

本州中部のテクトニクスと1993年の静岡の地震

新 妻 信 明

Earthquakes in Shizuoka in 1993 and tectonics of central Japan

Nobuaki NIITSUMA

Abstract: The Crustal Activity Observatory of Shizuoka University has been carrying out seismological observations since 1979. This report describes the results of the seismological observations since 1990, especially on the earthquakes in Shizuoka on 7-11 August 1993, which had a maximum magnitude of 4.2, and their relation to the tectonics of central Japan.

The differences in magnitude (ΔM) between Shizuoka University and the Japan Meteorological Agency for 858 earthquakes with an epicenter less than 200 km from the observatory and with a focal depth shallower than 200 km have been examined, and the systematic differences with the focal azimuths are found. The relation between the magnitude and duration of the earthquakes is determined, based on seismological observations from June to August 1993.

The foci of the earthquakes in Shizuoka in August 1993 were located on the Kusanagi Fault, and the changes in the ratios of the maximum amplitudes of P and S waves were observed during the earthquakes.

The dislocation along the Kusanagi Fault is tilting the Udo Hills about 10° northwestward, and the rate of uplift of the Udo Hills is 4 mm/yr. The Kusanagi Fault is characterized by the landward boundary of a fore-arc basin along the subductive boundary of the Philippine Sea Plate and gravitational collapse.

The seismic activities in central Japan are related to the bending of the zonal structure and collision of the Izu Arc, caused by the motion of the Philippine Sea Plate. Historically, large earthquakes in Shizuoka, Southwest Japan, the northern Fossa Magna, Niigata, Misaka, the Matsuzaki Uplift Zones, and the Zenisu Ridge have happened closely in a time series.

Key words: earthquake, Kusanagi Fault, Udo Hills, tectonics, central Japan.

1. 緒 言

1995年1月17日に起こった阪神・淡路大震災は活断層による直下型地震の恐ろしさを再認識させたが、静岡の地下にも大規模な活断層が存在しており、直下型地震が襲う可能性が大きい。

地震活動の繰り返し期間は一般に数10年から1000年以上にも及び、その実体を知ることを困難にしている。また、地震の規模もやっと感じるM3から大きな被害を起こすM7の地震では放出エネルギーが百万倍も異なっており、それらの発震機構が同じなのか、あるいはどのように異なっているのかを明らかにしなければ、

地震予知の実現は困難である。

新妻・中野(1991)は静岡大学における地震観測と静岡周辺の地質に基づき有度丘陵の北西に大規模な活断層の存在を明らかにした。この断層をここでは草薙断層と呼ぶことにする。草薙断層は、有度丘陵を北西方向に傾動させており、有度丘陵の平均隆起速度は年間4mm程度と見積もられ(新妻・小田川, 1993), 隆起速度の最も大きな赤石山地やヒマラヤ山地に匹敵する。

草薙断層の上を東海道、東名高速道路、JR東海道線、東海道新幹線などの日本の動脈が通っており、この活断層の活動を明らかにすることは地震防災上きわめて重要である。このような予測のもとに観測体制を整えつつあった1993年8月7・8日にこの活断層においてM4.2を含む地震が発生した(図1)。

