

# 1952年10月26日遠州灘深発地震の発震機構について\*

市 川 政 治\*\*

550.341

## A Study of Occurrence Mechanism of an Earthquake on Oct. 26, 1952 using *P* and *S* waves

M. Ichikawa

(*Seismological Section, J. M. A.*)

Two kinds of prevailing hypotheses as to the earthquake mechanism was derived by the investigation of distribution of *P* wave. In one of them, dipole with moment is supposed to act at focus of earthquake, and in the other one, a set of double dipole with moment which are perpendicular to each other is assumed. Honda calls the former the force system of type I and the latter that of type II.

The author considers that the distribution of nodal lines for *SH* and *SV* component should permit the selection of correct solution on the above problem.

In practice, unfortunately, the results of investigation of mechanisms of earthquake using *P* and *S* waves by Japanese and Russian seismologists have shown the disagreement. That is, Honda's results have indicated that force system of type II is correct, on the other hand Keylis-Borok's results shew that type I is proper.

As we have had the deep earthquake in Oct. 26, 1952, near south coast of central Honshu, which is suitable to investigate the above problem, the present author collected the seismograms from stations near epicenter and identified the initial motion of *P* and *S* waves from them by himself.

The analysis of the data indicates that the force system of type II is correct for this earthquake as the Honda's results (cf. Figs. 3~6).

### § 1. ま え が き

わが国における発震機構の研究の歴史は古く、多くの輝かしい成果があげられている。その結果、現在では、おもに *P* 波初動の分布の研究から象限型と円すい型の二異型の発震機構の存在が認められている。これらが共存すべきものなのか、あるいは一方に統一されるべきものなのかは、わが国の現在の観測網をもっては決定困難のため行きつまりをきたし、発震機構の研究はわが国では、一

\* Received Jan. 22, 1959.

\*\* 気象庁地震課

応、した火となってしまった。一方、外国、特にカナダ<sup>1)</sup>、ソ連その他の国々では、近年、高性能電磁式地震計の設置によって整備された世界の地震観測網の資料を用いて盛んに発震機構の研究を行いはじめ、起震力と造山活動などとの関係を調査している。彼らの研究によると、大部分の地震の発震機構は象限型として説明できるらしい。

しかしこの場合、起震力として Honda<sup>2)</sup> のいわゆる type I, type II のいずれが適当なのか P 波だけからは結論できない。この点に関しては日本では、Honda らによる S 波を含めた調査があり、また、最近ではソ連学派の研究がある。それによると、前者は type II がその起震力として適当であるし、後者では type I が適当であるという対立した結果がでている。これは S 波初動の読みとりが困難なため、いずれかが誤った結果を出しているのか、実際にこの二種が存在するのかいずれかであろう。また、type I を考えた場合でも、二つの節線のうちのいずれが断層面に相当するか S 波を考えねば判定はつかない。そこで筆者は S 波初動の比較的明りょうに出ているだろうと思われた、やや深い地震四つについて P, S 両初動から発震機構を調査したので、そのうち遠州灘の地震についての結果を報告する。その他については逐次報告する予定である。

## § 2. 節面の方程式

これまで多くの人々により発震機構に関する弾性理論がとりあつかわれている。特に最近、Keylis-Borok<sup>3)</sup> は実際の調査に便利な方式を提案している。筆者は調査の順序として type I, type II の起震力に対する P, S 初動の節面の方程式をいわゆる特異点法により求めた。

### i) type I の場合

震源を原点とする直角座標を考える。いま原点から  $\delta h$  なる点 A に方向余弦が  $(l, m, n)$  で  $\frac{1}{\delta h} e^{i\omega t}$  なる力が働き、その反対方向にある点 A' に方向余弦が  $(-l, -m, -n)$  で強さの等しい力が働く場合を考える (OA の方向余弦を  $(\lambda, \mu, \nu)$ , OA' の方向余弦を  $(-\lambda, -\mu, -\nu)$  とする) (cf. Fig. 1).  $r$  の十分大きなところでは変位の  $x, y, z$  成分は

1) J. H. Hodgson らによる多くの調査がある。

2) 非常に沢山の地震が調査されているが、それらの結果は

H. Honda and A. Masatsuka: On the Mechanisms of the Earthquakes and the Stresses producing Them in Japan and Its Vicinity, Science Reports, Tōhoku Univ. Ser. 5, Geophys. 4 (1952), 42—60,

H. Honda, A. Masatsuka and K. Emura: // (Second paper), // Ser. 5, Geophys. 8, 186—205,

H. Honda: The Mechanism of the Earthquakes, // Ser. 5, Geophys. 9 (1957), Supplement. へのせられている。

3) V. I. Keylis-Borok: The Determination of Earthquake Mechanism, Using both Longitudinal and Transverse Waves, Annali di Geofisica, 10 (1957), 105—128.

