

超高性能地震計 (STS) による地震観測

—観測システムと地震波形例の紹介—

渋谷 拓郎・尾池 和夫・平原 和朗・西上 欽也
和田 博夫・中尾 節郎・平野 憲雄

SEISMIC OBSERVATION WITH HIGH-PERFORMANCE SEISMOMETERS (STS) —INTRODUCTION OF OBSERVATION SYSTEM AND EXAMPLES OF SEISMIC WAVEFORM—

By *Takuo SHIBUTANI, Kazuo OIKE, Kazuro HIRAHARA,*
Kin'ya NISHIGAMI, Hiroo WADA, Setsuro NAKAO and Norio HIRANO

Synopsis

We have begun to observe seismic waves with very-broad-band and wide dynamic range seismometer (STS) since July 1988 at Tottori Observatory, Hokuriku Observatory and Kamitakara Observatory which belong to Research Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University. The STS system has dynamic range of 140 dB and its velocity output is flat for the period range between 0.1 and 360 s. Therefore it can completely record both body waves and surface waves that are too big for the microearthquake observation system to record them without scaleover. It is very important to record such complete waveforms because they can be used in the studies of source mechanism and structure of the Earth's interior. In this paper we will introduce our STS system and some examples of waveforms recorded with the system.

1. 緒 言

京都大学防災研究所地震予知研究センターの鳥取観測所, 北陸観測所および上宝観測所では1988年7月から STS 地震計による広帯域・広ダイナミックレンジ地震観測を開始した。従来の微小地震観測システムでは, 観測帯域が 0.02~1 s, ダイナミックレンジが 40 dB であるのに対し, STS システムでは, それぞれ 0.2~360 s, 140 dB であり, 帯域は長周期側に広がり, ダイナミックレンジは 100,000 倍にもなっている。このように STS システムは, 微小地震観測システムでは波形が飽和してしまうような大きな地震に対しても, その実体波から表面波までを完全に記録することができる。そのような完全な波形を蓄積し, 解析することは, 震源過程や地球内部構造の研究においてたいへん有用である。この論文では我々の STS システムと現在までに記録されたいくつかの波形例を紹介する。

2. STS 地震波観測システム

STS 地震波観測システムのブロックダイアグラムを Fig. 1 に示す。本システムは、主として①STS 地震計 (3成分) ②A/D 変換器 (24 bit) ③波形収録用ミニコンピュータによって構成されている。以下に各構成要素について説明する。

2.1 STS 地震計

STS 地震計 (STS-1 V, STS-1 H) は Wielandt ら¹⁾²⁾により開発された広帯域・広ダイナミックレンジの地震計である。Fig. 2 に示すように速度出力において 0.1~360 s までフラットな振幅特性をもつ。ダイナミックレンジは 140 dB である。安定して長周期化するために以下に述べるようないくつかの特長ある工夫がなされている。①feedback 回路により電氣的に長周期化する。また、特に上下動地震計において、②mass を支えるバネに leaf-spring を用い、機械的な固有周期を無限大にする。③地震計全体をガラス容器で密閉し、容器内を減圧して、気圧変化の影響を受けにくくする。③について水平地震計に関しては、ガラス容器内を減圧すると、かえって外気圧変化の影響を受けてしまうことがわかってきた。これについては 4 章でふれる。

2.2 A/D 変換器

STS 地震計の広ダイナミックレンジの特長をそのまま生かせるように、我々のシステムでは Quanterra 社製の 24 bit A/D 変換器 (Q 52 K-1) を用いている。サンプリング周波数は 20 Hz であり、アンチエイリアスフィルタとして 7.5 Hz のハイカットフィルタが入っている。最小ビットは短周期地動ノイズの 100 分の 1 程度に設定されているが、今までに観測された最大の地震波でもダイナミックレンジの 10% 程度しか振れていない。

この A/D 変換器は内部に時計にもっていて、微小地震 テレメータシステムの標準時計から 1 分毎にリファレンスパルスを受け取り、内部時計のズレを出力する機能をもっている。

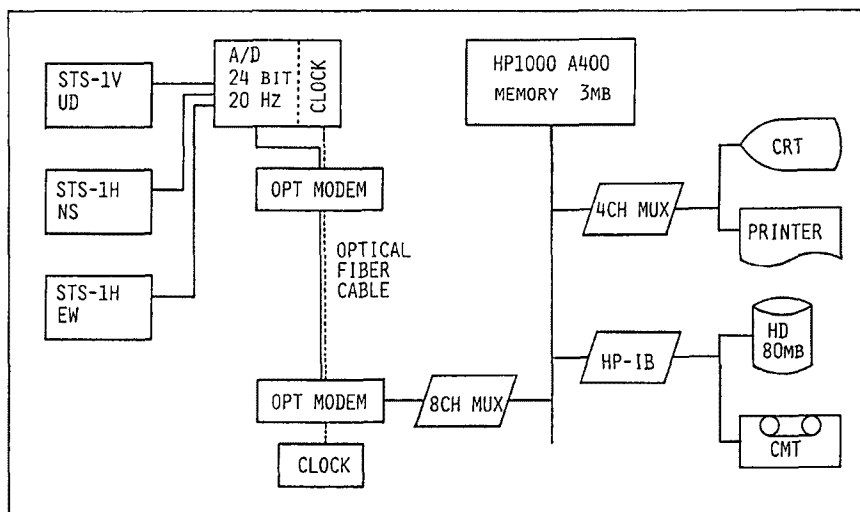


Fig. 1. Block-diagram of the seismic wave recording system. 'STS-1V' and 'STS-1H' indicate a vertical component seismometer and a horizontal component seismometer, respectively. 'HP1000 A400' is a minicomputer for data recording.

