

長野県東部の地震 (1986 年, $M4.9$) 及び それに伴った地震群の活動特性と そのテクトニクスの意味

地震研究所 佃 為 成
酒 井 要
橋 本 信 一
羽 田 敏 夫
小 林 勝

(昭和 63 年 7 月 30 日受理)

要 旨

北部フォッサマグナの中央隆起帯を横断する千曲川構造線の東端に位置する長野県小県郡丸子町付近で 1986 年 8 月 24 日, $M4.9$ の地震が発生した. ここは 2 つの火山前線がぶつかる点のすぐ背後でもある. 通常地震活動レベルは低い, 過去には 1912 年の上田市付近の地震 ($M5.2$) がある.

丸子町地震活動は前震・本震・余震系列と本震の 10 日後から始まった群発地震が重なったものであった. 2 回の主要な活動ピークをもつ例は, 北部フォッサマグナ地域では少なくなく, ピーク間の間隔は 1918 年大町地震の 13 時間, 1969 年燕岳の地震の 2 日, 1912 年上田の地震の 5 日, 今回の地震の 12 日, 1963 年燕岳の地震の 20 日, 1897 年上高井の地震の 104 日というように様々である. 2 回目が群発地震であったのは丸子の地震と, 燕岳の地震, 上田の地震である.

現地における臨時観測によって精密な震源分布が得られた. 震源域は時間とともに拡大したが群発地震後最終的には東西 3 km, 南北 2 km, 深さは 6 km を中心に 3 km の幅をもつ拡がりであった. 定常観測網で求めた震源との比較を行い, 観測網に依存する震源の系統的なずれやその値のバラツキから震源の絶対精度と相対精度を推定した.

$M0\sim4.5$ の間の M 別頻度分布は Gutenberg-Richter の関係から少しずれる.

群発地震の回数の減衰 ($p\sim 2$) は本震直後の余震のそれ ($p\sim 1$) と比べ大きい. 燕岳の地震ではどちらも $p\sim 2$ であった.

本震の震源断層は発震機構及び余震分布の特性から西上り東落ちの高角逆断層である. これは中央隆起帯東縁でのテクトニックな変動と調和する.

1986 年の千曲川構造線の地震活動はそのピークが東南東から西北西へ約 150 km/year の速度で伝播した. 1912 年~1918 年にもこの構造線の両端付近で地震があった. 約 70 年の間隔を置いて同じような活動を繰り返したことになる.

§1. ま え が き

1986 年 8 月 24 日 11 時 34 分, $M4.9$ の地震が長野県小県郡丸子町付近, 深さ 6 km の地点で発生した. 丸子町や上田市付近としては 1912 年 8 月 17 日の $M5.2$ の地震以来の顕著なものであった. 長野県の北半分の地域としても 1965 年から 1970 年ころまでの松代群発地震以来の顕著な活動である. 今回の地震活動の背景や特徴として次のような

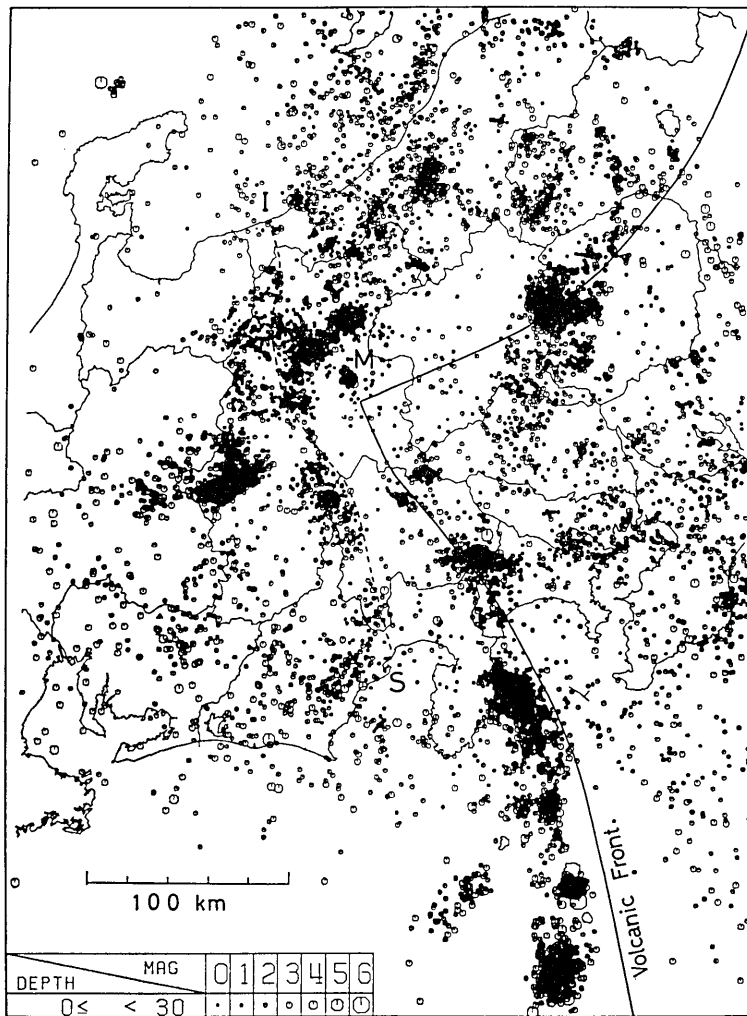


Fig. 1. Seismicity map in the central part of Japan during the period from September 1, 1980 to September 13, 1986, compiled by the Earthquake Research Institute, University of Tokyo. Note the aseismic zone behind the volcanic front and a seismic spot just behind the cusp of the frontal line. This spot (marked by M) represents the earthquake sequence that initiated on Aug. 23, 1986, at Maruko Town, Nagano Prefecture. The broken line (I-S) shows the Itoigawa-Shizuoka tectonic line.

点が注目される。

(1) 伊豆マリアナから富士山、ハケ岳へと北上する火山列に沿った火山前線と東北日本の磐梯山、榛名山、浅間山へと南下する火山列に接する火山前線とがぶつかる点のすぐ背後で発生した活動である (Fig. 1)。微小地震観測によると火山前線の背後には前線に沿って非地震地帯が伸びている (溝上・他, 1986)。今回の地震が発生した丸子町付近も、

過去約 10 年間の微小地震活動が極めて低い地域の一つであった。

(2) 地震発生域はまた、フォッサマグナに第三紀中新世以後生じた中央隆起帯（飯島, 1962; 1963）の東縁部, 西上り東落ちの変動地帯にある。一方, 松代群発地震はこの中央隆起帯の西縁に沿って発生した。

(3) 丸子町の活動は, 北部フォッサマグナ地域から糸魚川市沖の日本海に至る広範囲の領域で 1986 年から 1987 年にかけて発生した, $M5.9$ の地震 2 回を含む活発な活動のはしりであった。

(4) 一連の地震は前震・本震・余震系列と本震後約 10 日経って始まった群発地震系列との重ね合せと見なせる。

本論文では以上の点に留意し, まず, 定常観測及び現地における臨時観測の地震データに基づく震源分布や発震機構, 活動の時系列などの特性を明らかにしながら, 周辺における過去の地震活動特性との比較を行い, さらにテクトニクスとの関係についても考察する。

§2. 震源分布

2.1 震源分布の拡がり

震源地の周辺の定常地震観測網（東京大学地震研究所信越地震観測所）は Fig. 2 に示した通りである。本震発生より 10 日後の 9 月 3 日から開始した近傍における臨時観測網は 5 点である (Fig. 3, Table 1)。臨時観測では高見沢サイバネティックス社製 STR-100 型可視式イベントレコーダを各点に設置した。地震計は定常観測と同じく固有周期 1 秒のもので, 上下動 1 成分ずつを使用した。但し TAT には後に水平動 2 成分も置いた。

できるだけ精密な震源を求めるために採用した方法は以下の通りである。

(1) 最も近傍の 3 臨時観測点

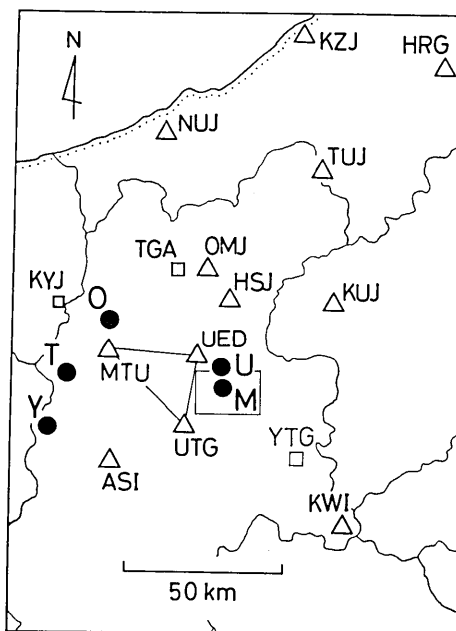


Fig. 2. Distributions of observation stations and seismic spots concerned. Prefectural border lines are shown together with the Japan Sea coast line. Stationary seismic stations attached to Shin'etsu Seismological Observatory, Earthquake Research Institute are shown by open triangles (telemetered to the observatory in Nagano City) and open squares (not telemetered). The three stations UED, UTG and MTU are used as a fundamental tripartite. Solid circles are seismic spots: M, U, O, T, and Y represent Maruko, Ueda, Oomachi, Tsu-bakuro-dake, and Yake-dake, respectively. The box around the spot M indicates the area shown in Fig. 3.

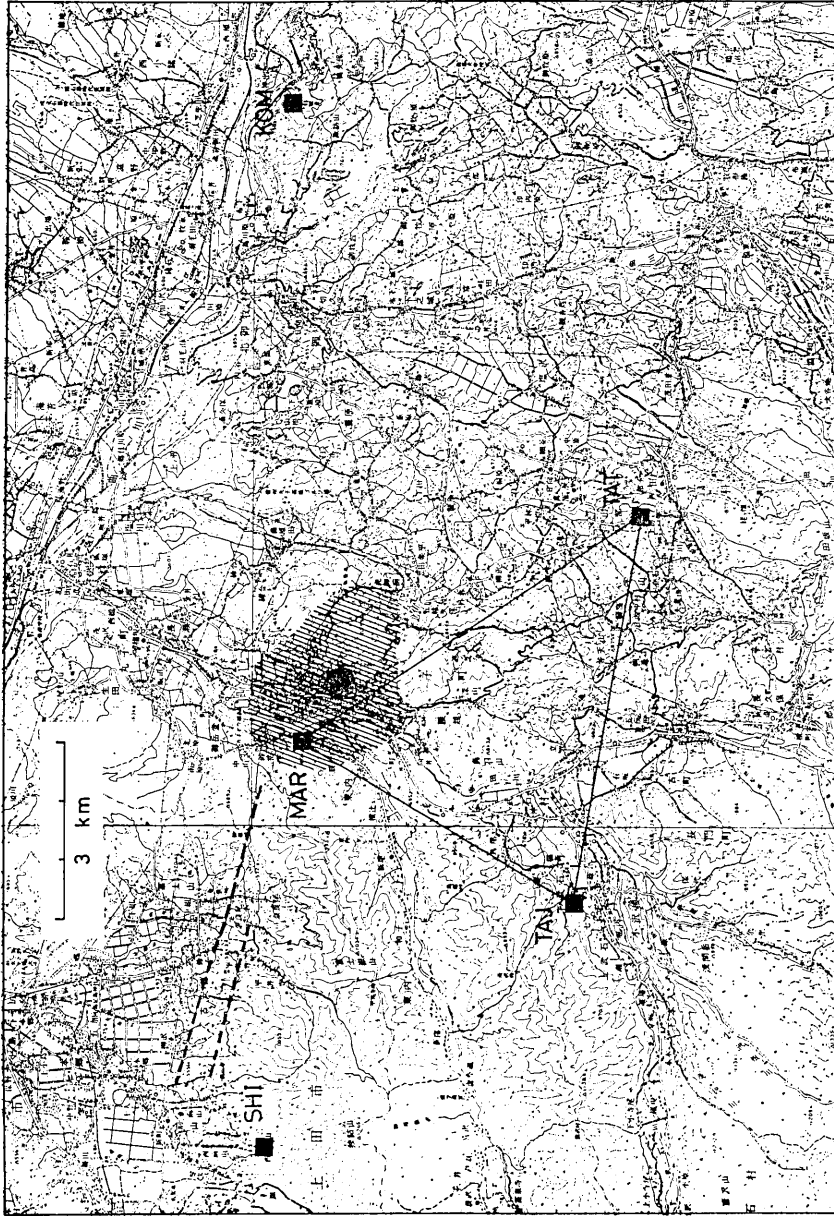


Fig. 3. Map showing the temporal observation network and the extent of the epicenters of aftershocks. The three stations MAR, TAJ and TAT are used as a fundamental tripartite in hypocenter location. The broken lines to the west of the hypocentral region are topographic lineaments after Research Group for Active Fault in Japan (1980).

Table 1. List of the temporary seismic stations. Trigger level means the threshold amplitude level for acquisition of waveform data.