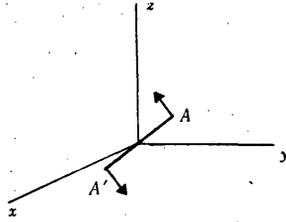


Fig. 1. Force system of type I

$$\left. \begin{aligned} u_a &= Ax (lx + my + nz) (\lambda x + \mu y + \nu z) r^{-4} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{a} \right), \\ v_a &= Ay (lx + my + nz) (\lambda x + \mu y + \nu z) r^{-4} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{a} \right), \\ w_a &= Az (lx + my + nz) (\lambda x + \mu y + \nu z) r^{-4} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{a} \right), \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} u_b &= B [(\lambda x + \mu y + \nu z) \{x(lx + my + nz) - lr^2\}] e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{b} \right), \\ v_b &= B [(\lambda x + \mu y + \nu z) \{y(lx + my + nz) - mr^2\}] e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{b} \right), \\ w_b &= B [(\lambda x + \mu y + \nu z) \{z(lx + my + nz) - nr^2\}] e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{b} \right). \end{aligned} \right\} (2)$$

ここで

$$a^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}, \quad b^2 = \frac{\mu}{\rho}, \quad \rho: \text{密度}, \quad \lambda, \mu: \text{Lamé's constants},$$

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad p = \frac{2\pi}{T}, \quad T: \text{周期}, \quad A, B: \text{constants}.$$

(1) 式は縦波に相当し, (2) 式は S 波に相当する.

実際の計算の便を考へて上に求めた変位を極座標型式で示す. すなわち,

$$\left. \begin{aligned} u_r &= (u_x \cos \varphi + u_y \sin \varphi) \sin \theta + u_z \cos \theta, \\ u_\theta &= (u_x \cos \varphi + u_y \sin \varphi) \cos \theta - u_z \sin \theta, \\ u_\varphi &= u_x \sin \varphi - u_y \cos \varphi \end{aligned} \right\} (3)$$

(ただし,  $u_x = u_a + u_b$ ,  $u_y = v_a + v_b$ ,  $u_z = w_a + w_b$ )

に (1), (2) 式を代入すると

$$\left. \begin{aligned} u_r &= A (l \sin \theta \cos \varphi + m \sin \theta \sin \varphi + n \cos \theta) (\lambda \sin \theta \cos \varphi + \mu \sin \theta \sin \varphi + \nu \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{a} \right), \\ u_\theta &= B (l \cos \theta \cos \varphi + m \cos \theta \sin \varphi - n \sin \theta) (\lambda \sin \theta \cos \varphi + \mu \sin \theta \sin \varphi + \nu \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{b} \right), \\ u_\varphi &= B (l \sin \varphi - m \cos \varphi) (\lambda \sin \theta \cos \varphi + \mu \sin \theta \sin \varphi + \nu \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu} \left( t - \frac{r}{b} \right). \end{aligned} \right\} (4)$$

ここで  $u_r$  は震源むきを負,  $u_\varphi$  は震央を中心として時計回りを正に, また,  $u_\theta$  は震源をむく方向を負とする.

(4) 式で  $l = -1$ ,  $m = 0$ ,  $n = 0$ ,  $\lambda = 0$ ,  $\mu = 1$ ,  $\nu = 0$  とおくと

$$\left. \begin{aligned} u_r &= -A \sin^2 \theta \sin 2\varphi / 2r, \\ u_\theta &= -B \sin \theta \cos \theta \sin 2\varphi / 2r, \\ u_\varphi &= -B \sin \theta \sin^2 \varphi / r \end{aligned} \right\} (5)$$

となり,  $l=1, m=n=0, \lambda=\mu=0, \nu=1$  とすると

$$\left. \begin{aligned} u_r &= A \sin 2\theta \cos \varphi / 2r, \\ u_\theta &= B \cos^2 \theta \cos \varphi / r \\ u_\varphi &= B \cos \theta \sin \varphi / r \end{aligned} \right\} (5')$$

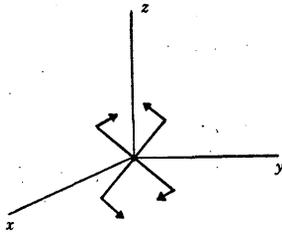


Fig. 2. Force system of type II

$$\left. \begin{aligned} u_r &= A \sum_{i=1,2} (l_i \sin \theta \cos \varphi + m_i \sin \theta \sin \varphi + n_i \cos \theta) (\lambda_i \sin \theta \cos \varphi + \mu_i \sin \theta \sin \varphi + \nu_i \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{a})}, \\ u_\theta &= B \sum_{i=1,2} (l_i \cos \theta \cos \varphi + m_i \cos \theta \sin \varphi - n_i \sin \theta) (\lambda_i \sin \theta \cos \varphi + \mu_i \sin \theta \sin \varphi + \nu_i \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}, \\ u_\varphi &= B \sum_{i=1,2} (l_i \sin \varphi - m_i \cos \varphi) (\lambda_i \sin \theta \cos \varphi + \mu_i \sin \theta \sin \varphi + \nu_i \cos \theta) r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})} \end{aligned} \right\} (6)$$

が得られる。

ただし type II の場合は  $l_1=\lambda_2, m_1=\mu_2, n_1=\nu_2, l_2=\lambda_1, m_2=\mu_1, n_2=\nu_1$  なる関係が存在する。

(6) 式に  $l_1=-1, m_1=n_1=0, \lambda_1=\nu_1=0, \mu_1=1, l_2=n_2=0, \lambda_2=-1, \mu_2=\nu_2=0$  とおくと,

$$\left. \begin{aligned} u_r &= -A \sin^2 \theta \sin 2\varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{a})}, \\ u_\theta &= -2B \sin \theta \cos \theta \sin 2\varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}, \\ u_\varphi &= B \sin \theta \cos 2\varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})} \end{aligned} \right\} (7)$$

