

中部地方北西部における地震の発震機構

小泉 誠・伊藤 潔・和田 博夫

FOCAL MECHANISMS IN THE NORTHWESTERN CHUBU DISTRICT, CENTRAL HONSHU, JAPAN

By *Makoto KOIZUMI, Kiyoshi ITO and Hiroo WADA*

Synopsis

Focal mechanisms of 105 earthquakes were determined in the northwestern Chubu district, central Honshu, Japan. Focal mechanisms of the district have been reported several times. The mechanism solutions in this paper, however, were re-determined by modified Fourier method from initial motions of P-waves for earthquakes with magnitude greater than 3 occurred during the periods 1978-1991. As it has been reported, major type of focal mechanisms in the district is strike-slip with N60-80°W azimuths of P-axes. However, reverse faults are found to be predominant in the southern part of the Hida mountains and in the northern part of Miboro fault. Normal fault type mechanisms are also found to occur in the Hida region and southern end of Toyama Plane. Thus, the different types of mechanisms seem to be closely related to the tectonic movements of the region. On the basis of the regional characteristics of mechanisms, temporal change in mechanisms of earthquakes can be detected in the future for monitoring the variation in stress fields.

1. はじめに

中部地方北西部の微小地震活動は京都大学防災研究所の上宝地殻変動観測所にテレメータ観測網が設置されて以来、調査が続けられている。1980年には名古屋大学高山地震観測所の3観測点とのデータ交換が開始され、1985年には七尾、朝日、1986年には宝立と日本海沿岸の地震観測点が増設された。その後現在まで、合計10観測点で地震観測が継続され地震活動状況の研究がなされてきた^{12),15),17),18),19),20),21),23),24),25)}。この地域の地震の発震機構についても調査がなされている^{11),14),22)}。たとえば、1977年5月から1982年6月まで約5年間の地震観測データを用いて、主な地震のメカニズム及びこれに基づくこの地方のテクトニクスについては三雲・他¹¹⁾に報告されてきている。さらに、1982年以降もこの地域のやや大規模な地震については、上宝観測所等のデータをもとに地震予知連絡会に報告されてきている。また、この地域を含めた周辺でも過去の大地震から小地震までの発震機構が求められ、テクトニクスとの関連が論じられてきた^{3),4),5),7),10),13),26)}。

これらの結果、この地方の地震活動の様子の概略が把握され、跡津川断層、御母衣断層等で地震活動が活発な反面、阿寺断層ではほとんど地震活動がないことなども分かっている。また、飛騨山脈下でも地震活動は活発で、そのほか部分的に群発地震の集中域があることも明らかになった。地震の発震機構から推定される広域応力場は北西-南東ないし東西に主圧力軸をもつ圧縮場で、横ずれおよび逆断層型の断層が起きている。ただし、その分布は複雑で、応力場の詳細を把握するには多くのメカニズム解の蓄積を必要とする。

たとえば、跡津川断層の中央部では横ずれの地震が多く、これは断層の動きと調和的であるが、南西部では逆断層型の地震が多い。飛騨山脈下のメカニズム解はさらに複雑な様子を示している。

本報告では、これまでに地震予知連絡会等に速報的に報告されてきたデータを整理すると共に、先に報告した約5年間のデータについても地震メカニズム解を再決定し、上宝観測所のテレメータ観測開始後約15年間の地震メカニズム解から、この地方のテクトニクスを検討することである。さらに、もう一つの目的は、こうして把握した地震の発生機構の空間的な特徴に基づいて、最大主圧力軸の時間的な変化等メカニズムの時間的な推移を見いだすための基礎的資料として整理することである。

2. データ

Fig. 1 は1977-1992年の間に上宝観測所で震源が求められた地震の分布である。上宝の観測点7点およびデータ交換でデータが上宝に送られてくる名古屋大学高山地震観測所の3点の10観測点はいずれかで S-P 時間が10秒以内の地震である。これらの中からマグニチュード (M) 3.0以上の地震を選んでメカニズムを決定した。図には主な活断層および観測点が示されている。

Fig. 1 からわかるように、地震活動は東北東—西南西へ走る跡津川断層沿いに発生するもの、飛騨山脈脊梁部すなわち立山、鷲岳、焼岳、乗鞍岳、御岳など活火山地域に発生するもの、富山石川県境の医王山、白山、大日岳などの火山地域に発生するもの、高山の南から阿寺断層北端に至る地域に発生するもの、能登半島およびその周辺と糸魚川沖の日本海に起こるものが顕著である。

Fig. 2 は発震機構決定に用いた観測点である。■印で示したものは地震予知研究センターの上宝観測所(臨時観測点立山を含む)および北陸観測所の地震観測点である。△印は名古屋大学および東大地震研究所の観測点で現在は廃止された点も一部含まれている。メカニズム解を求めるために一度でも使った観測点は図に示した。データは主として上宝観測所のネットワーク10観測点、北陸観測所のネットワーク7観測点の波形データから読み取り、データ交換で宇治に送られている名古屋大学、東京大学和歌山微小地震観測所のデータをモニター記録で読み取った。さらに、利用可能な場合は東大地震研究所のデータベースより名古屋大学の地震ネットワークおよび東京大学信越微小地震観測所の押し引きデータを使用した。

読み取り精度は3つのランクに分けた。地震波形の P 波読み取りから押し引きが明らかにわかるものを A、ほぼ確実なものを B、少し不明瞭なものを C とした。東大地震研究所のデータベースを利用した時は、震央距離が 100 km 以内でかつ明瞭な初動は A とし、それ以外は精度に応じて適宜 B または C とした。震央距離 200 km 以上の押し引きデータは利用していない。

Fig. 3 に1977年5月から1991年12月末までの約15年間の $M \geq 3$ の地震でメカニズムを解析した130個の中から任意性を排除して105個を採用し、日本活断層図100万分の1地図⁶⁾上にプロットしたものである。この地図の中で実線は確実度 I、点線は確実度 II の活断層を表している。●は火山の中心である。ハッチを施した部分は標高が 2000 m 以上の地域を示す。

3. 発震機構の決定方法

発震機構は初動の押し引きから、4象限型を仮定してフーリエ法^{2),8),9)}によって求めた。この方法は null axis が垂直なメカニズムの場合、すなわち、pure strike-slip 型の場合、観測点の方位角を x 、押し引きを polarity 関数 $P(x)$ で表せば、polarity 関数の周期は π になり、

$$P(x) = a \cdot \cos(2x) + b \cdot \sin(2x) \dots \dots \dots (1)$$

と表されることを利用している。ここで、 $P(x)$ は押し引きに応じて -1 または 1 とする。実際のデータは離散的な値を取るから、(1) は

$$P(x_i) = a \cdot \cos(2x_i) + b \cdot \sin(2x_i) \dots \dots \dots (1')$$

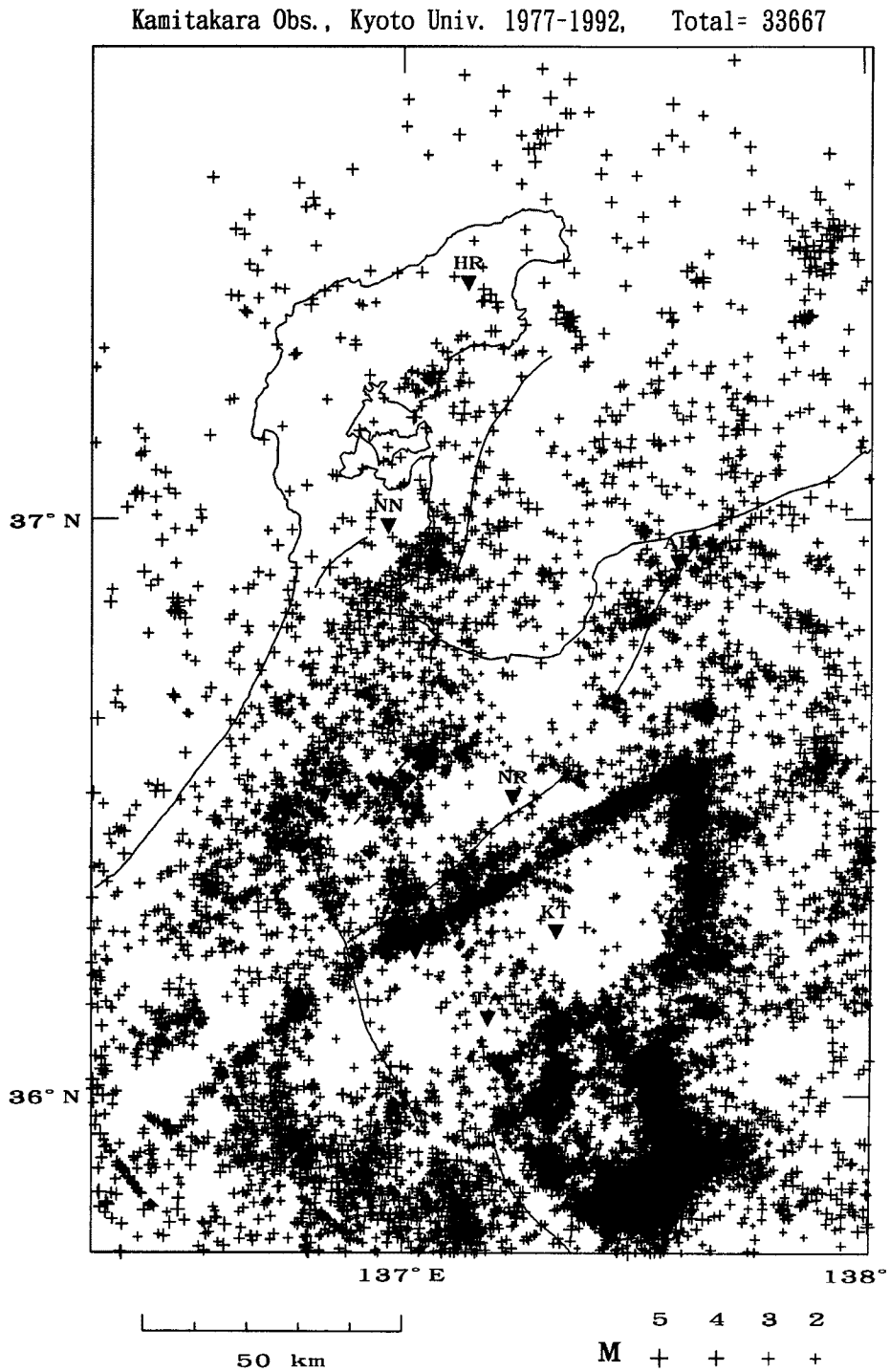


Fig. 1. Epicenter distribution determined by the Kamitakara Observatory during the period 1977-1992. Thick lines indicate major active faults and triangles show stations.