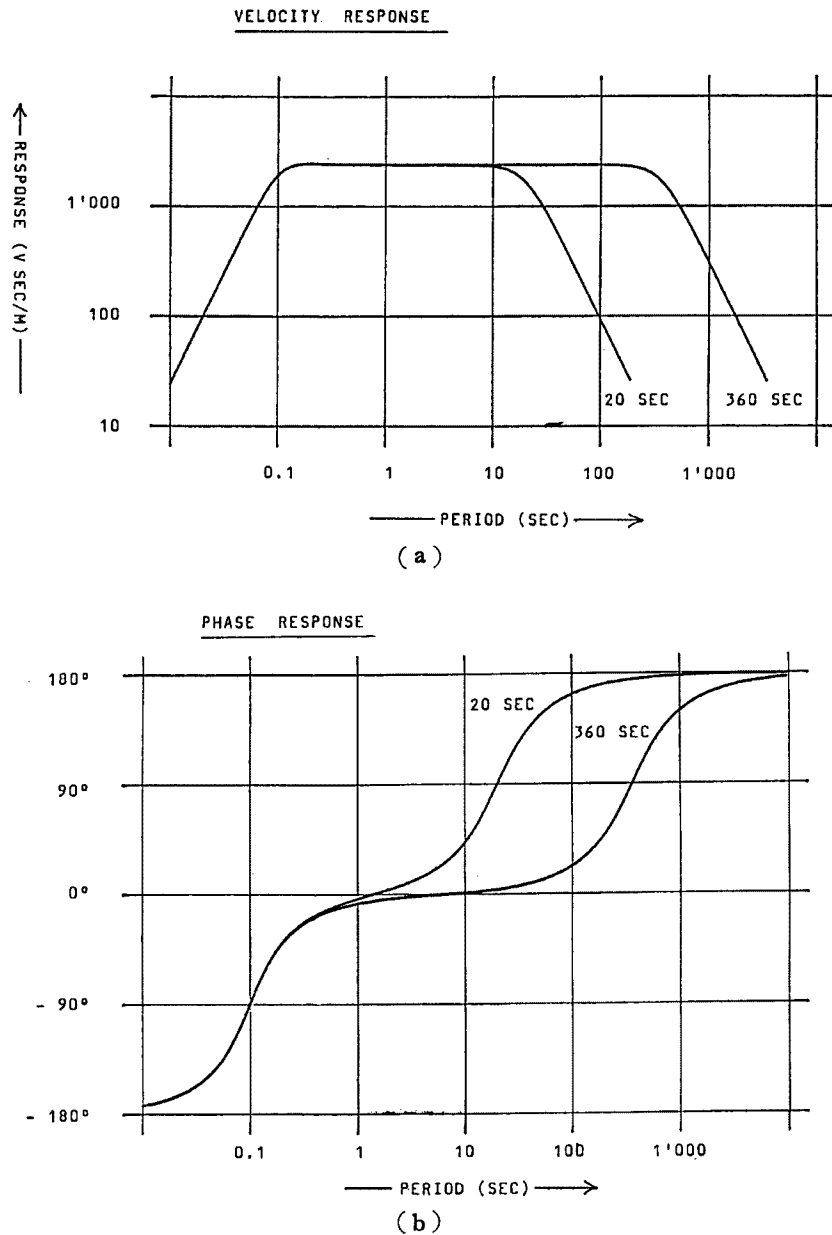


Fig. 2. (a) Amplitude response of the velocity output of STS seismometer. (b) Phase response of the velocity output of STS seismometer. These two figures are borrowed from the manual [G. Streckeisen AG Messgeraete¹³⁾].

データは RS-232 C インターフェイスを介して出力されるが、信号の品質を保つために、途中、光モデムにより光信号に変換され、光ケーブルを通して送られる。

2.3 波形収録装置

A/D 変換器からのデータは Hewlett-Packard 社のミニコンピュータ (HP1000 A 400) で処理され収録される。このミニコンピュータは OS として、リアルタイム性に優れ、マルチプログラミングが可能な RTE-A を用いている。

データ収録方式にはトリガ方式と連続方式の2種類がある。トリガ方式の SP データは 20 Hz でサンプリングされ、トリガ10分前からトリガ後30分までが1ファイルとして収録される。収録時間は地震の大きさによって変わり、数時間になることもある。連続方式の LP データは 1 Hz でサンプリングされ、1時間分が1ファイルとして収録される。いずれもハードディスクに書き込まれた後、カートリッジテープにバックアップされる。