Region 地名	Code コード	Latitude/ Longitude 緯度/経度	Altitude 海拔 (m)	Sensitivity 感度 (μ kine/mm)	Trigger Level トリガー レベル (μ kine)	Period 観測期間
丸子町御岳堂	MAR	36°19'32.4" 138°15'58.0"	690	116	213	Sep. 3, 1986-Jul. 27, 1987
武石村下武石	TAJ	36°17'03.2" 138°14'06.0"	650	115	107	Sep. 4, 1986-Jun. 30, 1987
小諸市大久保	KOM	36°19'39.7" 138°23'21.1"	680	118	213	Sep. 5, 1986-Oct. 31, 1986
立科町山部	TAT	36°16'26.0" 138°18'33.1"	730	189	213	Sep. 5, 1986-Jul. 23, 1987
上田市前山	SHI	36°19'53.5" 138°11'20.1"	650	94	53	Sep. 6, 1986-Oct. 18, 1986

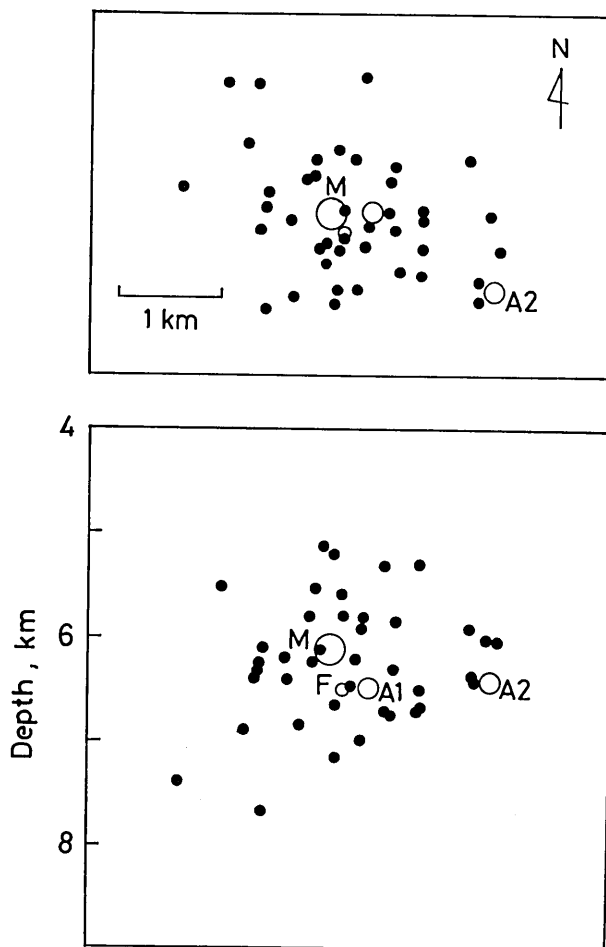


Fig. 4. Hypocentral distribution determined by the temporal observation (the fundamental tripartite). Open circles denoted by M, F, A1 and A2 are the main shock, largest foreshock, largest aftershocks No. 1 and No. 2.

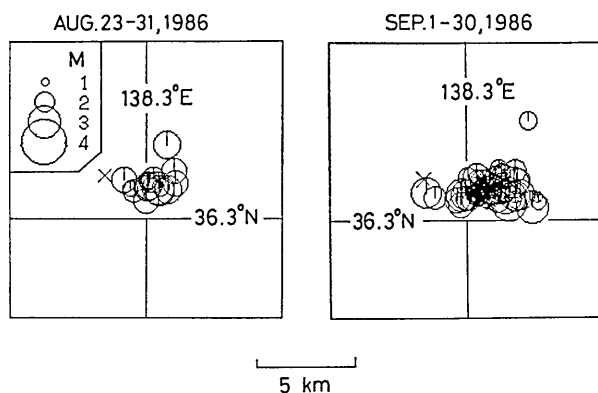


Fig. 5. Epicentral distributions determined by using P times from the three stationary stations UED, UTG and MTU, and S-P times from UED. Although data available are limited and the accuracy is far inferior to that of temporary observations, this figure shows the expansion of the distribution in a later period. × denotes the corrected location of the main shock given in Fig. 4.

MAR, TAJ, TAT の P time と S 波が比較的明瞭な TAJ の S-P time を用いて震源を決定する。これは 9 月 5 日 19 時以降の期間のみ有効である。

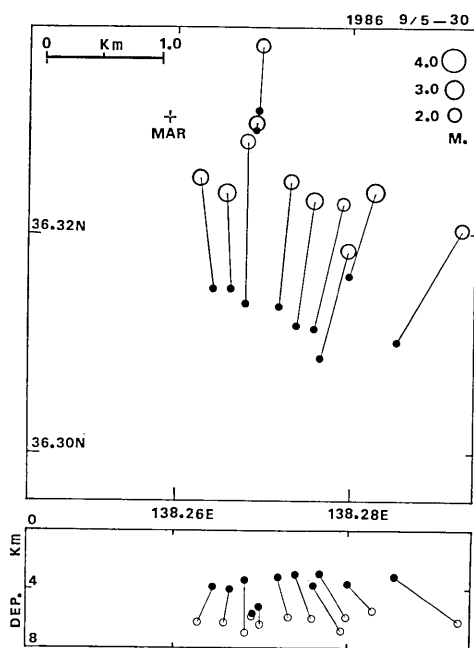
(2) 定常観測点では UED, UTG, MTU の 3 点の P time と UED の S-P time を使って同様に震源を決定する。

(3) (1) と (2) で共通な地震を取り出して比較し位置の系統的なずれを算出し (2) で求めた震源に補正を施す。このようにして臨時観測期間前の震源分布についても (1) を基準として統一的に表現することができる。

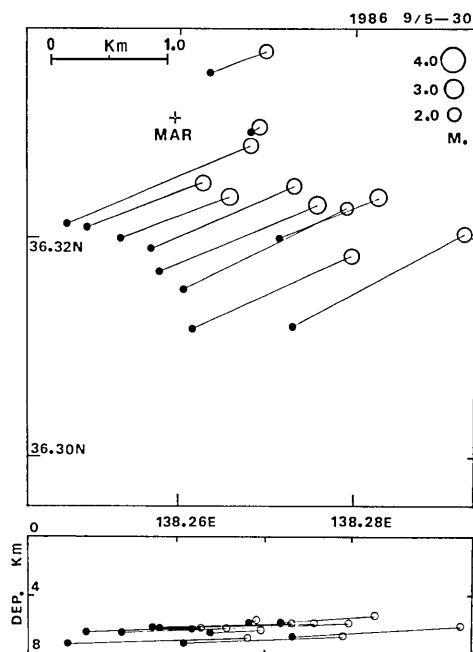
計算に用いた P 波速度構造モデルは厚さ 3 km の 5.5 km/s 層 (表層) の下に厚さ 12 km の 6.0 km/s 層, その下が 6.8 km/s という簡単なものである。また, どの層においても $V_P/V_S=1.73$ とした。

Fig. 4 に 9 月 30 日までの震源分布を示す。ほとんどは上記 (1) に基づく結果であるが, 最大前震 (F), 本震 (M), 最大余震の 1 つ (A1) は (3) の方法によって求めた震源である。本震の場合は S が詳しく読めなかったので, 本震直後から 8 月 28 日までの UED における S-P time (2.37~2.55 sec) の中央値を当てはめた。S-P がその範囲で変化しても震源の位置は東西に ± 0.9 km, 南北に ± 0.1 km, 深さ ± 0.9 km 以内の範囲に収まっている。また常設の 6 観測点の P time だけの震源決定と比較すると深さはともかく震央は 0.1 km のずれしかない。

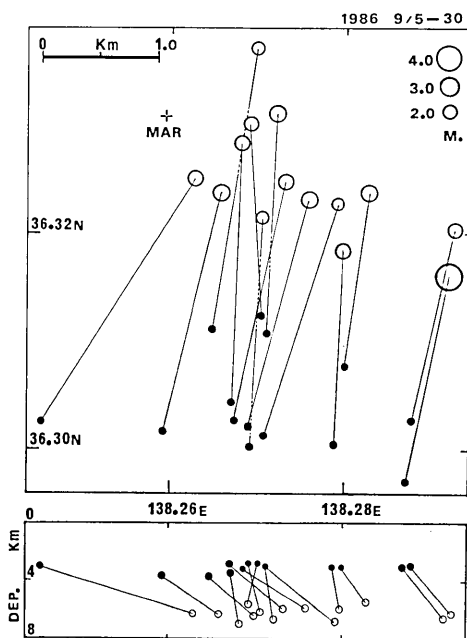
Fig. 5 には上記 (2) に基づく震央分布を示した。前期 (8 月) と後期 (9 月) に分けた。後期の分布の拡がりには Fig. 4 と比べ 1.5 倍ほど大きい, 震源を囲んでいない, やや遠方の観測網のせいで精度が落ちているためである。前期については震源分布の集中度が高い。したがって Fig. 4 と Fig. 5 を総合すると, 震源分布の拡がり, 東西 3 km, 南北 2 km であり, 深さも 3 km ぐらいの範囲に収まっていることがわかる。



(a)



(b)



(c)

Fig. 6(a). Hypocentral differences between the two data sources: P times from the three stations (MAR, TAJ and TAT) with an S-P time from TAJ (open circles); and P times from the four stations (MAR, TAJ, TAT and KOM) (solid circles).

Fig. 6(b). Hypocenters (solid circles) determined by P times from the four stations MAR, TAJ, TAT and KOM with an S-P time from TAJ are compared with the fundamental hypocentral data, as in Fig. 6(a).

Fig. 6(c). Hypocenters (solid circles) determined by P times from the three stationary stations UED, UTG and MTU, with an S-P time from UED, are compared with the fundamental hypocentral data as in Fig. 6(a).

2.2 震源の相対精度と絶対精度

震源誤差の原因には、読取り誤差や用いる速度構造モデルの誤差があるが、誤差の大きさや傾向は観測点配置に大きく依存している。ここでは観測点の組合せによる震源の違いから震源精度を推定する。

観測点の組合せや、S-P time を使用するかしないかという方法の違いで震源の位置がどのように変化するかを図示したのが Fig. 6(a), (b), (c) である。どの図においても白丸が 2.1 節で述べた (1) による基準震源データを表わす。比較される震源データは小さい黒丸で示し、(a) と (b) は臨時観測点について、(c) は定常観測点 (2.1 節の (2)) についてである。臨時観測点のうち SHI は時刻精度に問題があるのでここでは取扱っていない。

これらの図から方法による系統的なずれが存在することがわかる。2つの臨時観測網の間では、水平方向に 1~1.5 km, 深さ方向に 1.5~3 km であり、定常観測網と臨時基準観測網との比較では、14 個のデータに対し東西 $\Delta x = 0.36 \pm 0.34$ km, 南北 $\Delta x = 1.90 \pm 0.24$ km, 深さ $\Delta h = 3.08 \pm 0.46$ km の変位がある。上の標準偏差値を読取り値の誤差に起因する震源の相対精度と考えると、その精度は水平方向に関し 200~400 m, 深さは 500 m 程度となる。上記の系統的ずれの量は 2.1 節の (3) の計算に使用した。

絶対精度の見積りには地震波速度構造の不均質性によるゆらぎの影響を考慮しなければならない。そのためには観測網が覆う領域の違いによる震源のずれを測ればよい。震源域を囲む 5~7 km スパンの 3 点、それを 10 km まで拡大した 4 点、震源域の西方に位置し、34 km のスパンをもつ 3 点 (Fig. 2) という異った 3 つの観測網に対し、水平方向に最大約 2 km, 深さ方向に最大 3 km の震源位置の食い違いにとどまっていることから、上の量の半分をとり、震源の絶対精度として水平方向は 1 km 以内、深さ方向に 1.5 km 以内に収まるものと考えられる。我々の震源推定値はもちろん 2.1 節で述べた (1) に基づくものである。ここでは速度構造モデルを固定した。

§3. 発震機構

主な地震の断層面解を Fig. 7 に示す。計算方法は、MAKI (1982) に従い、P 軸と T 軸を系統的に変化させ最適解を捜す。大勢と矛盾する押し引きを示す観測点の波形については再度確認を行ったが、多くの場合覆されない。用いた速度構造は市川・望月の走時に基づいたものである。

本震は、N 20°E の走向をもつ逆断層である。西傾斜の dip angle 65° ないし、東傾斜の dip angle 25° の 2 つの解がある。次の 2 つの理由により前者の高角逆断層を採用する。

- (1) 余震の深さ分布の伸びの傾向は西傾斜である (Fig. 4)。
- (2) 他の地震の断層面解でも西傾斜の断層面の方が安定して現われている。

前震の解は任意性が大きいので仮に、本震の解を当てはめてある。

小さい地震についてはデータ不足の故に断層面解を求めることは不可能であるが、主な観測点においての初動の押し引きのデータをペン書波形記録に立帰って初動を詳しく調べた。Table 2 に示したように、Fig. 7 にあげた主要な地震と比べ著しく異なる押し引きの

