

飛騨山地の地震活動 —— 1993 年槍ヶ岳付近の活動 ——

和田 博夫・伊藤 潔・小泉 誠

SEISMIC ACTIVITY IN THE HIDA MOUNTAIN RANGE: THE 1993 EARTHQUAKE SWARM NEAR MT. YARIGATAKE

By Hiroo WADA, Kiyoshi ITO and Makoto KOIZUMI

Synopsis

Seismic activity in the Hida Mountain range has been high since the swarm activity in January, 1990. A middle-sized earthquake of magnitude 5.0 occurred in July, 1993 near Mt. Yarigatake and the event has been the largest one in the Hida mountain range since the Kamitakara Observatory started monitoring of seismicity in 1976. In this paper migration, precise distribution of hypocenters and focal mechanisms of major events near Mt. Yarigatake are studied together with the seismicity in the entire region of the Hida Mountain range. Eight major swarm activities occurred during 11 month, and hypocenters of the swarms migrated in the north-south direction. Focal depths are relocated by two methods to derive their precise distribution. Resultant depths are less than 8 km and decrease from north towards Yakedake Volcano, beneath which focal depths are as shallow as less than 3 km. For more large scale, earthquake swarms migrate from north to south and south to north along the Hida Range. Mechanisms were determined from P-wave first motions. Events in the northern part of the Hida Range have strike-slip or normal fault with NNE-SSW tension axes, on the contrary those in the southern half of it have strike-slip or reverse fault type with ESE-WNW pressure axes. This complicated stress field suggests that the thermal activity in the mountains superposed on the global stress field due to plate movements.

1. はじめに

1993 年 7 月 12 日の北海道南西沖地震 ($M=7.8$) を契機として、日本各地において地震活動が活発化しているとの報告がある¹⁾。飛騨山脈槍ヶ岳付近においても、時期を同じくして地震活動が活発になった。この地域は従来南部の乗鞍岳南西、北部の烏帽子岳の活発な活動域には含まれた比較的低活動の地域として知られていた。ところが、1993 年 7 月頃から、この地域としては最大規模のマグニチュード 5 を含む群発活動が始まった。この活動は翌年の 1 月まで続き、同月 15 日に焼岳付近へ移ってからの活動によって一応終息したかのように見える。

また、より長期間を見ると、飛騨山脈全域における地震活動は 1990 年頃から活発化しており、今回の地震活動は一連のものかもしれない。本報告では、1993 年 6 月に発生した穂高岳付近の群発活動も含め、より長期間の活動についても報告する。

2. 飛騨山脈における地震活動

Fig. 1 には地震予知研究センター上宝観測所（当時は上宝地殻変動観測所）にテレメータシステムが導入された 1977 年以来²⁾ の、地震の震央分布を示す。長期にわたる分布を見ると、飛騨山脈はその山頂部分

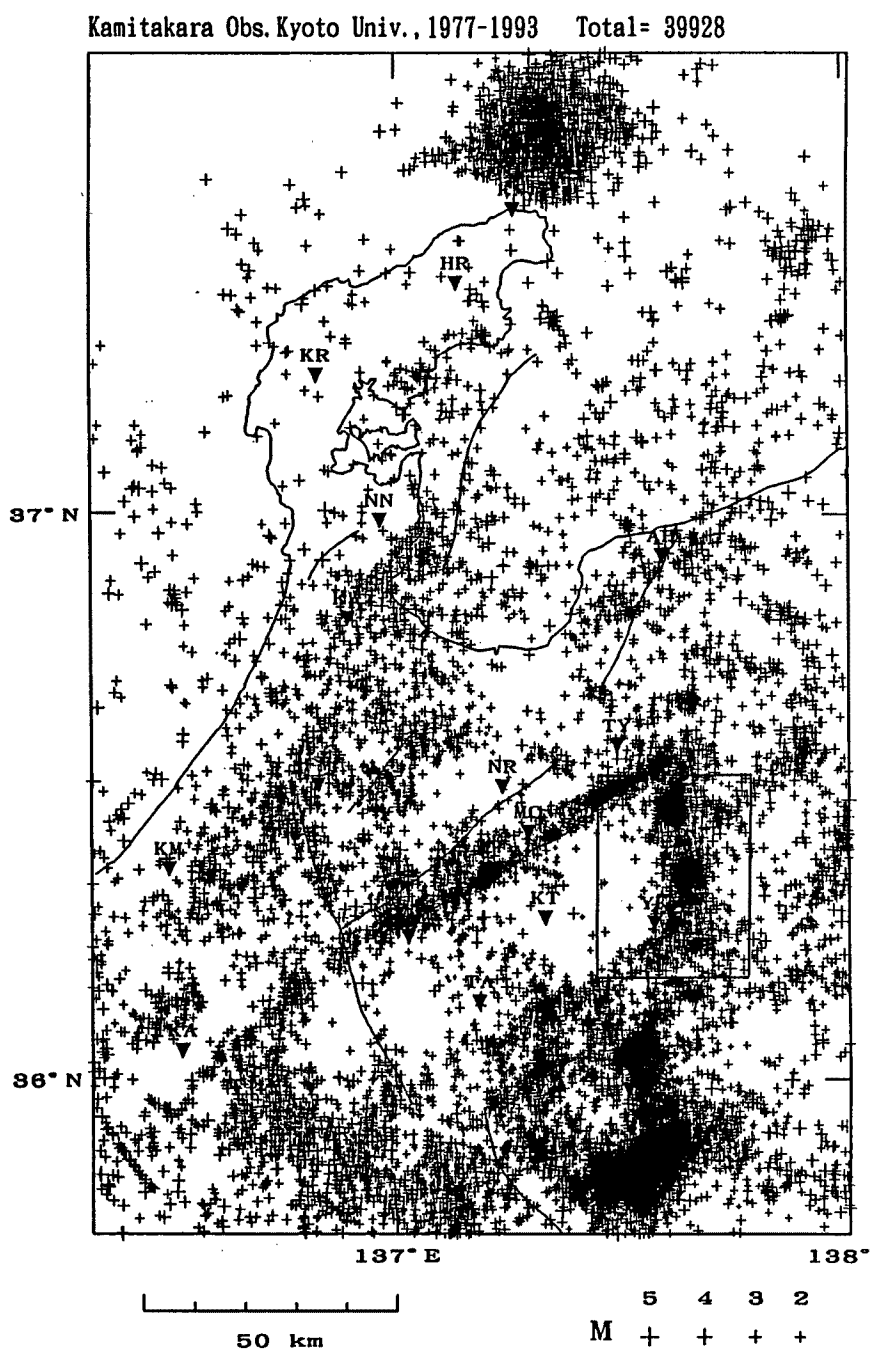


Fig. 1 Distribution of epicenters determined by the telemetered network of the Kamitakara observatory from May, 1977 to December 1993. A rectangle shows studied area.