Table 1. The list of the observation stations

Code	Name	Location LAT. LON. H (km)	Sensitivity (Vs/m)			Remarks
			UD	NS	EW	
KTJ	Kamitakara	36.2800N	2402			from Aug. 1988
		137.3269E	2434			
		0.760	2460			
TTT	Tottori	35.5147N	2526			from July 1988
		134.2378E	2436			
		0.010	2386			
HKJ	Hokuriku	35.9375N	2532			from Aug. 1988
		136.2125E	2478			
		0.020	2438			

3. 地震波形例

Table 1 に観測状況をまとめる。北陸観測点は1988年10月からトンネルの巻き立て工事のため観測を約1年間中断した。**Table 2** は観測開始時から1989年12月31日までの3観測点で収録された SP データのリストである。**Fig. 3** と **Fig. 4** にこれらの地震の震央分布を示す。次に主な地震についての波形を示し、その特徴について述べる。

3.1 Macquarie Islands ($M_S=8.2$, May 23, 1989)

この地震は New Zealand の南西に位置する Macquarie 諸島付近、鳥取観測点からの震央距離が 90° の地点で発生した。Ms (表面波マグニチュード) は 8.2 で、観測期間中最大の地震である。**Fig. 5(a)** に鳥取観測点での3成分波形を示す。地震動が3時間以上も継続していることがわかる。最大振幅は、vertical 成分と radial 成分では2400秒付近に、tangential 成分では2200秒付近に見られるが、前者は Rayleigh 波、後者は Love 波である。このほかにも、radial 成分では1200秒付近と8000秒付近に、tangential 成分では6600秒付近と11600秒付近に顕著な phase が見られる。つぎにこれらの phase を抽出するために100~500秒のバンドパスフィルタをかけたものを **Fig. 5(b)** に示す。R1 と G1 は上で述べた最大振幅を与える Rayleigh 波と Love 波であり、劣弧を伝わってきた表面波である。R2 と G2 は優弧を伝わってきた Rayleigh 波と Love 波である。G3 は G1 がさらに地球を一周してきたものである。X1~X4 は地球自由振動の spheroidal mode の overtone である。Woodhouse ら³⁾ および Tanimoto⁴⁾⁵⁾ は、これらの表面波の waveform inversion を行ない、上部マントルの3次元速度構造を求めた。

3.2 鳥島近海 ($M_{JMA}=6.8$, June 17, 1989)

この地震は鳥島付近の深さ 385 km の地点に発生した深発地震である。**Fig. 6(a)** に上宝観測点における3成分波形を示す。これらに30~100秒のバンドパスフィルタをかけたものが **Fig. 6(b)** である。1750秒と1900秒および2700秒と2950秒に顕著な phase が見られるが、これらは前から、ScS, sScS, (ScS)₂, s(ScS)₂ に