となる。(1)のフーリエ級数は周期 π で最大になり、この周期の、係数 a, b を決めれば、位相 ϕ が $\tan 2\phi = -(a/b)$ で求められ、これは nodal line の一つに一致する。青木²⁾は $P(x)$ から a, b を周期 π のフーリエ係数として次のように求めた。

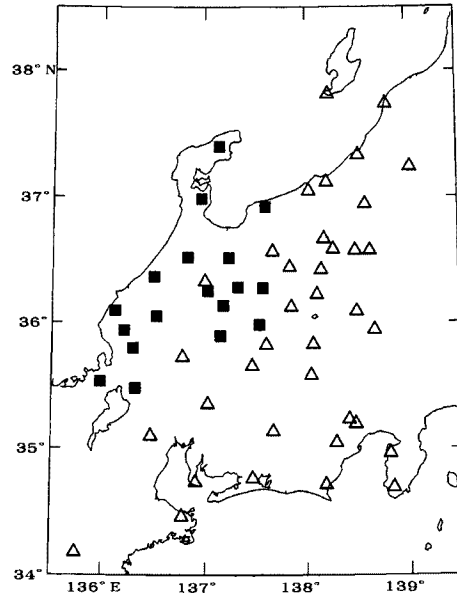


Fig. 2. Observation stations which are used for determination of focal mechanisms. Squares indicate stations of the Kamitakara and the Hokuriku Observatories, Kyoto University, which are mainly used for this analyses. Triangles denote other stations used supplementarily to the analyses.

$$a = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(x) \cos(2x) dx = \frac{1}{\pi} \sum P(x_i) \cos(2x_i) \dots\dots\dots (2)$$

$$b = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(x) \sin(2x) dx = \frac{1}{\pi} \sum P(x_i) \sin(2x_i) \dots\dots\dots (3)$$

多数のデータが均一に分布している場合、係数は正しく求められるが、実際のデータでは観測点の方位に片寄りがあることから、青木 (1986) はデータの片寄りを除くための前処理を行っている。前田⁸⁾ は武 (1') をそのまま観測方程式として、未知数 a, b を最小自乗法で求めた。これは polarity 関数が周期 π の正弦関数になることを仮定している。前田⁸⁾ はデータが少ないときには (観測点が11点の場合について計算している) この近似法が有効であることを示した。

一般的に null axis は傾いているので、この方法を適用する前に、軸を垂直に回転することが必要である。震源球上を n 個のメッシュに切って、最適なメカニズム解を探すには n^3 個の解に対する計算を必要とする。null axis の回転には 2 つのパラメータの組合せを必要とするので、これには n^2 個の計算が必要になる。したがって、null axis を回転した後にフーリエ法を用いれば、回数は 3 次元的に探す場合の $1/n$ で済む。計算時間もおよそ $1/n$ になる。パソコン等で解を求める場合、この $1/n$ の差は大きい。

今回の計算では null axis の回転に 21×21 のメッシュを用いた。軸の回転に関する微調整は行っていない。また、読み取りの重みは A, B, C をそれぞれ 1.0, 0.5, 0.25 とし、下半球に出た波についてはさらにその半分とした。同じスコアの解が複数ある場合はそれらをすべて図示し、その結果を見てその解を採用するかどうか決めた。同じスコアの解が複数存在する場合、null axis の平均値を求め、その値に最も近い null axis を持つ解を最終的な解として選んだ。なお、スコアは青木²⁾ が提唱したものとは違って、従来からメカニズム決定に用いられている、全押し引きデータに対する正しい押し引きの割合を示している。ただし、スコアの計算には上記の重みを加味している。

射出角の計算は水平成層構造を用いた。その構造の速度は上層から 5.4, 6.0, 6.8, 7.8 km/s, 厚さがそれぞれ 5.0, 20.0, 15.0 km である。これはこの地域で得られている人工地震の走時等^{12), 22)} を参考にして決めた。

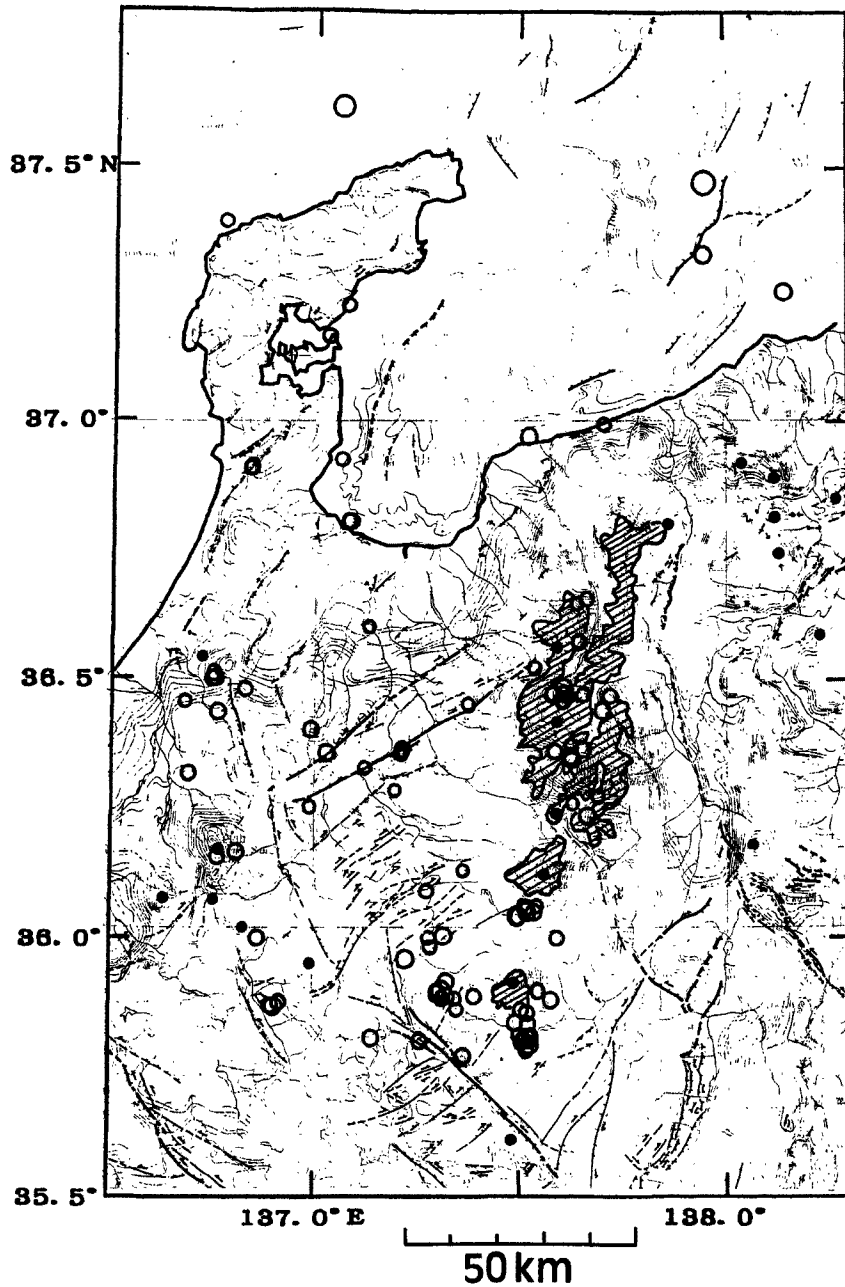


Fig. 3. Locations of earthquakes (open circles) of which mechanisms are determined in this study. Topography and main active faults are also indicated. Hatched regions denote high mountains with more than 2000 m above sea level. Solid circles show volcanoes in the Quaternary.

4. 発震機構

Fig. 3 に発震機構が求められた地震の震央分布を示す。Table 1 にはこれらの解を示す。解の選択に当たっては、P および T 軸の方位角のばらつきが小さいものを選んだ。したがって、同じ最大のスコアを与える解が多数存在する地震は P および T 軸の傾きの任意性が大きい。表の断層面等の角度の表示は Aki and Richards¹⁾ の表現をもちている。Fig. 4 にはこれらのすべての解を示す。図は等積投影の下半球投影図

Table List of mechanism solutions. Az, D and Sl in the columns N1 and N2 denotes strike, dip and slip vector of nodal planes. N denotes total number of initial motions used for determination of mechanism. Sc shows score of mechanism solution. Ns indicates number of solutions which gives the same maximum score for the earthquake. Notations of solutions are after Aki and Richards¹⁾.