草薙断層を震源とする被害地震は、1800年以降でも1841年、1935年に起こっているほかに、静岡西方で起

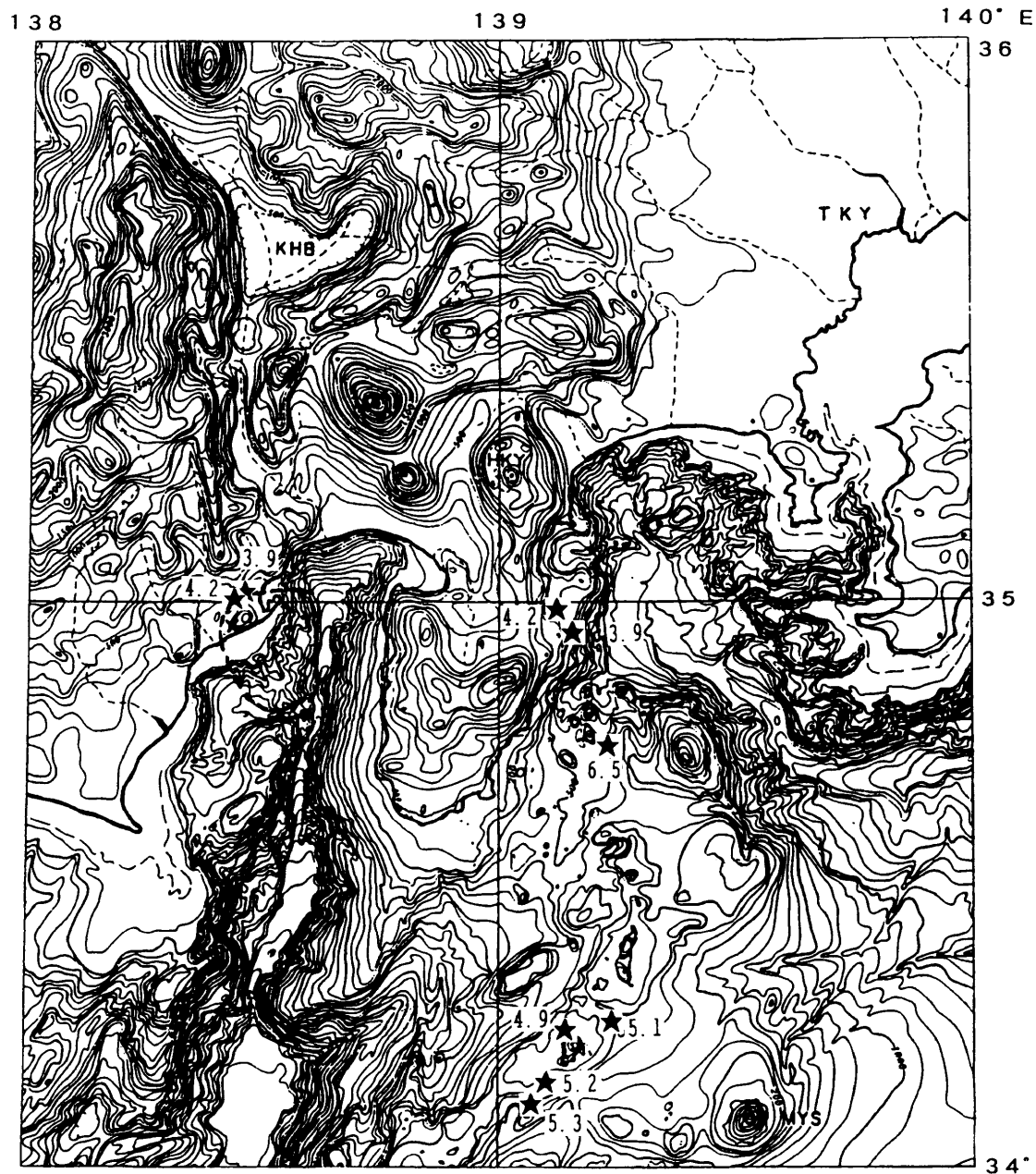


図1 1993年の静岡の地震の震央と草薙断層。星印：震央位置、数字はマグニチュード(図6に対応)。破線：草薙断層による滑動範囲。×：静岡大学地殻活動観測施設の地震観測点。

Fig. 1 Distribution of foci of earthquakes relating to the earthquakes in Shizuoka in August 1993. Black stars and numbers: foci and magnitudes of earthquakes. Broken line: Kusanagi Fault. ×: Crustal Activity Observatory of Shizuoka University.