JULY 1988 - DEC. 1989

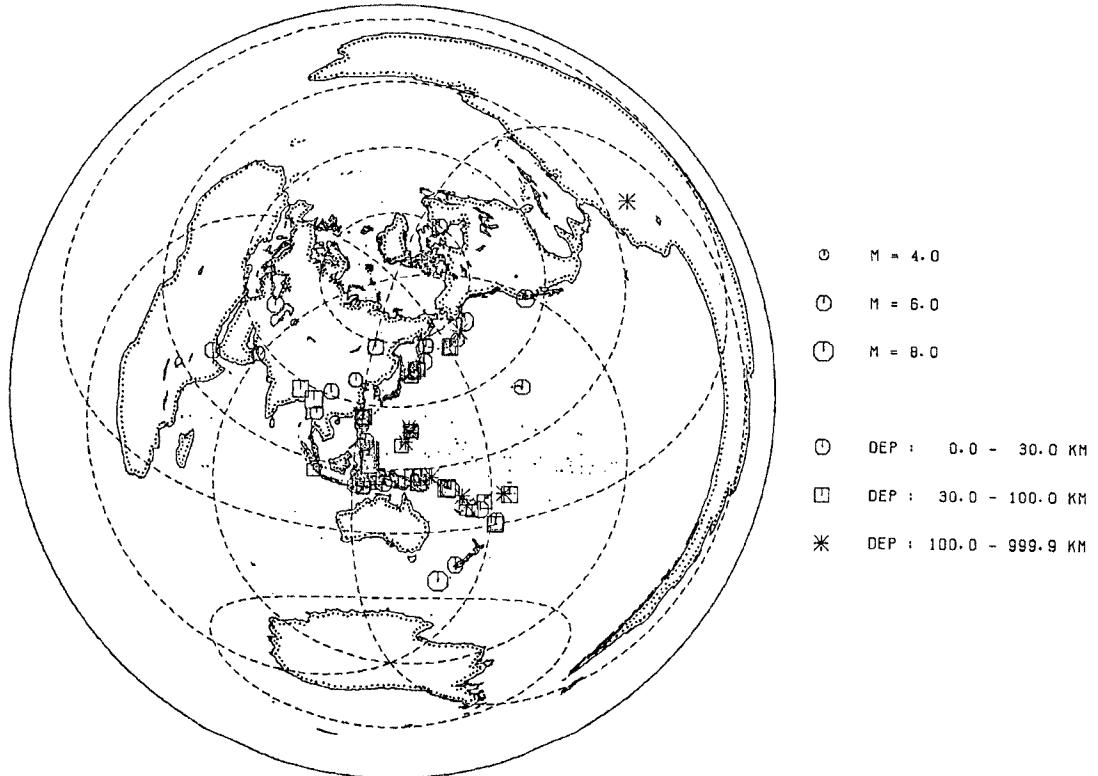


Fig. 3. The distribution of earthquakes whose waveforms are recorded by our system as 'SP data'. The plotted hypocenters are referred to Preliminary Determination of Epicenters by NEIC.

JULY 1988 - DEC. 1989

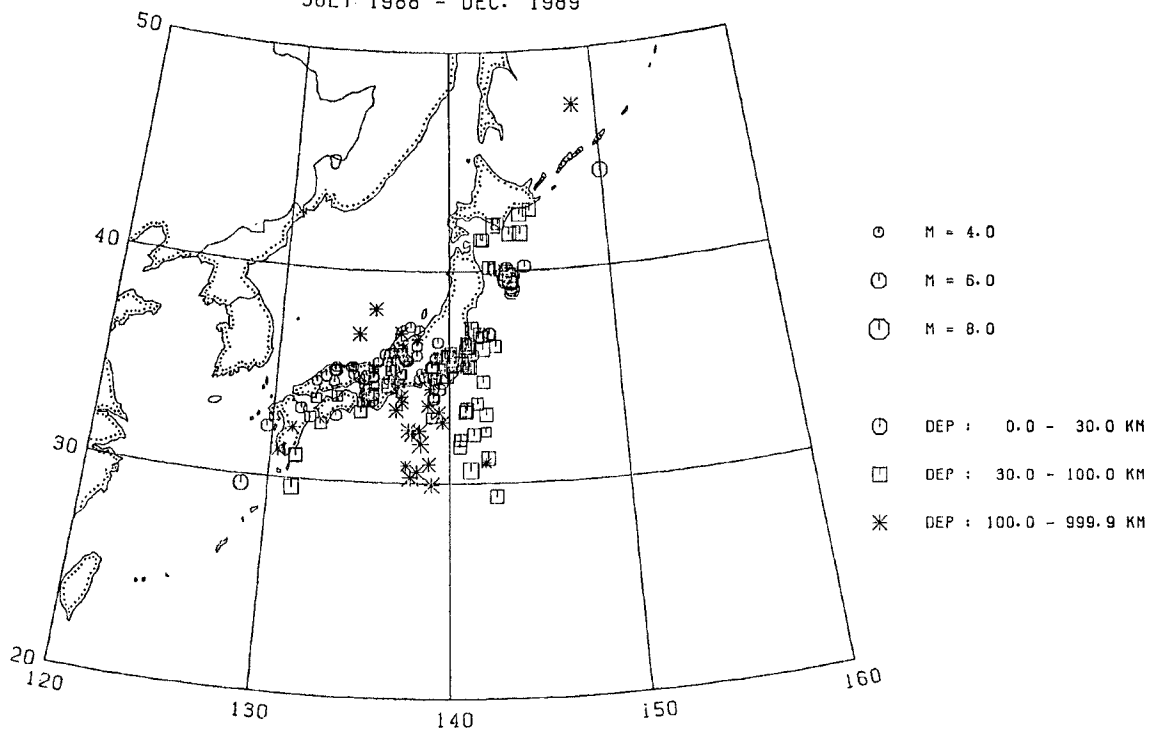
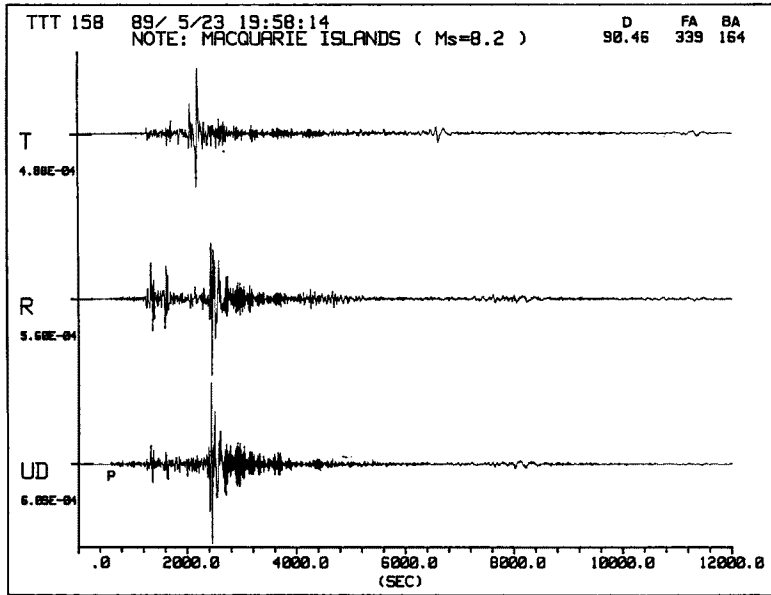
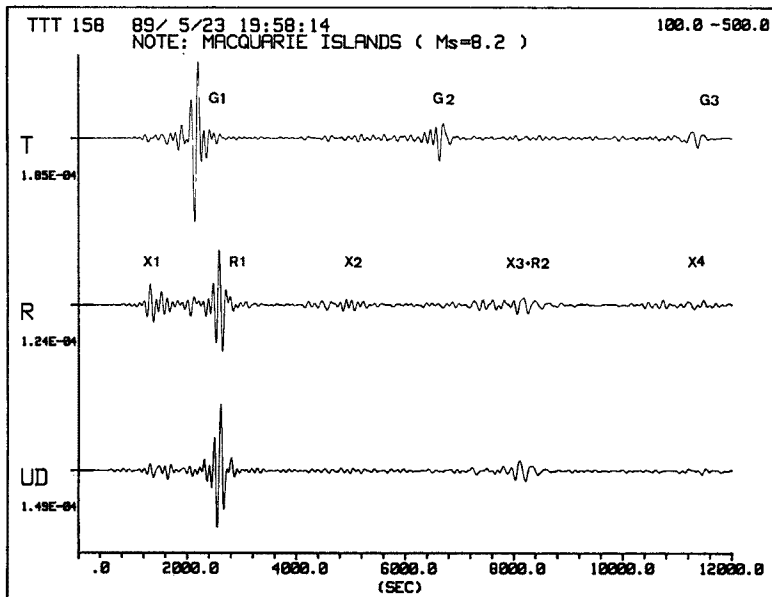