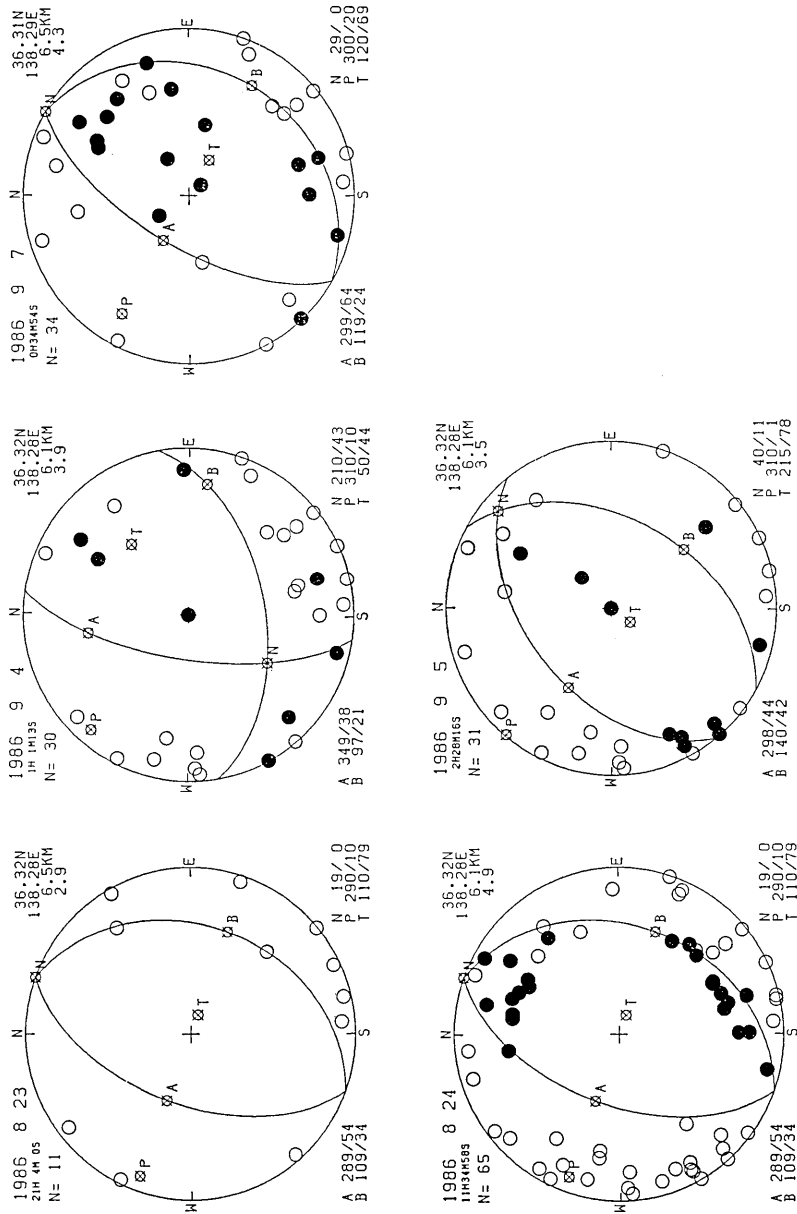


Fig. 7. Fault plane solutions for major shocks (equal area projection on a lower-hemisphere). Solid and open circles represent compression and dilatation at each station, respectively. Push-pull data for initial motions include those from Japan Meteorological Agency (the Monthly Reports) and other universities.

Table 2. Push-pull data for major earthquakes ($M \geq 2.9$). Compression and dilatation are denoted by + and -, respectively. Parentheses mean rather ambiguous judgment. Drastic temporal changes are not found except for ASI and KUJ. See Fig. 2 for station locations.

Date	H	M	Mag.	Station																
				K W I	Y T G	A S I	U T G	U E D	M T U	K Y J	K U J	H S J	O M J	T G A	M A R	T A J	T A T	K O M	S H I	
Aug.	23	21	04	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		21	57	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	24	11	34	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		11	52	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	25	00	13	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		10	02	3.0	-	-	+	(-)	-	+	+	(-)	-	-	-	-	-	-	-	
Sep.	1	00	59	2.9	-	-	+	(-)	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	
		4	01	01	3.9	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		06	11	2.9	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	
		06	34	2.9	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	
	5	02	28	3.5	-	-	-	-	(-)	-	-	+	(-)	-	-	+	+	+	-	
		02	29	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	+	+	+	-	
		04	22	3.8	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		05	15	3.4	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	
		05	32	3.3	-	-	(+)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	
		06	11	3.9	-	-	(-)	-	(-)	(-)	-	+	-	-	-	-	+	+	+	
		6	07	35	2.9	-	(-)	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-
	7	00	34	4.3	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+

分布の例はない。これらは Fig. 7 のいずれかの解に近いものと思われる。

押し引きの時間変化が顕著であったのは ASI と KUJ である。これらの観測点は投影図上では円の周縁部、方位は S48~60°W に位置する。前震や本震、直後の余震では 2 点とも初動は引き (Down) であったが、ASI では 8 月 25 日以降、KUJ では 9 月 4 日以降、押し (Up) の場合が多く見られるようになった (Table 2)。これは Fig. 7 において本震の断層面解と 9 月 4 日及び 5 日の地震の解の違いを表わしている。主圧力軸 (P 軸) の方位の変化という表現を用いるならば N70°W (本震) から N50°W (9 月 4 日、5 日の地震) へと変化したことになる。

§4. マグニチュード別頻度分布

臨時観測点 MAR において一定のトリガーレベル (Table 1 参照) のもとに記録された地震を Table 3 に載せてある。これらの地震の F-P time から求めた M の頻度分布を 0.5 間隔で Fig. 8 に示す (白丸)。

比較のため信越地震観測所の定常観測業務で震源が決定された地震の同じ期間の F-P マグニチュードの分布も示してある (△印)。 $M > 1$ については両者の一致はみごとである。

分布の大きな特徴は $M \sim 1$ でへこみ、 $M \sim 1.5$ で山が存在し、直線で表わせる Gutenberg-Richter の分布からずれていることである。

臨時観測開始以前の期間のルーチン・データ (▲印) も同じような分布形を示す。 M が

1.5 から 1 へ向う時、数が減少するのは検知率の低下が主要な要因ではなく、後の期間のデータと同じく真実に近いものと推定される。

MAR における地震の検知能力については、定常テレメータ観測点 UED の連続記録から拾った地震の数 (§5 及び Table 4 参照) は MAR における記録地震数とほぼ同じということからその能力の安定性が保障されている。例えば、9月4日、5日、6日における日別地震回数は UED が 70, 447, 92 であるのに対し、MAR では 76, 442, 89 (Table 3) となっている。

最尤法を用い b 値を求めると、 M が 0~4.5 (本震 M 4.9 は除外) の範囲に対して $b=0.68$ となる。しかし、直線性がよい区間に分けると M が 0~1.5 に対しては $b=1.1$ 、 M が 1.5~3.5 に対しては $b=0.81$ となり 1 という値に近くなる。

§5. 活動の時間変化

5.1 連続記録による地震回数

信越地震観測所ではテレメータによる波形データの集中記録を行っているが、震源決定に利用しているのはトリガー方式の記録である。これと並行して主要な観測点については連続記録をとっている。UED の連続記録から読取られた地震の数の推移を Fig. 9(a), (b) 及び Table 4 に示した。

用いた連続記録は 3 成分長期間レコーダによるもので UED の他、HSJ と OMJ を加えた近隣の 3 観測点の上下動成分が記録されている。丸子町の地震を S-P time を手掛りに捜すが、例えば松代付近のような別の地域の地震でも UED では同じような S-P をもつので HSJ や OMJ の記録も参照しながら選別を行った。Fig. 10 には連続記録の例が示してある。

データは長期間レコーダの故障のため 8月27日 19時19分から 8月30日 09時26分まで欠測となっている。欠測がなかったトリガー記録に基づく震源リストには 8月28日、29日にそれぞれ 2 回と 6 回の地震があり、8月24日~26日の期間における連続記録 (UED) の地震回数と震源リストの回数との比が約 5 であるから、この欠測期間でも 1日

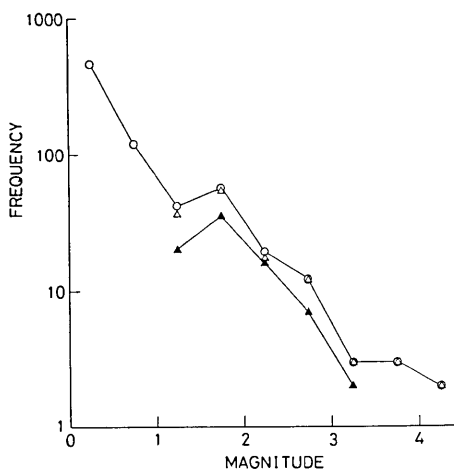


Fig. 8. F-P magnitude distributions. Open circles represent data from the station MAR during the period from September 4 to 30. Note the excellent coincidence between the above data from routine observations (open triangles) for the magnitude range above 1. The small peak around magnitude 1.5 is confirmed by the temporary observation at MAR. The shape of the routine data distribution from August 23 to September 3 represented by solid triangles is comparable with that of the later period.

当り 10~30 回の地震があったと推定される。

5.2 地震回数変化

Fig. 9(b) をながめるといくつかの活動のピークが認められる。8 月 23 日~24 日の前震のピーク、24 日の本震直後のピーク、9 月 3 日における静穏期の直後の 4 日のピーク、5 日の非常に大きなピークと 7 日のピークなどが存在する。これらは前震を除いて突然急に立上り、少しずつ減衰する性質をもっている。

その中で 5 日のピークは最大に達するのに 4~5 時間を要した。また、この顕著な活動は 5 日の 00 時から 06 時の間に $M4.3$ を最大として $M3.9$ や $M3.8$ の地震が次に続いているが際立った地震がない。これは群発地震と呼んでも差支えないであろう。

5.3 2 回の主要な活動ピーク

Fig. 9(a) に表わされているように丸子町の地震活動の大きな特徴は活動に 2 つの大きなピークが存在することである。2 回目は群発性であった。

似たような活動は 1963 年 2 月~3 月、飛騨山地燕岳付近 (Fig. 2 参照) でも発生した。当時、黒部第四ダムで高感度観測が行われていて詳細な地震回数変化が得られている (HAGIWARA *et al.*, 1966)。本震の M は 5.5、2 回目のピークは 1 回目から約 20 日後であった。

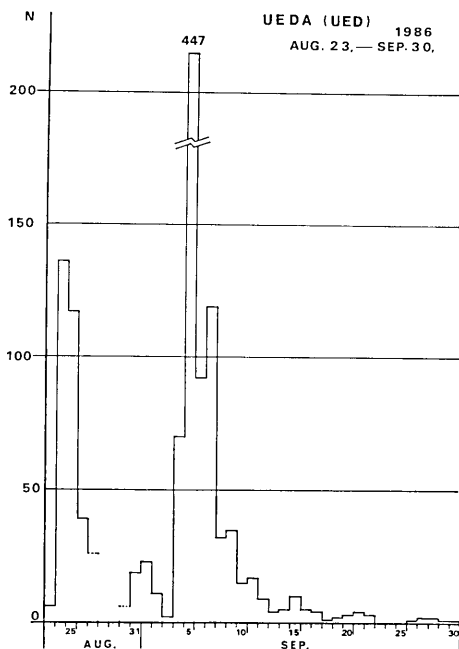


Fig. 9(a). Daily number of shocks at UED recorded by a continuous recording device at Shin'etsu Seismological Observatory. The recorder had not been working from August 27 to 29.

燕岳から南へ 20 km の焼岳付近では 1969 年 8 月に $M4.7$ とその 49 時間後に $M5.0$ の地震があった。大峰観測点 (現在の OMJ と同じ) における地震回数が報告されている (大竹, 1970) が、2 回のピークは上の 2 つの地震のそれぞれの余震と考えられる。この場合は、13 時間の間を置いて $M5.6$ の地震が 2 回起った 1918 年大町地震 (大森, 1921) と同じような双発型と見なすこともできる。また 1897 年上高井の地震 ($M5.8$) (長野県須坂市付近) でも 104 日後に再震があり多数の余震を発生させている (長野県長野地方測候所, 1929)。

丸子町に近い上田市付近で発生した 1912 年 8 月の地震でも $M5.2$ の本震の 5 日後に地震回数が増大した。それを示すデータは気象要覧 (中央气象台, 1912 a, b) に記載された日別地震回数である

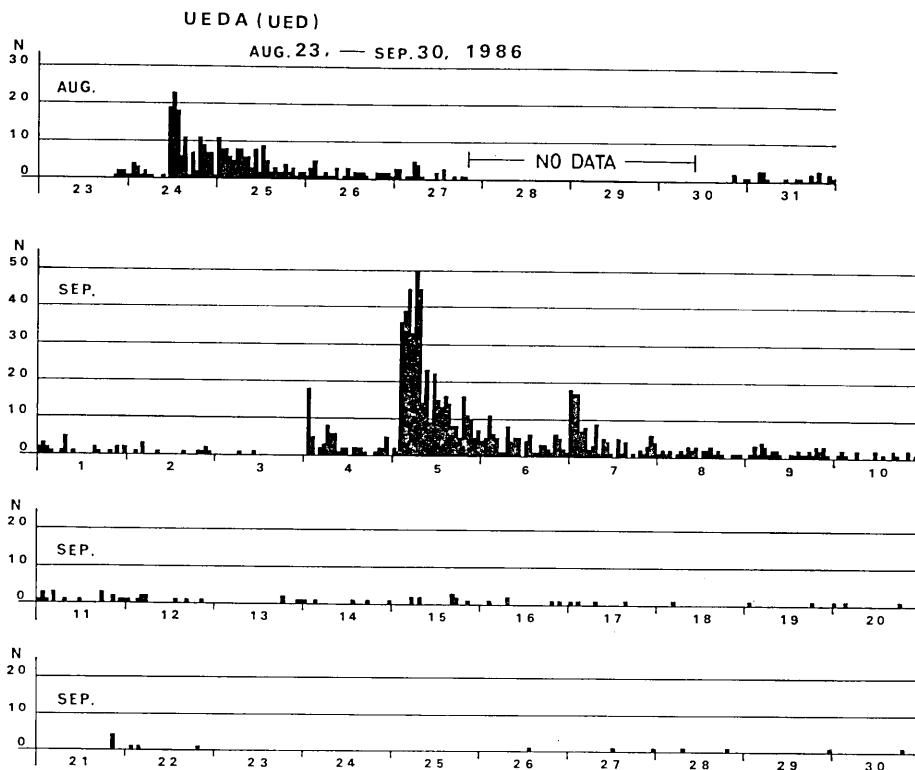


Fig. 9(b). Hourly number of shocks at UED. Note the one-day-long quiescence just before the high activity that started on September 4.

