

飛驒地方北部の地震活動，地震メカニズム 及びテクトニクス

京都大学防災研究所 三雲 健・小泉 誠
京都大学防災研究所 和田 博夫
上宝地殻変動観測所

(昭和 59 年 10 月 29 日受理)

Seismicity, Focal Mechanism, and Tectonics in the Northern Hida Region, Central Japan

Takeshi MIKUMO and Makoto KOIZUMI

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Hiroo WADA

Kamitakara Geophysical Observatory

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(Received October 29, 1984)

Seismicity and focal mechanism of earthquakes in the northern Hida region, central Japan, are closely investigated, and seismo-tectonic features of this region are discussed, mainly on the basis of five years' data obtained at seismic network stations of the Kamitakara Geophysical Observatory in cooperation with some other observatories.

More than 5,800 earthquakes with magnitudes greater than 0.5 have been located. It was found that high seismicity is concentrated along the Atotsugawa fault and around the Ushikubi and Mozumi faults, all of which are typical, Quaternary active faults in this region, and just beneath the Hida mountain range, which is highest in the Japan Islands. Also noticeable is relatively high seismicity around conjugate sets of minor faults northeast of the Atera fault, and in the southwest part of the Toyama plain.

Most of larger earthquakes along and around the Atotsugawa fault indicate strike-slip type mechanisms consistent with right-lateral slip motion that had been continued since Quaternary ages. Earthquakes at shallow depths beneath the northern part of the Hida mountains also show strike-slip mechanisms with a nodal plane nearly parallel to the axis of the mountain range, and sometimes with a small component of normal faulting. In the southern part of the mountains southeast of Mt. Ontake, however, two different types of earthquakes, one with strike-slip, another with reverse faulting, are concentrated in a limited area, suggesting complex structures there. All earthquakes northeast of the Atera fault indicate strike-slip mechanisms.

The maximum pressure axes (P-axes) derived from these focal mechanism solutions are found to be oriented nearly in the ESE-WNW direction ($N60^{\circ}-80^{\circ}W$) over the northern Hida region, but with small, counter-clockwise local deviations in some areas. The direction is parallel to those inferred from the conjugate sets of Quaternary faults in this region and

derived from geodetic triangulation surveys, and is also consistent with the direction of relative motion between the Pacific and Eurasian plates rather than between the Eurasian and North American plates. This suggests that the northern Hida region including the Hida mountains appears strongly subjected to the tectonic compressive stress due to the plate movements.

§1. まえがき

飛騨地方北部特に跡津川断層付近の地震活動と主な地震の発震機構については、われわれは先に、1977年5月から1978年12月までの京都大学防災研究所上宝地殻変動観測所の観測結果をもとに議論を行ない、この結果、この周辺に関してはある程度詳しい状況が明らかになって来た [和田・三雲・小泉 (1979)]。この地域ではその後1980年3月までに、富山県福光町にさらに1観測点が増設され、また名古屋大学高山地震観測所との間のリアル・タイムによるデータ交換によつて高山、焼岳、高根3観測点のデータを加え、現在では合計7観測点の観測が行われている。このような観測網の充実によつて、この地域の微小地震の検知能力と震源決定精度は飛躍的に向上し、この結果跡津川断層周辺のみならず、富山平野の一部を含み飛騨地方北部一帯にわたる地震活動の状況を把握できるようになった。

この論文では、上宝地殻変動観測所のテレメータ観測が開始されて以来1982年6月迄の約5年間の観測データにもとづいて、飛騨地方北部一帯の地震活動のほか、主として各地域に起つた主な地震のメカニズム、及びこの地方に分布する主要な活断層や飛騨山脈との関連などテクトニクスについて考察することとする。

§2. 地震活動

Fig. 1 は1977年5月より1982年6月までの間に決定出来た $M \geq 0.5$ の地震約5,800個の震央分布を示す。震源決定に際して基礎とした地殻構造及び震源決定の方法は前報 [和田・他 (1979)] と同様であるが、1980年3月までは3観測点のデータにより、それ以降は最も多い場合7観測点のデータによつた。震源決定精度は、P波到着時の観測精度と計算上の走時平均残差等を考慮すると、観測網の中心から半径25 km程度以内では水平方向で ± 1.0 km 以内、深さ方向で ± 2 km 以内、半径50 km以内ではそれぞれ ± 1.5 km 以内、 ± 3 km 程度と見積られる。Fig. 1の震央を表わす円の大きさは、地震のマグニチュード別を示し、大きさの順に $M \geq 4.0$, $3.0 \leq M < 4.0$, $2.0 \leq M < 3.0$, $1.0 \leq M < 2.0$, $M < 1.0$ の5段階に分けた。このマグニチュードは上宝観測点で観測された地震波の F-P 時間より決定したものである。

Fig. 1 から明らかな地震活動の特徴は次の通りである。

(1) 跡津川断層沿い (I) の地震活動は時間的にはほぼ定常的でかなり活発である。この活動は空間的には一様ではなく、断層東部の黒部湖北方-立山-有峰湖西端と、西部の菅沼-天生峠の間で活発で、中央部の有峰湖-菅沼間で低いことが前回の結果よりさらに明瞭となつて来た。この活動度の違いが何に原因するかは興味のあるところであるが、この問題は1858年安政飛騨地震の発生機構に関連して、別に詳しく議論されている [三雲・和田 (1983); Mikumo *et al.* (1985)] のでここでは触れない。断層東端の活動は(3)に述べる飛騨山脈下の地震活動に連なり境界が必ずしも明瞭ではない。一方、活動の西端は天生峠を越え白山東方まで達していると見ることも出来る。この断層沿いに発生する地震の深さは16 kmより浅い。