Fig. 4. The distribution of earthquakes whose waveforms are recorded by our system as 'SP data'. The plotted hypocenters are referred to Preliminary Earthquake Origins by JMA.



(a)



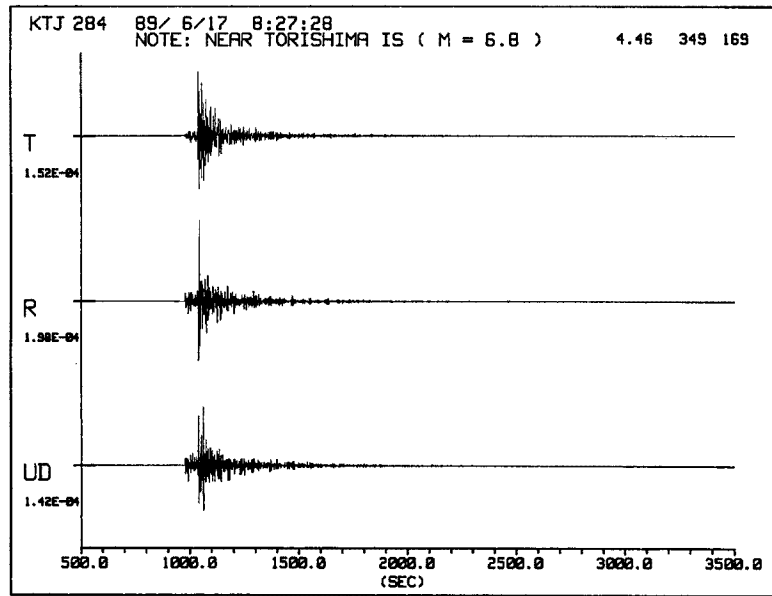
(b)

Fig. 5. (a) Three-component-waveform of Macquarie Islands ($M_s=8.2$) recorded at Tottori. UD, R and T indicate a vertical, radial and tangential component, respectively. The value under the component symbol is the maximum value (zero to peak) of the component and the unit is m/s. The origin of the time axis is equal to a time shown at the top of the figure. D represents the angular distance between an epicenter and a station. FA indicates the azimuth angle at an epicenter to a station measured clockwise from north and BA indicates the azimuth angle at a station to an epicenter measured clockwise from north. (b) The bandpass filtered waveform from (a). The bandpass period is 100–500s. Phases represented by G1, G2, etc. are explained in the text.