また,  $l_1=1, m_1=n_1=0, \lambda_1=\mu_1=0, \nu_1=1, l_2=m_2=0, n_2=1, \lambda_2=1, \mu_2=\nu_2=0$  とすると

$$\left. \begin{aligned} u_r &= A \sin 2\theta \cos \varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{a})}, \\ u_\theta &= B \cos 2\theta \cos \varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}, \\ u_\varphi &= B \cos \theta \sin \varphi r^{-1} e^{i\nu(t-\frac{r}{b})} \end{aligned} \right\} (7')$$

となり, これまでの結果と一致する。

以上から  $P$  波の節面は type I の場合と一致するが,  $SV, SH$  は異なるので type I, II の区別は  $S$  波によるほかはない。これは従来からいわれているところである。

調査の便利を考え, 震源を原点, 鉛直上方を  $z$  にとり Hodgson のいわゆる motion direction

を  $zy$  面にとると,

type I では  $l=0$ ,  $m=\cos\beta=\sin\gamma$ ,  $n=\cos\gamma$  となり

$$\left. \begin{aligned} u_r &= A(\sin\gamma\sin\theta\sin\varphi + \cos\gamma\cos\theta)(\lambda\sin\theta\cos\varphi + \mu\sin\theta\sin\varphi + \nu\cos\theta)r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{a})}, \\ u_\theta &= B(\sin\gamma\cos\theta\sin\varphi - \cos\gamma\cos\theta)(\lambda\sin\theta\cos\varphi + \mu\sin\theta\sin\varphi + \nu\cos\theta)r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}, \\ u_\varphi &= -B\sin\gamma\cos\varphi(\lambda\sin\theta\cos\varphi + \mu\sin\theta\sin\varphi + \nu\cos\theta)r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}. \end{aligned} \right\} (8)$$

type II では  $l_1=0$ ,  $m_1=\sin\gamma_1$ ,  $n_1=\cos\gamma_1$ ,  $l_2=\lambda_1$ ,  $m_2=\mu_1$ ,  $n_2=\nu_1$ ,  $\lambda_2=l_1=0$ ,  $\mu_2=m_1=\sin\gamma_1$ ,  $\nu_2=n_1=\cos\gamma_1$  となり

$$\left. \begin{aligned} u_r &= 2A(\sin\gamma_1\sin\theta\sin\varphi + \cos\gamma_1\cos\theta)(\lambda_1\sin\theta\cos\varphi + \mu_1\sin\theta\sin\varphi + \nu_1\cos\theta)r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{a})}, \\ u_\theta &= B[(\sin\gamma_1\cos\theta\sin\varphi - \cos\gamma_1\sin\theta)(\lambda_1\sin\theta\cos\varphi + \mu_1\sin\theta\sin\varphi + \nu_1\cos\theta) \\ &\quad + (\lambda_1\cos\theta\cos\varphi + \mu_1\cos\theta\sin\varphi - \nu_1\sin\theta)(\sin\gamma_1\sin\theta\sin\varphi + \cos\gamma_1\cos\theta)]r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}, \\ u_\varphi &= B[-\sin\gamma_1\cos\varphi(\lambda_1\sin\theta\cos\varphi + \mu_1\sin\theta\sin\varphi + \nu_1\cos\theta) \\ &\quad + (\lambda_1\sin\varphi - \mu_1\cos\varphi)(\sin\gamma_1\sin\theta\sin\varphi + \cos\gamma_1\cos\theta)]r^{-1}e^{i\nu(t-\frac{r}{b})}. \end{aligned} \right\} (9)$$

以上から type I, II の場合の節線が計算できる。特に type II について、 $SH$ ,  $SV$  の節面の間には

$$\left. \begin{aligned} SH : \operatorname{tg}\theta &= \{ \lambda_1\cos\gamma_1\sin\varphi - (\nu_1\sin\gamma_1 + \mu_1\cos\gamma_1)\cos\varphi \} / \{ \lambda_1\sin\gamma_1\cos 2\varphi + \mu_1\sin\gamma_1\sin 2\varphi \}, \\ SV : \operatorname{tg} 2\theta &= -2\{ (\mu_1 + \nu_1\operatorname{tg}\gamma_1)\sin\varphi + \lambda_1\cos\varphi \} / \{ \lambda_1\operatorname{tg}\gamma_1\sin 2\varphi - \mu_1\operatorname{tg}\gamma_1\cos 2\varphi \\ &\quad + (\mu_1\operatorname{tg}\gamma_1 - 2\nu_1) \} \end{aligned} \right\} (10)$$

なる関係の存在することがわかる。

type I については (8) 式から簡単に求められる。

### § 3. 1952年10月26日の地震の発震機構

#### i) $P$ 波初動分布

1952年10月26日17時41分(J. S. T.)ころ遠州灘に起った地震 ( $\varphi: 34.1^\circ N$ ,  $\lambda: 137.8^\circ E$ ,  $h=280\sim 290\text{km}$ ,  $M=6$ ) の記象紙を36測候所から借用し、 $P$  波および  $S$  波初動の読みとりを行った。このうち  $P$  波初動の分布は Fig. 3 のようになる。ただし、筆者自身の読みとりのほか地震月報所載の資料を用いた。また、筆者の読みとり値と月報記載の値は誤差の範囲内で一致している。