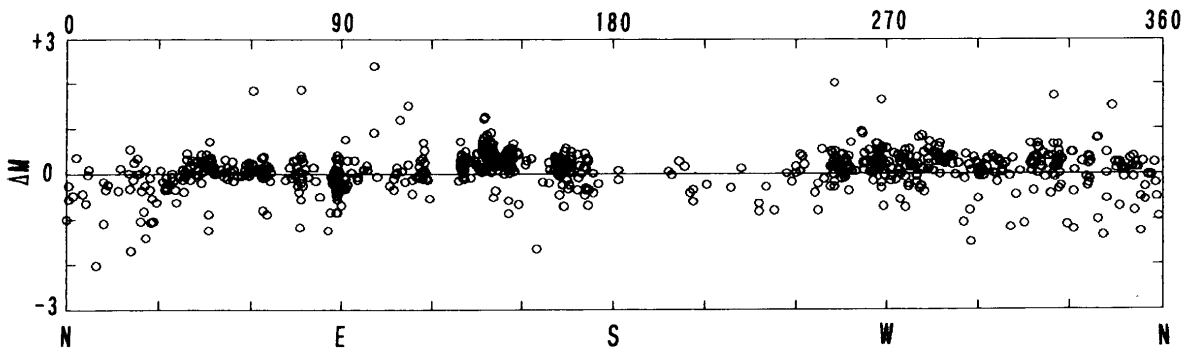


図2 震央距離200km以内、震源深度200km以浅の858個の地震の震央方位と静岡大学マグニチュードと気象庁マグニチュードとの差 (ΔM)。

Fig. 2 Difference in magnitude ΔM between Shizuoka University and Japan Meteorological Agency, and focal azimuth of 858 earthquakes with an epicenter less than 200 km from observatory and focus depth shallower than 200 km.

こったとされる1857年、1917年、1965年の地震や1854年の安政東海地震や1944年の東南海地震の際にも活動したことが予測される。

本稿では静岡大学地殻活動観測施設における地震観測結果、特に1993年8月7日の静岡地震、および1800年以降の被害地震資料に基づき中部日本におけるテクトニクスと静岡地震の関係について述べる。

2. 静岡大学における地震観測

静岡大学地殻活動観測施設には3成分微小地震計(明石製作所 ABS-3B型)が設置されており、1979年より観測を継続し(檀原, 1981)、1989年までの観測結果については新妻・中野(1991)に報告した。この観測点は、東名高速道路を通過するトラックや強風時の海岸波浪によるノイズが大きい、草薙断層によって切断された有度丘陵からの地震観測は、草薙断層の活動をj知るために重要である。

本施設一カ所の地震観測から独自に震源位置を決定できないので、約1年後に出版される気象庁の地震月報に報告されている地震と地震観測記録とを比較する作業を行った。今回は、1990年1月から1993年9月までの1754個の地震について地震月報の記載と比較するとともに、震央距離200km以内で震源深度200km以浅の858個の地震について地震観測記録の上下成分の最大振幅を用いてマグニチュード(静岡大学マグニチュード)を算出し、地震月報記載のマグニチュード(気象庁マグニチュード)と比較を行った。計算には新妻・中野(1991)の $a=1.85$ 、 $\alpha=0.12$ の係数を用いた。両マグニチュードの差(ΔM)は東方では小さく西方で大きいという系統的な異方性が、新妻・中野(1991)同様に、認められた(図2)。この異方性は統計的に有意である(図3)。今回は新島近海の地震が多数観測されたため南東方向の資料が得られ、南東方向が西方同様に大きな値であることが明らかになった。南東方向は草

薙断層に沿う滑動方向に当たっている。また、同一地域で起こった地震であってもマグニチュード差は変動している。この変動の原因が震源の状態に関係するのか、地震波伝達経路の状態に起因するのかについては今後の検討が必要である。

3. 地震動継続時間とマグニチュード

地震観測記録の中で地震月報の記載にないものも少数であるが見い出され、震源位置決定ができなかった。また、同時刻に起こった他の地震と誤って対応させることによってマグニチュード差が1以上に達するものもあった。観測記録の振幅が大きければP波とS波の到達時間差から震源までの距離を知ることが可能であ