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	Az	D			
1	780303	0133	5.33	137°39'19"	36°39'54"	6.9	4.2	174°22'	-6°	269°88'	-111°	159°43'	18°39'	270°21'18	94.	3							
2	780512	1529	53.70	137 19 22	35 19 20	18.1	4.2	3 47	24	256 73	134 315	16 209 44	59 41 23	88.	6								
3	780528	2330	27.87	137 17 06	35 17 51	8.2	3.6	222 61	162	321 75	30 89 9	185 32 346	56 22 86.	38									
4	780703	1310	41.59	137 23 25	35 23 14	6.4	3.8	99 25	167	201 85	65 312 35	86 45 203	25 22 86.	5									
5	780801	1015	13.81	137 08 27	35 08 22	16.8	4.2	253 58	-147	144 62	-37 107 45	199 3 292	45 23 98.	7									
6	780811	1521	57.76	137 31 48	35 31 45	3.3	3.9	76 41	147	192 69	54 308 16	60 52 207	33 20 86.	11									
7	780811	1546	5.29	137 31 08	35 31 38	3.3	4.1	45 33	126	185 64	69 290 16	58 65 194	19 23 92.	1									
8	780827	2030	10.85	137 07 15	36 07 37	8.1	3.1	291 11	-19	40 87	-99 301 47	138 41 41	9 11 91.	1									
9	781002	0454	6.51	136 59 24	36 59 07	4.0	4.0	40 30	21	292 79	118 359 29	232 48 106	28 22 91.	2									
10	781108	1341	58.17	137 38 36	36 38 26	11.7	3.7	314 15	-125	169 77	-81 91 57	252 32 347	9 19 91.	1									
11	781218	0620	7.12	137 30 04	35 30 48	3.1	3.9	66 57	175	159 86	34 288 20	28 26 166	56 23 96.	14									
12	790108	1847	57.86	137 31 48	35 31 22	10.2	4.1	39 22	146	161 77	71 267 30	48 54 166	19 27 85.	1									
13	790114	2204	42.60	137 35 36	36 35 03	3.6	3.8	192 44	82	24 46	98 108 1	6 84 198	6 23 96.	4									
14	790116	2104	55.02	137 18 06	35 18 33	10.8	4.4	324 56	6	231 85	146 283 20	182 27 45	55 27 93.	10									
15	790211	2340	16.37	137 30 48	35 30 12	13.9	3.9	55 57	-153	309 68	-36 268 41	4 7 101	48 24 85.	22									
16	790309	1953	13.49	136 54 52	35 54 35	14.3	4.0	47 50	-146	293 65	-45 253 49	353 9 90	40 19 77.	11									
17	790317	1911	41.51	137 18 02	35 18 50	10.0	3.9	323 27	-41	91 73	-111 333 57	197 25 97	20 25 88.	6									
18	790318	1506	27.93	136 45 13	36 45 36	13.8	3.9	237 65	173	330 84	25 101 13	196 22 342	64 22 95.	7									
19	790324	1915	17.83	137 18 06	35 18 50	9.9	4.0	328 57	19	228 74	146 281 11	184 35 27	53 23 91.	11									
20	790505	0602	28.82	136 49 45	36 49 49	5.0	3.9	114 46	40	354 62	129 57 9	314 55 153	33 17 94.	1									
21	790523	2030	9.40	137 42 03	36 42 26	3.2	4.1	6 63	-14	102 78	-152 327 28	232 10 124	60 22 96.	12									
22	790531	0011	29.57	137 30 24	35 30 02	3.7	4.0	86 28	-148	326 76	-66 264 53	38 27 140	23 17 83.	1									
23	790627	0737	49.57	137 31 04	35 31 01	8.4	3.9	344 33	70	187 59	103 268 13	130 73 360	11 21 88.	1									
24	790628	2129	7.96	137 31 36	35 31 40	3.1	4.8	185 74	9	92 81	164 139 5	48 18 243	72 31 94.	5									
25	790722	1733	20.35	137 35 12	36 35 37	3.8	3.9	310 45	-103	148 47	-78 131 81	229 1 319	9 28 81.	1									
26	790722	1741	21.54	137 37 36	36 37 05	4.1	4.4	273 82	-179	182 89	-8 137 6	228 5 360	82 29 94.	25									
27	790917	0210	57.08	137 37 08	36 37 00	2.1	3.6	7 58	19	266 74	147 320 10	222 35 63	53 31 83.	1									
28	791007	2037	3.33	137 37 44	36 37 39	6.5	4.3	260 50	166	359 79	41 123 19	228 36 11	48 29 88.	1									
29	800107	2015	14.27	137 31 40	35 31 19	4.0	4.5	174 72	15	80 76	161 128 3	3 36 23	225 67 25 93.	1									
30	800613	0039	17.41	137 31 12	35 31 20	2.3	4.0	246 79	-176	155 86	-11 110 10	201 5 315	79 27 97.	7									
31	800715	1137	26.20	136 48 29	36 48 50	2.8	4.0	73 52	161	175 75	40 299 15	41 38 191	48 25 78.	2									
32	800820	0832	46.82	137 15 34	35 15 06	15.9	4.0	302 58	-29	49 66	-144 269 42	174 5 79	48 29 87.	13									
33	800916	0548	58.09	137 18 42	35 18 53	11.8	5.1	265 74	179	355 89	16 129 10	221 12 360	74 54 75.	46									
34	801216	0649	52.13	137 20 33	35 20 58	7.9	3.5	232 61	-171	138 82	-29 91 26	188 14 304	60 25 90.	21									
35	810305	0525	43.34	137 16 26	36 16 21	6.8	3.4	299 44	-44	64 62	-125 284 58	178 10 82	30 24 92.	14									
36	810407	1204	30.99	136 59 16	36 59 08	4.8	3.1	134 59	-29	239 66	-146 99 41	5 4 270	49 20 95.	1									
37	810511	1346	36.85	137 37 52	36 37 37	1.8	3.9	73 40	114	223 54	71 326 7	82 73 234	15 18 86.	5									
38	810617	2347	1.73	137 01 39	36 01 24	2.9	4.2	91 46	-157	345 73	-47 297 44	44 17 149	41 23 96.	1									
39	810701	0715	58.65	137 19 22	35 19 54	10.7	4.1	345 48	-3	77 88	-138 310 30	203 27 79	48 31 92.	3									
40	810724	0143	18.74	137 22 17	36 22 05	13.7	3.2	166 82	-2	256 88	-172 121 7	31 4 270	82 15 100.	7									
41	810810	1228	13.24	137 07 51	36 07 01	10.0	3.1	256 44	-73	53 48	-106 253 78	154 2 63	12 16 90.	4									
42	810903	0628	40.90	136 54 08	35 54 06	16.3	4.8	305 23	-4	39 88	-113 287 42	150 39 40	23 29 83.	1									
43	810903	0643	2.52	136 53 36	35 53 12	16.6	4.1	325 56	17	226 76	145 279 13	180 34 27	53 26 92.	10									
44	811230	2035	41.76	137 38 20	36 38 53	10.8	3.3	168 60	18	69 74	149 121 9	25 33 225	55 25 93.	6									
45	820203	0844	14.39	137 39 39	36 39 25	3.3	3.4	264 57	161	4 74	34 131 11	229 35 27	53 25 96.	29									
46	820412	0406	18.74	137 18 46	35 18 01	11.2	3.9	343 50	-11	80 82	-139 310 34	205 21 90	49 36 93.	2									
47	820602	0956	40.26	137 21 41	36 21 47	2.8	3.0	273 82	-179	182 89	-8 137 6	228 5 360	82 33 95.	16									
48	820609	1052	7.73	137 31 20	35 31 06	2.0	4.1	86 82	179	176 89	8 311 5	41 6 180	82 20 100.	10									
49	820808	0115	18.06	137 30 16	35 30 43	0.0	3.9	10 45	46	244 59	125 310 8	207 59 45	30 21 96.	5									
50	821228	0253	44.17	137 41 35	36 41 19	3.9	3.2	163 77	-12	255 78	-166 119 18	29 1 297	72 24 89.	23									
51	830523	0204	16.05	137 12 37	36 12 15	1.3	3.5	152 90	-44	242 90	-59 107 0	17 0 270	90 19 100.	35									
52	831006	1420	35.50	137 13 22	35 13 27	3.0	5.0	5 42	42	242 64	124 308 12	199 57 45	30 23 96.	4									
53	840609	2208	38.59	137 39 15	36 39 17	5.0	3.7	266 47	-116	122 49	-64 102 71	194 1 284	19 36 87.	5									
54	840821	2350	44.81	137 32 00	36 32 21	2.7	3.5	116 41	-57	255 56	-116 114 67	3 8 270	21 34 87.	1									
55	850730	1118	44.80	136 46 37	37 46 36	6.2	3.6	240 24	-48	15 73	-106 263 59	118 26 21	16 31 88.	4									
56	851018	1222	20.50	137 03 30	37 03 55	21.4	5.9	1 57	9	266 83	147 318 17	218 28 76	56 37 95.	2									
57	860307	0325	33.70	137 29 39	36 29 34	4.0	5.2	37 34	74	235 58	100 318 12	175 75 49	9 50 82.	3									
58	860414	1039	33.65	136 50 33	36 50 30	18.5	4.0	250 69	-170	157 81	-21 112 21	205 8 315	67 32 91.	9									
59	860429	0009	13.99	137 29 52	36 29 30	3.1	4.3	273 61	150	19 64	33 145 2	237 41 53	49 28 96.	1									
60	860609	2041	30.04	136 44 56	36 44 01	6.0	3.9	29 45	120	170 52	64 278 4	18 69 187	20 31 93.	2									

61	860609	2114	1.33	136	45	26	36	45	03	6.0	4.0	31	17	129	171	77	79	270	31	67	57	174	10	25	98.	1
62	861225	0557	30.36	137	12	43	36	12	48	6.0	4.3	163	59	15	64	77	148	117	12	19	32	225	55	36	97.	1
63	870324	2149	46.73	137	56	08	37	56	32	18.0	6.5	9	22	43	238	76	106	316	29	168	56	54	15	37	82.	13
64	870324	2222	25.57	137	56	09	37	56	06	10.0	4.5	242	13	140	12	83	81	109	37	272	51	13	9	24	94.	1
65	870325	0939	47.06	138	07	41	37	07	47	8.0	4.5	257	48	-119	116	50	-62	93	69	187	1	277	20	34	88.	3
66	870330	0513	41.15	137	04	28	36	04	02	1.5	3.8	175	42	43	50	63	123	117	12	6	58	214	29	26	93.	21
67	870719	1248	15.91	137	04	32	37	04	41	17.7	3.7	19	79	-5	110	85	-169	395	11	244	4	135	79	16	100.	11
68	870913	1402	34.79	137	30	57	36	30	15	10.0	4.4	44	32	154	157	77	61	269	26	35	50	164	28	22	78.	4
69	871218	1011	51.15	137	18	58	36	18	11	3.0	4.5	239	83	176	329	86	7	104	2	194	8	360	82	38	100.	4
70	880420	0850	36.42	136	45	49	36	45	06	9.6	4.1	175	31	41	49	70	115	120	21	353	58	220	23	36	94.	6
71	880511	0233	33.21	137	03	43	36	03	24	7.0	3.6	324	20	-122	177	73	-79	103	61	258	27	354	10	19	89.	1
72	880720	1312	54.22	137	41	58	36	41	45	6.0	3.5	276	82	173	8	83	9	142	1	232	11	45	79	18	81.	13
73	890103	2056	1.78	137	11	40	36	11	55	3.0	3.1	300	47	30	188	69	133	249	13	144	48	351	39	16	100.	1
74	890109	0740	42.08	137	12	43	36	12	33	6.5	3.2	173	36	145	293	71	60	45	20	165	54	304	29	15	100.	1
75	890117	1533	18.85	137	16	47	36	16	00	1.6	3.4	3	44	77	200	48	102	282	2	178	81	13	9	32	78.	4
76	890117	1539	34.58	137	16	47	36	16	00	1.6	3.4	325	66	-7	58	83	-155	284	22	189	12	72	64	17	90.	22
77	890530	1318	42.88	136	45	51	36	45	17	12.5	3.9	3	25	46	230	73	107	307	26	163	58	45	16	28	94.	1
78	890625	0300	50.63	136	51	38	36	51	00	13.5	4.0	12	28	54	232	68	107	309	21	170	63	45	16	30	89.	1
79	890721	0945	11.26	137	34	47	35	34	52	2.0	4.1	328	65	-24	69	68	-153	289	34	198	2	104	56	23	92.	8
80	890731	0109	37.35	136	40	55	36	40	20	7.0	3.3	356	32	26	244	77	119	311	26	186	50	56	29	23	96.	3
81	890731	2002	47.33	137	32	50	35	32	55	3.0	3.7	96	37	146	214	70	58	327	19	85	53	225	30	27	90.	1
82	890917	0337	26.06	137	21	52	35	21	16	15.0	4.0	153	35	-52	289	63	-113	160	64	36	15	300	20	32	87.	1
83	890930	0745	19.04	137	20	55	35	20	43	13.0	3.5	162	60	-17	261	75	-149	125	32	29	10	284	56	31	83.	9
84	900124	0807	6.00	137	30	52	36	30	22	4.0	4.5	160	90	-30	250	-90	-45	115	0	25	0	270	90	33	82.	9
85	900125	0214	22.23	137	30	48	36	30	31	3.3	4.5	53	41	113	204	53	71	307	6	59	74	216	15	29	81.	1
86	900125	0357	24.48	137	31	00	36	31	16	3.6	3.6	188	48	28	79	70	135	138	13	34	46	239	41	26	89.	1
87	900218	0315	54.58	137	36	19	36	36	43	4.0	4.8	334	79	4	243	86	169	289	5	198	10	45	79	40	84.	1
88	900218	0417	46.71	137	36	24	36	36	38	4.5	3.6	2	49	8	266	84	138	321	23	215	33	79	48	19	100.	8
89	900218	0435	50.05	137	36	26	36	36	20	4.0	4.3	339	69	9	245	82	158	294	9	200	21	45	67	30	85.	22
90	900218	0535	59.60	137	36	28	36	36	05	2.1	4.8	175	90	-47	265	-90	-62	130	0	40	0	270	90	37	90.	1
91	900221	0052	25.98	137	34	41	36	34	17	1.0	4.4	354	82	-1	85	89	-172	310	6	219	5	90	82	29	84.	1
92	900221	0115	41.80	137	34	56	36	34	21	1.0	4.3	339	83	-3	70	87	-173	295	7	204	3	90	82	37	88.	3
93	900401	0238	42.83	137	40	01	36	40	11	1.3	4.1	208	46	28	97	70	132	158	15	51	47	261	39	29	91.	1
94	900401	0242	0.24	137	40	01	36	40	11	1.3	4.5	3	82	1	273	89	172	318	5	228	6	90	82	31	89.	6
95	900423	0059	39.12	137	31	06	36	31	01	3.0	4.8	78	34	118	225	61	72	328	14	99	69	234	15	37	80.	1
96	900812	0710	36.97	137	04	45	36	04	17	17.6	3.8	309	44	-73	106	48	-106	306	78	207	2	117	12	20	89.	11
97	900813	0816	33.40	137	05	07	36	05	11	14.5	4.3	71	61	182	169	75	30	298	9	33	32	194	56	17	94.	25
98	901116	0221	29.50	137	01	48	37	01	55	14.0	3.8	27	32	107	188	60	80	285	14	72	73	193	9	29	83.	2
99	910123	0331	27.01	137	32	11	36	32	58	4.0	4.1	101	43	165	202	80	48	323	23	73	40	211	41	26	89.	2
100	910319	1522	17.20	137	43	08	36	43	11	3.8	4.0	93	54	-147	341	64	-41	303	47	39	6	135	43	28	93.	3
101	910430	0101	28.17	137	37	39	36	37	19	2.0	3.6	120	64	-157	20	69	-28	339	34	71	3	166	56	28	94.	2
102	910815	0258	37.22	137	36	28	36	36	28	3.0	3.4	263	65	-175	171	85	-25	124	21	220	14	342	64	24	92.	2
103	911005	1756	5.03	137	29	25	35	29	12	5.6	4.1	33	12	26	278	85	101	358	39	199	49	96	10	41	96.	1
104	911023	0211	11.49	136	41	27	36	41	58	10.0	3.9	227	49	-173	132	85	-42	81	32	187	24	307	49	30	82.	5
105	911221	2018	31.01	137	32	31	36	32	37	2.0	3.6	79	75	169	172	80	15	305	3	36	18	207	72	22	96.	9