これと外国の資料から筆者の以前提案した方法<sup>4)</sup> で節線を引くと図に示すように象限型の節線が引けるが、円すい型としては適当な節線を引くことは困難である。これから走行  $S 49^\circ W$ ,  $\text{dip } 71^\circ$  および走行  $S 51^\circ E$ ,  $\text{dip } 67^\circ$  の直行二節面が決定できる。これからでは起震力として type I が適当か type II が適当か決められない。また、type I とした場合でもいずれが断層面かも決められな

<sup>4)</sup> 市川政治：近地地震の  $P$  波初動節線の一作図法，験震時報，22 (1957)，77～92。

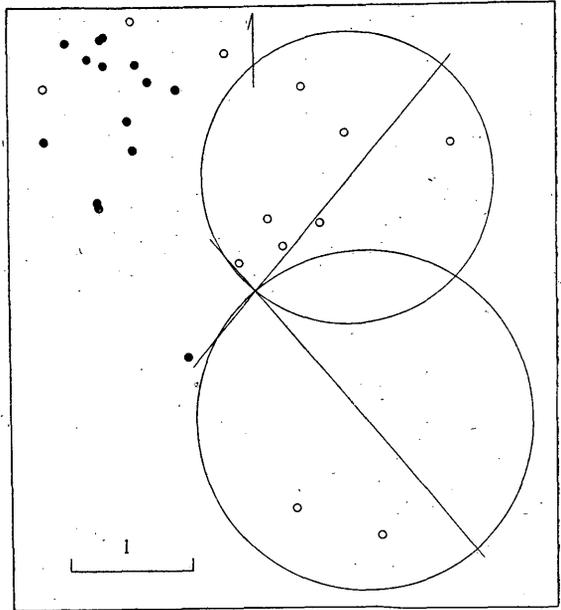
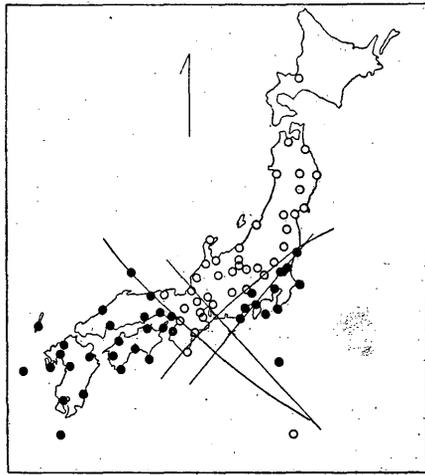


Fig. 3. 1. Distribution of compression and dilatation of *P* waves in Japan (July 26, 1952 (J.S.T.))  
● : d ○ : c X : epicenter

Fig. 3. 2. Distribution of compression and dilatation of *P* waves at distant stations (by extended Byerly's method)

Table 1. Compression or dilatation of *P* wave at distant stations

Station	$\Delta$	$\Phi$	cord
Andijan	51.3°	-61° 58'	d
Athenes	85.7	-46 12	c
Berkeley	76.0	+53 00	c
College	53.1	+29 30	c
Copenhagen	79.2	-27 55	d
Kew	87.2	-24 37	c
Kiruna	68.2	-21 09	d
Ksara	80.0	-55 00	d
Kurilsk	13.6	+31 39	c
La Paz	50.9	+14 46	c
Manila	23.4	+134 27	d
Moskow	67.8	-36 46	d
Ottawa	95.3	+22 55	d
Petropavlovsk	24.0	+44 16	c
Praha	82.4	-32 45	d
Resolute	66.2	+12 55	c
Riverview	68.7	+169 00	c
Rome	89.3	-37 25	d
Scoreby Sund	74.7	-6 53	c
Strasbourg	86.4	-30 30	d
Stuttgart	85.7	-35 48	d
Sverdolousk	55.4	-40 23	d
Tashkent	53.4	-60 26	d
Ulegorsk	15.3	-10 40	c
Uppsala	74.2	-26 48	d
Vladivostok	10.1	-25 15	c
Wellington	82.4	+152 36	c
Zürich	87.0	-31 42	d

$\Phi$  : Azimuth (ex.  $-\alpha^\circ = N\alpha^\circ W$ ,  $\alpha^\circ = N\alpha^\circ E$ )

Table 2. Amplitude of initial *S* waver at various stations

Station	Amplitude of initial <i>S</i> wave		
	N—S	E—W	Z
	$\mu$	$\mu$	$\mu$
Chichibu	+125	-600	
Choshi	+403?	-494?	
Fukushima	>+390	-336?	-202
Funatsu	+664	-840	
Gifu	+708	-131	
Hachijo-jima	-302	-627	
Himeji	+180	+386	
Kakioka	+560	-496	-55
Kameyama	+665	-68	
Kobe	+629	+1210	
Kochi	-159	+160	
Kofu	+415	-411	-224
Kyoto	+326	+325	
Maizuru	+264	+349	
Matsumoto	+572	-872	
Matsuyama	-17	+66	-16
Mishima	+1000	-883	
Murotomisaki	-105	-43	
Nagoya	+668	-605	
Omaezaki	+665	-670	
Osaka	+602	+950	
Oshima	+423	-373	-763
Owase	+191	+79	
Saigo	+75	+195	
Shimizu	-110	-136	
Shionomisaki	-33	+194	
Shizuoka	+17	-663	
Sumoto	+335	+270	+216
Takamatsu	+368	+318	
Tomisaki	+126	-770	
Tottori	+180	+400	
Toyooka	+179	+208	+143
Tsu	+1273	-280	
Tsuruga	+758	+150	
Utsunomiya	+310	-616	-780
Yokohama	+494	-653	

