合より約0.2秒短くなっていることから妥当な結果と思われる。これはあたかも、Fig.1 に示された4の地域すなわち、郡上八幡から白鳥にかけての活動域が、西北西に拡大し、7の地域との間の大日山付近の活動域へせまりつつあるかのように見える。大日山付近と赤兎山付近の間には、現在でも10km 弱の空白域があるが、今後ここが地震によって埋められてゆくかどうか注目してゆきたい。

4. まとめと問題点

北陸地方を、いくつかの地域にわけて、地震の発生数の月別ひん度を比較してみた。その結果、琵琶湖北東部から、長野県王滝村にかけての地域は、活動の山谷が一致する傾向が強く、それに反して、琵琶湖北西部からさらに西の地域にかけては、相関がない、もしくは、活動のピークが、1~2年おくれるような傾向が見られた。しかしながら、東方の次の活動期に先行して、この西方域が活動しているとも考えられる。このような活動期のズレについては、今後、さらに広域にわたり、より長期間のデータで検証する必要があると考える。赤兎山付近の群発地震活動は、北陸域では特異なものとしてとり上げたが、このような活動を契機として、新たな地震活動の線伏配列が形成されてゆく可能性がある。この点についても、データの蓄積をまって、改めて検討したい。

謝 辞

本稿は、北陸微小地震観測所のデータに基き、防災研究所微小地震部門談話会での討議を参考にして書かれた。同部門の岸本兆方教授はじめ、談話会メンバーの諸氏に感謝します。また同部門の渡辺邦彦氏および北陸微小地震観測所の平野憲雄氏にはデータの提供、一次処理をしていただいた。衛星観測所の現地の方々には、計器の保守の上で多大の協力をいただいている。皆様にお礼申します。原稿の清書には福岡尚美嬢の手を煩わせた。記して感謝します。

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, Ser 2, Vol. 31, No. 3, 1978, pp 265-274.
- 2) 渡辺邦彦：北陸地方の地質構造と微小地震分布, 地震, Ser 2, Vol. 33, No. 1, 1980, pp. 79-89.
- 3) 松村一男・見野和夫・渡辺邦彦・竹内文朗・平野憲雄：北陸地方南部の地殻構造について、防災研究所年報, Vol. 22, B-1, 1979, pp. 1-10.
- 4) 竹内文朗：北陸地方の地震活動(5)——メカニズム解について——, 地震学会講演予稿集, 昭和55年度

秋季大会，1980，p. 72.

- 5) 竹内文朗・平野憲雄：北陸地方の微小地震活動の特徴について（その1）——浅井観測室付近の活動——，防災研究所年報，Vol. 22, B-1, 1979, pp. 11-18.
- 6) 竹内文朗・平野憲雄：福井—石川県境（赤兎山）に発生した1つの群発活動について，地震学会講演予稿集，昭和55年度秋季大会，1980，p. 71.
- 7) 平野憲雄，渡辺邦彦，竹内文朗：手取川ダム砕石発破記録を利用した Vp の時間変化について，防災研究所年報，Vol. 22, B-1, 1979, pp. 19-28.
- 8) 宇佐美龍夫：日本被害地震総覧，東大出版会，1975.