に幅 10~15 km にわたって地震活動が活発な地域が連なっている。**Fig. 2** には、**Fig. 1** に囲をつけた焼岳から槍ヶ岳にかけての地域における月別頻度の積算グラフを示す。今回は主にこの地域の地震活動について述べる。

上宝観測所においては、1980 年に 1 点増設（福光観測点）及び名古屋大学高山地震観測所とのローカルデータ交換（高山、焼岳、高根観測点）、1986、87 年に能登系の観測点 3 点（七尾、朝日、宝立観測点）の増設によって全体的には地震の検知能力が大幅に変わった地域があるが（例えば能登半島周辺など）、飛騨山脈特に焼岳より槍ヶ岳にかけての地域に関しては、1977 年以降、それほど大きな違いは無いものと思われる。特に 1980~1993 の間は観測点、処理方式とも全く同一である。したがって、**Fig. 2** の全期間にわたって、ほぼ均質なデータがとられているものと考えられる。**Fig. 2** より 1979、1984、1990、1993、1994 年に顕著な群発活動が見られる。特に、1990、1993 年以降は活動が盛んである。

これらの震源域は、1990 年 1、4 月の活動は焼岳付近、1993 年 6 月の活動は穂高岳、1994 年 1 月の活動は焼岳であり、他の期間の活動は槍ヶ岳付近であった。1990 年以降飛騨山脈全体において地震活動が活発化の傾向にあるが³⁾、焼岳から槍ヶ岳にかけての狭い地域においても同じような傾向が見られる。また、群発地震活動を差し引いて考えてみても、1990 年を境としてこのグラフの傾きが少しづつ急になっていく様子が見られ、このことから最近の飛騨山脈（焼岳~槍ヶ岳にかけての地域）において、地震活動が活発化

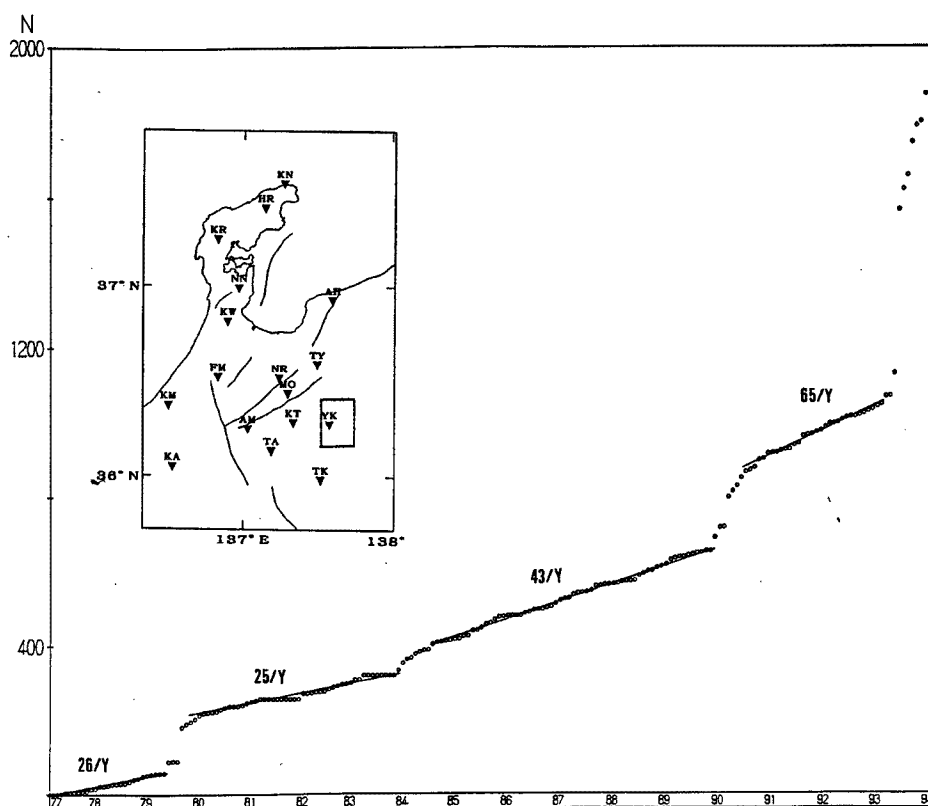


Fig. 2 Cumulative number of earthquakes in the area shown in the encircled area by a rectangle from May, 1977 to January, 1994. Lines in the figure indicate rate of events per year.

していることが明らかである。

3. 1993 年槍ヶ岳付近の地震活動

3.1 地震活動の時間的推移

焼岳から槍ヶ岳にかけての地域の全体的な活動を把握する意味において、今回の震源域に最も近い焼岳観測点 (YK) における (Fig. 2) S-P 時間が2.5秒以下の地震について、日別頻度分布を Fig. 3 に示す。焼岳観測点は名古屋大学高山地震観測所とのデータ交換による観測点であって、通常は他の観測点との組み合わせによるトリガーによってのみ記録が残されているが、1992年の焼岳火山周辺での臨時地震観測^{4), 5)}以来、焼岳周辺の地震活動を調査する目的で、単独トリガーによってイベントレコーダー (EDR-1000) に収録することも併せて行っている。Fig. 3はこのEDR-1000による記録に基づいている。なお、短時間の欠測が少しあるが、ほぼ連続的に収録されている。Fig. 3に示すように、8ヶ月のうちに、多くの群発地震が発生していることがわかる。その中には1日100回を越すような活発な活動が2回含まれている。

詳細な震源域については次節で述べるが、6月20日より始まった穂高岳付近の活動から、翌年1月15日の焼岳付近の活動まで、わずか8ヶ月の間に7回もの中、小規模の群発地震が発生している。このようなことは1990年1月から4月にかけても見られたが³⁾、それ以前には短期間にこのように群発地震活動が集中するということは見られず、この地域において地震活動が活発化している傾向にあることがわかる。また、この地域以外の飛騨山脈のこれまでの活動を振り返っても、時々群発地震活動がみられ、飛騨山脈全体の地震活動の特徴として、群発地震が発生しやすい地域であることがわかる。

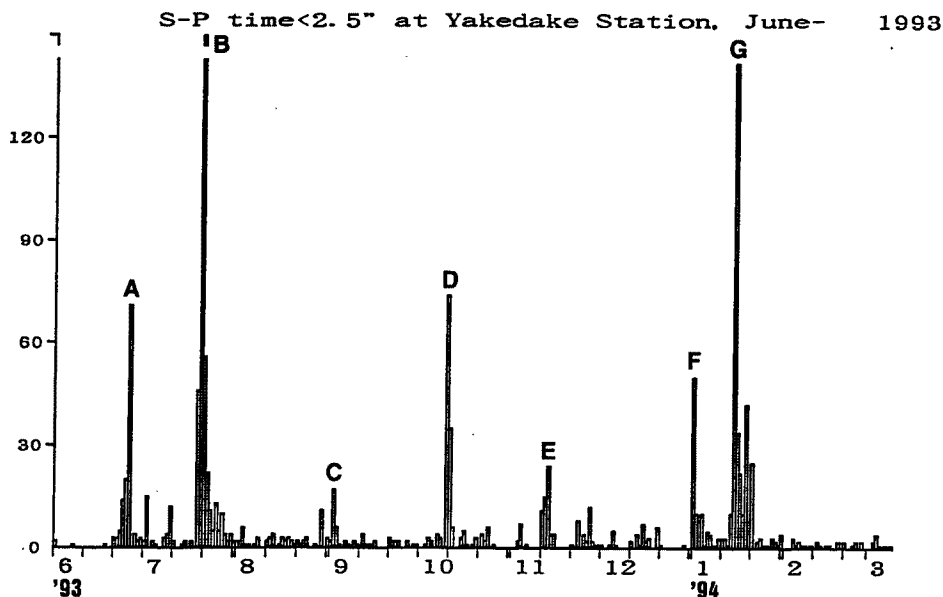


Fig. 3 Daily frequency of earthquakes with S-P time less than or equal to 2.5 s at the Yakedake station. Letters A-G correspond to those in Fig. 8.