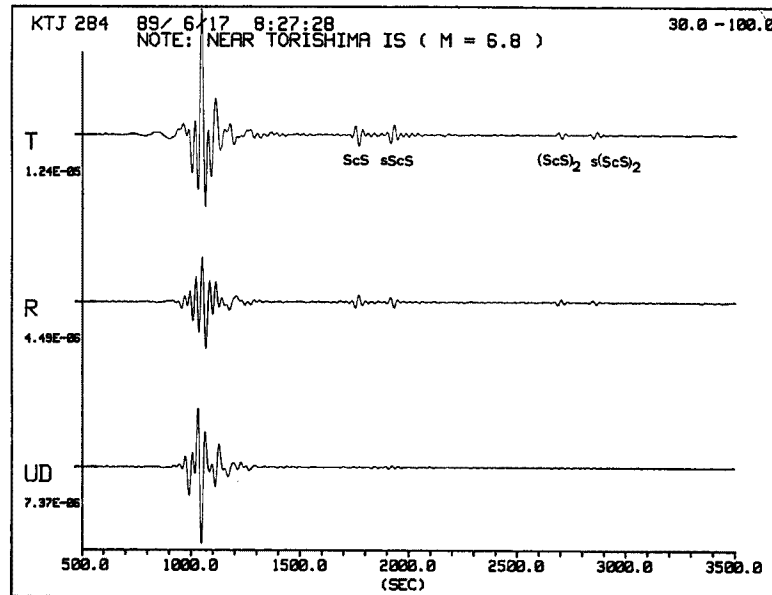
対応する。Jordan ら⁶⁾は、このような multiple ScS を用いてマンツルの Q 構造を求めた。Jordan⁷⁾は最近、multiple ScS の waveform inversion から深さ約 1000 km までの速度構造を求め、いくつかの新しい速度不連続面を提唱した。

3.3 Western Brazil ($M_B=6.2$, May 6, 1989)

Fig. 7(a) は鳥取観測点におけるブラジル西部の深発地震（深さ：593 km）の 3 成分波形である。鳥取は震



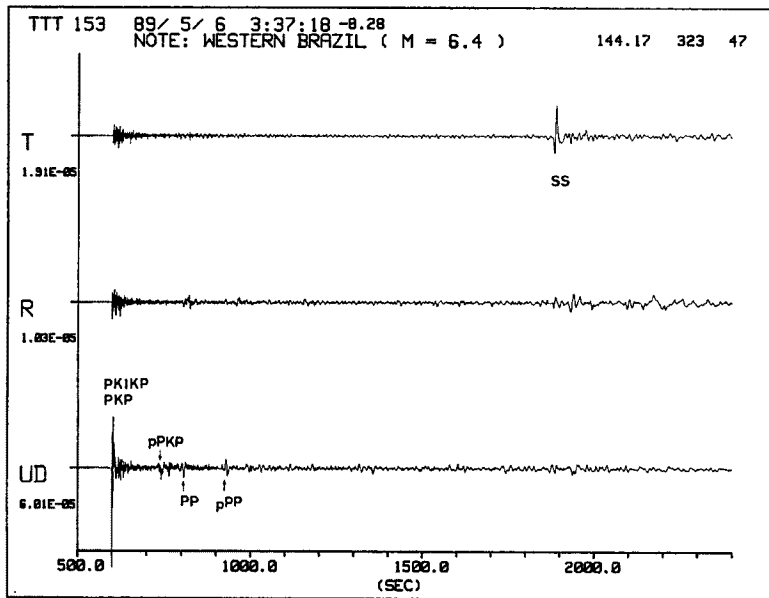
(a)



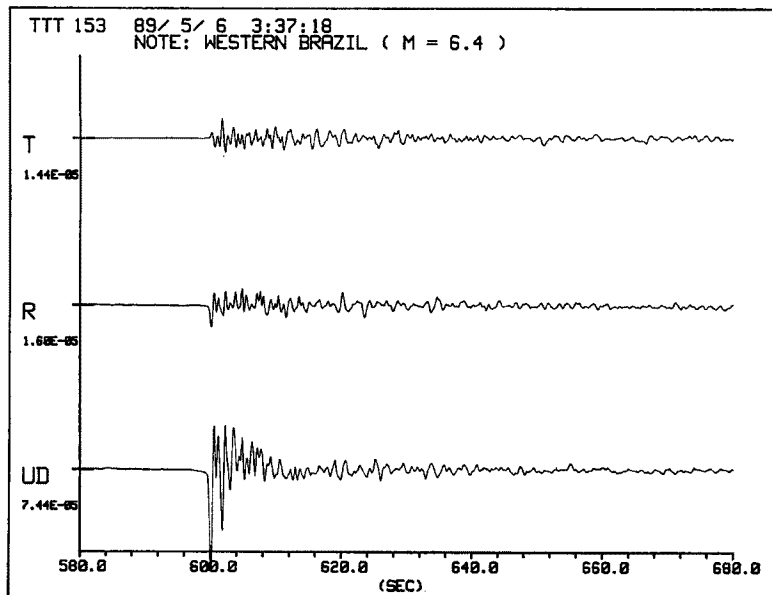
(b)

Fig. 6. (a) Three-component-waveform of Near Torishima Islands ($M_{JMA}=6.8$) recorded at Kamitakara. (b) The waveform through a bandpass filter whose period range is between 30 and 100s. Phases indicated by ScS, sScS, etc. are explained in the text.