(2) 跡津川断層北側にほぼ平行する牛首・亀谷断層周辺 (I) では、前者の場合のように断

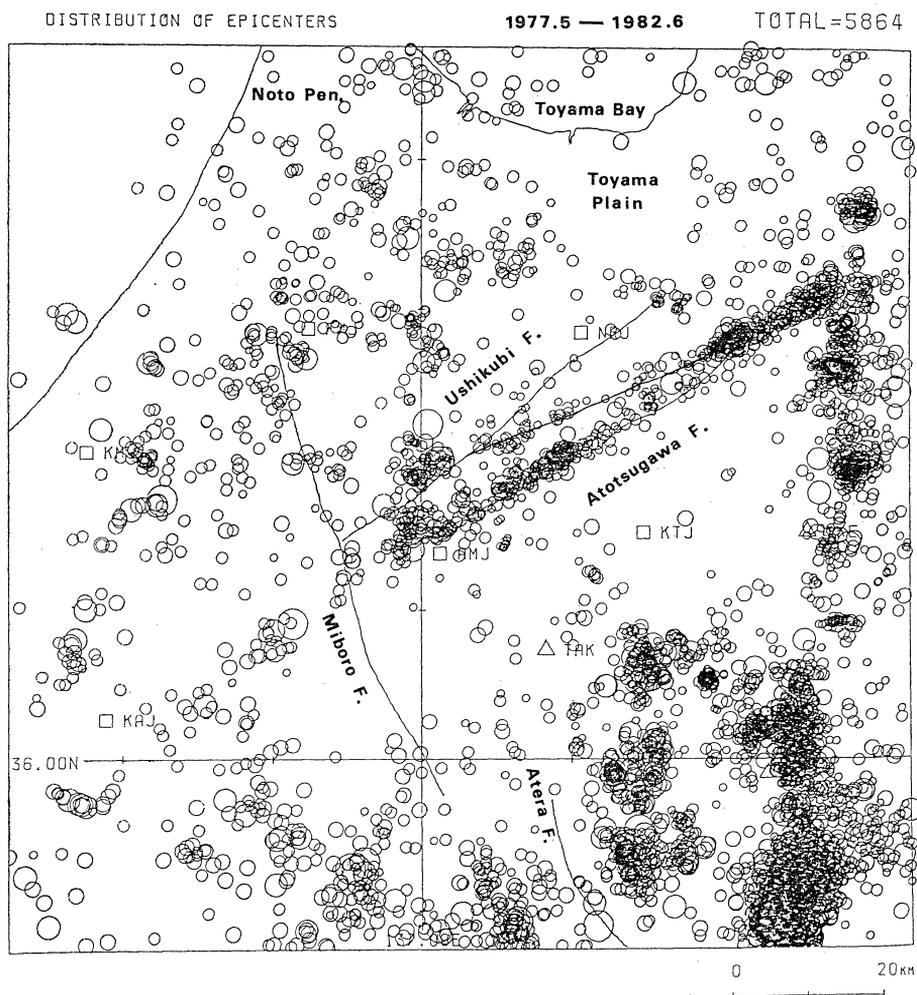


Fig. 1. Seismicity in the northern Hida region during the five years' period between May, 1977 and July, 1982 (KAMITAKARA GEOPHYSICAL OBSERVATORY, 1983). Epicenters are denoted by five different sizes according to their magnitudes; $M \geq 4.0$, $3.0 \leq M < 4.0$, $2.0 \leq M < 3.0$, $1.0 \leq M < 2.0$, and $M < 1.0$. Squares indicate the location of seismograph stations. Thin lines indicate major active faults in this region.

層全体に沿う活動は見られないが、西端部の北側ではかなり活発な活動がある。この牛首断層西部から跡津川断層東部の間を斜めに走る茂住(祐延)断層に沿っても活動が見られ、有峰湖北側の活動は跡津川断層沿いというより、この茂住断層東部に関係しているように見える。

(3) Fig. 1に見られるように、飛騨山脈直下には北から南へ伸びる比較的活発な地震活動がある(II)。特に剣岳、立山、鳥帽子岳、槍ヶ岳付近では $M=3 \sim 4$ 程度の地震を含む群発

活動が 1978 年以来繰返し間けつ的に発生していることが注目される。この南側の乗鞍岳南方ではかなり広範囲にわたって定常的活動が見られる。さらに南の御岳山東南方(III)では、1976 年以来群発地震活動が始まったが、1978 年 5 月以後活発化し、1979 年 10 月 28 日の御岳山の噴火以後もなお活動が継続している¹⁾。飛騨山脈中には御岳山のほか、乗鞍岳、焼岳、鷲羽岳、立山などの火山を含むため、上記の地震活動が火成活動にも関係するものか、あるいは構造性のものか興味を持たれる。震源の深さの下限は跡津川断層付近の地震よりかなり浅く、鳥帽子岳より南方では約 8 km、これより北方立山付近までは約 12 km 程度である。

(4) 高山東方から飛騨小坂を経て萩原付近まで南へ伸びる地域 (IV) でも地震活動は高く、 $M=4\sim 5$ のこの地方としては比較的大きい地震がかなり頻繁に発生している。この活動はこの地域に多数分布する阿寺断層に共役な小断層に関係したものと思われる。阿寺断層北部ではごく稀に活動があるが、一般的にはこの断層に沿う活動は以前から著しく低い [伊神・他 (1972)]。この断層の西側では 1969 年岐阜県中部地震 ($M=6.6$) の余震が畑佐断層 [恒石 (1976)] に沿って引続いて発生しており、これよりさらに西側の美濃白鳥付近 (VI) でもかなりの地震活動が見られる。

(5) 富山平野の西部 (V) でもある程度の地震活動があり、この地域の高清水、法林寺、石動などの活断層 [藤井・竹村 (1979)] の周辺に発生しているように見える。また御母衣断層北部周辺にもある程度の活動があるが、この断層に関係するものかどうかは今のところよく分らない。

(6) 跡津川断層と飛騨山脈および高山東方の活動で囲まれる三角地帯では、地震活動は著し

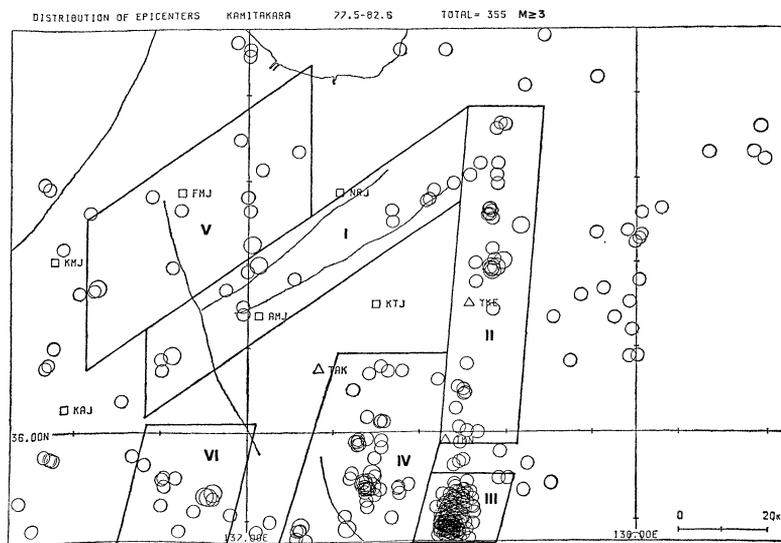


Fig. 2. Distribution of epicenters of local earthquakes with magnitudes greater than 3.0. High seismicity regions are marked by Regions I~VI, where focal mechanisms are discussed.

1) この原稿執筆中の 1984 年 9 月 14 日に $M=6.8$ 及び翌 15 日には $M=6.2$ のこれまでの最大規模の地震が発生し、活発な余震活動が続いている。

Table 1. Locations and focal mechanism solutions of the earthquakes determined in this study.