3.2 震源分布

上宝観測所における定常的な震源決定による飛騨山脈槍ヶ岳周辺の震源分布を Fig. 4 に示す。左図が震央分布、右図が南北断面に投影した深さ分布である。震央分布からは槍ヶ岳の北方数 km 付近を中心として東西約 7 km、南北約 10 km の南北に長い楕円形をした活動域と、この活動とは別に穂高岳付近において南北に、また、焼岳付近では北西－南東方向に帯状に分布している活動域が見える。Fig. 3 に示した穂高岳、焼岳付近の活動以外の 5 回の群発地震活動が全く同一場所で発生しているのか、そうでないのかは、この結果からは区別できないが、活動域の移動の項にて少し詳しく述べる。

一方深さ分布を見ると、槍ヶ岳付近の活動は 3～4 km の深さに集中している活動と、5 km 付近から 12 km にかけて南へ向かって深くなるような活動が見られる。従来この地域においては、深さの下限は約 5 km と言われており⁶⁾、今回の結果は従来の結果とは異なるものとなった。このことについては、このあと検討する。穂高岳及び焼岳付近の活動は、周辺地域よりかなり浅く、2 km 以下と求められた。特に焼岳付近の活動の深さ分布については、従来からかなり浅く求められており、震源の精度を考慮しても有意に浅く、火山活動の影響ではないと思われる。

次に震源及び深さ分布について検討する。このため、以下の 2 通りの方法によって震源再決定を行った。最初は、観測点を 4 点に固定して、定常的な震源決定プログラムによって震源を再決定した。観測点は、震源域に近い上宝・楡原・焼岳およびデータ数の多い天生の組み合わせを用いた。今回用いた 4 観測点はいずれも震源域の西方に位置しているため、絶対的な震源域については、今後隣接観測網のデータ統合によって

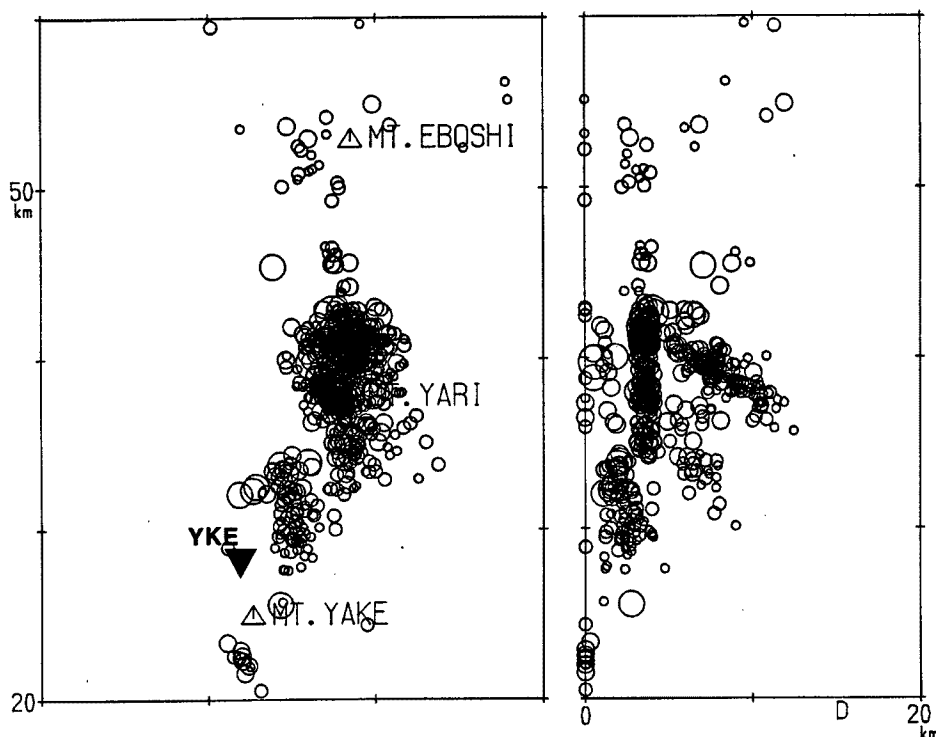


Fig. 4 Epicenter and depth distributions of earthquakes in the Hida Mountain range determined routinely by the Kamitakara Observatory from June, 1993 to March, 1994. Open and solid triangles rectangle in the left figure show major mountains and a observation station, respectively.

検討する必要があるが、相対的な震源域についてはかなり精度の良い結果が得られた。

Fig. 5 には再決定した震央、深さ分布を示す。震央分布からは、穂高岳、槍ヶ岳、焼岳の活動により一層の集中が見られ、特に槍ヶ岳の活動においては、幾つかのクラスターに分けられるように見える。次に深さ分布では、槍ヶ岳付近の活動のうち 5 km から 12 km にかけて南方に向かって深くなる活動が、再決定の結果からは全く見られず、この地域の活動が、数 km 迄に収まり、従来から言われている飛騨山脈周辺の地震活動の下限と一致した。また、穂高岳や焼岳の活動は定常的な震源決定の結果と変わらず、かなり浅く決まった。

もう一つの方法として、観測点 5 点（上記に福光を追加）で観測された地震のみを用い、個々の震源を求め、地震の走時残差の平均値を観測点補正值として、再度震源を計算する方法を試みた。この際、P 波のみを用い、震源の相対的な精度の向上を図った。この結果を **Fig. 6** に示す。この結果、5 km より深い地震はほとんどなくなり、震源は全体的に非常に浅いことが分かった。また、地震発生の下限を見ると、南の焼岳に向かって浅くなっていることが分かる。

以上により、3 点による震源決定の場合、わずかの読み取り誤差が、数 km より深い活動を表すものとなったと思われるが、今後さらに詳細に検討すべきものと考えている。今回の槍ヶ岳付近の活動は、かなり狭い範囲に集中して発生し、幾つかのクラスターに分けられる。また、深さは 4 km あたりに集中しており、深い地震でも数 km 内に収まり、地殻内最上部で発生した地震であることがわかった。