が、この数が何に基づくものかは不明である。当時の長野測候所ではその年の9月より大森式地動計（20倍）と大森式微動計（120倍）の観測を正式に開始した（浜松，1966）が、8月頃から機械は動いていたようである。実際、その地震計による読取原簿（長野微動報告）が現在の長野地方気象台に保管されている。しかし、原簿の地震の数は気象要覧に載っているものよりずっと少い。恐らく気象要覧のデータは上田にあった区内観測所（明治26年1月1日より観測開始）における有感地震の数ではないかと推察される。

今回の丸子町の場合を含め同じように活動に2回の大きなピークをもつ事例を比べたものが Fig. 11 である。1918年大町地震や1897年上高井地震は省いてあるが、2つのピークの間隔の順に上から1969年の焼岳付近、1912年の上田付近、1986年の丸子付近、1963年燕岳付近の地震回数変化を示した。

ここで1912年上田の地震の記録数に見合うマグニチュードの足切りをおこなっている。但し、引用した文献によって M の定義が若干異なるので設定した M の下限は一律ではない。

2つのピークの間隔は焼岳が49時間（約2日）、上田が5日、丸子が12日、燕岳が20日となっている。焼岳や1918年大町地震の場合は、2回目も本震・余震系列と見なすべきである。この場合はピークの時間間隔も短い。その他の場合は時間間隔が長く、2回

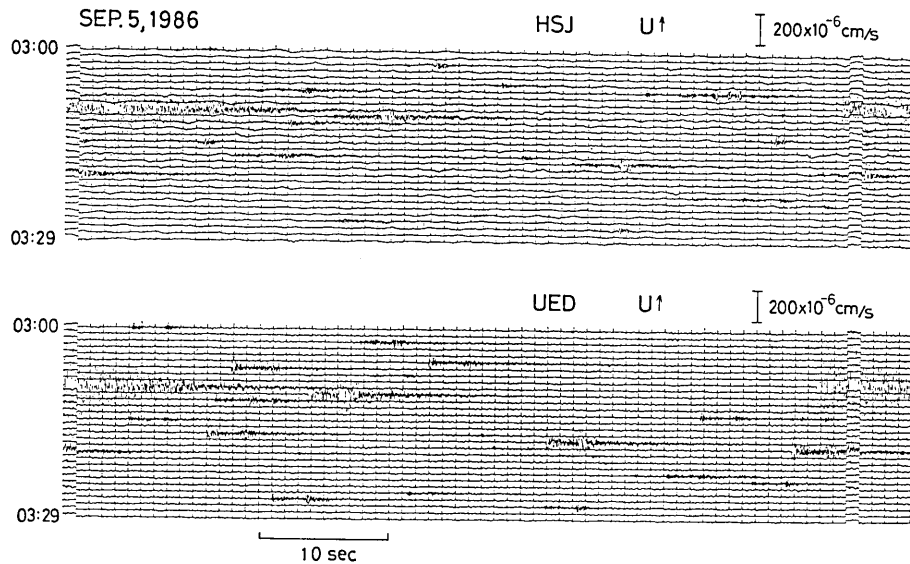


Fig. 10. Waveform records of the swarm activity. From these records the events were picked up and presented in Figs. 9(a) and (b), and Table 4.

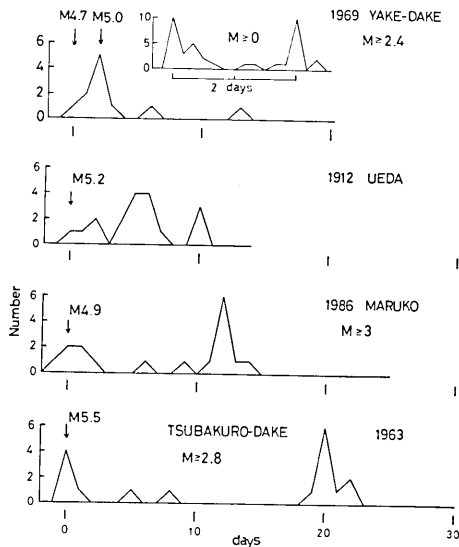


Fig. 11. Seismic sequences with double activity peaks. Data sources other than the 1986 Maruko are as follows. 1969 near Yake-dake (OHTAKE, 1970); 1912 UEDA (Chuo-kishodai, 1912(a)); 1963 near Tsubakuro-dake (HAGIWARA *et al.*, 1966). Threshold magnitudes are chosen depending on the data so as to present similar distribution patterns.

目の活動は群発型である。極端に短い大町地震と極端に長い上高井地震を除けば、この間隔がだいたい2倍づつ長くなっているのも非常に興味深い。

5.4 活動の減衰

活動のピークを越すと地震回数 n が減衰するが、ここでは簡略化した改良大森公式

$$n = t^{-p}$$

を当てはめパラメータ p を求めてみる。簡単のため地震回数は00時から24時まで数え、その日の終りの時点での1日当りの頻度とした。つまり、1日より短い時間の分解能は追求しない。

Fig. 12(a) は本震後の余震の減衰曲線である。但し、本震が発生した日については、本震からその日の終りまでの回数を1日当りに増加させてプロットした。比較の

AFTERSHOCK SEQUENCE

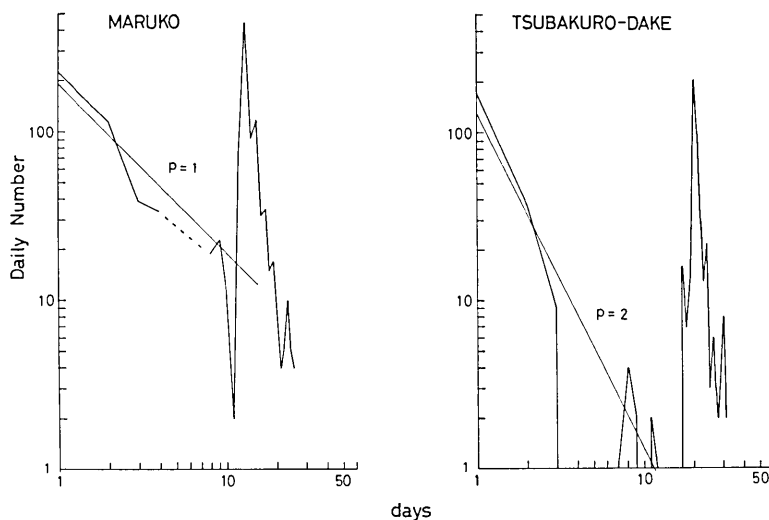


Fig. 12(a). Decay curves of the daily numbers of aftershocks for the 1986 Maruko and 1963 Tsubakuro-dake sequences. Fitted straight lines indicate the power law formula for the number density $n(t)=at^{-p}$, where a is a constant. The data of the Maruko sequence are provided by Table 4, whereas those of Tsubakuro-dake are based on HAGIWARA *et al.* (1966).

SWARM SEQUENCE

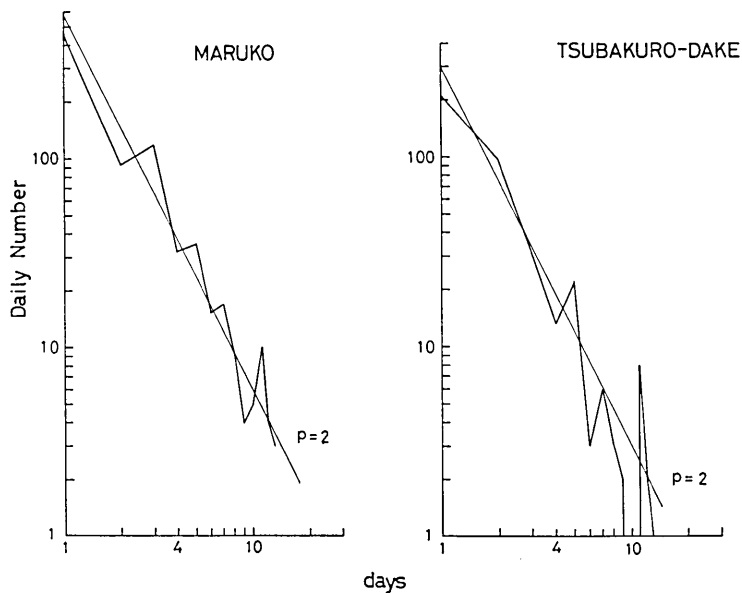


Fig. 12(b) Decay curves of the daily numbers after the swarm peak for the 1986 Maruko and 1963 Tsubakuro-dake sequences.

ために 1963 年の燕岳の地震についても示してある。丸子町の地震では途中データが欠落している期間があるが、5.1 節で述べたようにこの間の地震回数は 10~30 回/日程度であるから図の点線のような仮定が許されるであろう。

丸子町の場合 $p=1$ 程度であり、通常の余震と言える。一方、燕岳の地震では減衰が大きく $p=2$ 程度である。

群発的な 2 回目のピークに関する図が Fig. 12(b) である。こちらは両方とも $p=2$ 程度の大きい減衰を示す。

5.5 震源の移動

9 月 5 日をピークとする活動では前震や本震直後の活動と比べると震源域が拡大したことはすでに述べた。その様子をもっと精密に調べるため観測点間の P time の差の時間変化を調べてみる。全期間を対象とするので定常観測点を用い、そのうち最も震源域に近い UED と UTG を選んだ。但し UTG は地動ノイズのレベルが高く、読取り値の精度並びにデータの時間的な均一性を保つため $M \geq 2.5$ の地震に限定した。

Fig. 13 に示したように本震直後、P time の差 ($t_{UTG} - t_{UED}$) が大きくなった。これは震源が北上したことに対応する。

9 月 1 日から P time 差が小さい地震が現われ始めている。震源が南へ移動したことを意味する。さらに UED における S-P time を調べると、初期には 2.55 秒以下の地震しか起きていなかったのが、8 月 29 日 06 時 09 分の $M 2.2$ の地震 (S-P=2.66 sec) をはじめとして大きな S-P (2.6~2.7 sec) のものが観測されるようになった。この S-P time に対応する震源は震源域の南西部に位置する。

9 月 4 日 01 時から始まった活発化の直前の 9 月 3 日は極めて地震が少い期間 (静穏期) があった。その前の小さな活動の時期からすでに震源拡大が始まっていたことになる。

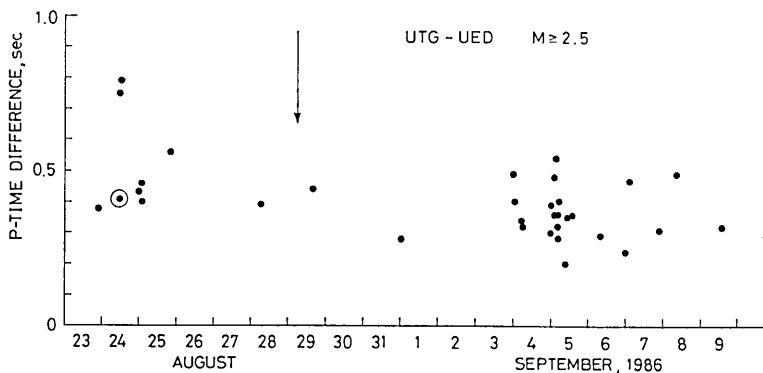


Fig. 13. Temporal change of P time difference between two stationary stations UTG and UED. Double circle indicates the main shock. The higher time differences just after this event indicate northward expansion of hypocenters. In the later period, the hypocenters expanded east-southward. After the time indicated by an arrow, events with S-P times greater than 2.6 at UED had been detected in addition to the regular ones ranging from 2.37 to 2.55. This implies that the expansion of the source region started as early as five days before the onset of the swarm activity.