である。押しは●、引きは○で表し、読み取りの精度に従って、大きさを変え、また下半球に出た波は更に小さくしてある。

Fig. 5 はこれらの解をテクトニクスと関係づけて見るために地域毎に分けたものである。これは Fig. 1 の地震活動を参考にして分類した。Fig. 5 の A~F は Figs. 6-1~6-6 に対応する地域の地震を示す。以下に、6つの地域において発震機構を考察する。

4.1. A 地域 (跡津川断層付近)

A 地域は跡津川断層、牛首断層、富山平野、砺波平野を含み東方の飛騨山脈、西方の御母衣断層で囲まれる地域である。跡津川断層上に発生する微小地震は1858年の飛騨地震または飛越地震 (M=6.9) の余震ともいわれているものであるが、140年も経った現在も余震活動が活発であるので、新たな地震活動とも考えられる。地質学的にみた跡津川断層は後期白亜期酸性火山活動が開始される時に生じた高角の引張割れ目が後にすべり面に転化し断層となって再活動しているものといわれている¹⁶⁾。またこの地域は後期中新世末に飛騨山地の傾動隆起が顕著になると同時に横ずれ型の応力場になったと考えられる。

この地域でメカニズム解が得られた地震は11個で、跡津川断層沿いの7個のうち8番の菅沼付近を除くと

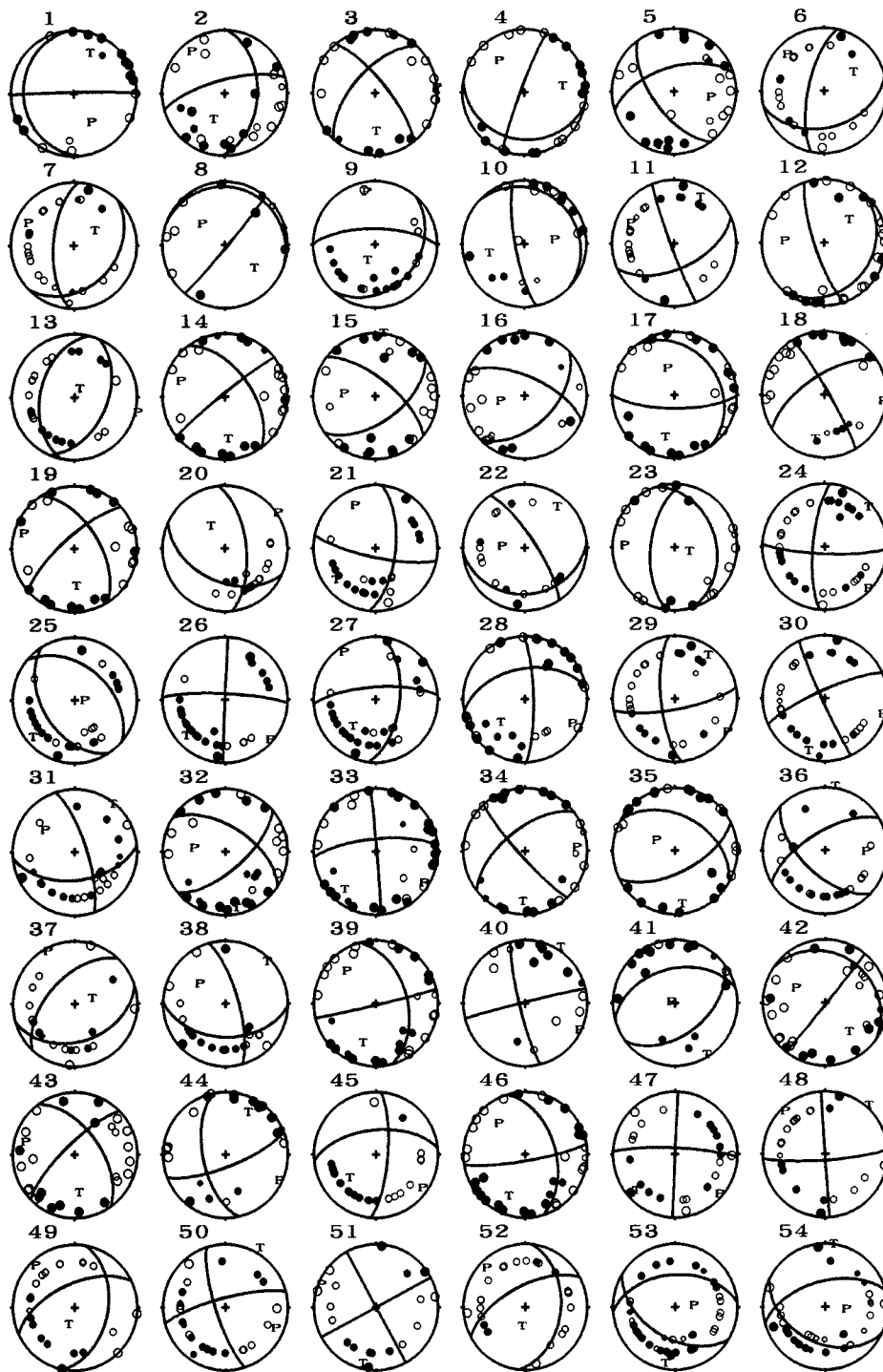
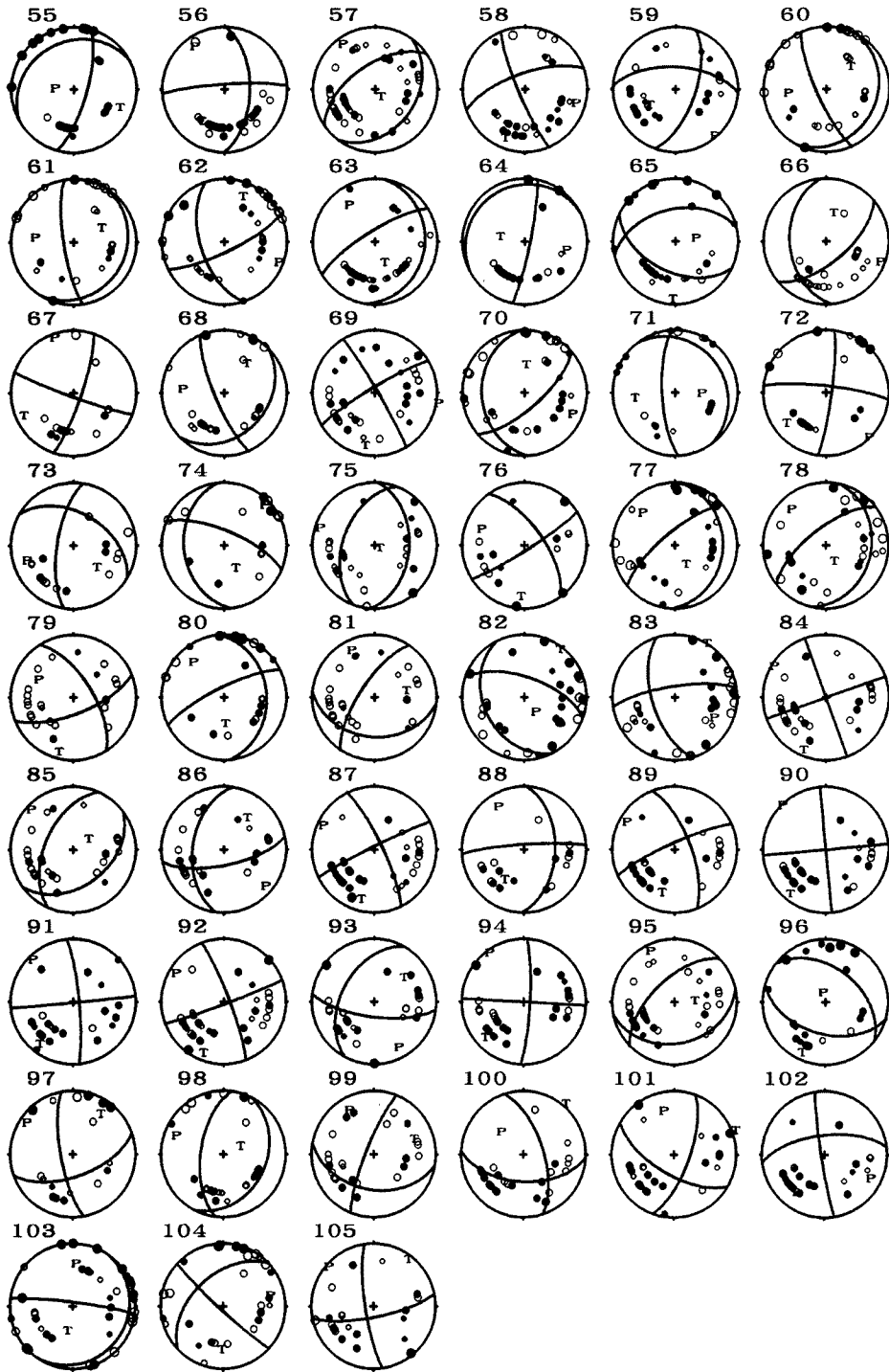


Fig. 4. Focal mechanism solutions projected on lower hemisphere of equal-area net. Open and solid circles denote dilatational and compressional initial motions, respectively. Size of the circle depends its accuracy and also on the emergent angle of the ray. Size of the circle is reduced for the wave propagated in the lower focal sphere. Numbers refer to Table.