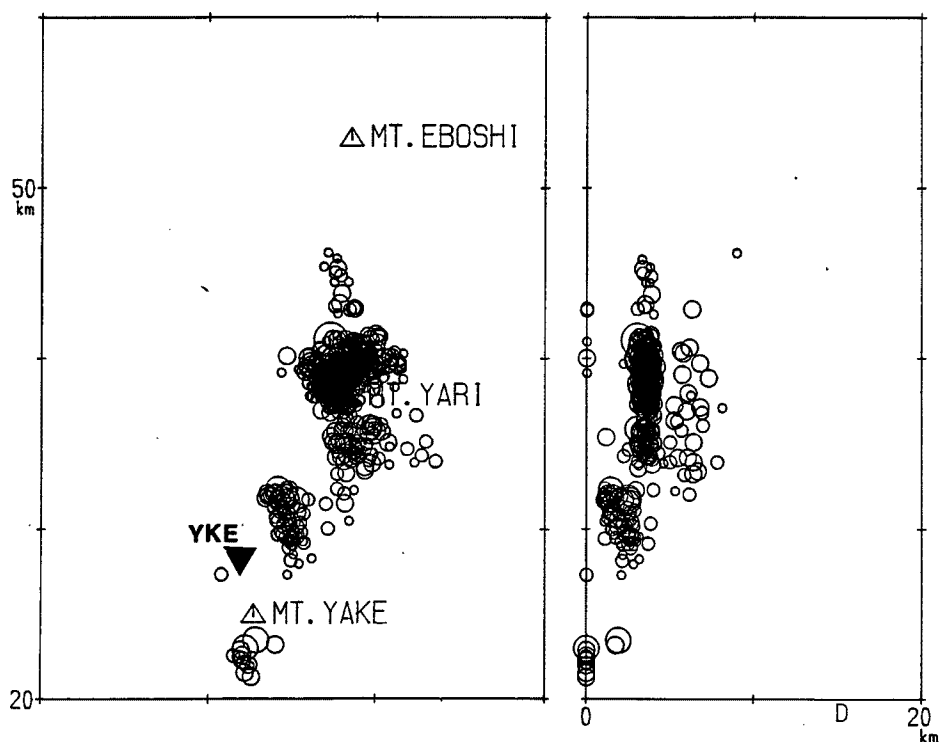


Fig. 5 Epicenter and depth distributions of earthquakes in the Hida Mountain range determined by the data of four definite stations of the Kamitakara Observatory from June, 1993 to March 1994 (same period as that in Fig. 4).

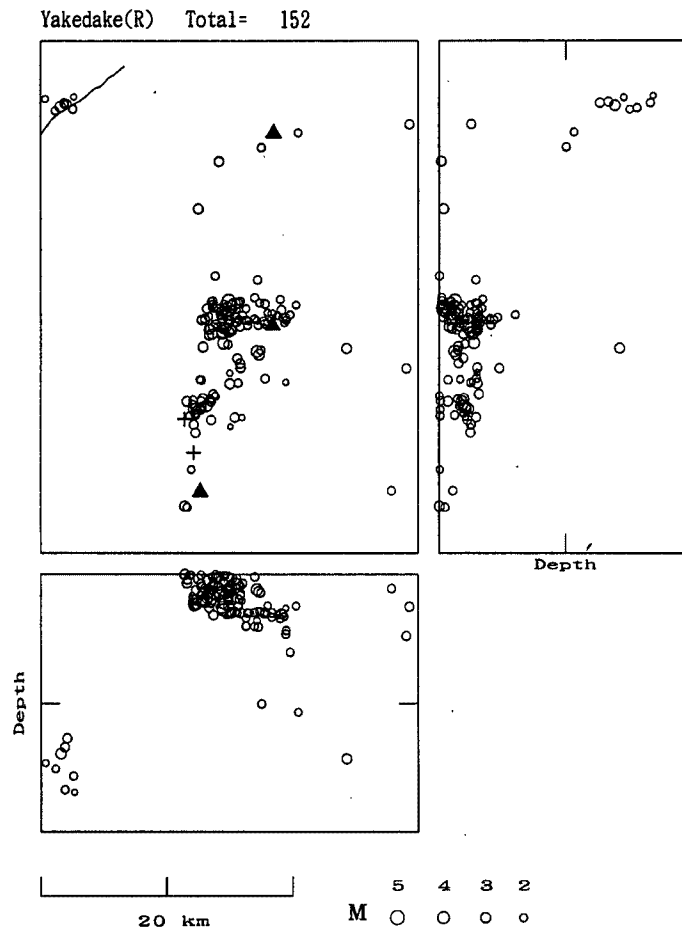


Fig. 6 Epicenter and depth distributions of earthquakes in the Hida Mountain range determined by the data of five definite stations of the Kamitakara Observatory using station adjustments from June, 1993 to March 1994 (same period as that in Fig. 4).

3.3 地震活動域の移動

飛騨山脈では、前述のように1990年より地震活動が活発化している傾向があるが、1990年の焼岳及び烏帽子岳付近の活動と、今回の活動域との位置関係を見るために、今回の震央分布に1990年の活動域を重ねて示す (Fig. 7)。図より今回の活動は、南北両地域における1990年の活動域の中間において発生していることがわかった。また、焼岳付近においては、周辺において活動が活発であることがわかる。

次に今回の活動についてさらに詳しく活動域の変化を調べた。Fig. 3によると7回の活動のピークが見られるが、活動ごとに場所の移動、再帰現象が見られた。Fig. 8にFig. 3の活動ごとの震央分布を示す。また、Fig. 9にはこれらの時空間分布を示す。これらの図を見ると、まず、6月16日に焼岳と槍ヶ岳の中間穂高岳付近 (A) において活動が始まった。この活動は途中1～2回活動の高まりを見せたが、7月10日頃には殆ど終息した。この活動の震源域は北北西-南南東にのびるような帯状の分布を示した。つづいて7月19日より今回の一番活発な活動が槍ヶ岳の北方 (B) において始まった。この活動の最大マグニチュードは5.0 (JMA) であり、この地域としては最大級の地震である。この活動に関しては7月20日に150

回を越すような活発な活動が見られた。この活動は槍ヶ岳の北方2 kmを中心として東西6 km, 南北3 km位の楕円状の分布を表した。その後9月2日には槍ヶ岳南南東3 km付近(C)に移動, 10月10日にはほぼ槍ヶ岳直下と思われる所(D)に活動域が移動した。そして11月11日には9月の活動域に隣接する場所(E)にて活動が見られた。以後50日ほど静穏な状態が続いたが, 1月1日には再度昨年10月の震源域内(F)において活動が再開した。D, FおよびC, Eはほぼ同じ地域に発生しているが, 詳細に見るとやはり異なった場所で発生しているようである。