§6. テクトニクスとの関係

6.1 火山前線

火山前線に沿った地帯には関東地方では栃木県西部の日光付近や山梨県東部のように群発性の地震がよく発生する地域が存在する。その背後は非地震地帯が形成されているのが一般的である(溝上・他, 1986)。2つの火山前線がぶつかる点の背後に発生した丸子町の地震はどのような意味をもつてであろうか。

丸子町付近は通常、地震活動が低調な地域である。信越地震観測所では1978年1月から現在に至る期間の震源データのファイルが作られているが、そのデータの中から今回の地震の震源域に極く近い地震を選び、さらに読取りデータや波形データに立帰って調べ、今回の震源の近傍(半径約5 km)の地震と判定されたものを挙げると、1984年8月7日、 $M1.8$ と1986年6月13日、 $M1.2$ の地震しかない。後者は広い意味で今回の地震の前震と呼んでもよいかもしれない。1986年の活動は震源域の拡大を伴いながら断続的に1987年4月頃まで続いているが、その後は再びほとんど地震が観測されなくなった。

震源域が局限され、火山前線からやや離れていること、それに活動も持続的ではない点日光などの地震活動とは大きく異なる。

火山地帯である日光では地殻上部に溶融体の存在が地震波の反射波の研究から推定されている(MIZOUE *et al.*, 1977)。長野県東部においてもそのような反射波が見つかるかどうかを調べることも臨時観測の目的の一つになっていた。9月11日からは、はじめて水平動地震計2成分をTATに設置しS波の検出能力を高める努力をしたが、結局明瞭な反射波を見出すことはできなかった。

6.2 中央隆起帯

第三紀中新世の始め頃、中部日本には大陥没地帯フォッサマグナが形成されたが、中新世中期以降、その中央部の新潟県十日町から長野県上田市付近を通り諏訪市に至る地帯が隆起し、いわゆる中央隆起帯を生じた(飯島, 1962; 1963)。1986年丸子町の地震はこの隆起帯の東縁で発生した(Fig. 14)。

§3で求めた断層面解はだいたい西上り東落ちの逆断層であった。この運動は中央隆起帯の造構運動の傾向と調和している。起震応力もこの隆起帯にほぼ直交する圧縮力である。

1912年上田の地震も中央隆起帯東縁の地震として位置づけられるであろう。丸子町の地震の北隣りとなる。

1987年4月1日から丸子町の地震の活動が少し回復し、4月18~19日には新たな震源域が出現した。その中心は1986年8月の本震の位置から西へ0.5 km、南へ5.8 kmにあり、最大の地震は $M3.0$ であった。この活動を含めると丸子町の地震の活動域は南北に7~8 kmの長さで中央隆起帯東縁に沿っている。本震直後の余震が北上したことも併せて考えると、この隆起帯東縁の構造的な弱線の存在が推定される。

中央隆起帯の西縁でも1965~1970年頃活発であった松代群発地震やその北隣りの須坂市付近の上高井地震(1897年)が知られていけば一つの地震帯を形成している。しかるに東縁では上田市や丸子町付近に活動域が限られている。その理由としては浅間山や草津白根山などの火山の存在も考えられるが、次に述べる千曲川構造線の影響も考えられる。

また、松代では横ずれ型の地震が多いのに比べると丸子町では逆断層型という違いがあ

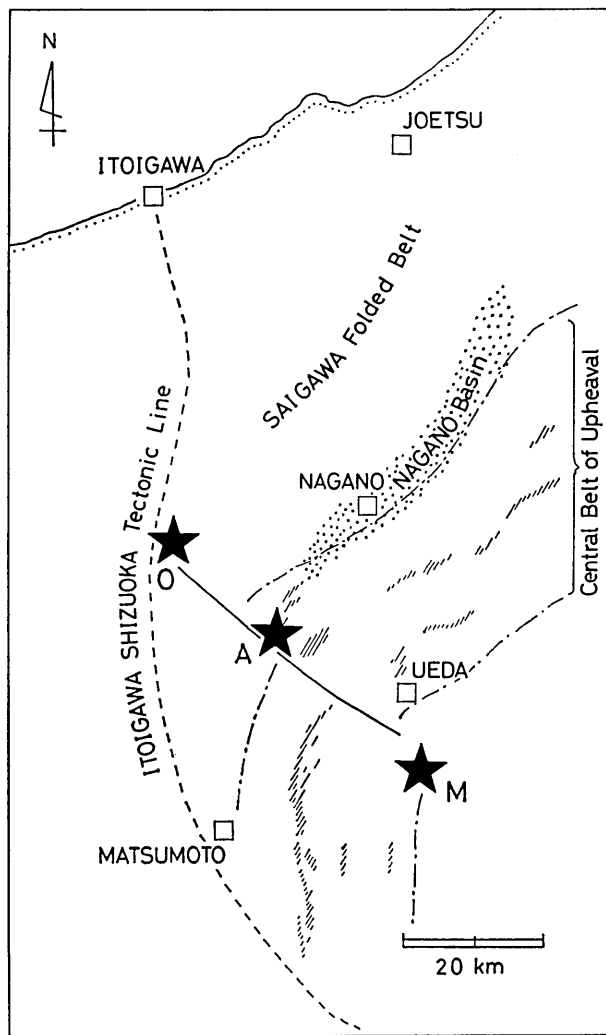


Fig. 14. Tectonic map of the northern Fossa Magna region after TAKEUCHI (1982) and MASATANI and ICHIMURA (1970). Hatched areas are the hydrothermal alteration zones (UTADA, 1973). Solid line indicates the Chikumagawa Tectonic Line. Star marks show the predominant seismic spots in 1986: Maruko Town (M), near Mt. Azumaya (A) and near Oomachi City (O).

る。隆起・沈降のヒンジ付近の褶曲が東側で大きく西側でゆるやかであることを意味するのかもしれない。

丸子町の東側は沈降地帯であって第三紀の陸成堆積層である小諸層群(飯島・他, 1956)や第四紀層が厚く堆積している。この付近の地震学的構造はまだ研究されていないが、小諸観測点(KOM)における今回の地震の波形は中央隆起帯側の観測点(MAR)などに比べてコーダの部分が長く続いており(Fig. 15)、沈降地帯と隆起地帯の構造の違いは明瞭で

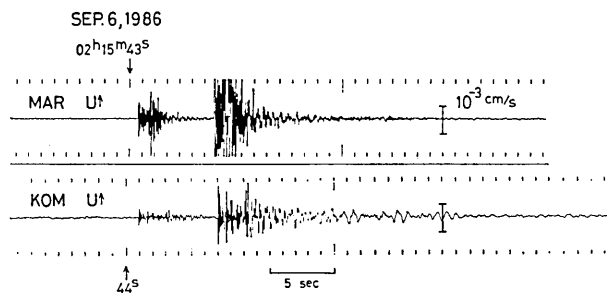


Fig. 15. Waveforms recorded at the temporary stations. Note the long lasting coda waves at KOM, situated in the sedimentary basin east of the Central Belt of Upheaval, compared with the waveforms at MAR located at the eastern margin of the uplifted belt.

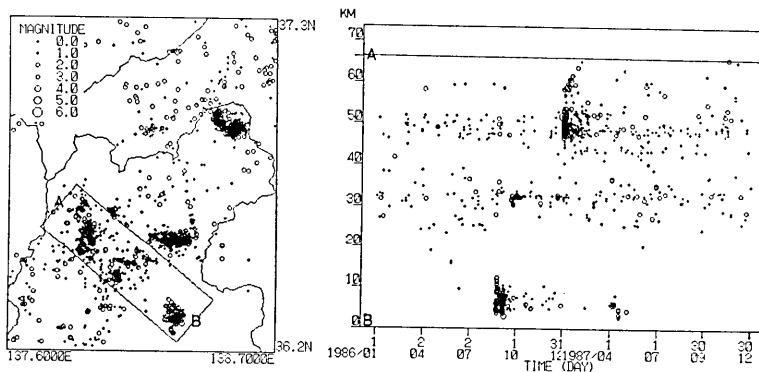


Fig. 16. Space-time distribution of earthquakes along the Chikumagawa Tectonic Line. Note the northwestward migration of activity passing through Maruko Town, near Mt. Azumaya and near Oomachi City at a speed of 150 km/year.

ある。

このような隆起・沈降の変動が現在でも続いているのかどうか、その変曲点にあたる隆起帯東縁で逆断層を形成しつつあるのであろうか。今までのところ第四紀に活動したような活断層は知られていない。水準測量による上下変動のデータも不足しているが、この地域の少し南の下諏訪町から高崎市に至る路線では 1965 年から 1972 年の間に高崎へ向って、つまり東の方へ沈下する傾向が検出されている (国土地理院, 1973)。

6.3 千曲川構造線

1986 年 8 月 23 日から始まった丸子町の地震活動の後、同年 9~10 月には拡大した松代群発地震活動域の南東の端にあたる長野県麻積村付近 (四阿屋山付近) で 9 月 30 日 20 時 46 分、 $M4.1$ の地震を主震とする活動があり、さらに同年 12 月 30 日 09 時 38 分には $M5.9$ の地震が長野県大町市の北方 (美麻村付近) で発生した。美麻村付近では 1986 年 6 月日頃より $M < 2$ の小さな地震が群をなして発生していたが、丸子町の地震

(M4.9) の 5 時間後と 12 時間後にそれまでの活動では最大の M2 クラスの地震が 2 回発生するという同期現象が見られた。

Fig. 16 に示したように丸子町付近、四阿屋山付近、大町市付近の活動域はほぼ直線で結ばれ、この 50 km の長さの線に沿って 4~5 ヶ月という短期間のうちに地震活動が集中した。それぞれの地点での活動のピークは南東から北西へ約 150 km/year の速度で移動したことになる。

この活動線は TAKEUCHI (1978) 及び赤羽 (1981) が提唱する千曲川構造線にだいたい一致している。TAKEUCHI (1978) に基づくと、この構造線が存在する根拠は大略次の 2 点にまとめられる。

(1) 中央隆起帯の軸に沿って平行に走る 3 列の熱水変質帯 (歌田, 1973) が、この構造線を境にして水平にくいちがっている (Fig. 14)。最も明瞭な中央の変質帯について測ると左ずれの量は約 10 km になる。

(2) 概略地形を表わす接峰面図からこの構造線に沿う直線的な高度急変地帯が読みとれる。特に北側のリニアメントが明瞭である。

この構造線は熱水変質帯が生成された後、中新世後期から鮮新世にかけてのある時期に活動したものと推定され、第四紀以降に活動したという地形学的・地質学的証拠はまだ確認されていない。

ただ、千曲川構造線と関係がありそうな活断層層がないわけではない。丸子町の西、上田市の独鈷山の北東側の山麓に西北西-東南東へ走る北落ちの 2 列の断層地形がある (Fig. 3)。この東の延長線に今回の地震の震源域がくる。地震時、丸子町中丸子の中丸子保育所の園庭に走向 N80°W、全長 17 m の地割れ群が現われた (気象庁地震観測所, 1987) が、震源は深く (6 km)、震源断層の走向も南北に近い (N20°E) ので、これは地表における 2 次的な現象と思われる。

一方、地震活動の上では 1986 年の他 1912~1918 年にもこの構造線と関係がありそうな事件があった。1912 年 8 月の上田市付近の地震の直後の 9 月には大町付近に「稍々著ナル 1 回、局発 8 回」の地震があったと気象要覧 (中央气象台, 1912b) に記されている。さらに、6 年後の 1918 年 7 月には、いわゆる大町地震が発生している。この大正時代の活動では活動期が 6 年ほどであり長いように思えるが、今回までの間隔 (68~74 年) と比べるとほぼ同時の同期した活動と見なしてよいであろう。

§7. ま と め

1986 年 8 月~9 月の長野県東部、丸子町付近の地震活動は前震・本震・余震系列に群発地震活動が重なったものであった。これと同じような特異な活動に対して高感度地震観測が行われたのは 1963 年の燕岳付近の場合が初めてであろう (HAGIWARA *et al.*, 1963)。この時は観測点が 1 点のみで震源から約 20 km 離れていたのに対し、今回の研究では近傍の観測網のデータが取得でき、東西に 3 km、南北に 2 km、深さ方向に 3 km の幅に収まった震源分布や、群発地震活動の開始前から震源域の拡大の兆候が現われ、約 1 日間の静穏期を経て大きな活動に至ったというような活動変化の詳しい情報が得られた。

震源の絶対精度は水平方向に 1 km 以内、深さ方向に 1.5 km 以内であり、相対精度は

震央について 200~400 m, 深さは 500 m 程度である。

本研究で決定した丸子町の地震の諸要素は以下の通りである。

本震

震源時 1986 年 8 月 24 日 11 時 34 分 58.98 秒
 震央 36.3208°N, 138.2761°E
 深さ 6.1 km
 F-P マグニチュード 4.9 ($M_{JMA}=4.9$)

発震機構

P 軸 方位 N70°W, 傾斜 10°
 T 軸 方位 E20°S, 傾斜 79°
 N 軸 方位 N19°E, 傾斜 0°

前震 6 回 (8 月 23 日 20 時~24 日 11 時) 最大 M 3.0

最大余震 9 月 5 日 02 時 29 分 M 4.3 ($M_{JMA}=4.0$)

9 月 7 日 19 時 17 分 M 4.3 ($M_{JMA}=4.0$)

b 値 (9 月 4 日~9 月 30 日)

$0 < M < 4.5$ $b=0.68$

$0 < M < 1.5$ $b=1.1$

$1.5 < M < 3.5$ $b=0.81$ (8 月 23 日~9 月 3 日も同様)

余震の減衰 (8 月 24 日~31 日)

$p \sim 1$

群発地震の減衰 (9 月 5 日以降)

$p \sim 2$

本震の震源要素は §2 の 2.1 に述べた方法で補正を施した結果である。震源時の計算は UED 観測点での走時を均質媒質 ($V_p=6$ km/s) としておこなった。

本震については上の要素の他, 三上・他 (1987) によって点震源モデルによる地震モーメントが計算されている。その値は $M_0=1.5 \times 10^{23}$ dyn·cm であり, 日本付近の地震に対して求められた M に関する経験式 $\log_{10} M_0=1.5 M+16.1$ によく適合する (三上・他, 1987)。

近傍における臨時観測は震源決定に大きく寄与しただけでなく, 小さい地震までの M 別頻度分布に Gutenberg-Richter の関係から有意にずれる小さな山谷が存在することを明らかにした。

丸子町の地震活動を契機としてフォッサマグナの中央隆起帯を切る千曲川構造線に沿った同期した活動が見られた。主要な活動の移動速度は約 150 km/year である。大正時代にもこの構造線付近で活動があり, この 2 回の活動の間隔は約 70 年である。

また, これらの活動の後, 1987 年には松代付近や長野県北部の飯山付近, 新潟県糸川市沖の日本海などで目立った活動が現われ, 北部フォッサマグナー帯の活動が活発になった (佃・他, 1988)。このテクトニクスの意味については今後の研究課題である。

Table 3. List of earthquakes of the Maruko sequence detected at MAR (temporary station) during the period from September 4 to 30, 1986. F-P times with the mark > would be somewhat greater than the values given in the table. If they are ambiguous, F-P magnitudes are not listed. The magnitude is calculated by the formula: $M=2.85 \log(F-P)-2.36$.