央距離が 144° の地点に位置し、ここは 103° 付近から始まる P 波の shadow zone の終点付近となるので、PKIKP, PKP がほとんど同時刻に相次いで到着し、Fig. 7(b) の P 波初動部拡大図に示されるように、波形が複雑になり振幅も大きくなる。Fig. 7(a) の vertical 成分に見られる特徴的な phase としては、800秒付近の PP と920秒付近の pPP が挙げられる。さらに P の約130秒後にも顕著な phase が見られるが、これは走時等から判断して pPKP と考えられる。tangential 成分において1900秒に見られる phase は SS である。



(a)

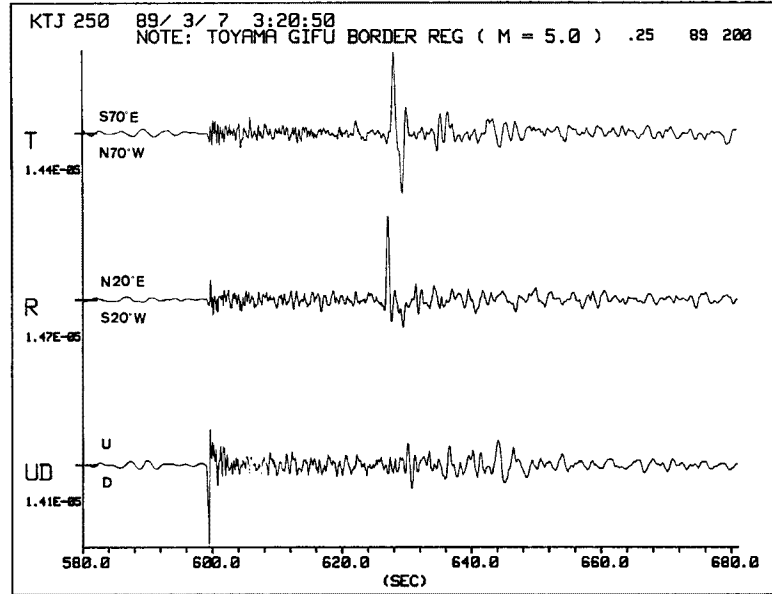


(b)

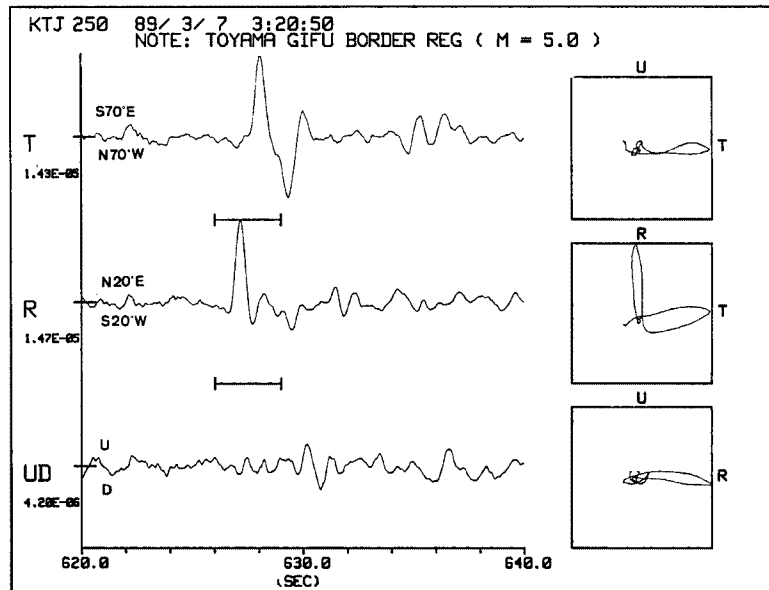
Fig. 7. (a) Three-component-waveform of Western Brazil ($M_B=6.4$) recorded at Tottori. Phases represented by PKP, PKIKP, etc. are explained in the text. (b) The first 80 seconds of P wave of (a).

3.4 富山・岐阜県境 ($M_{JMA}=5.0$, Mar. 7, 1989)

Fig. 8(a) の波形は富山・岐阜県境に発生した深発地震で、上宝観測点で記録されたものである。同観測点までの震央距離が 28 km であるのに対し地震の深さは 280 km であるので、ほとんど観測点の真下で発生したものと見なしてよい。S 波部分を拡大したのが Fig. 8(b) である。Fig. 8(b) にはバーをつけた範囲の particle motion も描かれている。水平動の 2 成分は S 波の splitting が最大となるよう回転されていて、上



(a)



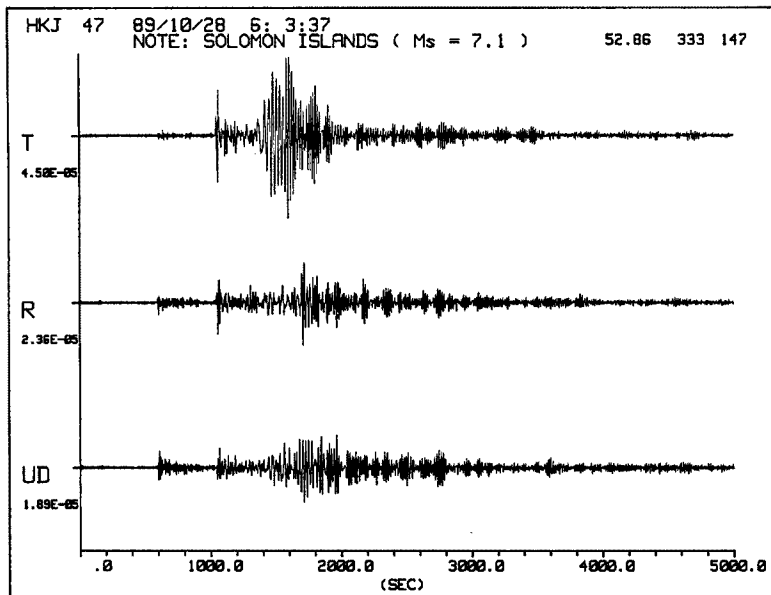
(b)