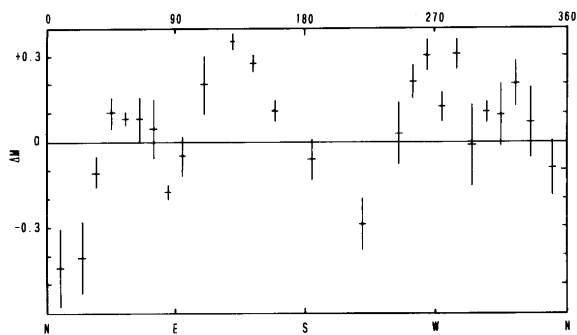


図3 震央距離200km以内、震源深度200km以浅の858個の地震の震源方位と静岡大学マグニチュードと気象庁マグニチュードとの差(ΔM)の平均値。線の範囲は平均値の1 σ 信頼限界。

Fig. 3 Mean and 1 σ confidence interval of difference in magnitude ΔM and focal azimuth of 858 earthquakes with an epicenter less than 200 km from observatory and focus depth shallower than 200 km.

るが、ノイズの大きい観測状況では振幅が小さい地震については困難である。ただし、高ノイズの状況でも振幅と地震動継続時間を知ることは可能であるので、地震月報に記載されている1993年6月から8月に起こった地震観測記録の地震動継続時間（F-P時間）を測定し、気象庁マグニチュードと比較したところ、マグニチュードが継続時間の対数に比例し、震源までの距離にそれほど依存しないことが明らかになった（図4）。

この関係を用いると、マグニチュードと振幅から震源距離を推定することが可能となる。以前、地震月報に記載されていない地震が草薙断層の動きに起因することも予測されたが、この関係を用いることによってその殆どが遠地に起こった地震であることが判明した。

4. 1993年8月静岡の地震

1993年8月7日15時1分に静岡で地震が起こり、新聞などでは震源は安倍川沿いと報道されたが、すぐに草薙へと訂正された。また、マグニチュードはM4.5と報道されていたが、地震月報ではM3.9とされている。この地震に続いてM1以下からM3.4の余震、そして8月8日0時18分にM4.2の最大の地震が起こり、8月11日23時の余震で終息した。地震月報による震源は北緯34度58分から35度6分、東経138度26分から28分、深度1-11kmで草薙断層面上にある。静岡大学の地震計から震源までの距離は1-5kmとなる。

観測されたP波とS波の到達時間差はいずれも1.7-1.8秒であり、M1以下の地震も捉えられている（図5）。震源が近接しているためにM3以上の地震は振り切れて波形の記録を取ることができなかった。上下成分の最大振幅を用いて求められたマグニチュード差は、-1.1から+0.11の範囲で、平均-0.38、標準偏差は0.30であった。このマグニチュード差は、静岡大学における振幅が気象庁による震源とマグニチュードから予測される振幅よりも小さく、平均で半分以下で、最も小さいものでは10分の1であることを示している。このような著しい減衰は、観測点が草薙断層の上を滑動している有度丘陵に位置している為と考えられる。

観測された波形は、上下成分を主体とするP波と水平成分を主体とするS波から構成されており、S波の水平成分はP波の数倍の振幅を持つが、8月8日8時から10時の間の地震の水平成分はP波の振幅と同程度と小さくなっている。その後起こった余震においては数倍に戻っている（表1）。この種の変化は、断層において進行している破壊状態の変化を反映していると予測される。

5. 1993年静岡地震前の地震活動

1993年8月の地震は草薙断層の活動に伴うものであるが、この断層上の地震活動は1990年3月19日18時31分のM2.1以後、観測されておらず8月7日15時のM3.9の地震が突然起こっており、前震は存在していない。