Y	Origin time (JST)					Hypocenter			M	Plane A		Plane B		P-axis		T-axis		NS
	M	D	H	M	S	X (km)	Y (km)	Z (km)		Dd (°)	Da (°)	Dd (°)	Da (°)	S (°)	P (°)	S (°)	P (°)	
(I) ATOTSUGAWA, USHIKUBI F.																		
1977	Oct.	8	20:20	07.66	43.3	57.6	12.8	3.2	153	70	242	90	285	14	20	14	19	
	Nov.	29	07:29	18.29	40.8	55.9	10.4	3.1										
1978	Mar.	18	00:36	43.44	-19.9	17.4	4.9	3.6	321	64	62	68	100	2	194	36	18	
	Aug.	27	20:30	10.85	10.9	36.3	8.1	3.1	182	50	74	68	301	46	43	10	11	
	Sep.	16	04:55	36.73	-5.0	33.9	6.8	3.8	324	86	144	4	324	40	144	49	20	
1979	Apr.	19	05:25	58.39	47.8	59.1	8.6	3.8	156	76	249	80	291	4	22	18	17	
1980	Jul.	15	11:37	26.20	-17.3	18.2	2.8	4.0	153	40	262	73	288	21	43	45	28	
1981	Apr.	7	12:04	30.99	-1.1	28.0	4.8	3.1	63	82	329	60	104	15	202	27	21	
	Jun.	17	23:47	01.73	2.5	39.6	2.9	4.3	152	82	242	80	107	1	17	12	30	
	Jul.	24	01:43	18.74	33.5	50.1	13.7	3.2	170	81	261	79	126	0	36	13	17	
1982	Jan.	16	09:12	24.78	42.3	55.5	2.5	3.1	151	80	247	60	114	13	14	29	12	
	Jan.	21	20:30	07.24	-1.1	29.8	7.5	3.2	151	43	54	82	271	38	23	24	17	
1983	May	23	02:04	16.05	19.0	39.3	3.0	3.5	333	83	241	82	108	11	18	1	19	
1984	Aug.	21	23:50	44.81	48.1	58.0	2.7	3.5	158	82	253	60	119	14	21	27	38	
(II) HIDA RANGE																		
1978	Mar.	3	01:33	05.33	59.1	40.5	6.9	4.2	348	82	256	70	125	20	31	8	18	
	Jul.	7	02:17	01.55	53.9	63.7	8.7	3.1	78	48	188	70	322	46	218	13	18	
	Nov.	8	13:41	58.17	58.0	63.7	11.7	3.7	355	50	243	64	113	50	213	8	19	
1979	Jan.	14	22:04	42.60	53.5	0.1	3.6	3.8	153	80	246	78	296	0	19	16	23	
	May	23	20:30	09.40	63.2	48.9	3.2	4.1	168	46	261	88	296	28	49	29	21	
	Jul.	22	17:33	20.35	52.9	40.0	3.8	3.9	10	69	248	36	152	55	32	18	28	
	Jul.	22	17:41	21.54	56.5	39.0	4.1	4.4	7	76	100	78	144	2	235	19	29	
	Sep.	17	02:10	57.08	55.8	51.8	2.1	3.6	357	83	93	40	327	27	213	38	31	
	Oct.	7	20:37	03.33	56.7	38.2	6.5	4.3	167	76	260	78	304	2	34	19	29	
	Oct.	8	00:28	42.39	57.7	39.0	4.1	4.1	163	90	255	72	119	0	29	16	32	
1981	May	11	13:46	36.85	56.9	28.9	1.8	3.3	317	58	175	36	332	11	93	69	18	
	Dec.	30	20:35	41.76	57.6	71.9	10.8	3.3	157	60	48	58	285	45	192	3	25	
1982	Feb.	3	08:44	14.39	59.6	72.9	3.3	3.4	349	52	95	70	129	11	229	42	25	
	Dec.	18	02:53	44.17	62.5	30.2	3.9	3.2	165	48	257	88	292	26	40	30	26	
1984	Jun.	9	22:08	38.59	59.0	52.3	5.0	3.7	346	30	216	70	67	59	199	21	40	
(III) SOUTH OF Mt. ONTAKE																		
1978	Aug.	11	15:21	57.76	47.8	-20.8	3.3	3.9	122	62	279	30	114	16	327	71	20	
	Aug.	11	15:46	05.29	46.8	-21.0	3.3	4.1	112	34	270	58	278	12	58	73	23	
	Dec.	18	06:20	07.12	45.2	-20.7	3.1	3.9	148	52	255	68	289	10	29	44	23	
1979	Jan.	8	18:47	57.86	47.8	-21.5	10.2	4.1	135	76	254	22	119	30	336	53	27	
	Feb.	11	23:40	16.37	46.3	-21.8	13.9	3.9	140	50	47	86	265	30	11	24	24	
	May	31	00:11	29.57	45.7	-22.1	3.7	4.0	99	21	232	76	243	27	32	56	18	
	Jun.	27	07:37	49.57	46.7	-24.0	8.4	3.9	106	54	238	46	84	4	346	64	20	
	Jun.	28	21:29	07.96	47.5	-22.8	3.1	4.8	177	86	269	60	138	16	40	22	31	
1980	Jan.	7	20:15	14.27	47.6	-21.6	4.0	4.5	165	84	262	46	134	26	23	34	26	
	Jun.	13	00:39	17.41	46.9	-16.0	2.3	4.0	338	84	245	64	115	22	19	14	27	
1982	Jun.	9	10:52	07.73	47.1	-18.3	2.0	4.1	353	73	261	84	126	16	219	7	32	
	Aug.	8	01:15	18.06	45.5	-15.3	0.0	3.9	74	78	305	17	85	32	238	55	21	

Table 1. Continued

Origin time (JST)						Hypocenter			<i>M</i>	Plane A		Plane B		P-axis		T-axis		NS
Y	M	D	H	M	S	<i>X</i> (km)	<i>Y</i> (km)	<i>Z</i> (km)		Dd (°)	Da (°)	Dd (°)	Da (°)	S (°)	P (°)	S (°)	P (°)	
(IV) TAKAYAMA—HIDA-OSAKA																		
1978	May	12	15:29	53.70	29.1	-12.3	18.1	4.2	337	70	89	44	309	14	201	49	23	
	May	28	23:30	27.87	25.7	-2.1	8.2	3.6	130	78	226	63	91	10	355	28	22	
	Jul.	3	13:10	41.59	35.2	-12.5	6.4	3.8	10	56	259	60	134	48	225	2	23	
	Aug.	1	10:15	13.81	12.7	-21.5	16.8	4.2	158	86	66	82	239	12	201	5	23	
1979	Jan.	16	21:04	55.02	27.2	-11.9	10.8	4.4	319	65	58	71	98	4	191	31	27	
	Mar.	17	19:11	41:51	27.1	-11.4	10.0	3.9	158	75	61	66	292	30	198	7	25	
	Mar.	24	19:15	17:83	27.2	-11.4	9.9	4.0	149	87	58	74	286	13	193	9	23	
	Oct.	16	02:57	20.47	35.9	14.5	5.5	3.5	334	65	65	88	106	15	202	19	24	
1980	Aug.	20	08:32	46.82	23.4	-22.0	15.9	4.0	137	90	47	38	285	32	167	34	29	
	Sep.	16	05:48	58.09	28.1	-11.3	11.8	5.1	340	87	70	70	298	11	203	16	30	
	Dec.	16	06:49	52.13	30.9	-13.0	7.9	3.5	327	84	62	40	297	28	182	37	26	
1981	Mar.	5	05:25	43.34	24.7	9.9	6.8	3.4	134	84	33	29	287	44	157	33	22	
	Jul.	1	07:15	58.65	29.1	-9.4	10.7	4.1	337	83	69	63	295	13	198	23	31	
1982	Apr.	12	04:06	18.74	28.2	-12.9	11.2	3.9	171	89	81	48	315	28	208	27	35	
	Jun.	2	09:56	40.26	32.6	14.4	2.8	3.0	346	48	96	70	127	14	232	45	21	
	Jul.	12	05:09	19.52	23.0	8.1	6.6	3.6	330	76	74	45	299	17	192	41	25	
1983	Oct.	6	14:20	35.50	20.1	-4.7	3.0	5.0	332	58	88	54	302	2	210	52	24	
(V) NW. REGION																		
1976	Feb.	22	11:44	53.80	-3.9	69.6	14.0	4.2	20	60	232	35	160	70	33	12	33	
1978	Oct.	2	04:54	06.51	-0.9	44.6	4.0	4.0	8	80	158	11	4	35	196	54	22	
1979	Mar.	18	15:06	27.93	-22.2	56.6	13.8	3.9	330	63	59	88	101	16	197	20	22	
	May	5	06:02	28.32	-15.4	53.3	5.0	3.9	90	49	231	45	71	3	332	70	17	
1980	Sep.	27	21:30	37.07	-34.7	34.4	10.0	4.1	333	80	237	53	114	32	11	18	24	
1981	Jun.	13	07:48	49.94	0.4	52.9	7.7	3.6	324	55	85	53	296	1	208	54	23	
	Aug.	10	12:28	13.24	11.8	66.6	10.0	3.1	299	53	170	50	58	61	325	2	16	
(VI) SW. REGION																		
1979	Mar.	9	19:53	13.49	-7.7	-13.7	14.3	4.0	125	62	29	78	254	29	350	10	19	
1981	Sep.	3	06:28	40.90	-8.8	-14.6	16.3	4.8	117	72	22	72	250	26	160	1	28	
	Sep.	3	06:43	02.52	-9.6	-14.4	16.6	4.1	314	59	215	73	81	35	177	8	25	