引き続き1月15日には今度は場所を焼岳付近(G)に移動して活動が始まった。この活動は非常に浅かったため, 極近傍の観測点(焼岳観測点)では多数観測されているが, 震源決定された地震はわずかに十数個と一割にも満たなかった。このことは規模の小さな地震が多く, 震源がかなり浅かったため, 地震波が遠くまで届かなかったことを意味している。震源分布から, この活動は焼岳火山のほぼ直下であり, 震源がかなり浅いことから, 火山活動との関連が注目される。定常観測による焼岳付近の地震は火口直下より周辺に多いが, これは火口直下の地震の震源が従来の観測網では大きい地震のみしか決定できないことを示している。今後この付近のより詳細な観測が必要に思われる。

一方, **Fig. 9**からは震源域が南北に数回, 移動している様子が分かる。さらに, それぞれの活動の直前には空白域が見られる。このような, 時空間分布を詳細に調査することによって, 歪みの蓄積, 解放の過程が分かるであろう。

さらに, このような活動域の移動現象を検討するために, 広域の長期間にわたる時空間分布を**Fig. 10**に示す。この図によると上述の活動域では小規模な活動が断続的に続いていたことが分かる。しかし, 今回の活動のような活発な地震活動は観測開始以来初めてであった。移動現象で顕著なのは, 1990年1~4月に焼岳, 烏帽子, 焼岳と移動した群発地震群がある⁷⁾。また, 乗鞍岳南部の活動と御嶽山付近の活動は片方が増加すれば片方は減少すると言ったような現象も見られる(**Fig. 10**)。

このように, 飛騨山脈の群発地震活動は, 必ずしも独立に発生しているのではなく, お互いに何らかの関連をもっているのかもしれない。これは全体の火山活動などにも関連している可能性がある。

Hida Mounts. June '93-Jan. '94

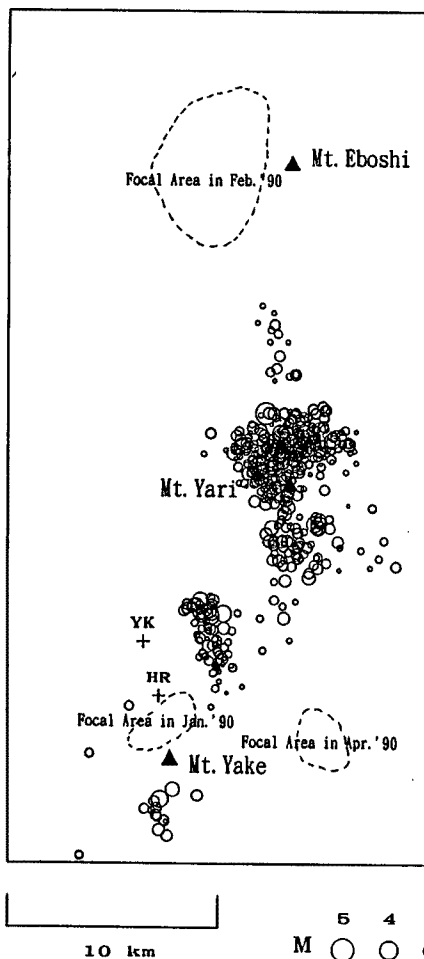


Fig. 7 Epicenters of the studied earthquake swarms and the major swarm areas occurred in 1990 (encircled by dashed lines).

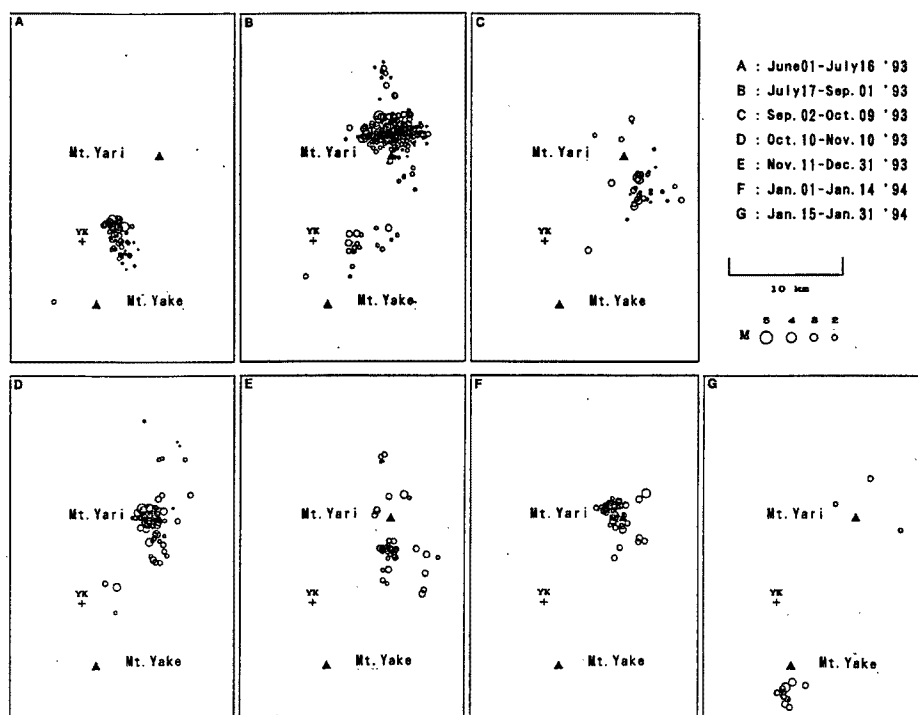


Fig. 8 Migration of swarm activities. Periods A-G correspond to those in Fig. 3.

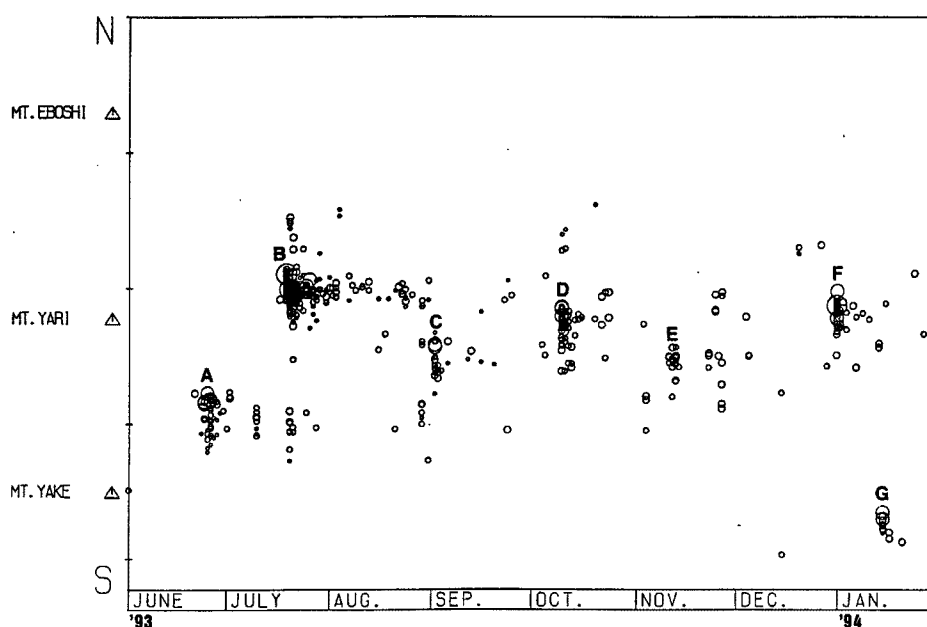


Fig. 9 Space-time diagram of studied earthquake swarms along the Hida Mountain region. Letters A-G corresponds to those in Figs. 3 and 8.