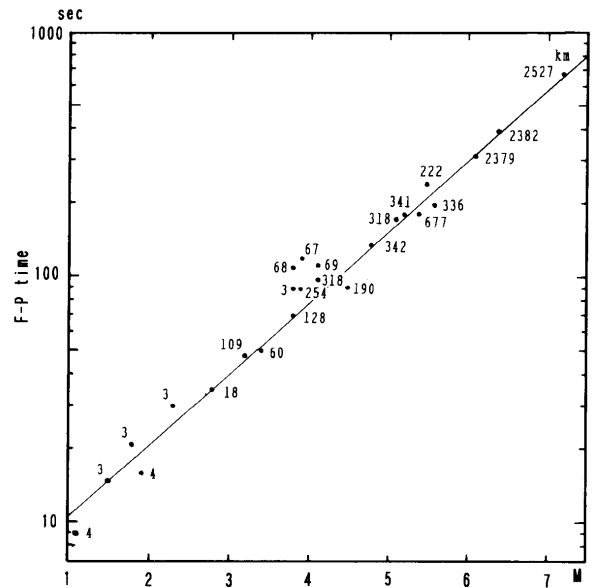


図4 地震動継続時間（F-P time）とマグニチュードとの関係。1993年6月から8月までの地震記録に基づく。数字は震央距離。

Fig. 4 Relationship of the duration and magnitude of earthquakes, based on the seismographic records from June to August 1993. Numbers show focal distance from observatory.

ただし、地震月報のマグニチュードによると8月7日15時の地震は8月8日0時の最大の地震の約3分の1のエネルギーしか放出していないので、これを前震と見なすことができるかもしれない。

8月の静岡地震前の顕著な地震活動としては、伊豆半島東方沖・伊豆大島近海と新島近海・三宅島近海の地震活動を上げることができる（図1・図6）。伊豆半島東方沖では1989年7月に手石海丘の噴火を伴う地震活動が1990年2月20日15時53分のM6.5の地震と1990年2月27日まで続いたその余震で終息し、1991年にM2.8とM3.6、1992年3月のM2.7の3つの地震を記録するのみの長い休息期をすごしていたが、1992年12月10日18時9分のM3.5を皮切りに1993年1月14日までにM2.7からM3.8の22個の地震が観測された。その後、1993年5月27日から6月6日のM2.0からM4.2までの90個の地震が観測され、1993年7月26日から7月28日にかけてM3.2からM3.9の4個の地震が観測された。その後は、1993年9月末まで地震は観測されていない。草薙断層で1990年3月に起こった地震は、伊豆半島東方の1990年2月のM6.5の地震活動の後にも起こっている（図7）。

新島近海では1990年にはM2.7からM3.4の地震が6個散発的に観測されただけであったが、1990年10月5日6時24分の三宅島南西方のM3.5の地震を皮切りとして活発化しM3.1からM3.9の25個の地震が起こり、10月27日23時4分のM4.2の地震で休息したが、1991年1月2日から新島近海でM4以上の地震を含む14個の活動が1993年9月末まで続いている。この地震の中で最も大きなM6.3の地震は1991年9月3日17時44分に銭洲