(I)~(VI): Six regions mentioned in the text; Hypocenter locations are given by the Cartesian coordinate with an origin point at $\varphi=36^{\circ}.00N$ and $\lambda=137^{\circ}.00E$; *M* indicates local magnitude estimated from S-P time at the the Kamitakara Geophysical Observatory; Focal mechanism solutions are given by Dd (dip direction) and Da (dip angle) for two nodal planes A and B, and by S (strike) and P (plunge) for the P- and T-axes; NS is the number of observations used for the focal mechanism solutions.

く低い。また富山平野中部も低活動域である。

§ 3. 地震のメカニズム

次に上に述べた飛騨地方北部の地震活動がどのような地殻応力によつて発生しているかを明らかにし、この地方のテクトニクスを議論する。Fig. 1 のうち比較的大きい地震 ($M \geq 3$) を選び地震活動の分布を考慮して、これを Fig. 2 のように I~VI の 6 地域に分け、各地域毎にこれらの地震の発生メカニズムを求めた。ここで用いたデータはこの地域の各大学微小地震観

測網で観測されたP波初動であつて、メカニズム決定の方法は先の場合 [和田・他 (1979)] と同様である. このようにしてメカニズムを決定出来た地震は総数 66 個に上るが、これらのパラメタを Table 1 に示した. NS は各地震のメカニズムの決定に用いた観測データ個数である. Fig. 3 はこのうち各地域の地震の代表的なメカニズム・ダイアグラム (ウルフ・ネット下半球投影) を示す. これらの場合、観測データはいずれも 30 点を超え、2つの節面の決定精度は非常に良いことが明らかである. また各地域毎の地震の位置とメカニズムは Fig. 4~9 に示される.

(I) 跡津川, 牛首, 茂住の各活断層に沿つて発生した 14 個の地震のうち、12 個の地震は **strike-slip** 型のメカニズムを示し、断層東部と西部で顕著な差は見られない. ENE-WSW 方向に近い一方の節面の走向はいずれもその場所の断層の走向にほぼ一致している (Fig. 4). (ただ 1978 年 8 月の地震については一致の度合は良くないが、この決定の精度には多少問題がある). この方向の節面をこれらの地震の断層面と考えれば、この面に沿うスリップ方向は右横ずれを示し、地質学的に推定される断層の運動方向 [松田 (1966)] と調和的である [三雲・和田 (1983)]. このことはこれらの地震が、長期間の断層運動を生じさせたのと同じ応力の下で、上の断層面に沿つて起つた小破壊であることを示唆している. 跡津川断層西方延長上の白山付近に起つた地震もほぼ同じ型のメカニズムを示している. 牛首断層西部に起つた 1 個の地震のみは例外的に北西側隆起の高角逆断層型である. 考えられる理由の 1 つは、この断層西端が共役な御母衣断層で遮られ、後者の左横ずれ運動 (東側で NNW 方向) による圧縮力の影響を受けているためかも知れない.

(II) 飛驒山脈下の剣岳南方より立山, 檜ヶ岳を経て乗鞍岳南方に発生した 14 個の比較的浅い地震のメカニズムを Fig. 5 に示す (これらのうち 1979 年の 7 個地震は FUKAO and YA-

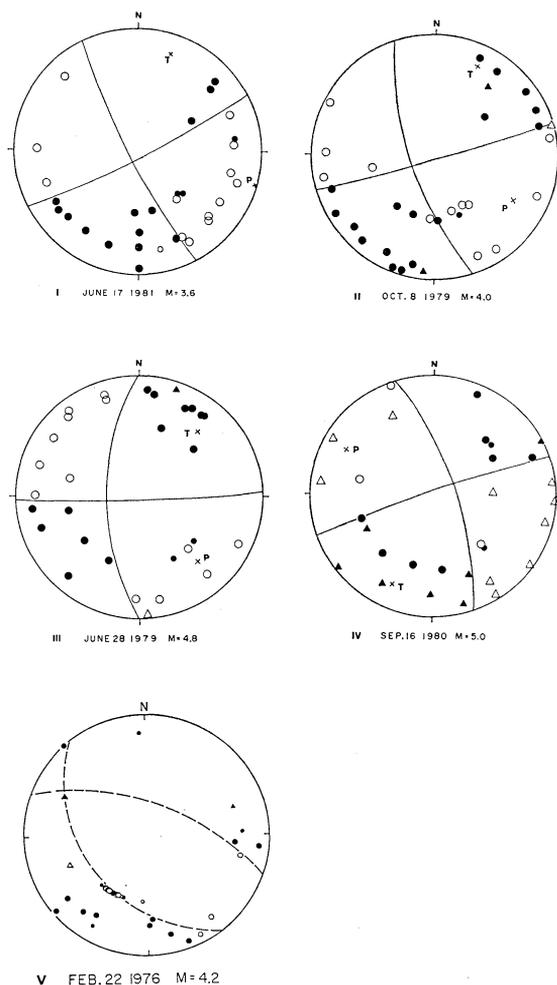


Fig. 3. Examples of the focal mechanism solutions for earthquakes that occurred in Region I~V, which are projected onto the lower hemisphere of the Wulff net.

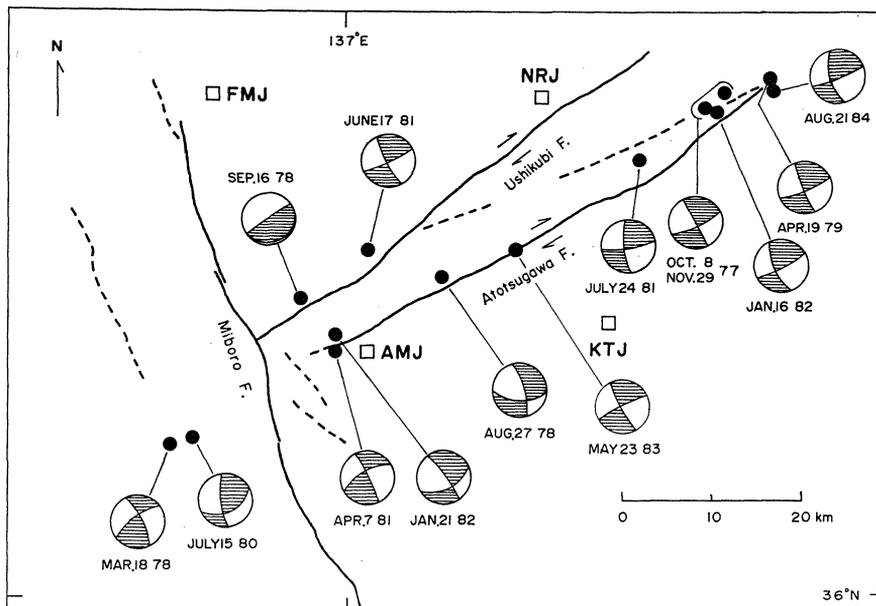


Fig. 4. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred along and around the Atotsugawa fault in Region I.