(fig.4 continued)

ある程度の逆断層成分を含むものの概ね横ずれ型が多い。深さの下限は 14 km 程度である。断層の東端の 54 番は深さ 2.7 km で正断層型に近いものである。この地震は有峰ダムの北東 10 km 辺りで発生したもので、跡津川断層沿いか飛騨山脈沿いかのいずれに属するか区別は困難である。73 番は跡津川断層より約 7 km 南の教河断層付近の地震である。38 番の牛首断層の地震は strike-slip 型である。41 番の富山平野南端八尾付近

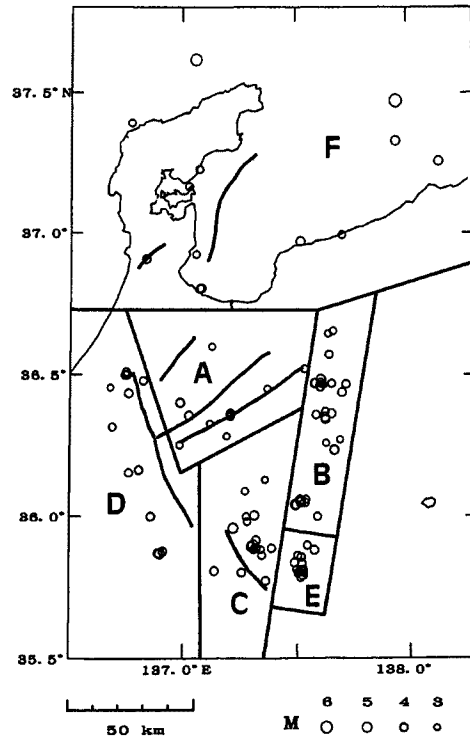


Fig. 5. Epicenters of earthquakes, whose mechanism solutions are obtained, are divided into six regions for discussion of tectonic stress. Active faults are also indicated by thick lines.

で起こった深さ 10 km の地震は正断層型のメカニズムを示している。この地域は他にも正断層の地震が発生しており¹¹⁾, その T 軸が他の地域の T 軸と直交しており注目される。

4.2. B 地域 (飛騨山脈)

B 地域は飛騨山脈地域で、北から剣岳、立山、烏帽子岳、槍ヶ岳、焼岳、乗鞍岳、鎌ヶ峯に至る地域で、御岳山付近は除いている。飛騨山脈は第四紀の間、隆起を続け高度 3000 m にも達する。隆起の原因の一つとしてマグマ活動によるものが有力視されており現在も火成活動と関係があると思われる群発地震の頻発する地域である。また、この地域は間欠的な群発地震が多いことと、活動の南北方向の往復移動現象も見られる。

この地域で起こる地震の深さは他の地域に比べ浅くメカニズム解の求められた地震のうち10番の立山、44番の剣岳の地震(いずれも深さ約 11 km 程度)を除くと 7 km より浅い。震源の深さの傾向としてアルプスの南へ行くほど浅くなり、乗鞍岳の南では 5 km 以下である。このように震源の深さが浅いのは飛騨山脈下では地殻が高温で流動的であり弾性的な破壊が起こらないことを示しているようである¹⁵⁾。

この図には震央はすべて示したがメカニズム解は一部記入を省略した。しかしここで起こる地震の異なった発震機構の型はすべて載せてある。44, 45は剣岳の地震、87~92は烏帽子岳の群発地震、1, 25, 101は槍ヶ岳の群発地震、37, 50, 93, 94は焼岳付近の地震、84~86, 95, 105は乗鞍岳南西の地震、13は鎌ヶ岳の地震である。10は立山の下の方の正断層型の地震である。また槍ヶ岳付近にも正断層型が見られる。しかし、 $M \geq 3$ の地震を見る限り全体として横ずれ型が卓越する。

火成活動の反映が発震機構型に変化を与えるかどうかを調べるため発震機構の深さ分布を Fig. 7 に示した。従来から言われているように飛騨山脈の南ほど横ずれ型と逆断層型が混在する傾向がある。正断層型の地震は横ずれ型と同じ T 型の方位をもち、南部の逆断層地域を除けば、張力場が支配していると考えても

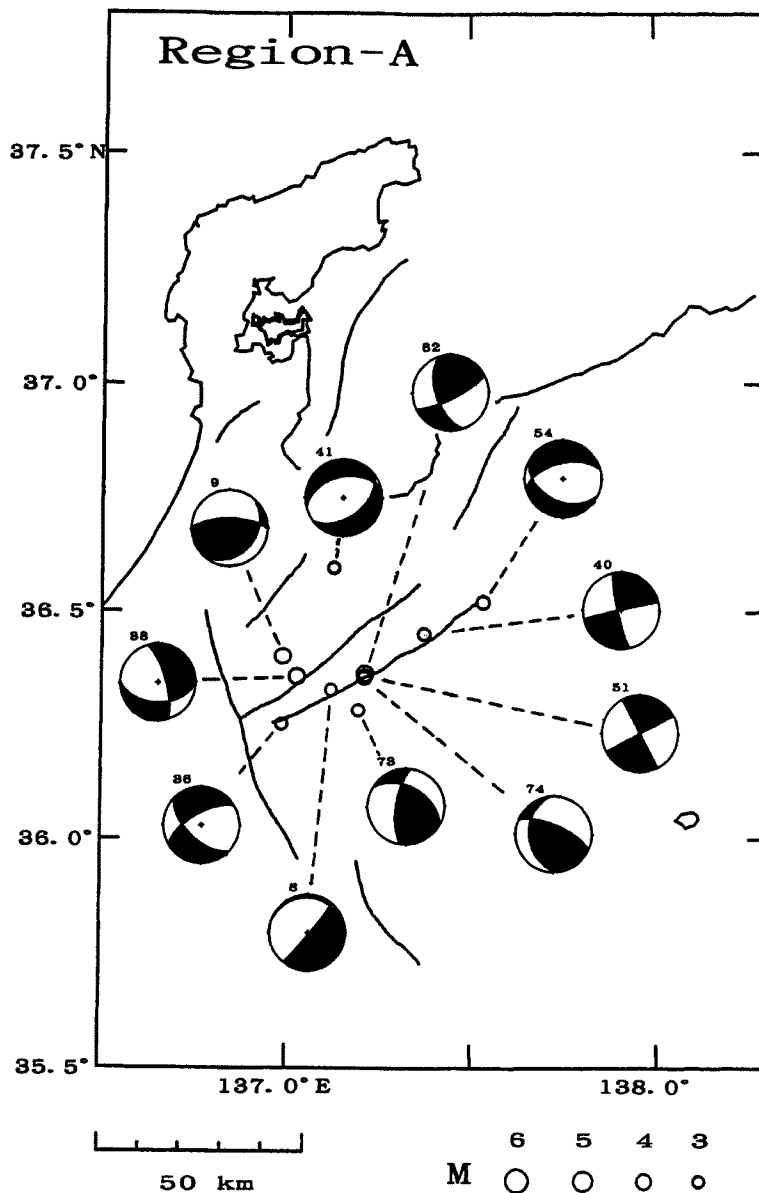


Fig. 6-1. Epicenters and focal mechanisms in region-A in Fig. 5. Mechanism solutions are indicated by equal area projection of lower hemisphere. Open and solid quadrants denote compression and dilatation, respectively. Active faults are also indicated by thick lines.

良い^{4),7)}。隆起に伴い上下の力が増し、正断層の場が張力場になるとか、山がある程度高くなると浮力の中心を越えるために、張力場になるなど考えられるが、浅い地震のメカニズムを精度良く求めるためには、地震の深さの精度をあげていく必要がある。

4.3. C 地域 (阿寺断層とその北部付近)

C 地域は高山市の南方から久々野、小坂、萩原をへて阿寺断層に至る地震の地域である。Fig. 1 の中部地方北西部の地震活動状況からもわかるように阿寺断層沿いには跡津川断層沿いとは対照的に地震が少ない。むしろ阿寺断層と共役な北東-南西方向の断層付近に M4 から 5 クラスの地震が多い。高山の南方から

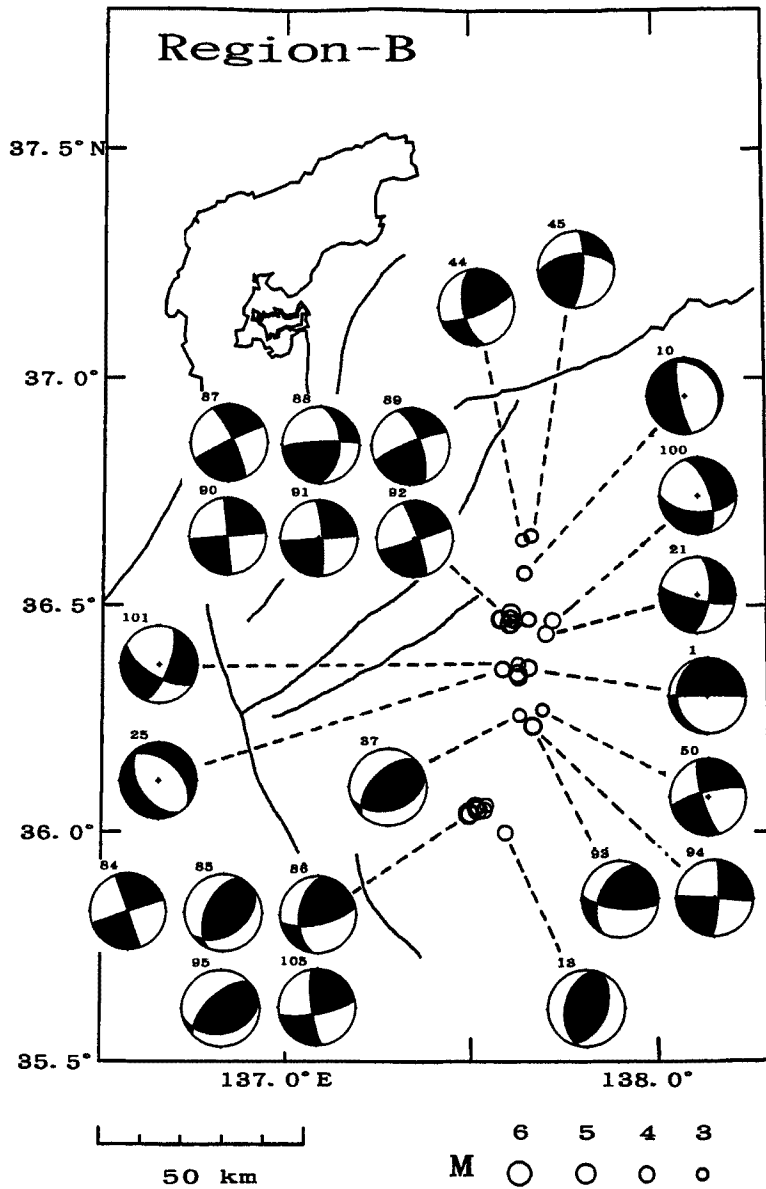


Fig. 6-2. Epicenters and focal mechanisms in region-B in Fig. 5. Notations are the same as in Fig. 6-1.