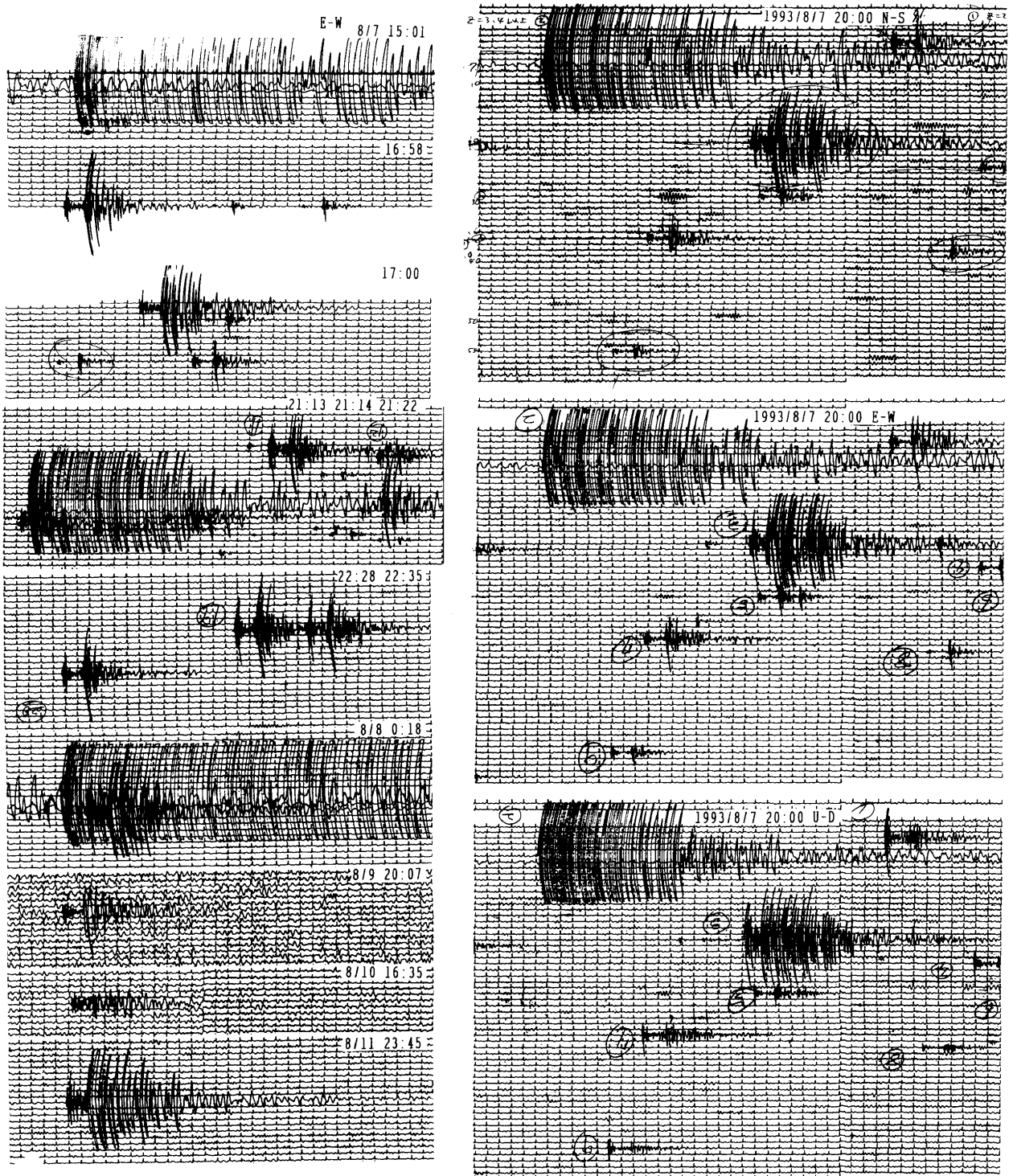


図5 1993年8月の静岡の地震の記録。右側は1993年8月7日20時から21時までの3成分記録、左側は1993年8月7日から8月11日までの東西成分記録、8月9日と8月10日のノイズは海岸波浪による。改行は1分、タイムマークは1秒。

Fig. 5 Seismographic records of earthquakes in Shizuoka in August 1993. Row corresponds to 1 minute, and time marks are 1 second intervals.