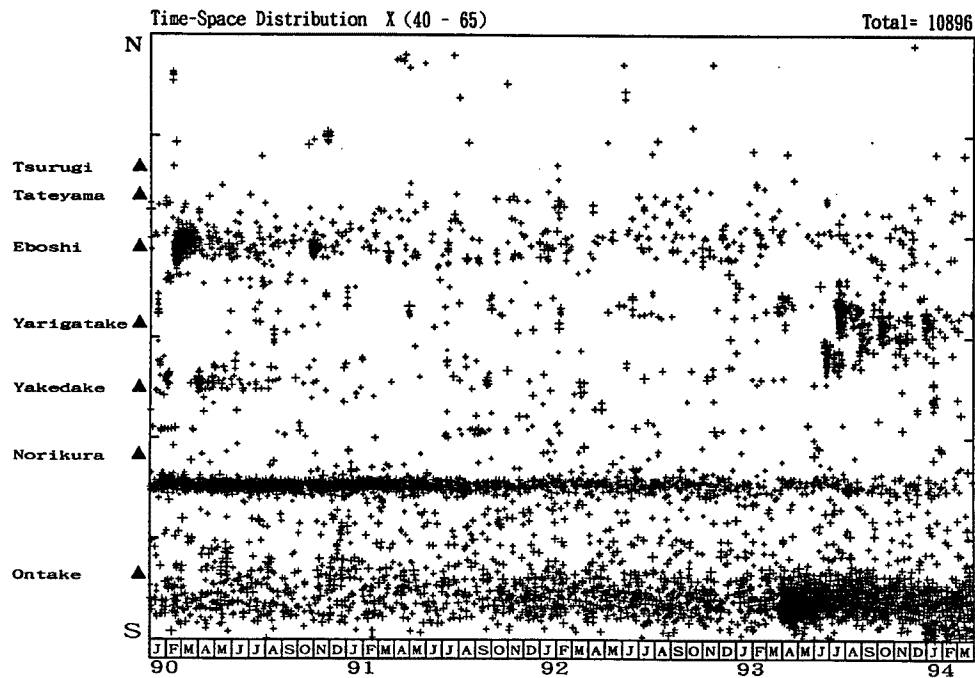


Fig. 10 Space-time diagram of earthquake swarms along the entire Hida Mountain region during the period from January, 1990 to March, 1994.

3. 4 発震機構

今回の群発地震活動のうち主な地震のメカニズム解をP波の初動分布から求めた (Table 1, Figs. 11, 12)。これらは槍ヶ岳付近の5個と焼岳付近の1個で計6個である。これらの解は、7月20日00時10分の

Table 1. List of mechanism solutions. Az, D and Sl denotes strike, dip and slip vector of nodal planes. N denotes total number of initial motions used for mechanism determination. Sc shows score of solutions. Ns indicates number of solutions that give the same score

No.	Date	Time	Longitude (E)	Latitude (N)	H (km)	M	N1			N2			P		T		B		N	Sc	Ns
							Az	D	Sl	Az	D	Sl	Az	D	Az	D	Az	D			
1	930719 2141	28.54	137° 38' 12"	36° 23' 03"	3.9	4.7	187°	54°	-12°	284°	80°	-144°	151°	32°	51°	17°	297°	53°	28	90.	2
2	930720 0010	7.79	137 38 41	36 22 36	3.4	4.8	321	47	-61	102	51	-118	306	69	211	2	120	20	32	91.	1
3	931010 1915	17.12	137 38 58	36 21 10	15.8	3.9	91	57	-172	356	83	-34	308	28	48	18	166	56	24	84.	2
4	940101 0447	2.91	137 39 04	36 21 40	1.7	3.4	176	49	-10	272	83	-138	143	34	37	22	281	48	21	83.	15
5	940101 0522	18.18	137 37 26	36 21 30	0.6	4.1	169	82	-1	259	89	-171	124	7	34	5	270	82	27	87.	27
6	940115 1629	38.69	137 42 08	36 16 27	0.0	3.7	324	66	-7	57	83	-155	284	22	188	12	72	64	21	96.	1

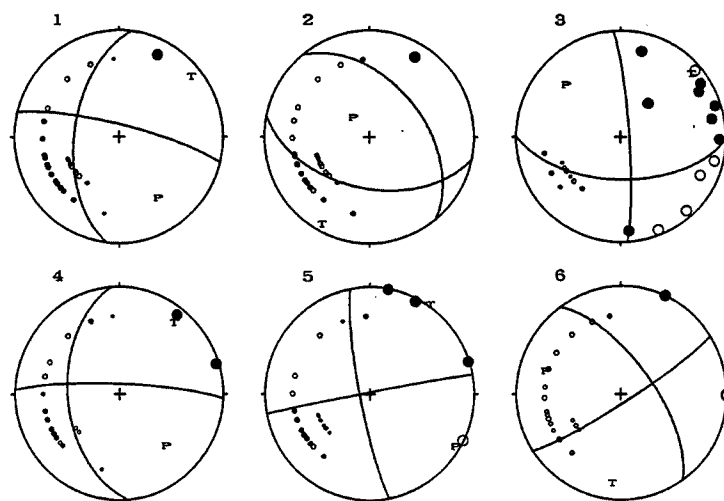


Fig. 11 Focal mechanisms of earthquakes projected on lower hemisphere. Solid and open circles show compressional and dilatational first motions, respectively. Numbers refer to those in Table 1.