MAOKA (1983) が対象としたものと同じ地震である). このうち 1981 年 5 月の焼岳付近の 1 つの逆断層型地震を除いては, 大部分が **strike-slip** 型のメカニズムを持つが, ある程度の正断層成分を含むものも認められる. **strike-slip** 型の地震の一方の節面は山脈軸の方向に比較的近い. しかしこの山脈に沿っては明瞭な活断層は現在のところ認められていない. 一方, 上のメカニズムから推定される最大圧縮力の方向はほぼ ESE-WNW の方向である. したがってこれらの飛騨山脈下の浅い地震は第一義的には, この方向に働く最大圧縮によつて山脈下にエッシュロン状の小断層を作つたために発生したと考えるのが自然と思われる. しかし前にも述べたように, 飛騨山脈中にはいくつかの火山が含まれるので, 火成活動によつて何らかの影響を受けている可能性も否定出来ない. これに関しては後でさらに議論する.

(III) 飛騨山脈南端の御岳山南方の 12 個の地震のメカニズムを Fig. 6 に示す. この地域の地震のメカニズムはすでに堀・他 (1982) が詳しく議論しているが, 今回の調査でもその北方の飛騨山脈下の地震の場合のような規則性は見られず, **strike-slip** 型と逆断層型とが混在しており, この傾向は堀らの結果と大体一致する (このうち 2 個の地震のみが堀らの Fig. 10 に含まれるものと同じ地震である). これらの地震に対する最大圧縮力の方向は (II) の場合の ESE-WNW よりやや E-W 方向に近く, 特に逆断層型地震にその傾向が見られる. このように両方の型のメカニズムが混在することは, この地域の構造特にその破砕度が複雑で, 種々の方向と傾斜を持つ既存の小断層が多く存在する可能性が考えられる²⁾.

2) 1984 年 9 月 14 日に発生した $M=6.8$ の地震のメカニズム [気象庁 (1984); 名古屋大学 (1984)] は **strike-slip** 型で節面の方向は 1980 年 1 月のそれに近い.

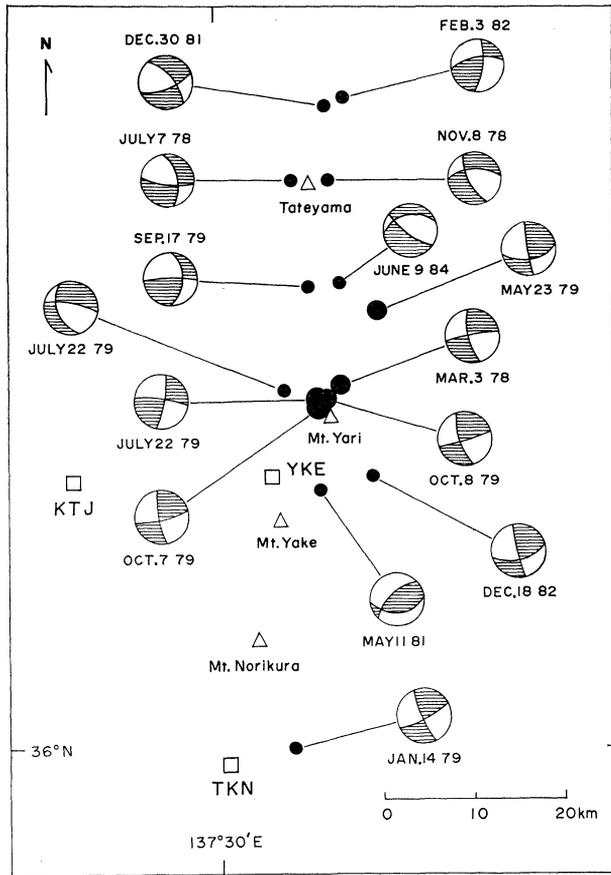


Fig. 5. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred in the northern Hida mountain range in Region II.

(IV) Fig. 7 は高山東方から飛驒萩原付近へ至る地域に起つた 17 個の地震のメカニズムを示したものである。図から明らかなように、これらの地震はすべて **strike-slip** 型のメカニズムを示している。この地域には A 級の活断層である阿寺断層 [SUGIMURA and MATSUDA (1965)] が NWN-SES 方向に走っているが、この断層上に発生したと思われる地震はこの図中にはない。阿寺断層の西方の 1 個の地震 (1978 年 8 月) は、1969 年岐阜県中部地震の余震と考えられるが、このメカニズムは本震の場合 [MIKUMO (1973)] とほとんど同じである。これらのほとんどの地震の一方の節面は阿寺断層に共役な C 級の小活断層に大体平行しているので、これらの断層上に発生したと思われる。最近の比較的大きい地震 (1983 年 10 月 6 日, $M=5.0$) は阿寺断層西北端のやや東側に発生したものである。これらの地震を発生させた最大圧縮力の方向は大体 ESE-WNW 方向であつて、(II), (III) の地域のそれと大体同じである。

(V) 1969 年 9.9 地震よりさらに西側の美濃白鳥付近に起つた 3 個の比較的大きい地震はいずれも類似した **strike-slip** 型メカニズムを示している (Fig. 8)。最大主圧力の方向はこれ

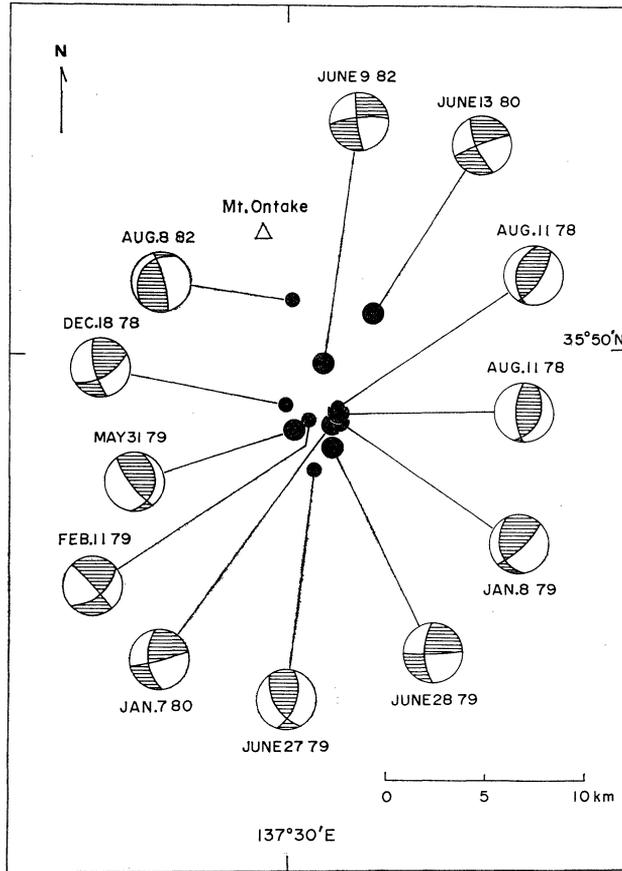


Fig. 6. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred southeast of Mt. Ontake in the southern Hida mountain range in Region III.