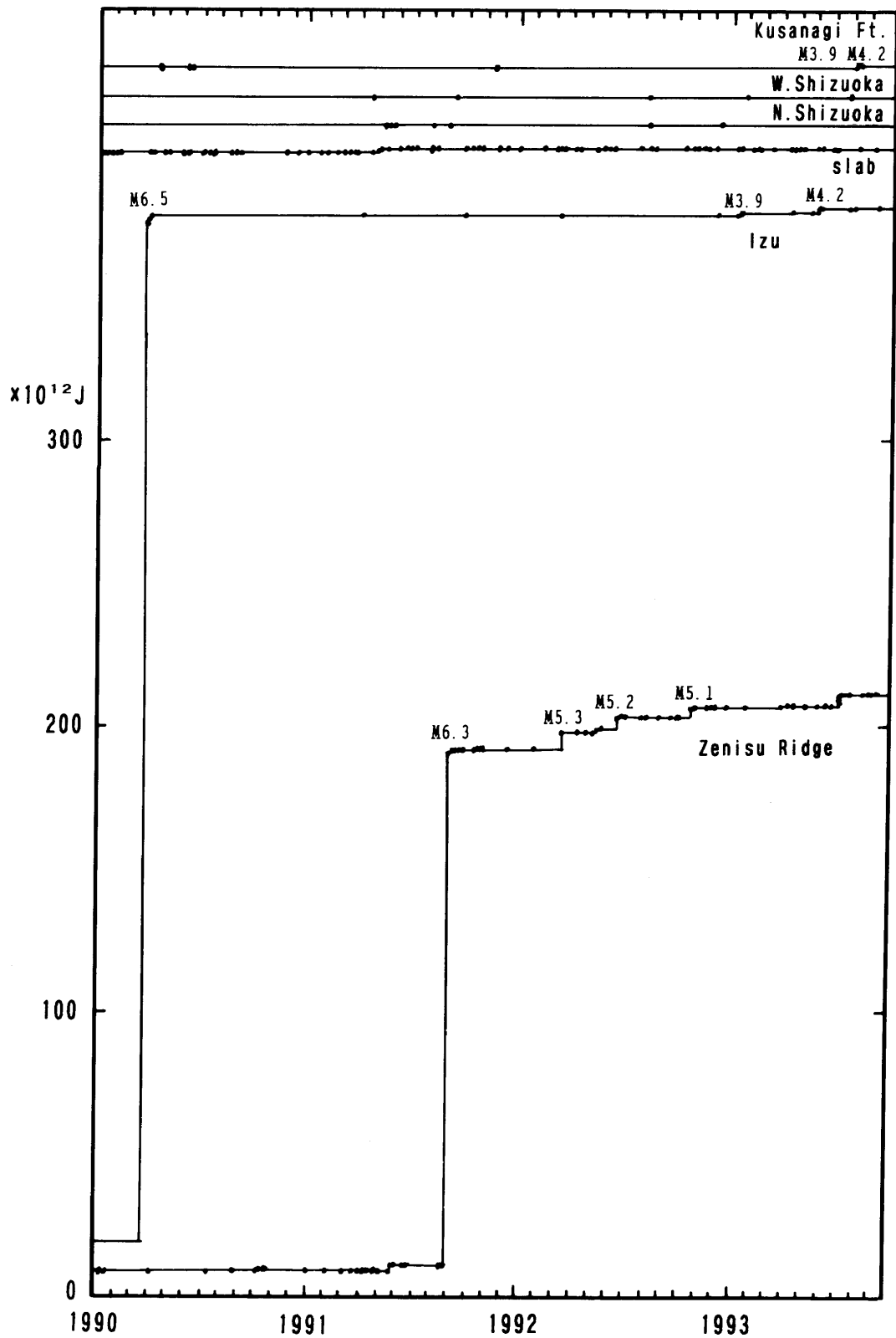


図6 草薙断層，静岡西方，静岡北方，沈み込みスラブ，伊豆半島東方および伊豆半島，新島近海を含む銭洲海嶺における1993年静岡地震前後の地震活動による積算エネルギー放出量。マグニチュード記載地震の震央位置は図1，図7に示してある。黒点：地震。

Fig. 6 Cumulative energy released by earthquakes along the Kusanagi Fault, west of Shizuoka, north of Shizuoka, subductive slab, Izu, and Zenisu Ridge. Black dots: earthquake events. The foci of earthquakes with the magnitude are shown in Figs. 1 and 7.

南の銭洲海底谷で起こっている。静岡地震直前の1993年7月11日から12日にかけてM4.9, M4.7, M4.5, M4.1, M3.0, M3.4の地震が銭洲で起こっている。

新島近海における地震活動は、伊豆半島東方における地震活動が活発な時期には停止しており、休息期に活発となっている。1990年に伊豆半島東方で活動を終

息すると、新島で活動が活発になり、1992年12月から1993年1月の伊豆半島東方における活動期には新島近海での地震活動が減退している。1993年5月3日から7日にかけて新島近海ではM2.5からM3.9の9個の地震が観測された後、1993年5月27日から6月6日に伊豆半島東方の活動期となり、1993年7月に再び新島近

表1 1993年8月の静岡地震の静岡大学マグニチュードと気象庁マグニチュード(M)の差(ΔM), P波およびS波の3成分最大振幅(Px, Py, Pz, Sx, Sy, Sz), P波とS波の最大振幅の比(P/Sx, P/Sy, P/Sz).