地震が正断層型を示したが、他の5個は正断層成分を含む横ずれ型を示した。また、焼岳付近の2個はやや決定精度が悪いが横ずれ型のようなものである。

これまでにこの地域において求められたメカニズム解は Fukao and Yamaoka⁸⁾、小泉・他⁹⁾によって求められている。Fig. 13 に小泉・他の結果を示す。この結果によると、正断層型、逆断層型それに横ずれ型が混在する。Fig. 14 に小泉・他の結果に今回の結果を加えた飛騨山脈の応力場の断面図を示す。槍ヶ岳と焼岳付近を境として南部は逆断層と横ずれ型、北部は横ずれ型と正断層が多い。

Figs. 15, 16 に小泉・他⁹⁾の結果に今回の結果を加えた、T および P 軸の水平成分の方向を示す。概略的には前者は南東—北西ないし東南東—西北西の圧縮力軸をもち、後者は北北東—南南西ないし北東—南西方向の主張力軸を有する。ただし、かなり小領域で変化する場合も見られ、局所的には複雑な応力場を示している。ごく浅い地震のメカニズム解は仮定した地下の速度構造と震源の深さとの関係で微妙に変化することがあり、この点に関する検討も必要である。

飛騨山脈付近は圧縮場で、それによって、山脈の高さが支えられているという報告がある⁸⁾。しかし、上述のように飛騨山脈の北部では張力場が存在する。この地域に働く圧縮力と地殻が厚いことによる浮力さらにマグマ等の熱活動による力が応力場を複雑にしていることが考えられる。

4. おわりに

今回の解析から以下のことがわかった。

飛騨山脈下の地震活動は、時々小規模な群発活動を行ってきたが、特に1990年の焼岳、烏帽子岳付近での活動以来、全体的に活発化の傾向にある。

1990年の群発活動域とは別の場所にて、今回の焼岳から槍ヶ岳付近の活動が発生した。今回の活動域は、穂高岳、槍ヶ岳及び焼岳付近の活動に分けられるが、槍ヶ岳付近の活動は、さらに5つのクラスターに分けられる。一方深さは数 km 以内に発生しており、地殻内上部に発生した地震活動であった。また、穂高岳、

Hida Mounts. June '93-Jan. '94

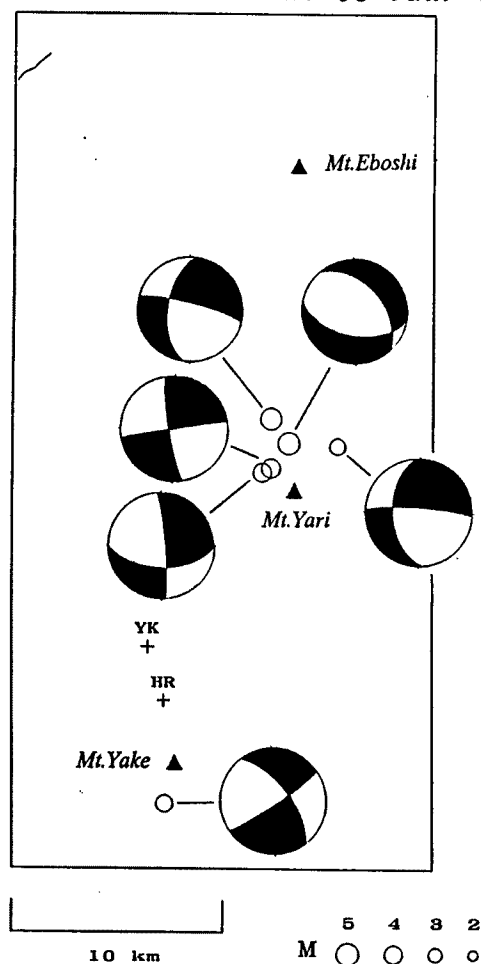


Fig. 12 Epicenters and mechanisms of the earthquakes in Fig. 11. Solid and open quadrants indicate compressional and dilatational portions, respectively. Plus signs show observation stations and triangles denotes major mountains.

焼岳にかけて深さが浅くなっており、特に焼岳付近の活動は火山活動との関係が注目される。

今回の活動では、時間経過とともに、クラスターが移動・再帰するという現象が見られた。

今回の地震活動について6個のメカニズム解が求められた。この結果は、北北東-南南西方向の主張力軸をもつ横ずれ型および正断層型が卓越していることがわかった。横ずれ型が支配的であるが、正断層型も含まれていることから、火山活動の影響もあるものと思われる。

今回の結果から、飛騨山脈下においては、地震活動が大変活発な時期に入ったことが示唆される。極近傍の観測点においては震源決定されない微小地震が多く観測されており、これらの微小地震がより多く震源決定されるような観測網の設置が必要ではないかと思われる。特に焼岳火山は1962年(昭和37年6月17日)

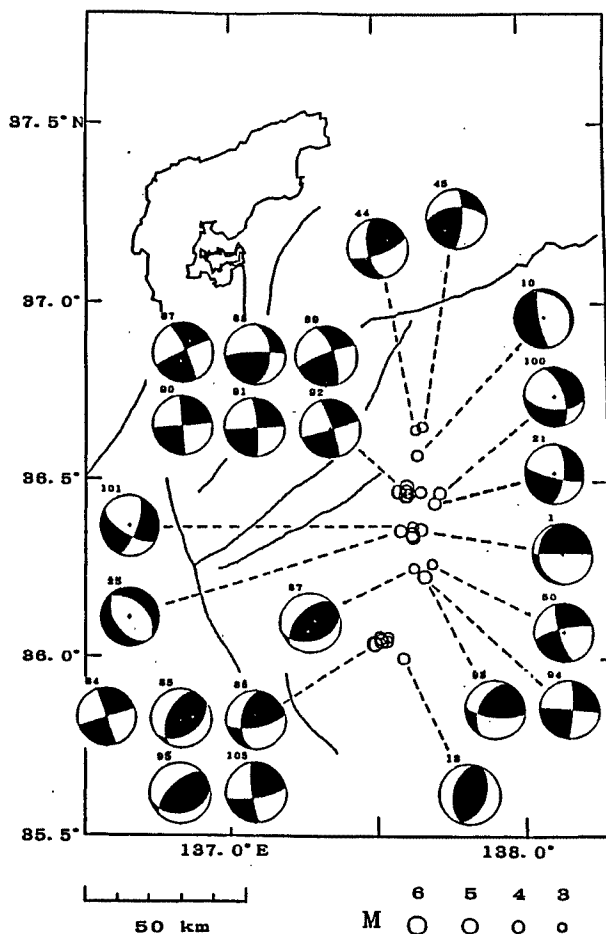


Fig. 13 Epicenters and focal mechanisms in the Hida Mountain range during 1977-1992 (after Koizumi et al. 1993). Solid and open quadrants indicate compressional and dilatational portions, respectively.

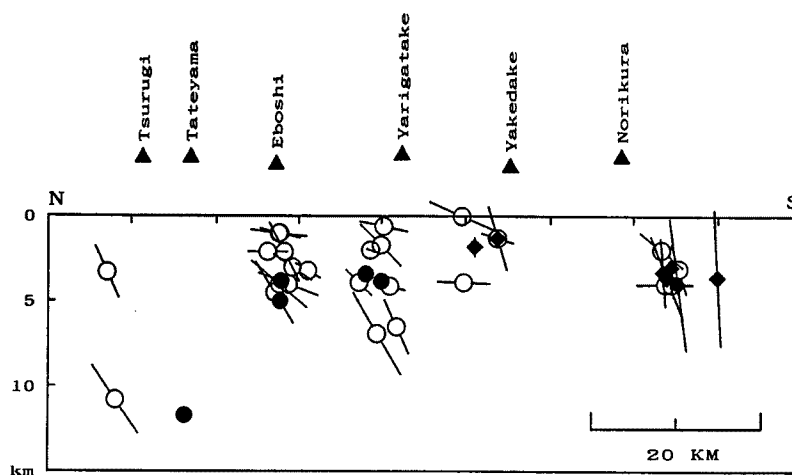


Fig. 14 Vertical section of earthquakes of which focal mechanisms are determined along Hida Mountain range. Open circle, solid circle and diamond show strike-slip, normal and reverse fault types, respectively. Projection of T-axis on the vertical section is shown for events with strike-slip and reverse fault types. Triangles show major mountains.