までの (I)~(IV) 地域よりやや ENE~WSW 方向に偏っているように見える。しかしこれだけの結果からこの地域の応力方向を論ずるのは適当ではなからう。この北方、大日岳付近の鳩ヶ湯・小池断層に発生した 1961 年北美濃地震 ($M=7.0$) は逆断層成分を含む右横ずれ型メカニズムを持ち [KAWASAKI (1975)], P 軸はほぼ E-W 方向であった。

(VI) 牛首断層より北西側に起った地震については, Fig. 9 に示したように, メカニズムは一様ではない。御母衣断層北西側の 2 個の地震は他地域と同じ通常の strike-slip 型, 牛首断層と御母衣断層に囲まれた地域の 4 個は逆断層型, 富山平野南西部の 2 個は正断層型のメカニズムを示す。牛首・御母衣両断層に境される地域は, 前者の右ずれによる ENE 方向の運動と, 後者の右ずれによる NWN 方向の運動による圧縮の影響を受けていると思われ, これが逆断層を生じさせる原因と考えられる。富山平野西部には正断層成分を含む小さい活断層が多く分布しており [藤井・竹村 (1979)], この地域の地震のメカニズムはこれらの運動に関係したのかも知れない。最初の 2 個を除き P 軸方向は一定しない。

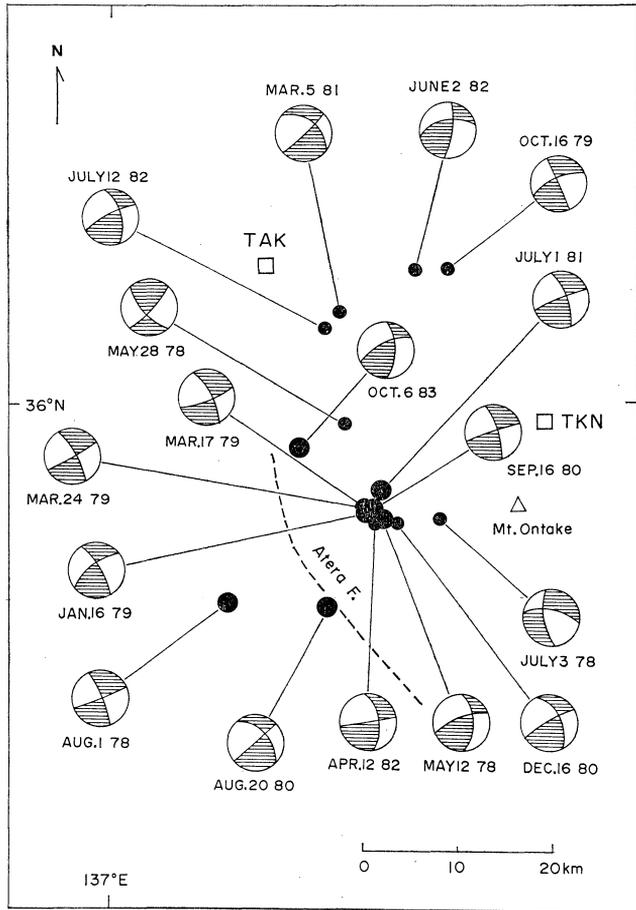


Fig. 7. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred near Takayama and northeast of the Atera fault in Region IV.

§ 4. 飛騨地方北部のテクトニクス

以上に述べた各地域の $M \geq 3$ の地震のメカニズムから推定される P 軸の水平成分の方向を Fig. 10 にまとめて示した。これから明らかなように、これらがこの地域に働く地殻応力の方向を示すものとすれば、最大圧縮応力の方向は大局的に見て ESE-WNW ないしは E-W 方向にあるといえるであろう。さらに現在問題としている地域のやや南方に過去に発生した $M=6 \sim 7$ 程度の大きい地震、すなわち 1934 年郡上八幡地震 ($\lambda=137^{\circ}.0 E$, $\varphi=35^{\circ}.7 N$, $M=6.2$, [ICHIKAWA (1971)]), 1961 年北美濃地震 ($\lambda=136^{\circ}.8 E$, $\varphi=36^{\circ}.0 N$, $M=7.0$, [KAWASAKI (1975)]), 1969 年岐阜県中部地震 ($\lambda=137^{\circ}.1 E$, $\varphi=35^{\circ}.8 N$, $M=6.6$, [ICHIKAWA (1971); MIKUMO (1973)]), 1972 年福井・岐阜県境地震 ($\lambda=136^{\circ}.8 E$, $\varphi=35^{\circ}.9 N$, $M=6.0$, [山田・藤井 (1973)]) などおよび 1984 年 9 月長野県西部地震 ($\lambda=137^{\circ}.56 E$, $\varphi=35^{\circ}.82 N$, $M=6.8$)²⁾ のメカニズムから推定される P 軸方向もほぼ同じ方向にある。これらの事実

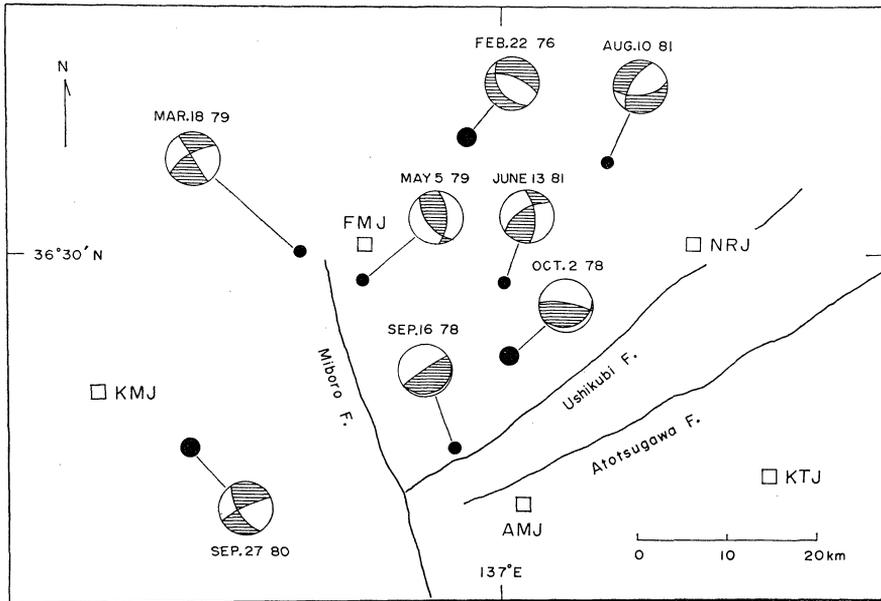


Fig. 8. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred in a region southeast of the Toyama plain and around the northern part of the Miboro fault in Region V.

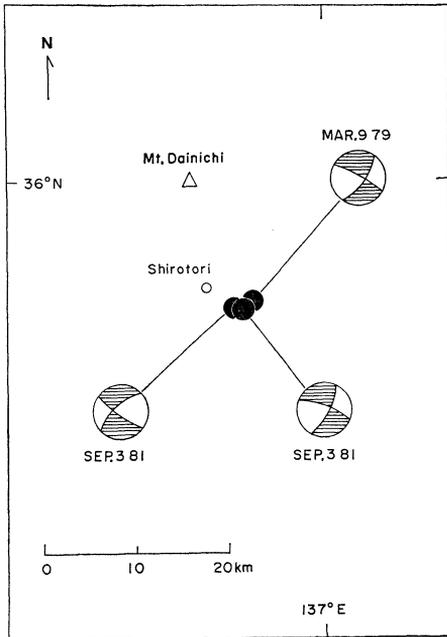


Fig. 9. Schematic representation for the focal mechanisms of earthquakes that occurred in Region VI.