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
4	0 1 0 1	>141	3.9	4	0 7 2 2	5	-0.4
	0 1 0 3	8	0.2		0 7 2 5	9	0.4
	0 1 0 4	7	0.1		0 7 2 8	7	0.1
	0 1 0 5	15	1.0		0 7 2 8	5	-0.4
	0 1 0 6	8	0.2		0 7 5 7	13	0.8
	0 1 1 4	23	1.5		0 8 0 0	7	0.1
	0 1 1 4	> 36	2.1		0 8 0 0	13	0.8
	0 1 1 4	14	0.9		0 8 0 5	8	0.2
	0 1 1 5	7	0.1		0 8 1 1	8	0.2
	0 1 1 6	7	0.1		0 8 4 2	7	0.1
	0 1 1 7	7	0.1		0 8 5 8	5	-0.4
	0 1 2 6	56	2.6		0 9 4 4	8	0.2
	0 1 2 6	> 4	—		1 0 0 0	28	1.8
	0 1 3 2	12	0.7		1 0 0 6	8	0.2
	0 1 3 2	6	-0.1		1 0 4 6	8	0.2
	0 1 4 2	> 20	1.6		1 1 0 6	29	1.8
	0 1 4 9	> 30	1.9		1 1 1 8	7	0.1
	0 2 0 6	23	1.5		1 2 0 4	9	0.4
	0 2 1 7	11	0.6		1 2 0 9	> 5	—
	0 2 1 8	11	0.6		1 3 0 5	7	0.1
	0 2 5 4	9	0.4		1 3 0 6	7	0.1
	0 4 0 2	> 37	2.2		1 3 1 3	19	1.3
	0 5 1 4	8	0.2		1 3 2 5	7	0.1
	0 5 4 8	13	0.8		1 3 3 9	8	0.2
	0 6 1 1	> 61	2.9		1 4 3 5	9	0.4
	0 6 1 5	29	1.8		1 4 5 2	9	0.4
	0 6 2 1	11	0.6		1 5 1 6	20	1.4
	0 6 2 3	13	0.8		1 6 4 7	7	0.1
	0 6 3 4	70	2.9		1 6 4 7	8	0.2
	0 6 3 5	10	0.5		1 9 3 4	15	1.0
	0 6 3 5	4	-0.6		2 0 4 0	8	0.2
	0 6 4 1	6	-0.1		2 0 4 2	27	1.7
	0 6 4 1	6	-0.1		2 1 0 7	11	0.6
	0 7 1 5	23	1.5		2 1 2 8	13	0.8
	0 7 1 7	7	0.1		2 2 1 2	9	0.4
	0 7 1 9	4	-0.6		2 2 2 1	8	0.2
	0 7 1 9	8	0.2		2 2 2 1	8	0.2

(to be continued)

Table 3 (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
4	2 2 3 3	10	0.5	5	0 2 4 7	33	2.0
	2 2 3 7	> 43	2.4		0 2 4 8	6	-0.1
					0 2 4 8	9	0.4
5	0 0 0 4	8	0.2		0 2 4 8	6	-0.1
	0 0 4 1	13	0.8		0 2 4 8	8	0.2
	0 1 4 7	9	0.4		0 2 4 8	9	0.4
	0 2 2 8	> 10	0.9		0 2 4 8	7	0.1
	0 2 2 8	> 60	3.5		0 2 5 3	9	0.4
	0 2 2 9	>150	4.3		0 2 5 3	7	0.1
	0 2 2 9	8	0.2		0 2 5 3	13	0.8
	0 2 3 0	7	0.1		0 2 5 6	23	1.5
	0 2 3 0	10	0.5		0 2 5 6	7	0.1
	0 2 3 2	8	0.2		0 3 0 0	6	-0.1
	0 2 3 2	6	-0.1		0 3 0 0	8	0.2
	0 2 3 3	7	0.1		0 3 0 2	10	0.5
	0 2 3 3	7	0.1		0 3 0 5	9	0.4
	0 2 3 3	8	0.2		0 3 0 5	7	0.1
	0 2 3 3	8	0.2		0 3 0 6	10	0.5
	0 2 3 4	7	0.1		0 3 0 8	> 29	2.0
	0 2 3 4	6	-0.1		0 3 1 0	19	1.3
	0 2 3 4	7	0.1		0 3 1 3	8	0.2
	0 2 3 4	9	0.4		0 3 1 3	7	0.1
	0 2 3 5	8	0.2		0 3 1 4	8	0.2
	0 2 3 6	9	0.4		0 3 1 6	10	0.5
	0 2 3 6	11	0.6		0 3 1 6	4	-0.6
	0 2 3 7	8	0.2		0 3 1 7	13	0.8
	0 2 3 7	> 7	—		0 3 1 8	6	-0.1
	0 2 3 7	> 5	—		0 3 1 8	15	1.0
	0 2 3 7	> 25	2.3		0 3 2 3	8	0.2
	0 2 3 8	7	0.1		0 3 2 4	7	0.1
	0 2 3 8	11	0.6		0 3 2 5	7	0.1
	0 2 3 9	23	1.5		0 3 2 6	8	0.2
	0 2 4 1	8	0.2		0 3 2 7	7	0.1
	0 2 4 3	> 4	—		0 3 2 7	9	0.4
	0 2 4 3	10	0.5		0 3 3 6	7	0.1
	0 2 4 3	> 33	2.1		0 3 3 6	7	0.1
	0 2 4 4	7	0.1		0 3 3 7	> 51	2.8
	0 2 4 6	7	0.1		0 3 3 7	9	0.4
	0 2 4 6	19	1.3		0 3 3 9	21	1.4
	0 2 4 6	> 15	2.5		0 3 4 1	8	0.2

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
5	0 3 4 2	24	1.6	5	0 4 4 7	9	0.4
	0 3 4 4	8	0.2		0 4 4 8	8	0.2
	0 3 4 5	13	0.8		0 4 4 9	9	0.4
	0 3 4 6	9	0.4		0 4 5 0	8	0.2
	0 3 4 8	8	0.2		0 4 5 4	9	0.4
	0 3 4 9	42	2.3		0 4 5 5	8	0.2
	0 3 5 1	9	0.2		0 4 5 9	11	0.6
	0 3 5 2	8	0.2		0 5 0 1	10	0.5
	0 3 5 9	14	0.9		0 5 0 3	9	0.4
	0 4 0 0	8	0.2		0 5 0 3	7	0.1
	0 4 0 4	9	0.4		0 5 0 7	7	0.1
	0 4 0 6	9	0.4		0 5 0 7	11	0.6
	0 4 1 0	7	0.1		0 5 1 0	> 70	3.4
	0 4 1 0	7	0.1		0 5 1 6	9	0.4
	0 4 1 4	15	1.0		0 5 1 6	8	0.2
	0 4 1 4	4	-0.6		0 5 1 9	5	-0.4
	0 4 1 6	24	1.6		0 5 1 9	> 50	2.8
	0 4 1 8	11	0.6		0 5 2 1	10	0.5
	0 4 1 9	8	0.2		0 5 2 1	5	-0.4
	0 4 2 0	7	0.1		0 5 2 2	11	0.6
	0 4 2 1	7	0.1		0 5 2 2	8	0.2
	0 4 2 2	>120	3.8		0 5 2 5	7	0.1
	0 4 2 4	8	0.2		0 5 2 5	8	0.2
	0 4 2 4	7	0.1		0 5 2 7	10	0.5
	0 4 2 5	9	0.4		0 5 2 7	8	0.2
	0 4 2 6	8	0.2		0 5 3 1	8	0.2
	0 4 2 7	19	1.3		0 5 3 2	>100	3.3
	0 4 3 2	8	0.2		0 5 3 3	7	0.1
	0 4 3 4	9	0.4		0 5 3 9	32	1.9
	0 4 3 8	5	-0.4		0 5 4 0	9	0.4
	0 4 3 8	9	0.4		0 5 4 2	8	0.2
	0 4 3 9	7	0.1		0 5 4 4	8	0.2
	0 4 3 9	7	0.1		0 5 4 4	8	0.2
	0 4 4 2	10	0.5		0 5 4 9	9	0.4
	0 4 4 3	7	0.1		0 5 5 0	8	0.2
	0 4 4 4	7	0.1		0 5 5 3	7	0.1
	0 4 4 4	9	0.4		0 5 5 5	7	0.1
	0 4 4 4	8	0.2		0 5 5 5	7	0.1
	0 4 4 6	36	2.1		0 5 5 7	7	0.1
	0 4 4 6	7	0.1		0 6 0 1	26	1.7

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986							
DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
5	0 6 0 2	25	1.6	5	0 6 3 9	8	0.2
	0 6 0 3	23	1.5		0 6 3 9	25	1.6
	0 6 0 4	> 5	—		0 6 4 2	8	0.2
	0 6 0 5	8	0.2		0 6 4 2	13	0.8
	0 6 0 6	11	0.6		0 6 4 5	8	0.2
	0 6 0 7	8	0.2		0 6 5 0	14	0.9
	0 6 0 7	> 6	1.6		0 6 5 3	7	0.1
	0 6 0 7	10	0.5		0 6 5 3	14	0.9
	0 6 1 1	> 6	1.2		0 6 5 3	25	1.6
	0 6 1 1	>150	3.9		0 6 5 3	9	0.4
	0 6 1 1	> 25	—		0 6 5 4	9	0.4
	0 6 1 2	> 7	—		0 6 5 8	9	0.4
	0 6 1 3	13	0.8		0 6 5 8	8	0.2
	0 6 1 3	5	-0.4		0 7 0 1	7	0.1
	0 6 1 3	7	0.1		0 7 0 1	7	0.1
	0 6 1 3	5	-0.4		0 7 0 2	8	0.2
	0 6 1 4	7	0.1		0 7 0 2	10	0.5
	0 6 1 4	7	0.1		0 7 0 2	8	0.2
	0 6 1 5	> 3	—		0 7 0 2	8	0.2
	0 6 1 5	> 15	—		0 7 0 3	8	0.2
	0 6 1 5	18	1.2		0 7 0 7	9	0.4
	0 6 1 5	7	0.1		0 7 0 8	11	0.6
	0 6 1 6	7	0.1		0 7 0 8	18	1.2
	0 6 1 6	29	1.8		0 7 1 0	9	0.4
	0 6 1 6	9	0.4		0 7 1 1	9	0.4
	0 6 2 1	31	1.9		0 7 1 5	8	0.2
	0 6 2 3	18	1.2		0 7 2 1	9	0.4
	0 6 2 3	8	0.2		0 7 2 1	10	0.5
	0 6 2 4	8	0.2		0 7 2 2	10	0.5
	0 6 2 4	7	0.1		0 7 2 8	8	0.2
	0 6 2 4	13	0.8		0 7 2 9	29	1.8
	0 6 2 5	10	0.5		0 7 2 9	8	0.2
	0 6 2 6	10	0.5		0 7 2 9	8	0.2
	0 6 2 6	7	0.1		0 7 3 0	8	0.2
	0 6 2 9	7	0.1		0 7 3 1	7	0.1
	0 6 2 9	20	1.4		0 7 3 1	7	0.1
	0 6 3 1	8	0.2		0 7 3 1	7	0.1
	0 6 3 2	8	0.2		0 7 3 3	8	0.2
	0 6 3 7	25	1.6		0 7 3 5	9	0.4
	0 6 3 9	6	-0.1		0 7 3 6	10	0.5