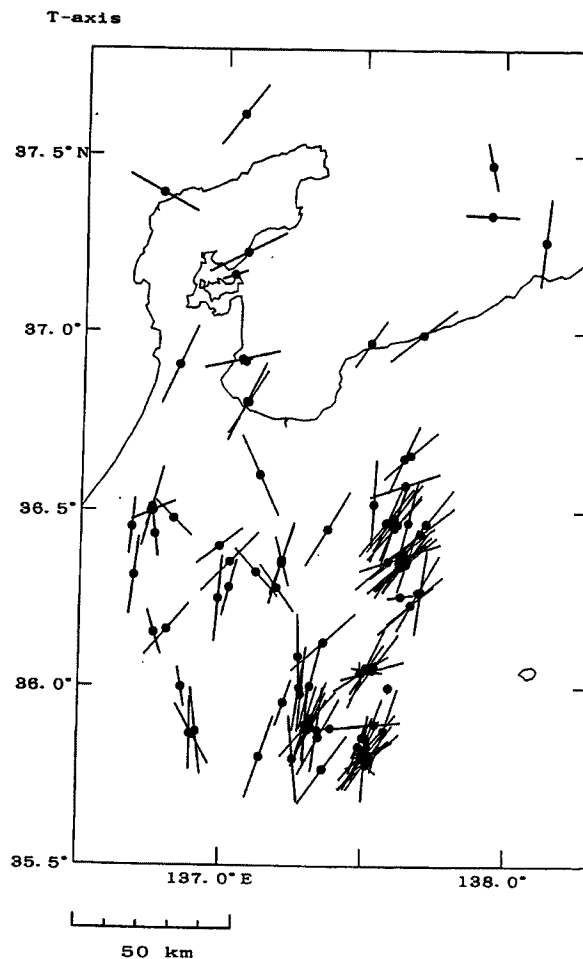


Fig. 15 Horizontal components of T-axes for major events in the Hida Mountain range. Results of this study are added to those by Koizumi et al., 1993.

に噴火して以来活動は止んでいるが、周辺での群発地震活動は大変浅い場所にて活発である。そのため観測態勢の整備は大変重要であると思われる。

謝 辞

1992年12月から、上宝観測所の微小地震観測データを光磁気ディスク(MO)に収録する方法¹⁰⁾に切り替えた。テスト期間を経て1993年10月からデータ処理を記録紙をディジタイザーで読みとる方式から、パーソナルコンピュータのディスプレイ上で読みとる方式に変えた。これによって従来より読み取りの精度が向上した。データの収録、読みとりに関するソフトウェアはすべて北陸観測所の平野憲雄氏の作成によるものである。また、収録システムのトリガーなどのソフトウェアの変更等もやっていただいた。厚く御礼申し上げます。

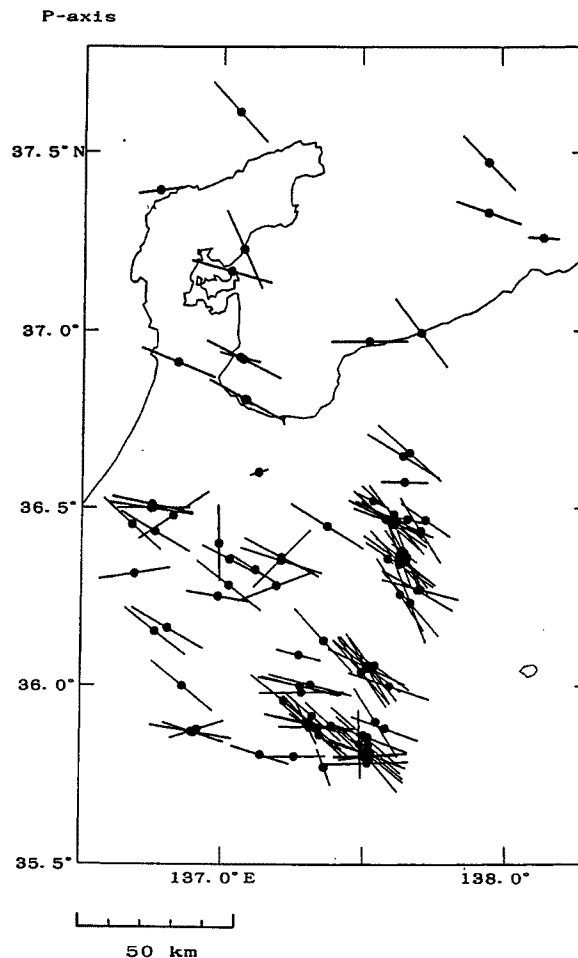


Fig. 16 Horizontal components of P-axes for major events in the Hida Mountain range. Results of this study are added to those by Koizumi et al., 1993.

参考文献

- 1) 吉田明夫・細野耕司：北海道南西沖地震前後における周辺地域の地震活動の変化，日本地震学会講演予稿集，No.2，1993，P.20.
- 2) 上宝地殻変動観測所・地震予知計測部門：上宝地殻変動観測所の地殻変動・地震観測テレメータ・システム，京大防災研年報，第21号B-1，1978，PP.119-135.
- 3) 佃 為成・和田博夫：中部地方の地震活動とテクトニクス，月刊地球，号外No.4，1992，PP.145-152.
- 4) 和田博夫・伊藤 潔・梅田康弘・角野由夫：焼岳火山付近の群発地震観測，京大防災研年報，第36号B-1，1993，PP.291-303.
- 5) 細川盛樹：測地学的及び地震学的手法による焼岳の研究，信州大学大学院理学研究科修士論文，

1994, PP.1-105.

- 6) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨地方北部及び富山湾・能登半島周辺の最近の地震活動，京大防災研年報，第 33 号 B-1，1990，PP.57-74.
- 7) 三雲 健・和田博夫・平原和朗：飛騨山脈下の群発地震活動の移動現象とその 1 考察，地震学会講演予稿集，No.2，1990，P.115.
- 8) Fukao, Y. and K. Yamaoka：Stress estimate for the highest mountain system in Japan, Tectonics, Vol.2, 1983, pp.453-471.
- 9) 小泉 誠・伊藤 潔・和田博夫：中部地方北西部における地震の発震機構，京大防災研年報，第 36 号 B-1，1993，PP.305-324.
- 10) 平野憲雄・伊藤 潔・渋谷拓郎・和田博夫・中尾節郎：パソコン 2 台を用いた多成分トリガー地震収録システムの開発，京大防災研年報，第 36 号 B-1，1993，PP.399-407.