この地域全体が現在この方向に働く圧縮力を受けていることを意味する。しかし先に見たように、地震メカニズムから求めたP軸の方向は局地的に見れば、飛騨山脈南端の御岳山付近や美濃白鳥付近、郡上八幡付近など飛騨地方の南部ではやや平均的方向からずれる。この理由として考えられるのは、最大圧縮力に対して破壊面が45°の方向には形成されず、この地域の地殻中の既存の断層面に沿って破壊が起り、あるいは破壊面の内部摩擦応力が大きいいためP軸方向が上の方向とはある角度を持つ可能性があることである。一方、1933年能登半島の地震 ($\lambda=137^{\circ}.0\text{ E}$, $\phi=37^{\circ}.1\text{ N}$, $M=6.0$) のメカニズムから求められるP軸はほぼSE-NW方向にあり、一般的なESE-WNW方向よりやや南東方向にずれるが大きく

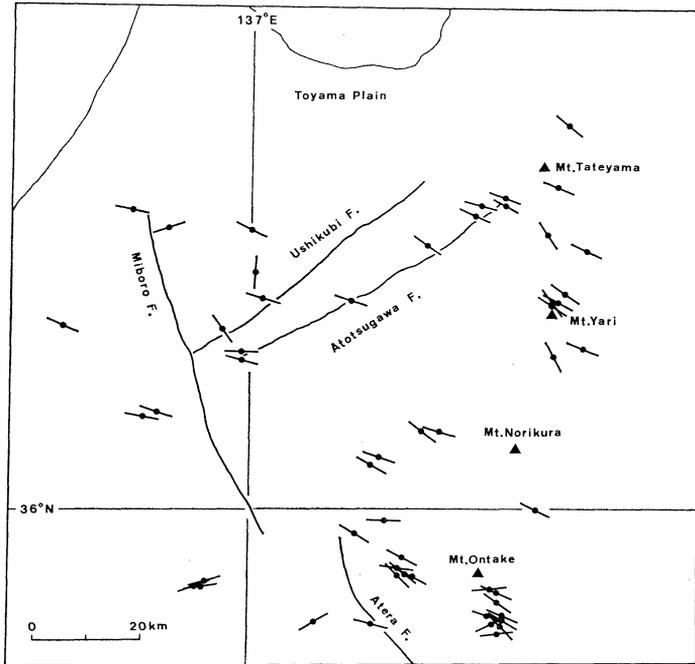


Fig. 10. Pattern of the maximum compressional stress (P-axis) derived from the focal mechanism solutions.

は変わらない。これに対してこの中間にある富山平野西南部から牛首・御母衣両断層に囲まれた地域の応力がかなり異なることは、局地的な乱れと思われ、この理由やこの地域のテクトニクスについてはさらに今後の検討が必要であろう。

一方、飛騨地方北部には先に述べた跡津川断層、牛首断層、茂住断層以外にも、これらに平行な多数の中・小活断層が分布する。さらにこの方向の断層とほぼ直交し、共役の関係にある阿寺断層や御母衣断層も存在する。これらの共役な第4紀の活断層が多数存在することは、この地域がほぼ2 Ma以来共通な圧縮力の強い影響下にあったことを示唆する [HUZITA (1980)]。この最大圧縮の方向は地震のメカニズムから推定される方向とほぼ一致し、また内陸部の単成火山の配列方向から推定される最大圧縮力の方向とも調和的である [安藤 (1979)]。さらにまたこの応力の方向は、現在の三角測量から求められた日本列島の平均的水平最大主ひずみの方向 [中根 (1973)] と大体一致するように見える。以上の種々のデータから推定される最大主圧力の方向は、いずれも ESE-WNW 方向である。一方、MINSTER and JORDAN (1978) の RM 2 モデルから求められる太平洋プレートのユーラシア・プレートに対する相対運動の方向は日本海溝上 35.0°N, 142.0°E の地点で N70.7°W と見積られ、上の方向に近い。このことは、この地方が第4紀以来現在に至るまで太平洋プレートの運動による圧縮力を強く受けていることを示唆する。

最近、東北日本弧が北米プレートに付加したマイクロ・プレートであり、この北米プレートとユーラシア・プレートの境界が日本海東縁部-フォッサマグナ-駿河湾に存在するとの説が提

出されている [小林 (1983); 小林・中村 (1983); 中村 (1983)]. この説は日本海東縁部での逆断層型地震の発生や、活褶曲・活断層の存在を主な根拠とするものであり、日本海側のユーラシア・プレートが東北日本弧の下へ沈み込み始めていることを主張する. 一方、この考え方でフォッサ・マグナ (糸魚川-静岡構造線) の西側にある飛驒・木曾・赤石山脈などの第 4 紀の間の急速な隆起を説明するためには、逆に東側から西側へマイクロ・プレートである東北日本弧が沈み込み、あるいは衝突していることが必要であり、沈み込み方向の転換点が糸魚川付近に存在しなければならない. この場合、内陸部での収束型または衝突型境界となるフォッサ・マグナ付近では、断層面が西側へ傾斜する逆断層型地震が多く発生しなければならないことになる. 事実、この構造線付近では 1918 年大町地震 ($M=6.5$), 1941 年長野県中部 ($M=6.2$), 1943 年長野県北部 ($M=6.1$) などの比較的大きい地震が発生している. このうち大町地震は、このような逆断層型地震の 1 つと考えられる [活断層研究会 (1980)] が、後者の 2 個の地震は横ずれ断層型である [ICHIKAWA (1971)]. また飛驒山脈東方からこの構造線の間の地域に発生した小地震はいずれも横ずれ型メカニズムを示している [FUKAO and YAMAOKA (1983)]. 一方、飛驒山脈の 1 m/1,000 年にも達する第 4 紀中の急激な隆起は別の観点からも説明出来よう. この地域で行われた重力測定の結果 [KONO *et al.* (1982); YAMAMOTO *et al.* (1982)] は立山-乗鞍岳にかけての飛驒山脈中軸部で -80 mgal 程度の負の Bouguer 異常が存在することを示している. 飛驒山脈の平均標高を 2,500 m とすると、もしここでアイススタシーが成立しているならば、この地域の Bouguer 異常は -280 mgal にも達する筈であり、観測量より 200 mgal 程度小さい. したがって、外部から何も力が加えられない状態ならば、飛驒山脈は沈降し、これによつて水平方向には山脈中心へ向う張力を生じている筈である. しかし実際には山脈は著しい隆起傾向にあり、これを説明するためには地殻下部から何らかの上向きの力が働くか、もしくは山脈の沈降を支え逆に隆起させる水平方向の圧縮力、あるいはこの両者が働いていることが必要である. FUKAO and YAMAOKA (1983) は後者の場合、水平圧縮力が少なくとも 300 bars 以上の大きさが必要であることを示し、この圧縮力はプレート運動に起因する日本列島全体に働く力によるものと考えている.