小坂にかけてはメカニズムは横ずれ型だが逆断層型も見られる。萩原の東方の地震は横ずれ型である。阿寺断層沿いの地震は今のところ $M \geq 3$ では逆断層、横ずれ、正断層型地震が見られる。1969年岐阜県中部地震の震源域に近い5番の地震は横ずれ型である。

4.4. D 地域 (御母衣断層付近)

D 地域は御母衣断層の北端から白山を経て美濃白鳥に至る両白山地沿いに起こる地震の地域である。御母衣断層北端付近の地震は断層に関係するのかわ、医王山の火山活動に関係するものなのか今のところはっきりしない。いずれにしてもこの付近に発生する地震のメカニズムは逆断層型に近いものである。跡津川断層や牛首断層が御母衣断層と交差する付近に発生する $M \geq 3$ の地震は現在の所起こっていないが、どのようなタイプの発震機構になるのかわ興味深いところである。31, 77番は白山直下の地震である。78番は大日岳直下の地

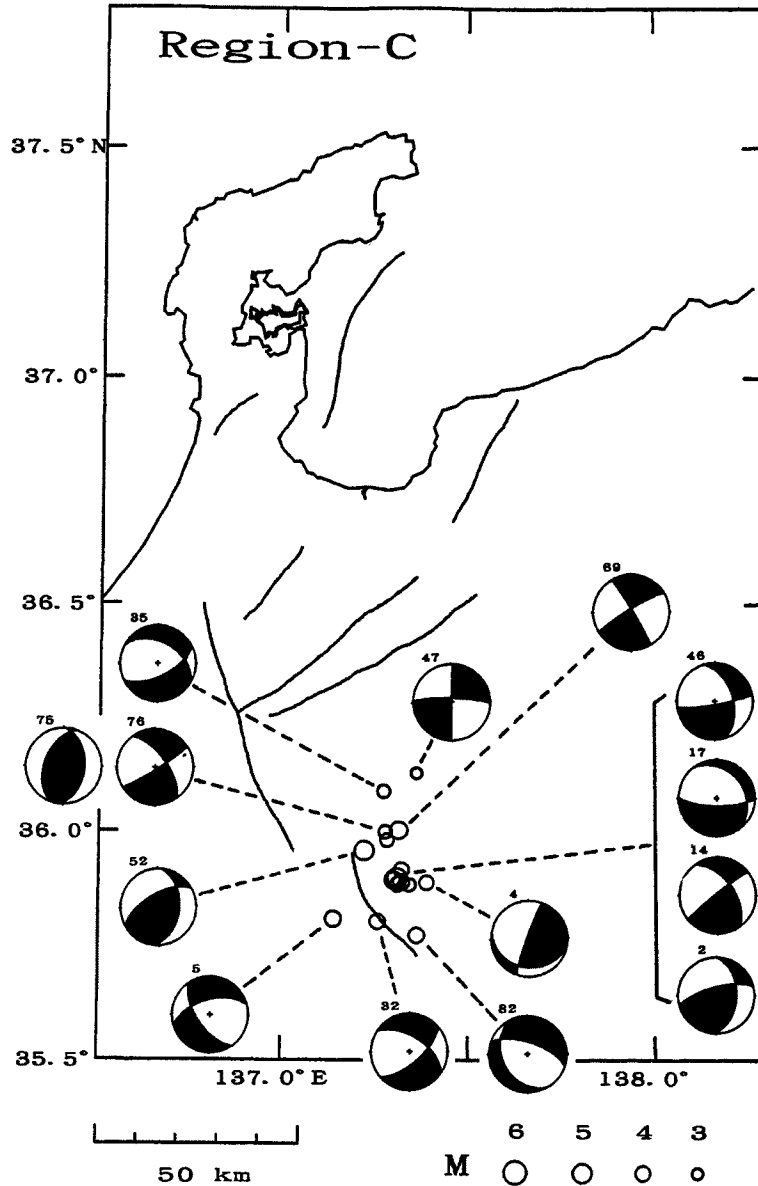


Fig. 6-3. Epicenters and focal mechanisms in region-C in Fig. 5. Notations are the same as in Fig. 6-1.

震である。16, 42, 43は白鳥近辺の地震でこの付近は北西—南東方向と東北東—西南西方向のリニアメントが推定されている場所に起きている。

4.5. E 地域（長野県西部地域）

E 地域は本来飛騨山脈に発生する地震のグループとして論じるべきものかもしれないが、1984年9月の長野県西部地震の震源域に属し、地震が多発しているため、一つの地震活動地域としてとらえた。ここには16個の震央をプロットしているがほとんどが長野県西部地震以前に発生したものである。なお、メカニズム解は紙面の関係でそのうち8個を採用したが、この地震群の中の異なる発震機構の型はすべて描いてある。横ずれ型が主流を占めるが逆断層型も見られる。

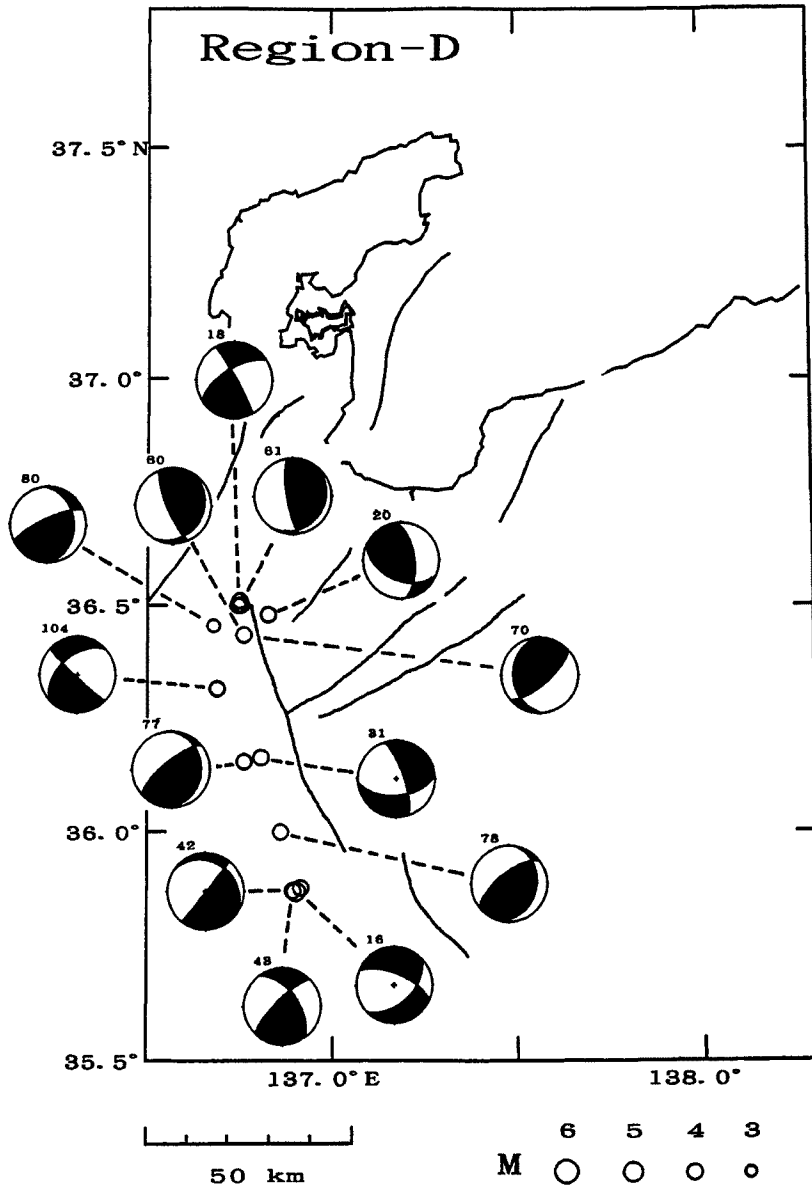


Fig. 6-4. Epicenters and focal mechanisms in region-D in Fig. 5. Notations are the same as in Fig. 6-1.

4.6. F 地域 (富山湾, 能登半島)

F 地域は能登半島, 黒部, 糸魚川, 上越地域と富山湾を含む日本海側に発生する地震の地域である。震源位置及びメカニズム解の決定精度は他の地域に比べると観測網からはずれるため少し悪くなる。今回対象とした中部地方北西部の中では, M5 クラスの地震が比較的多く発生する地域でもある。能登半島と富山平野周辺部の断層群は活動度が低いといわれているが⁶⁾, 58の地震は石動断層に関係するものと考えられる。

日本海沿岸の地震はこの地域を境に越後, 東北など北東側の逆断層と北陸, 中国地方など南西側の横ずれ型に変化するとされている¹³⁾。全体の傾向はそれでよいが, 両者はかなり入り交じって発生しているようである。

能登半島沖の56番の地震は三雲・他の報告では逆断層になっており, 今回の結果と矛盾する。三雲・他の方がデータが多いので信頼性がある。本報告作成中の1993年2月6日に能登半島沖で M6.6 の地震が56番の