い.

ii) *S* 波初動分布

この地震は震源が深いため *S* 波が非常に明りょうに出ているところが多い（ただし、上下成分は不明りょうのところが多い）。これら読みとり結果中水平成分を合成すると Fig. 4 のようになる。(8), (9) 式によるとこの結果からは type II が適当なようにみえる。そこで、各所の値を *SH*, *SV* 成分に分解してみると Fig. 5, Fig. 6 に示す結果が得られる。そこで (10) 式から *SH*, *SV* の節線を計算してみると大体において観測結果をみたすことがわかる（ただし、ある点に到着する *P*, *S* 両波は同じ路を通るものと仮定した）。これから地震の起震力として、最大圧力の方向は *S* 84.5°*E*, その plunge は 30.5°, 最大張力の方向は *N*1°*W*, その plunge は 2.5° で, null vector

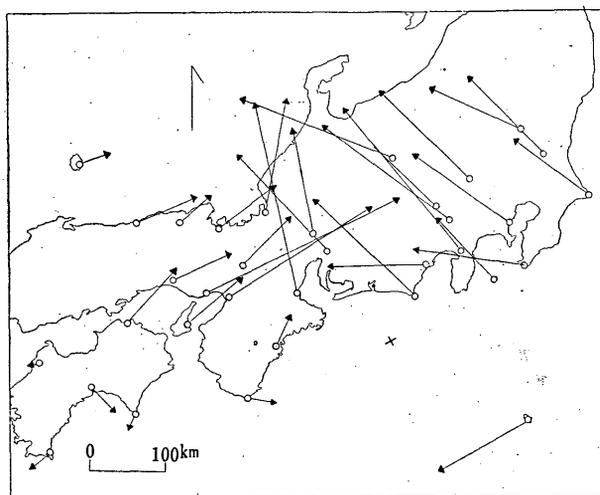


Fig. 4. Distribution of initial motion of *S* waves (horizontal comp nent)

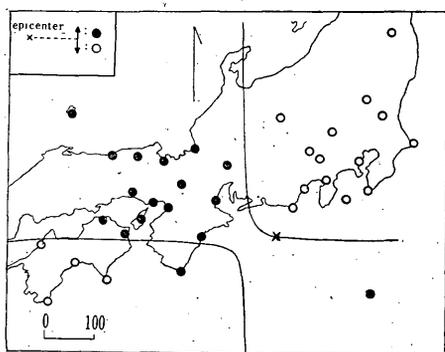


Fig. 5. Distribution of initial motion of *S* waves (*SH* component)  
 × : epicenter

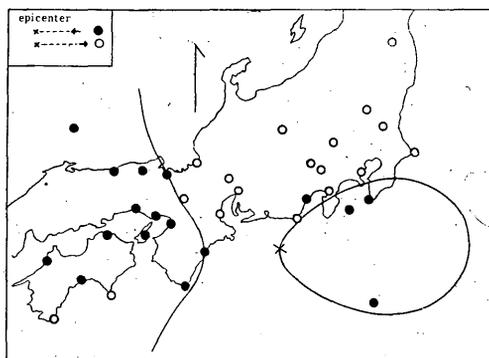


Fig. 6. Distribution of initial motion of *S* waves (*SV* component)  
 × : epicenter

の方向は  $S84.5^{\circ}W$ ，その *plunge* は  $59.5^{\circ}$  であることがわかる。Honda が上とほとんど同じ場所  
 所に行った地震を調査されているが、今回の地震の最大圧力の方向はこれとほとんど一致する。