Table 1 List of the earthquakes in Shizuoka in August 1993. M: magnitude according to Japan Meteorological Agency; ΔM : magnitude difference between Shizuoka University and Japan Meteorological Agency; Px, Py, Pz: maximum amplitudes of the three components of P wave; Sx, Sy, Sz: maximum amplitudes of the three components of S wave; P/Sx, P/Sy, P/Sz: ratios of maximum amplitudes of the three components of P and S waves.

m	d	h	m	M	ΔM	Px	Py	Pz	Sx	Sy	Sz	P/Sx	P/Sy	P/Sz
8	7	15:01		3.9										
		16:58		2.0	-	6.7	9.8	-	31.0	34.8	-	0.22	0.28	-
		17:00		2.3	-	7.6	7.0	-	>	>	-	<0.23	<0.23	-
		17:09		1.0	-0.10	1.7	1.9	5.2	5.9	7.3	1.9	0.29	0.26	2.74
		17:10		1.5	-	4.2	5.2	-	12.8	17.3	-	0.33	0.30	-
		20:02		1.7	0.11	5.6	6.2	23.2	15.8	23.8	9.8	0.35	0.26	2.37
		20:05		3.5										
		20:19		2.5	-0.63	16.6	25.4	27.6	>33.4	>	>33.4	0.50	-	<0.83
		20:24		1.4	-0.38	2.8	4.4	10.2	4.1	7.8	4.1	0.68	0.56	2.49
		20:28		1.3	-0.15	2.1	4.0	6.8	6.2	11.4	7.8	0.34	0.35	0.87
		20:29		1.3	-0.07	2.7	3.7	7.9	3.5	7.3	3.4	0.77	0.51	2.32
		20:35		1.5	0.02	2.8	5.7	11.2	18.8	18.3	8.2	0.15	0.31	1.37
		20:37		1.1	-0.26	1.5	1.3	2.5	8.8	10.3	3.7	0.17	0.13	0.68
		20:57		1.4	-0.38	2.2	4.6	7.7	4.4	6.3	3.7	0.50	0.73	2.08
		21:13		2.0	-0.36	10.6	21.7	28.2	26.6	27.2	19.7	0.40	0.80	1.43
		21:14		1.4	-0.07	4.3	7.4	12.4	8.4	11.9	6.2	0.51	0.62	2.00
		21:22		3.2										
		21:24		1.6	-0.36									
		21:25		1.8	-0.18									
		21:26		1.5	-0.23									
		21:40		1.5	-0.29	1.7	3.8	5.8	13.7	6.2	5.4	0.12	0.61	1.07
		21:43		1.2	-0.24	1.4	1.8	3.3	4.3	3.5	2.3	0.33	0.51	1.44
		22:28		2.0	-0.36	11.3	22.0	25.7	26.8	33.4	22.4	0.42	0.66	1.14
		22:35		2.0	-0.54	6.3	13.4	17.1	20.2	31.0	16.6	0.31	0.43	1.03
8	8	0:18		4.2										
		0:21		2.5	-0.51									
		3:32		2.4	-0.73	9.2	13.1	28.0	>35.8	33.8	28.5	<0.26	0.39	0.98
		3:37		1.5	-1.09	1.4	3.6	4.6	6.3	6.0	4.6	0.22	0.60	1.28
		8:22		1.6	-0.26	6.0	7.4	20.0	4.8	6.8	3.0	1.25	1.09	6.67
		8:49		1.4	-1.00	2.3	2.6	8.1	2.5	2.6	3.6	0.92	1.00	2.25
		9:14		2.0	-1.01	6.5	8.4	17.6	7.0	7.5	4.6	0.93	1.12	3.83
8	9	20:07		2.0	-0.39	4.2	6.3	15.2	2.4	24.0	10.6	0.17	0.26	1.43
8	10	16:35		2.0	-0.54	4.5	6.6	15.7	11.7	9.3	5.7	0.39	0.70	2.75
		21:43		3.2										
8	11	2:18		2.6	-0.02	2.3	2.0	3.4	21.4	25.1	11.6	0.11	0.08	0.29
		23:45		2.6	-	10.8	17.6	26.6	>34.4	>33.4	>33.5	<0.31	<0.53	<0.79