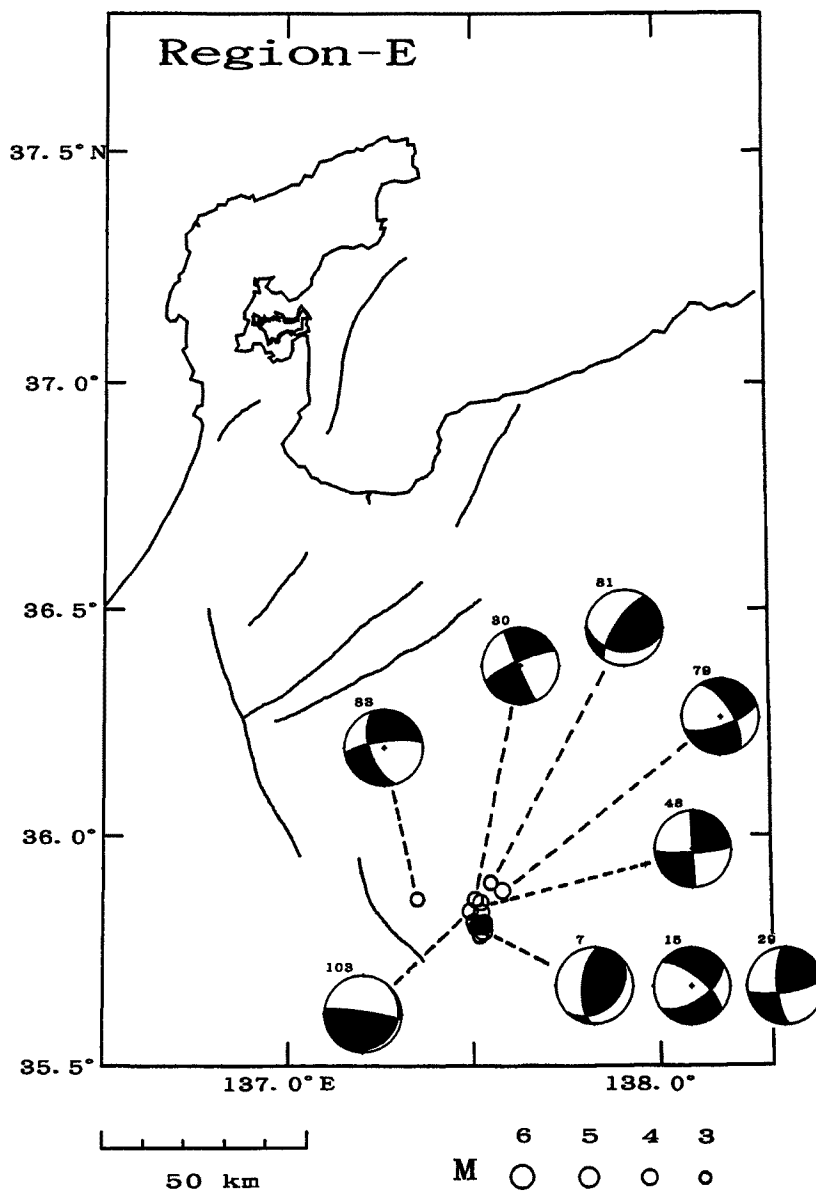


Fig. 6-5. Epicenters and focal mechanisms in region-E in Fig. 5. Notations are the same as in Fig. 6-1.

地震の東側に発生した。この本震のメカニズムは初動から求められる発震機構が横ずれ、CMT 解が逆断層である。これは断層運動の複雑な動きの反映の可能性もある。このようにこの地域の地震は複雑なメカニズムを示すが、観測網の密度が比較的荒いので、さらにデータを蓄積しないとこれ以上詳細議論はできない。

5. 考 察

Figs. 8, 9 は今回解析したメカニズムより P 軸および T 軸の方位を震央と共にプロットしたものである。また、Fig. 10 はそれらの頻度分布をローズダイアグラムにしたものである。これによると P 軸の卓越する方向は N60°W, N75°W および東西である。また、T 軸の卓越方向も N30°E, S15°W と 2 方向に見られる。この方向は地域的に変化しているようにも見えるが明瞭と言うわけではない。今度、さらに精度を上げてそ

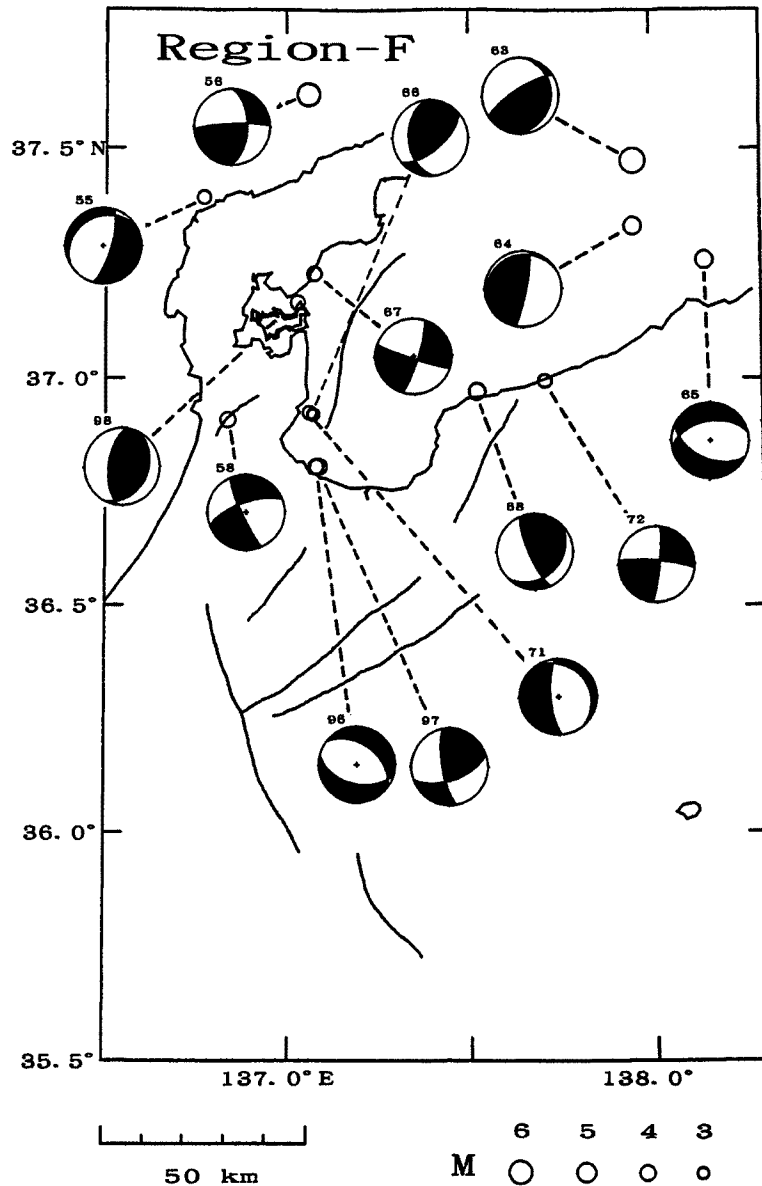


Fig. 6-6. Epicenters and focal mechanisms in region-F in Fig. 5. Notations are the same as in Fig. 6-1.

の変化を調べる必要がある。

Fig. 10 には M5 以上の震度が 5 個あるが、これらの P 軸の方向は $N42^{\circ}\sim 54^{\circ}W$ で良く揃っている。このことは大きな破壊はこの地方にかかるプレート運動による圧縮力方向を反映している。M の小さい地震は既存の断層面に規制されたり、破壊面の内部摩擦応力により必ずしも P 軸と 45° の角度には破壊しないと考えられる。

飛騨山脈地域等いくつかの正断層型のメカニズムが見られるが、浅い地震のメカニズムによる断層の型は構造や地震の深さに強く依存する。これらの議論には地殻の速度構造が重要である。また、初動方向だけでは小さい地震のメカニズムの決定は難しいので、振幅を用いて精度を上げる必要がある。

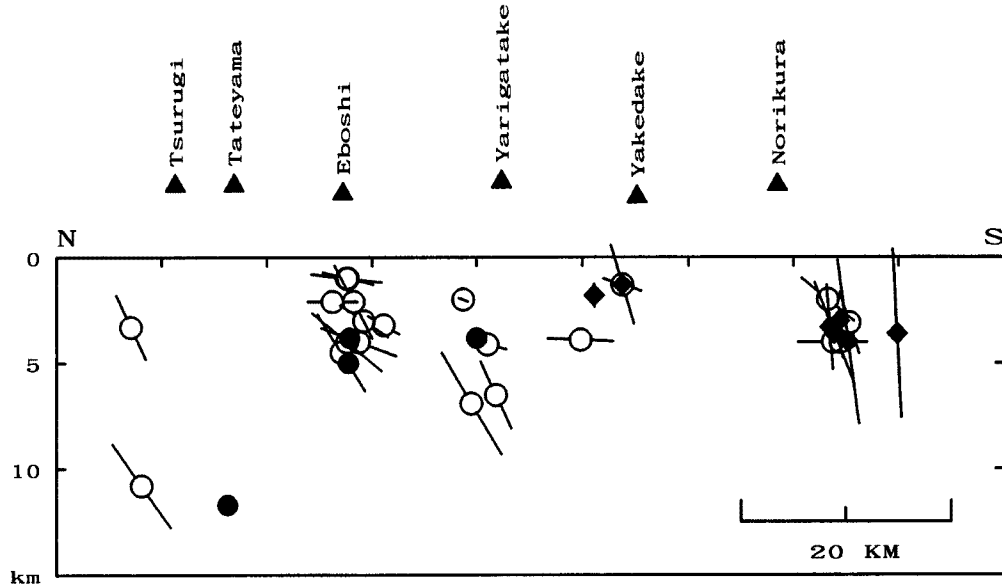


Fig. 7. Focal depths of events in the Hida Mountains (Region-B) projected onto a north-south depth section. Open circles, solid circles and diamonds show strike-slip, normal and reverse faults, respectively. Triangles denote major mountains. Projection of T-axes on the same plane are indicated for events with reverse and strike-slip faults.

6. おわりに

上宝観測所のメカニズム解を求めるためのデータを整理し、1977-1991年の間のメカニズム解を再決定し、それに基づいて広域応力場を議論した。応力場は地域的な変化をしていることは分かったのだがその詳細の把握のためにはさらに多くのデータが必要である。今後は振幅の併用などをすすめ、さらに小さな地震の発震機構を決定し議論を進める必要がある。さらに、これらのデータは、今後メカニズムの時間的な変化を追跡するための基礎データとして利用できる。地震発生場の時間的な変化の検出のためには、このようなデータを広範囲に集積していくことが重要である。

謝 辞

データを利用させていただいた東京大学信越微小地震観測所、和歌山微小地震観測所、名古屋大学高山地震観測所、同地震火山観測地域センター、京都大学防災研究所北陸観測所および総合処理解析室の関係者の方々に感謝します。メカニズム解の決定用プログラムは関東学院大学の前田直樹氏のものを改編して使用した。また、P、T 軸からスリップ・ベクトルを求めるプログラムは気象研究所の石川有三氏のものを改編して用いた。プログラムを利用させていただいた両氏にお礼申し上げます。

この研究の一部には文部省科学研究費重点領域研究(1)「内陸地震活動の総合的評価に関する研究」(研究代表者、東京大学、溝上 恵、課題番号04201113)を使用した。

参 考 文 献

- 1) Aki, K. and P. G. Richards: Quantitative Seismology, Theory and Methods, Vol. 1, W. H. Freeman and Company, 1980, pp. 105-107.