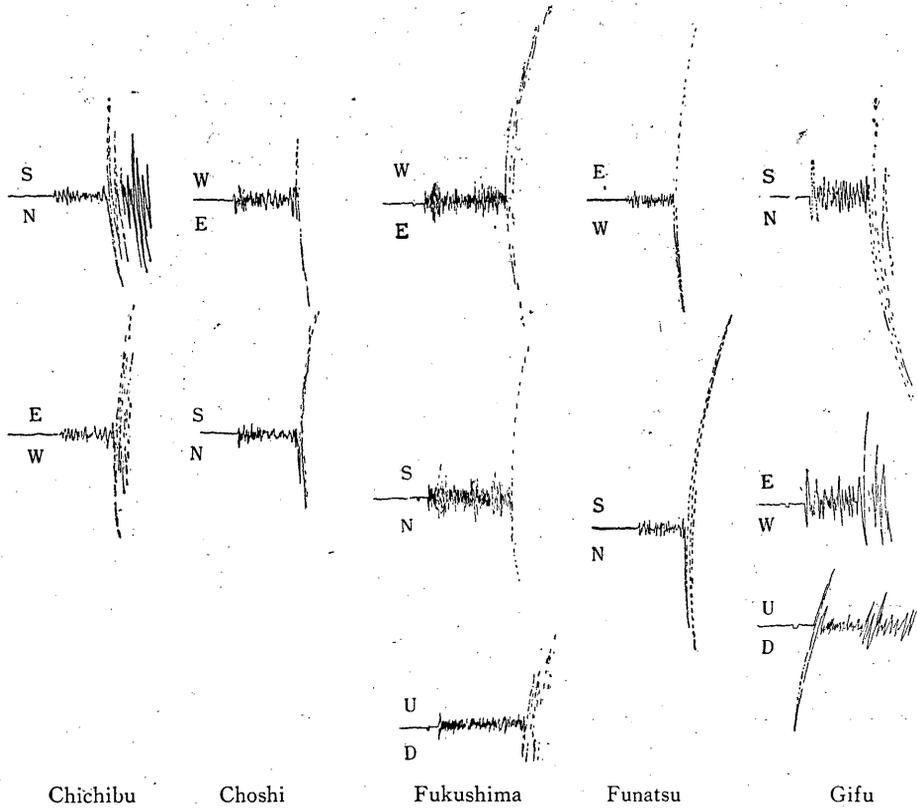
§ 4. む す び

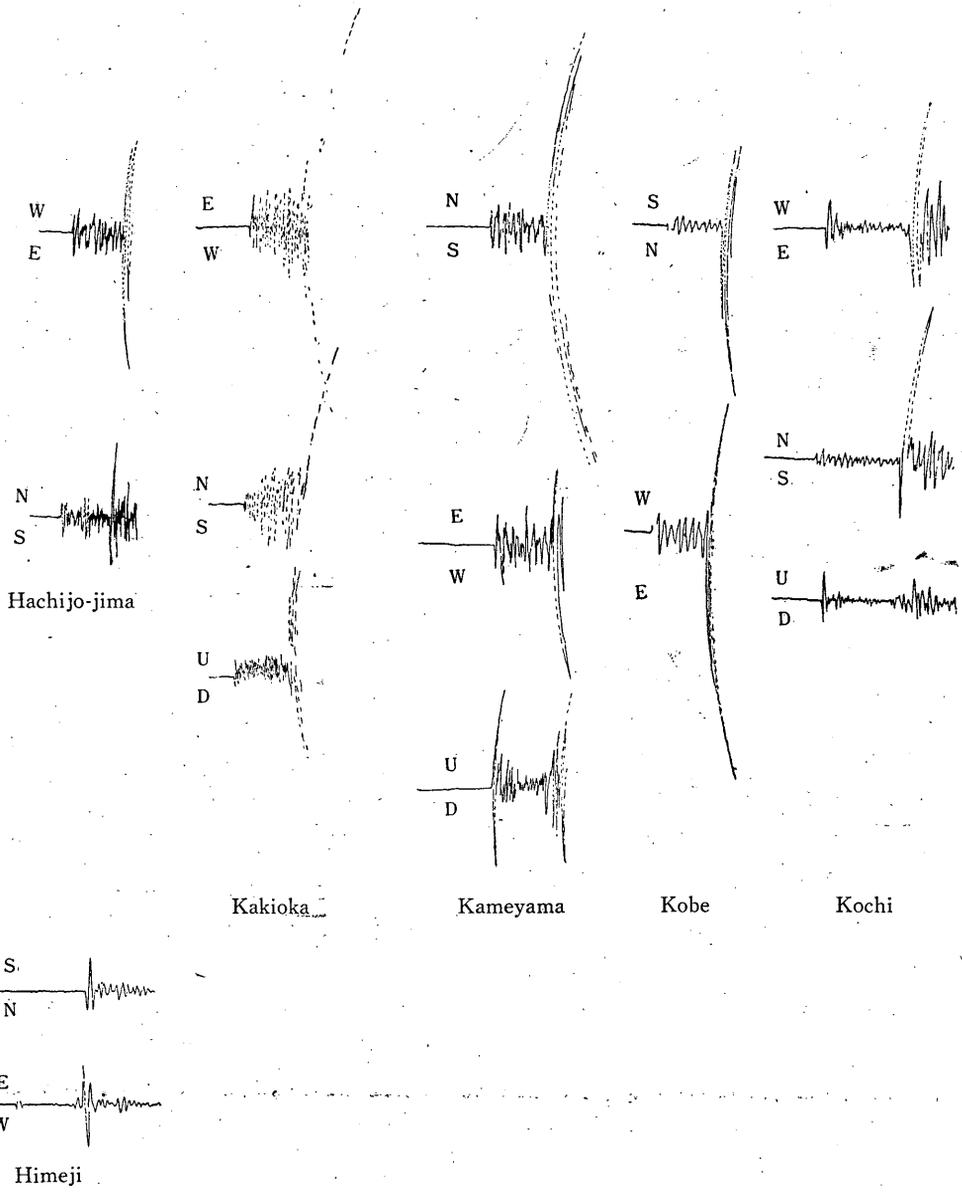
前記のような起震力についての対立した問題を考察するため、上記遠州灘の地震を *P*、*S* 両波  
 初動から調査した結果、本多流の最大張力、最大圧力による仮定のほうが観測した結果を説明する  
 のにはつごうの良いことがわかった。S 波初動の読みとりは一般に困難な場合が多いが、付図に示  
 したように本地震の S 波は比較的明りょうなので、この点はあまり問題はないように思う。また、