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
5	0 7 3 7	40	2.2	5	0 9 4 6	9	0.4
	0 7 4 0	> 10	1.2		0 9 4 7	9	0.4
	0 7 4 0	9	0.4		0 9 5 4	10	0.5
	0 7 4 0	8	0.2		0 9 5 4	8	0.2
	0 7 4 0	8	0.2		1 0 0 1	8	0.2
	0 7 4 0	8	0.2		1 0 0 5	7	0.1
	0 7 4 1	> 8	—		1 0 0 6	8	0.2
	0 7 4 1	11	0.6		1 0 2 2	8	0.2
	0 7 4 2	10	0.5		1 0 2 7	12	0.7
	0 7 5 1	20	1.4		1 0 3 1	8	0.2
	0 7 5 9	13	0.8		1 0 4 2	> 35	2.6
	0 8 0 0	8	0.2		1 0 4 3	11	0.6
	0 8 0 7	10	0.5		1 0 5 3	9	0.4
	0 8 2 2	10	0.5		1 0 5 9	9	0.4
	0 8 2 2	13	0.8		1 1 0 0	11	0.6
	0 8 3 1	8	0.2		1 1 0 2	14	0.9
	0 8 3 3	11	0.6		1 1 1 3	7	0.1
	0 8 3 3	24	1.6		1 1 1 4	24	1.6
	0 8 3 4	8	0.2		1 1 1 5	9	0.4
	0 8 3 7	13	0.8		1 1 1 5	12	0.7
	0 8 3 8	11	0.6		1 1 1 5	8	0.2
	0 8 4 0	9	0.4		1 1 1 6	8	0.2
	0 8 4 8	8	0.2		1 1 2 1	10	0.5
	0 8 5 1	9	0.4		1 1 2 3	> 38	2.5
	0 8 5 7	30	1.9		1 1 2 5	13	0.8
	0 9 0 1	7	0.1		1 1 2 6	> 9	—
	0 9 0 1	> 26	1.8		1 1 2 6	8	0.2
	0 9 0 8	23	1.8		1 1 2 8	8	0.2
	0 9 1 0	42	2.3		1 1 3 7	20	1.4
	0 9 1 6	8	0.2		1 1 3 7	8	0.2
	0 9 1 8	8	0.2		1 1 3 9	25	1.6
	0 9 1 9	7	0.1		1 1 4 8	26	1.7
	0 9 2 3	7	0.1		1 1 5 6	10	0.5
	0 9 2 3	8	0.2		1 2 0 2	41	2.2
	0 9 2 6	14	0.9		1 2 0 3	7	0.1
	0 9 2 9	7	0.1		1 2 0 4	13	0.8
	0 9 3 6	9	0.4		1 2 0 4	8	0.2
	0 9 4 2	8	0.2		1 2 1 0	6	-0.1
	0 9 4 3	9	0.4		1 2 1 0	33	2.0
	0 9 4 4	> 6	—		1 2 1 5	7	0.1

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
5	1 2 1 9	9	0.4	5	1 4 5 8	7	0.1
	1 2 2 2	26	1.7		1 4 5 9	8	0.2
	1 2 2 2	7	0.1		1 5 1 3	30	1.9
	1 2 2 7	8	0.2		1 5 1 4	30	2.0
	1 2 2 8	20	1.4		1 5 2 0	8	0.2
	1 2 2 9	7	0.1		1 5 2 1	8	0.2
	1 2 4 1	10	0.5		1 5 2 2	8	0.2
	1 2 4 6	7	0.1		1 5 2 5	7	0.1
	1 2 5 8	6	-0.1		1 5 2 6	6	-0.1
	1 2 5 8	8	0.2		1 5 2 6	7	0.1
	1 3 0 4	9	0.4		1 5 2 8	10	0.5
	1 3 1 7	12	0.7		1 5 2 9	7	0.1
	1 3 2 1	10	0.5		1 5 3 1	7	0.1
	1 3 2 2	8	0.2		1 5 3 2	8	0.2
	1 3 3 1	10	0.5		1 5 3 9	11	0.6
	1 3 3 4	15	1.0		1 5 4 1	8	0.2
	1 3 3 4	> 7	—		1 5 4 2	9	0.4
	1 3 3 9	20	1.4		1 5 4 4	12	0.7
	1 3 3 9	7	0.1		1 5 4 5	10	0.5
	1 3 4 8	8	0.2		1 6 0 6	9	0.4
	1 3 4 8	8	0.2		1 6 1 0	7	0.1
	1 3 4 9	11	0.6		1 6 1 0	7	0.1
	1 3 5 0	8	0.2		1 6 1 0	13	0.8
	1 3 5 4	8	0.2		1 6 1 2	7	0.1
	1 3 5 5	30	1.9		1 6 2 5	9	0.4
	1 4 0 1	8	0.2		1 6 3 1	10	0.5
	1 4 0 3	15	1.0		1 6 3 3	13	0.8
	1 4 0 9	8	0.2		1 6 3 6	> 5	—
	1 4 1 1	7	0.1		1 6 4 3	8	0.2
	1 4 1 3	8	0.2		1 6 5 2	8	0.2
	1 4 1 5	> 37	2.6		1 7 0 1	7	0.1
	1 4 1 5	9	0.4		1 7 0 1	13	0.8
	1 4 1 6	8	0.2		1 7 1 8	7	0.1
	1 4 1 9	9	0.4		1 7 2 2	8	0.2
	1 4 2 3	15	1.0		1 7 3 9	7	0.1
	1 4 2 4	8	0.2		1 7 4 6	24	1.6
	1 4 3 3	7	0.1		1 7 4 6	9	0.4
	1 4 4 1	10	0.5		1 7 5 6	9	0.4
	1 4 4 7	10	0.5		1 8 2 5	7	0.1
	1 4 4 9	9	0.4		1 8 3 0	20	1.4

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986							
DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
5	1 8 4 5	7	0.1	5	2 3 1 1	13	0.8
	1 8 4 9	7	0.1		2 3 2 5	30	1.9
	1 8 5 0	8	0.2		2 3 3 5	9	0.4
	1 8 5 2	7	0.1		2 3 3 7	9	0.4
	1 8 5 5	9	0.4		2 3 4 9	7	0.1
	1 9 1 1	8	0.2				
	1 9 1 2	8	0.2	6	0 0 2 8	> 5	—
	1 9 1 2	9	0.4		0 0 2 8	9	0.4
	1 9 1 5	7	0.1		0 0 3 0	7	0.1
	1 9 2 0	12	0.7		0 0 4 5	9	0.4
	1 9 2 7	23	1.5		0 1 1 0	7	0.1
	1 9 2 8	13	0.8		0 1 1 0	7	0.1
	1 9 2 9	41	2.2		0 1 1 7	7	0.1
	1 9 3 0	15	1.0		0 1 4 0	6	-0.1
	1 9 3 2	9	0.4		0 2 0 3	9	0.4
	1 9 3 2	16	1.1		0 2 0 5	7	0.1
	1 9 3 6	9	0.4		0 2 0 6	13	0.8
	1 9 3 7	7	0.1		0 2 1 5	12	0.7
	2 0 0 0	12	0.7		0 2 1 5	33	2.0
	2 0 0 4	10	0.5		0 2 3 6	15	1.0
	2 0 1 0	9	0.4		0 2 4 6	23	1.5
	2 0 1 1	8	0.2		0 2 4 6	20	1.4
	2 0 1 2	26	1.7		0 2 4 8	23	1.5
	2 0 1 3	20	1.4		0 2 5 1	6	-0.1
	2 0 1 3	7	0.1		0 3 1 7	31	1.9
	2 0 1 4	7	0.1		0 3 1 7	12	0.7
	2 0 1 4	8	0.2		0 3 3 0	9	0.4
	2 0 2 9	9	0.4		0 3 4 3	6	-0.1
	2 0 4 1	7	0.1		0 3 4 3	8	0.2
	2 1 0 1	15	1.0		0 4 0 0	24	1.6
	2 1 0 1	7	0.1		0 4 2 7	7	0.1
	2 1 0 7	8	0.2		0 4 4 1	11	0.6
	2 1 2 1	23	1.5		0 4 4 2	7	0.1
	2 1 3 8	28	1.8		0 5 0 9	8	0.2
	2 1 4 6	30	1.9		0 5 2 2	26	1.7
	2 1 5 8	9	0.4		0 5 2 2	7	0.1
	2 2 0 2	9	0.4		0 6 1 8	7	0.1
	2 2 1 8	12	0.7		0 6 3 6	23	1.5
	2 2 5 1	24	1.6		0 6 5 8	7	0.1
	2 3 1 0	8	0.2		0 7 0 6	13	0.8

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAC.
6	0 7 1 2	13	0.8	6	1 8 5 7	13	0.8
	0 7 1 9	8	0.2		1 9 1 7	20	1.4
	0 7 3 5	> 50	2.9		1 9 3 9	9	0.4
	0 7 3 8	30	1.9		2 0 1 4	11	0.6
	0 7 3 9	> 48	2.3		2 0 2 3	13	0.8
	0 7 4 0	11	0.6		2 0 3 3	7	0.1
	0 7 4 0	7	0.1		2 0 3 9	7	0.1
	0 8 0 5	9	0.4		2 1 0 9	11	0.6
	0 8 1 1	10	0.5		2 1 1 3	10	0.5
	0 8 5 8	8	0.2		2 1 2 3	9	0.4
	0 8 5 9	12	0.7		2 1 3 8	21	0.7
	0 9 0 1	8	0.2		2 1 5 9	7	0.1
	0 9 0 6	10	0.5		2 2 0 8	9	0.4
	0 9 0 8	8	0.2		2 2 0 9	8	0.2
	0 9 2 3	7	0.1		2 3 5 1	10	0.5
	0 9 3 7	12	0.7				
	0 9 3 7	9	0.4	7	0 0 3 4	213	4.3
	0 9 4 1	7	0.1		0 0 3 6	8	0.2
	1 0 0 6	35	2.0		0 0 3 7	6	-0.1
	1 0 1 5	8	0.2		0 0 3 7	8	0.2
	1 0 2 1	13	0.8		0 0 3 9	8	0.2
	1 0 2 8	7	0.1		0 0 3 9	24	1.6
	1 0 4 5	13	0.8		0 0 4 1	20	1.4
	1 2 0 4	8	0.2		0 0 4 4	8	0.2
	1 2 1 3	8	0.2		0 0 4 6	7	0.1
	1 3 0 4	15	1.0		0 0 4 6	10	0.5
	1 3 0 4	20	1.4		0 0 4 7	7	0.1
	1 3 0 9	8	0.2		0 0 5 3	8	0.2
	1 3 0 9	10	0.5		0 0 5 4	7	0.1
	1 3 1 1	8	0.2		0 0 5 5	> 6	—
	1 3 4 3	11	0.6		0 0 5 5	24	1.6
	1 3 4 8	9	0.4		0 0 5 6	11	0.6
	1 4 4 1	9	0.4		0 0 5 6	7	0.1
	1 5 0 3	9	0.4		0 1 0 2	10	0.5
	1 6 3 0	9	0.4		0 1 0 6	8	0.2
	1 6 3 3	7	0.1		0 1 1 0	8	0.2
	1 6 4 6	7	0.1		0 1 1 1	29	1.8
	1 7 2 2	7	0.1		0 1 2 0	8	0.2
	1 7 5 7	19	1.3		0 1 2 2	7	0.1
	1 7 5 9	8	0.2		0 1 2 8	8	0.2

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
7	0 1 2 8	40	2.2	7	0 9 4 6	30	1.9
	0 1 3 1	10	0.5		0 9 5 7	12	0.7
	0 1 3 4	9	0.4		1 0 2 0	30	1.9
	0 1 4 6	8	0.2		1 0 2 0	10	0.5
	0 2 0 2	7	0.1		1 0 5 6	9	0.4
	0 2 0 4	9	0.4		1 1 0 5	8	0.2
	0 2 0 4	8	0.2		1 3 0 2	7	0.1
	0 2 1 1	9	0.4		1 3 0 8	8	0.2
	0 2 1 5	14	0.9		1 3 3 9	24	1.6
	0 2 2 4	8	0.2		1 3 4 0	13	0.8
	0 2 2 7	10	0.5		1 3 5 5	13	0.8
	0 2 2 8	7	0.1		1 4 1 0	9	0.4
	0 2 4 8	7	0.1		1 5 1 6	12	0.7
	0 2 5 3	> 52	2.8		1 5 1 7	6	-0.1
	0 2 5 6	33	2.0		1 5 3 7	8	0.2
	0 3 2 6	12	0.7		1 9 3 5	7	0.1
	0 3 2 8	10	0.5		2 1 0 2	28	1.8
	0 3 2 9	9	0.4		2 1 1 7	36	2.1
	0 3 3 7	10	0.5		2 1 4 9	8	0.2
	0 4 0 1	7	0.1		2 2 0 2	14	0.9
	0 4 0 4	> 5	—		2 2 0 3	8	0.2
	0 4 0 4	8	0.2		2 2 2 1	> 53	3.0
	0 4 0 9	8	0.2		2 2 2 3	30	1.9
	0 4 4 2	13	0.8		2 2 2 8	9	0.4
	0 4 4 6	8	0.2		2 2 3 9	9	0.4
	0 4 4 9	7	0.1		2 3 1 5	8	0.2
	0 4 5 4	7	0.1		2 3 2 2	8	0.2
	0 5 2 2	20	1.4		2 3 2 8	5	-0.4
	0 6 0 1	8	0.2		2 3 3 8	8	0.2
	0 6 2 5	7	0.1				
	0 7 0 0	9	0.4	8	0 0 5 4	13	0.8
	0 7 1 8	8	0.2		0 1 1 1	9	0.4
	0 7 1 8	30	1.9		0 1 5 9	23	1.5
	0 7 2 8	7	0.1		0 2 1 1	6	-0.1
	0 7 3 2	8	0.2		0 3 2 0	10	0.5
	0 7 3 5	13	0.8		0 3 5 1	6	-0.1
	0 7 4 0	8	0.2		0 6 0 1	9	0.4
	0 8 1 1	10	0.5		0 7 3 4	8	0.2
	0 9 3 8	33	2.0		0 8 4 7	5	-0.4
	0 9 4 5	35	2.0		0 8 5 2	23	1.5