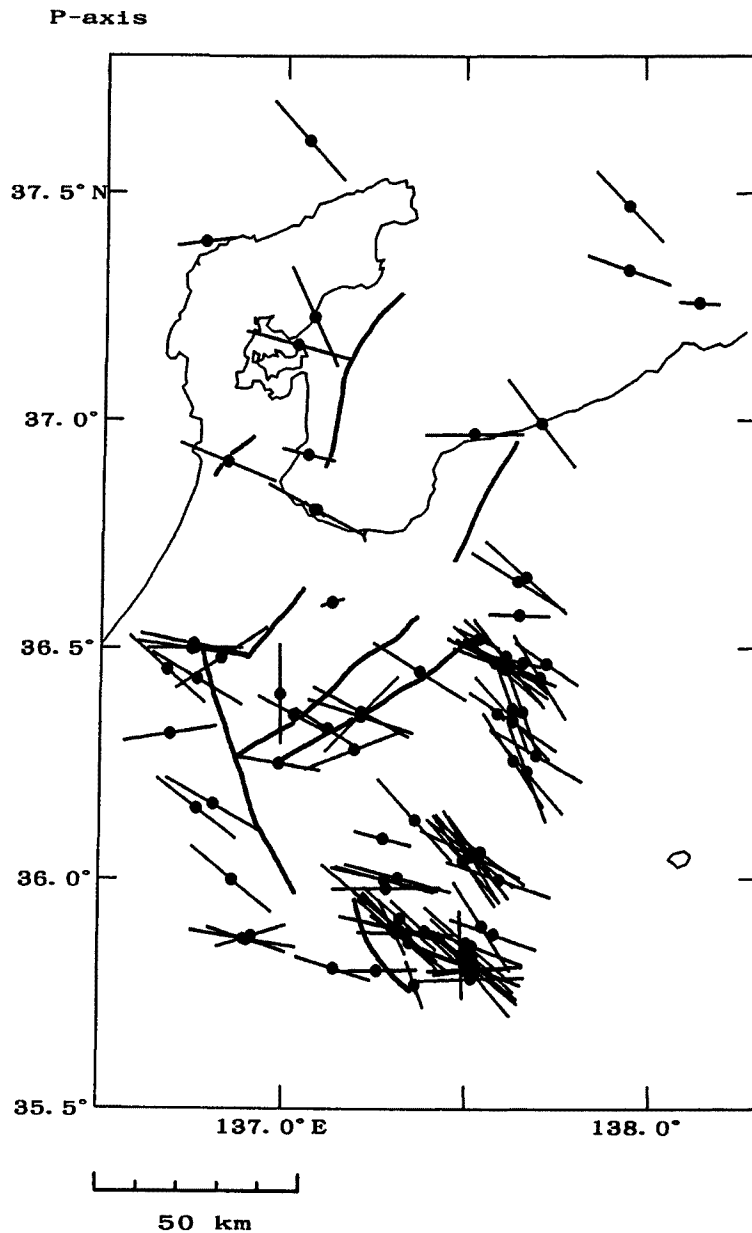


Fig. 8. Distribution of azimuths of P-axes.

- 2) 青木治三：Fourier 解析による地震メカニズム解，地震2，39，1986，251-256.
- 3) Fukao, Y. and M. Furumoto: Mechanism of Large Earthquakes Along the Eastern Margin of the Japan Sea, Tectonophysics, Vol. 26, 1975, 247-266.
- 4) Fukao, Y. and Yamaoka, K.: Stress Estimate for the Highest Mountain System in Japan, Tectonics, 2, 1983, 453-471.
- 5) 堀 貞喜・青木治三・大井田徹：御嶽山南東の群発地震の発震機構，地震2，35，1982，161-170.
- 6) 活断層研究会編：新編日本の活断層 分布図と資料，東京大学出版会，1991，pp. 1-437.
- 7) 川崎一朗・竹本 浩：北陸地方における地震の発生様式，月刊地球，第48巻，1983，pp. 377-384.
- 8) 前田直樹：地震群の発震機構の決定法—1987年5月28日京都大阪府境に発生した地震 (M 4.9) の余震

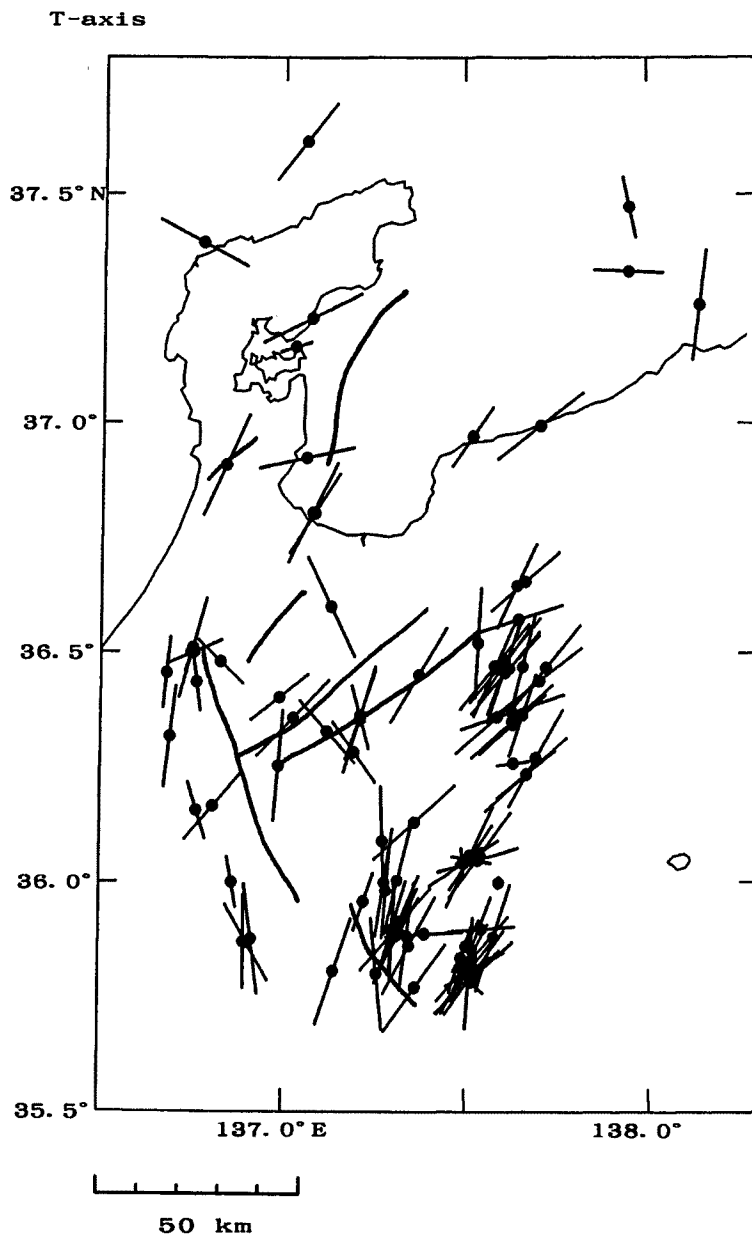


Fig. 9. Distribution of azimuths of T-axes.

について一，地震2，41，1988，323-333.

- 9) Maeda, N.: A Method of Determining Focal Mechanisms and Quantifying of the determined Focal Mechanisms for Microearthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 1992, 2410-2429.
- 10) 三雲 健：日本海の縁海地域の地震活動とメカニズムおよびテクトニクス，地学雑誌，99(1)，1990，18-31.
- 11) 三雲 健・小泉 誠・和田博夫：飛騨北部地方の地震活動．地震メカニズム及びテクトニクス，地震，38，1985，25-40.
- 12) 三雲 健・平原和朗・竹内文朗・和田博夫・佃 為成・藤井 巖・西上欽也：飛騨地方の上部3次元構造と活断層および地震活動，月刊地球，11，1989，90-96.

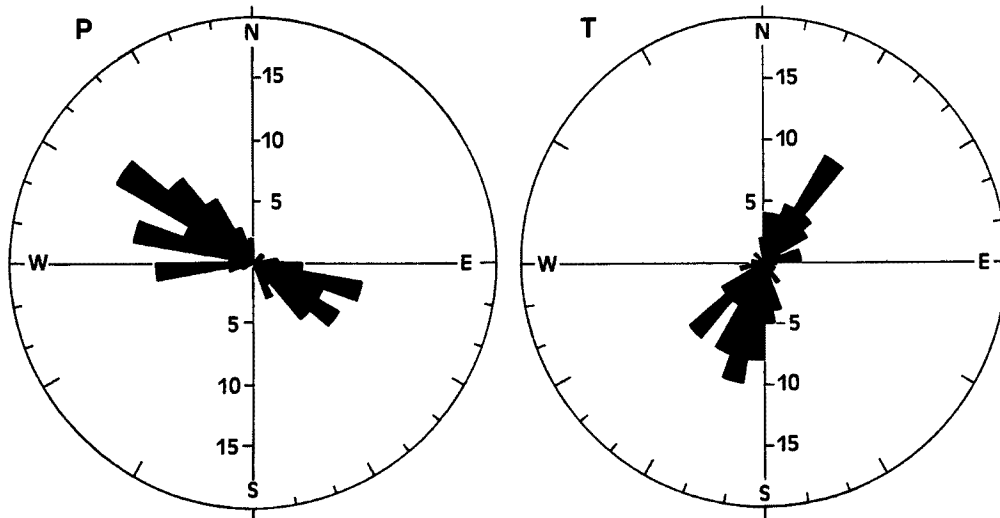


Fig. 10. Frequency distributions of azimuths of P- and T-axes.

- 13) 三雲 健・石川有三：日本海沿岸の地震と広域テクトニクス及び長期的地震予知，地震予知シンポジウム，地震学会，1987，259-269.
- 14) 三雲 健・和田博夫：跡津川断層と地震活動，月刊地球，5，1983，325-334.
- 15) Mikumo, T., H. Wada and M. Koizumi: Seismotectonics of the Hida region, Central Honshu, Japan, *Tectonophys.*, 147, 1988, 95-119.
- 16) 竹内 章：活断層のルーツ，月刊「地球」，Vol. 48, 1983, 373-377.
- 17) 佃 為成：跡津川断層の微小地震，月刊地球，5，1983，417-425.
- 18) 佃 為成・和田博夫：跡津川断層の微小地震，月刊地球，1991.
- 19) 和田博夫：跡津川断層付近における微小地震活動，第2報，地震，28, 1975, 113-124.
- 20) 和田博夫・岸本兆方：跡津川断層付近における微小地震活動，第1報，地震，27, 1974, 1-9.
- 21) 和田博夫・三雲 健：中部地方北西部の地震活動，京大防災研年報，18B, 1975, 35-45.
- 22) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨地方北部特に跡津川断層付近の地震活動と発震機構，地震，32, 1979, 281-296.
- 23) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨山脈下の最近の顕著な地震活動．地震，40, 1987, 270-274.
- 24) 和田博夫・三雲 健・小泉 誠：飛騨地方北部，能登半島および富山湾周辺の最近の地震活動．京大防災研年報，33, 1990, 57-74.
- 25) 渡辺邦彦：微小地震活動とその周辺—跡津川断層を眺めて—，月刊地球，5，1983，404-410.
- 26) 山崎謙介・田村尚志・川崎一朗：日本海に発生する浅発小地震の発震機構，地震2，38, 1985, 541-558.