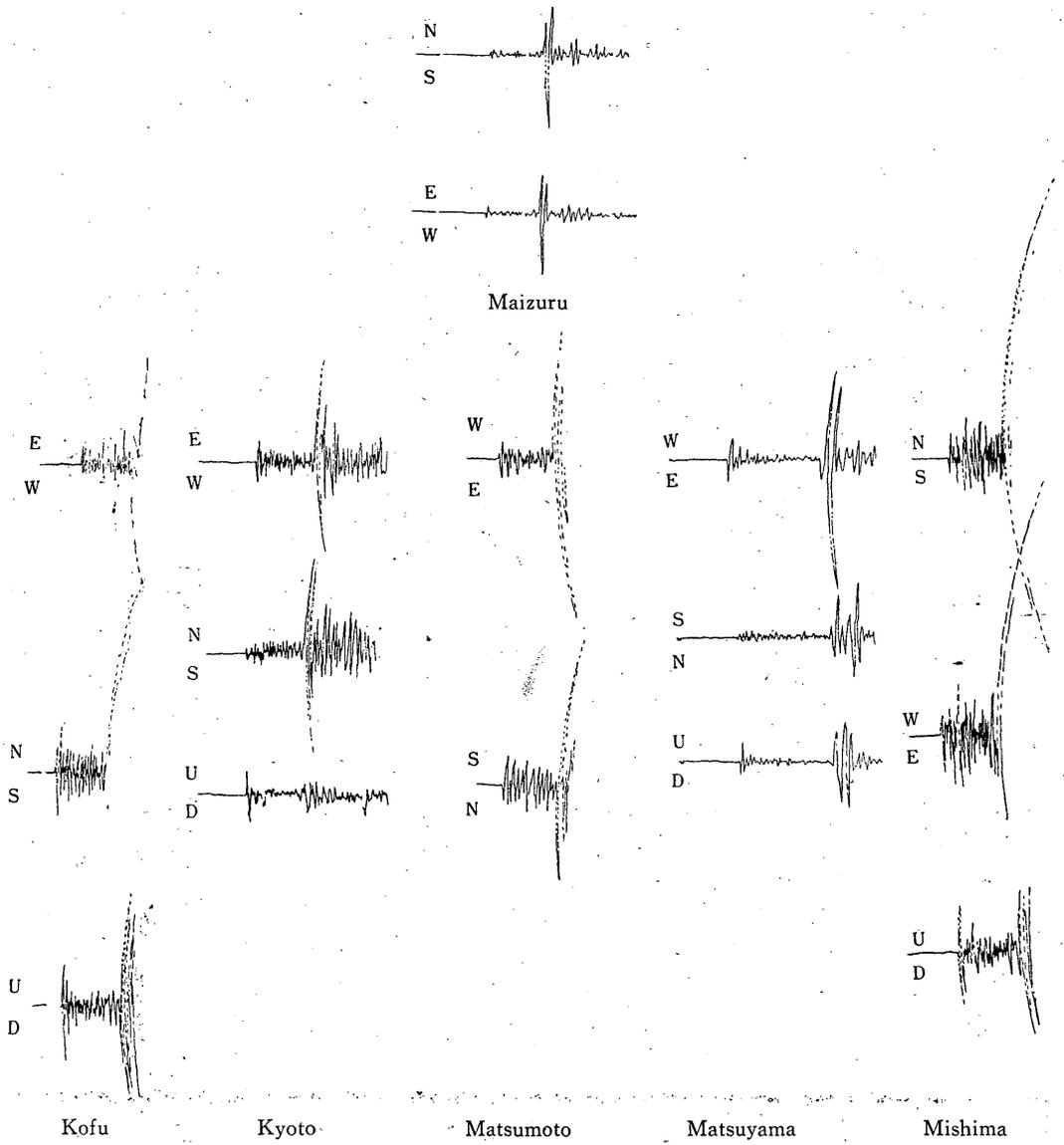
調査方法としては Borok のように振幅比をも考えたほうがよいとは思うが、地表面における反射の影響にからむ問題、地震計常数の各成分間の不一致、S波の上下動成分の読みとりのむずかしさや上下動地震計の未設置など多くの問題があるので S波初動の水平成分の振動方向から SV, SH の方向を推定して、その節線を考えることにした。日本のように多くの観測点を有する場合は調査対象の地震を適当に選べば本方法でも十分であることがわかった。

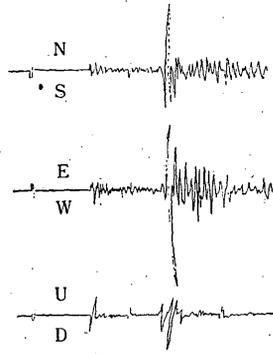
おわりに、本調査に当たっているいろいろ御援助賜わった広野地震課長はじめ地震課の諸兄および東北大学本多教授に深く感謝いたします。

Fig. 7.