この考え方は、先の東北日本弧のフォッサマグナでの西側への衝突ないし沈み込みを必ずしも否定することにはならない. このような衝突あるいは沈み込みがもしあつたとしてもその境界以西の地域には同様に水平圧縮力が働くことが予想されるからである. もしユーラシア・北米両プレートの相対運動が現実にあるとすると、MINISTER and JORDAN (1978) の RM2 モデルから期待されるフォッサマグナ中部付近 (35.5°N , 138.5°E) でのこの相対運動の方向は $\text{N}95.4^{\circ}\text{W}$ と見積られ、境界西側に働く水平圧縮力の方向もこれに近いことが予想される. しかしすでに述べたように、飛驒山脈の西側地域、飛驒山脈中、および山脈の東側地域に発生する地震のメカニズムから求めた最大水平圧縮力の方向は、局地的な乱れを除いてはほぼ一様に ESE-WNW 方向であり、その間に著しい不連続は認められない. また跡津川・阿寺断層などの飛驒断層系を生ぜしめた圧縮力もこの方向に近く、 $\text{N}95^{\circ}\text{W}$ よりむしろ太平洋プレートのユーラシア・プレートに対する運動方向 $\text{N}70^{\circ}\text{W}$ に近い. もしこの差を有意と考えれば、たとえフォッサマグナで北米・ユーラシア両プレート間の衝突あるいは収束運動があつたとしてもその影響は比較的小さく、飛驒地方は太平洋プレートの運動による影響をより強く受け、この圧縮力がこの地域の活断層に地震を発生させている主たる原動力と考えた方が良いように思わ

れる。

§5. むすび

この論文では1977年5月から1982年6月の約5年間に京都大学防災研究所上宝地殻変動観測所で得られた地震観測データにもとづいて、飛驒地方北部の地震活動と、主要な地震 ($M \geq 3$) 66個のメカニズムを調べ、これをもとにこの地方のテクトニクスを考察した。主な結果は次の通りである。

(1) この地方の地震活動は、跡津川断層沿いおよび周辺の牛首断層西部と茂住断層沿い、飛驒山脈直下(剣岳-御岳山南方)、高山東方-飛驒萩原付近、富山平野南西部などで活発であり、この傾向は前回の報告よりさらに顕著となった。

(2) 跡津川断層周辺の地震は大部分が右横ずれ断層型のメカニズムを示し、地形学的に推定されるこの断層の右横ずれ運動と一致する。飛驒山脈下(剣岳-乗鞍岳南方)の地震はほとんどが横ずれ型であるが正断層成分を含むものもある。御岳山南方の地震は横ずれ型と逆断層型が混在し、この地域の構造の複雑性を示唆する。高山東方-阿寺断層周辺の地震はいずれも横ずれ断層型であり、この地域の小活断層に関係すると思われる。牛首断層と御母衣断層北部で囲まれる部分(富山平野南西部を含む)の地震のメカニズムは横ずれ型、正断層型、逆断層型が混在する。

(3) これらのメカニズムから求められる最大圧縮応力の方向(P軸方向)は一部の局地的乱れを除けば、平均的にはほぼ ESE-WNW 方向にあり、共役活断層、単成火山の配列方向、測地測量などから推定される方向と大体一致し、太平洋プレートの運動による影響を強く受けているものと考えられる。

謝 辞

この研究のために貴重なデータを提供して下さった名古屋大学地震予知観測地域センターおよび高山地震観測所、東京大学地震研究所北信微小地震・地殻変動観測所、および京都大学防災研究所北陸微小地震観測所に感謝します。名古屋大学の藤井巖、大井田徹、伊神輝氏には特にお世話になりました。

文 献

- 安藤雅孝, 1979, 日本列島の最近 50 万年の応力場, 月刊地球, **1**, 541-546.
 藤井昭二・竹村利夫, 1979, 富山県とその周辺の活断層, 富山県地震対策基礎調査報告書, 39-72.
 FUKAO, Y. and K. YAMAOKA, 1983, Stress Estimate for the Highest Mountain System in Japan, *Tectonics*, **2**, 453-471.
 堀 貞喜・青木治三・大井田 徹, 1982, 御岳山南東の群発地震の発震機構, 地震 **2**, **35**, 161-169.
 HUZITA, K., 1980, Role of the Median Tectonic Line in the Quaternary Tectonics of the Japanese Islands, *Mem. Geol. Soc. Japan*, **18**, 129-153.
 ICHIKAWA, M., 1971, Reanalyses of Mechanism of Earthquakes Which Occurred in and near Japan, and Statistical Studies on the Nodal Plane Solutions Obtained, 1926-1968, *Geophys. Mag.*, **35**, 207-274.
 伊神 輝・飯田汲事, 1972, 日本における地震エネルギー密度の時間的空間的分布よりみたサイスミシティー, 地震 **2**, **25**, 75-82.
 活断層研究会, 1980, 日本の活断層, 東大出版会。

- KAWASAKI, I., 1975, The Focal Process of the Kita-Mino Earthquake of August 19, 1961, and its Relationship to a Quaternary Fault, the Hatogayu-Koike Fault, *J. Phys. Earth*, **23**, 227-250.
- 気象庁, 1984, 地震予知連絡会特定部会 (59年9月21日) 資料.
- 小林和男・中村一明, 1983, 縁海拡大のテクトニクス, *科学*, **53**, 448-455.
- 小林洋二, 1983, プレート“沈み込み”の始まり, *月刊地球*, **3**, 510-514.
- KONO, Y., T. HIBI, M. KUBO, O. MICHIGAMI, K. SHIBUYA, M. SUNAMI, K. SUZUKI and N. FURUSE, 1982, Gravity Anomaly over the Northern Part of the Central Japan (1); (2), *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **27**, 71-83; 117-146.
- 中村一明, 1983, 日本海東縁新生海溝の可能性, *地震研究所彙報*, **58**, 711-722.
- 松田時彦, 1966, 跡津川断層の横ずれ変位, *地震研究所彙報*, **44**, 1179-1212.
- MIKUMO, T., 1973, Faulting Mechanism of the Gifu Earthquake of September 9, 1969, and Some Related Problems, *J. Phys. Earth*, **21**, 191-212.
- 三雲 健・和田博夫, 1983, 跡津川断層と地震活動, *月刊地球*, **5**, 325-334.
- MIKUMO, T., H. WADA and M. KOIZUMI, Earthquakes along and around the Atotsugawa Fault in the Northern Hida Region, Central Japan, (in preparation).
- MINSTER and JORDAN, 1978, Present-Day Plate Motions, *J. Geophys. Res.*, **83**, 5331-5354.
- 名古屋大学, 1984, 地震予知連絡会特別部会 (59年9月21日) 資料.
- 中根勝見, 1973, 日本における定常的な水平地殻歪 (I), (II), *測地学会誌*, **19**, 190-208.
- SUGIMURA, A., and T. MATSUDA, 1965, Atera Fault and its Displacement Vectors, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **76**, 509-522.
- 恒石幸正, 1976, 岐阜県中部地震に関連した断層, *地質学論集*, **12**, 「断層と地震」別冊, 129-137.
- 和田博夫・三雲 健・小泉 誠, 1979, 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**, 281-296.
- 山田功夫・藤井 巖, 1973, 1972年8月31日岐阜・福井県境地震, 1973年地震学会予稿集.
- YAMAMOTO, A., K. NOZAKI Y. FUKAO, M. FURUMOTO, R. SHICHI, and EZAKA, 1982, Gravity in the Central Ranges, Honshu, Japan, *J. Phys. Earth*, **30**, 201-243.