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986							
DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
8	0856	> 30	2.8	9	1621	8	0.2
	0856	18	1.2		1639	9	0.4
	0913	10	0.5		1733	9	0.4
	0936	8	0.2		1734	9	0.4
	1014	8	0.2		1808	8	0.2
	1023	16	1.1		1900	6	-0.1
	1038	37	2.1		1937	9	0.4
	1046	8	0.2		2056	6	-0.1
	1202	9	0.4		2124	9	0.4
	1254	36	2.1		2144	9	0.4
	1334	8	0.2				
	1408	11	0.6	10	0233	8	0.2
	1421	8	0.2		0252	13	0.8
	1427	8	0.2		0355	7	0.1
	1551	8	0.2		0611	5	-0.4
	1619	8	0.2		0813	9	0.4
	1629	8	0.2		1437	9	0.4
	1735	10	0.5		1723	8	0.2
	1747	7	0.1		1729	9	0.4
	2018	7	0.1		1852	8	0.2
					2004	7	0.1
9	0159	22	1.4		2028	8	0.2
	0225	13	0.8		2227	7	0.1
	0457	11	0.6		2247	10	0.5
	0521	9	0.4				
	0526	8	0.2	11	0033	14	0.9
	0530	6	-0.1		0158	7	0.1
	0609	6	-0.1		0415	11	0.6
	0714	10	0.5		1139	10	0.5
	0731	8	0.2		1202	15	1.0
	0731	6	-0.1		1723	10	0.5
	0822	13	0.8		1727	7	0.1
	0851	16	1.1		1730	8	0.2
	0927	> 18	2.4		2228	8	0.2
	0951	8	0.2		2318	5	-0.4
	1216	10	0.5				
	1353	11	0.6	12	0021	38	2.1
	1421	8	0.2		0430	10	0.5
	1430	> 45	2.8		0454	7	0.1
	1538	9	0.4		0537	7	0.1

(to be continued)

Table 3. (Continued)

SEP. 1986

DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.	DD	HHMM	F-P(sec)	MAG.
12	0 5 3 9	10	0.5	20	0 9 3 3	8	0.2
	0 5 4 7	8	0.2		1 8 1 9	30	1.9
	0 5 4 7	8	0.2				
	2 0 0 9	7	0.1	21	0 7 0 4	5	-0.4
					2 0 0 4	8	0.2
13	1 8 5 8	6	-0.1		2 0 0 5	17	1.2
	1 9 1 0	6	-0.1		2 0 0 6	4	-0.6
	2 2 4 4	8	0.2		2 0 0 6	6	-0.1
					2 0 0 6	> 30	—
14	0 0 4 9	7	0.1		2 0 3 6	5	-0.4
	1 7 4 2	8	0.2				
	2 3 0 6	15	1.0	22	0 1 5 8	16	1.1
					0 3 1 3	6	-0.1
15	0 5 0 3	6	-0.1		1 9 4 2	13	0.8
	0 5 1 8	18	1.2				
	1 6 1 3	8	0.2	23	0 7 2 3	5	-0.4
	1 6 3 0	9	0.4		1 1 3 7	5	-0.4
	1 7 2 3	9	0.4				
	1 7 2 4	6	-0.1	24	0 8 4 1	9	0.4
	2 0 5 3	27	1.7				
				26	0 5 4 3	8	0.2
16	0 2 3 5	6	-0.1		1 0 4 7	15	1.0
	1 3 2 1	5	-0.4		1 3 2 3	26	1.7
	1 9 3 4	9	0.4				
	2 1 4 6	6	-0.1	27	0 4 2 8	5	-0.4
					1 2 3 7	> 40	—
17	0 2 2 1	28	1.8		2 3 3 4	21	1.4
	0 7 2 6	19	1.3				
	1 5 4 3	27	1.7	28	0 3 2 4	5	-0.4
	1 9 4 0	6	-0.1		0 7 5 6	12	0.7
					1 9 4 9	14	0.9
18	0 4 2 1	6	-0.1				
	1 9 0 4	8	0.2	29	0 6 5 7	8	0.2
					1 2 1 1	10	0.5
19	0 8 2 9	7	0.1		1 8 0 3	5	-0.4
	1 8 3 9	15	1.0		1 9 2 2	8	0.2
20	0 0 2 8	11	0.6	30	1 9 0 2	10	0.5
	0 3 0 3	10	0.5		2 0 4 2	6	-0.1

謝 辞

臨時観測は群発活動が始まる直前から開始し、活動のピークのころが設置作業のピークでもあった。その際、以下の方々の御協力を賜った。長野県小県郡丸子町御岳堂(宝蔵寺)の加藤一郎氏、小県郡武石村下武石の矢島 嶺氏、小諸市大久保(布引観音釈尊寺)の兼田隴順氏、上田市前山の前島友己氏、北佐久郡立科町山部(津金寺)の矢崎大悟氏には観測の場所を提供していただき、東京大学地震研究所和歌山微小地震観測所の中村正夫氏には水平動成分の観測などをお願いした。また、東京大学地震研究所地震予知観測情報センター地震予知観測室の方々にも観測機器の援助や、資料の作成について御助力をいただいた。同研究所宇津徳治教授や信州大学工学部の宇佐美龍夫教授には過去の地震についてご教示をいただき、信州大学教育学部斎藤 豊助教授には地質学に関するご教示をいただいた。京都大学防災研究所上宝地殻変動観測所と名古屋大学理学部高山地震観測所の方々には初動のデータを教えていただいた。長野地方気象台の方にも観測資料の提供をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

Table 4. List of hourly numbers of earthquakes that occurred in the Maruko region detected at UED (permanent station) from August 21 to September 30, 1986. See Figs. 9(a) and 9(b).

AUGUST 1986

d \ h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	6
24	1	4	3	1	2	1	1	0	0	1	0	19	23	18	6	11	1	7	2	11	9	7	7	1	136	
25	11	8	8	7	5	8	8	6	6	3	8	2	9	5	2	3	2	2	4	2	3	1	2	2	2	117
26	1	3	5	1	1	2	1	1	3	0	1	3	1	2	2	2	1	0	0	2	2	2	2	1	39	
27	3	3	0	1	1	5	4	1	0	0	0	2	0	3	0	0	1	0	1	1	-	-	-	-	26	
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	6
31	1	0	0	3	3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	3	0	0	2	1	19	

(to be continued)

Table 4. Continued

SEPTEMBER 1986

d \ h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	計
1	2	3	2	1	0	0	1	5	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	0	2	23
2	0	0	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	1	0	11
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	0	18	5	0	2	3	8	6	6	1	2	2	0	2	2	2	1	0	0	1	2	2	5	0	70
5	2	1	36	39	45	33	50	45	14	23	9	22	15	13	16	14	8	8	5	16	11	10	5	7	447
6	4	5	11	6	5	2	2	8	4	5	5	0	4	6	1	1	3	3	2	1	6	5	2	1	92
7	18	17	17	7	8	2	3	9	1	5	4	1	0	5	1	4	0	1	0	2	1	3	6	4	119
8	1	2	1	2	0	1	2	1	3	2	3	0	2	2	3	1	2	1	0	0	1	1	1	0	32
9	0	1	3	0	4	3	1	2	2	1	0	0	1	1	2	1	1	2	1	3	2	3	1	0	35
10	0	1	2	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	1	0	0	2	0	1	0	15
11	1	3	1	0	3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	1	1	17
12	1	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	9
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	4
14	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	5
15	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	10
16	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	5
17	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
20	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4
22	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
28	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

文 献

- 赤羽貞幸, 1981, 北部フォッサマグナ地域における後期新生代の地質構造発達史 (III), 信州大学教育学部紀要, **45**, 273-232.
- 中央気象台, 1912a, 気象要覧——大正元年八月, **152**, pp. 34.
- 中央気象台, 1912b, 気象要覧——大正元年九月, **153**, pp. 34.
- HAGIWARA, T., I. KARAKAMA, I. KAYANO and K. KAMINUMA, 1963, Foreshocks, aftershocks and an earthquake swarm detected by the microearthquake observation, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **41**, 659-680.
- 浜松音蔵, 1966, 気象官署における地震計観測の履歴表, 地震 **2**, **19**, 286-305.
- 飯島南海夫, 1962, 1963, フォッサマグナ北東部の火山層序学的並びに岩石学的研究 (その1, その2), 信州大学教育学部紀要, **12**, 86-133; 研究論集, **14**, 91-122.
- 飯島南海夫・石和一夫・甲田三男・田口今朝男, 1956, いわゆる“塩川層”の地質, 地質学雑誌, **62**, No. 734, 622-635.
- 活断層研究会, 1980, 日本の活断層, 東京大学出版会, 363 pp.
- 気象庁地震観測所, 1987, 1986年8月24日長野県東部の地震調査報告, 験震時報, **50**, 105-117.
- 国土地理院, 1973, 中部地方の上下変動 (2), 地震予知連絡会会報, **10**, 57-63.
- MAKI, T., 1982, Numerical estimation of confidence region of fault-plane solutions, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **57**, 193-219.
- 正谷 清・市村隆造, 1970, フォッサマグナ地域北部の石油地質, 石油技術協会誌, **35**, 1-12.
- 三上直也・永井 章・西脇 誠, 1987, 近地地震波形による地震モーメントの推定, 気象庁地震観測所技術報告, **8**, 52-57.
- 溝上 恵・中村 功・萩原弘子・千葉平八郎・吉田 満, 1986, 内陸地震の発生様式と Geothermal Field, 地震学会講演予稿集, 1986, No. 1, p. 25.
- MIZOUE, M., I. NAKAMURA, T. YOKOTA, 1982, Mapping of an unusual crustal discontinuity by microearthquake reflections in the earthquake swarm area near Ashio, northern part of Tochigi Prefecture, central Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **57**, 653-686.
- 長野県長野地方測候所, 1929, 信州の地震, 92 pp.
- 大竹政和, 1970, 上高地付近に発生した地震群について, 地震研究所彙報, **48**, 65-71.
- 大森房吉, 1921, 大正七年信州大町地方激震調査報告, 震災予防調査会報告, **94**, 1-18.
- TAKEUCHI, A., 1978, The pliocene stress field and tectonism in the Shin-Etsu region, central Japan, *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **21**, 37-52.
- 佃 為成・酒井 要・小林 勝・羽田敏夫・橋本信一, 1988, フォッサマグナ地域における地震活動の伝播性——1983年と1986年頃の地震発生率変化, 地震学会講演予稿集, 1988, No. 1, p. 60.
- 歌田 実, 1973, 北部フォッサマグナ地域, とくに中央隆起帯にみられる変質作用, 地質学論集, **9**, 215-226.

*Some Characteristics of the Earthquake Sequence with the
Main Shock of M4.9 on August 24, 1986, at Maruko
Town, Eastern Part of Nagano Prefecture,
and Its Seismotectonic Implications*

Tameshige TSUKUDA, Kaname SAKAI, Shin'ichi HASHIMOTO,
Toshio HANEDA, and Masaru KOBAYASHI

Earthquake Research Institute

The earthquake of $M4.9$ which occurred at Maruko town, eastern part of Nagano prefecture, at 11 h 34 m on August 24, 1986, was accompanied by foreshocks, ordinary aftershocks just after the main shock and peculiar swarm-like aftershocks that began 10 days after the event. Seismic sequences with double high activity peaks have occurred frequently in and around the northern Fossa Magna region; the intervals between the two peaks range from 13 hours to 104 days.

Nearby temporal seismic observations were conducted to obtain the precise distribution of the aftershocks. The aftershock area had expanded with time up to $3\text{ km} \times 2\text{ km}$ in the east-west and north-south directions, with their depths ranging from 5 to 8 km from the surface. Comparing the hypocenters obtained from different seismic networks including stationary stations, we estimated the accuracies of hypocenter determination. The absolute error of location is within 1 km for epicenter and 1.5 km for depth. The relative hypocentral error between aftershocks is 200~400 m and 500 m in horizontal and vertical directions, respectively. The systematic displacement between hypocenters from the network of temporal stations and those of stationary stations provides correction terms for the routine hypocentral data. The main shock is estimated to be located around the center of the aftershock area.

The magnitude distribution obtained by data from nearby observations shows a small peak around magnitude 1.5 and a trough around 1. The b values are calculated as 1.1, 0.81 and 0.68 for the magnitude ranges from 0 to 1.5, 1.5 to 3.5 and 0 to 4.5, respectively.

The source region of this sequence is situated at the eastern margin of the Central Upheaval Belt of the Fossa Magna. The fault plane solutions of the main shock and large aftershocks together with the aftershock distribution indicate reverse faulting, which are consistent with Quaternary tectonic movement at the eastern margin of the uplifted zone.

After this activity stated, remarkable seismic activity happened nearly simultaneously at other two spots along the 50 km-long Chikumagawa Tectonic Line crossing the Central Upheaval Belt. The main shocks took place on September 30 with $M4.1$ at the central part of the tectonic line and on December 30 with $M5.9$ at the western end, respectively. The activity peak migrated at a speed of 150 km/year toward the north-west during four months.

Historic earthquakes such as the one with $M5.2$ at Ueda City near Maruko Town in 1912 and the Omachi earthquake of $M5.6$ in 1918 originated at the eastern and western ends of the tectonic line, respectively. This was the latest major activity before the 1986 event. If this activity cycle repeats in the same manner, the recurrence time would be about 70 years.