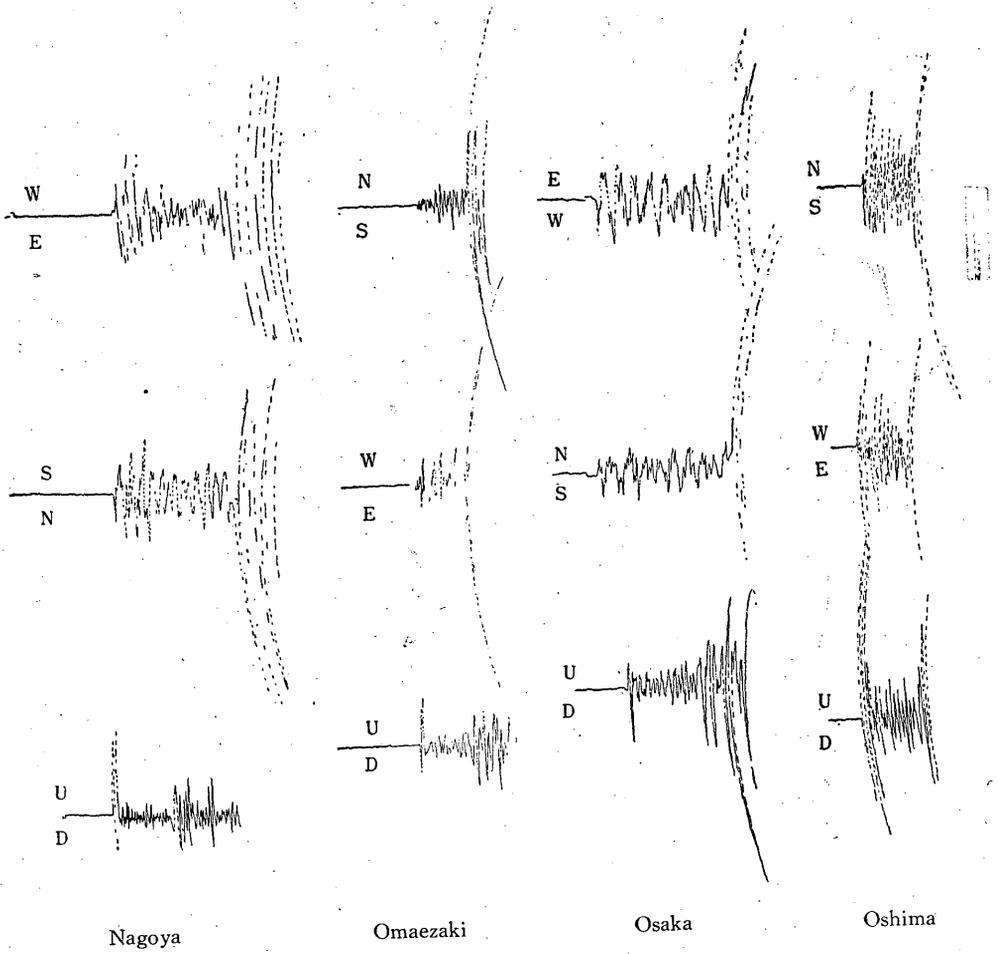








Murotomisaki

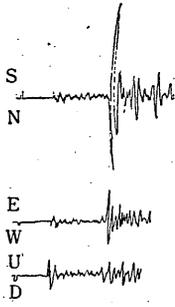


Nagoya

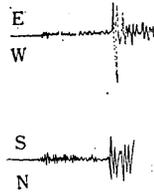
Omaezaki

Osaka

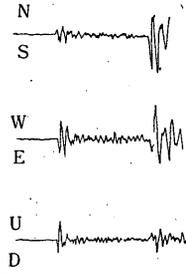
Oshima



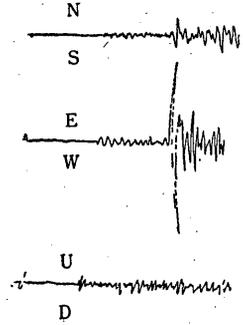
Owase



Saigo



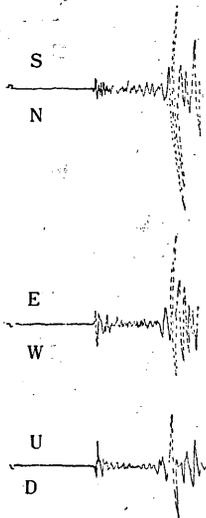
Shimizu



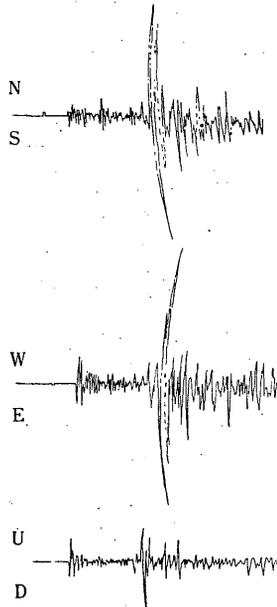
Shionomisaki



Shizuoka



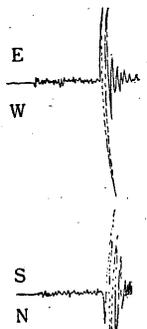
Sumoto



Takamatsu



Tomisaki



Tottori