Fig. 8. (a) Three-component-waveform of Toyama Gifu Border Region ($M_{JMA}=5.0$) recorded at Kamitakara. (b) The waveform of S wave part and the particle motions for the time range denoted by bar. In Fig. 8 (a) and (b), T is the $S70^\circ E-N70^\circ W$ component and R is the $N20^\circ E-S20^\circ W$ component.

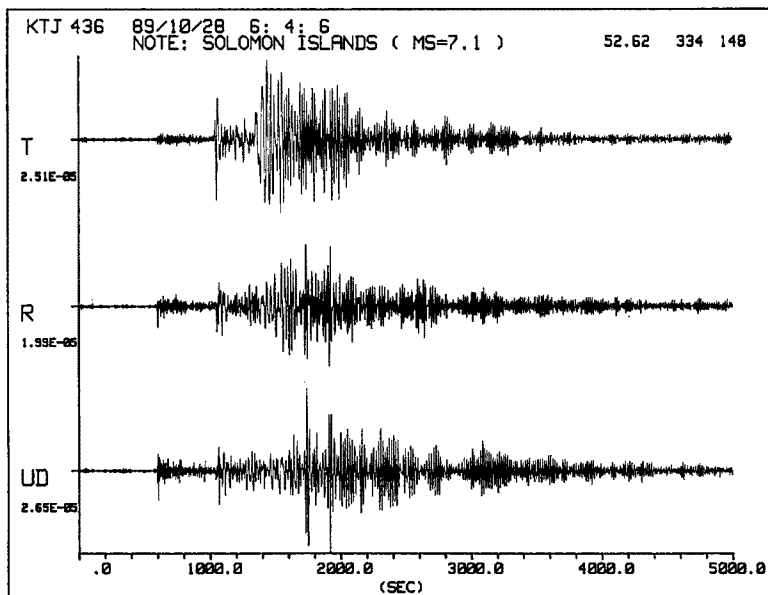
のトレースが $S 70^{\circ}E-N 70^{\circ}W$ 成分, 中のトレースが $N 20^{\circ}E-S 20^{\circ}W$ 成分である。この図を見てわかるように, $N 20^{\circ}E-S 20^{\circ}W$ 成分の方が $S 70^{\circ}E-N 70^{\circ}W$ 成分より S 波が 1 秒程度速く到着している。Ando⁸⁾はこのような S 波の異方性が地下深部にあるマグマ溜まりによるものと考え, 上宝周辺の 5 つの観測点とその直下で発生した 12 個の深発地震とを結ぶ波線について, S 波の splitting が観測されるかどうかを調べ, マグマ溜まりの広がりやを推定した。

3.5 Solomon Islands ($M_S=7.1$, Oct. 28, 1989)

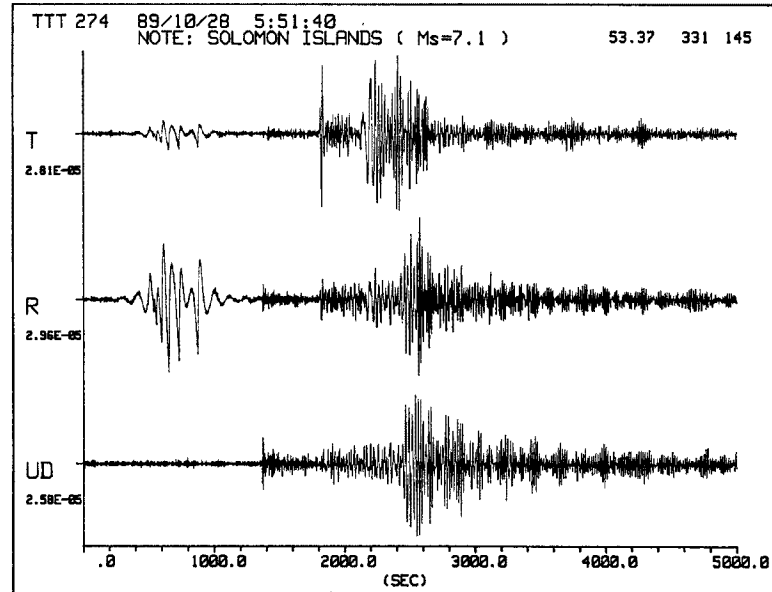
北陸観測点, 上宝観測点および鳥取観測点におけるこの地震の波形をそれぞれ Fig. 9(a), (b), (c) に示す。鳥取の 400~1200 秒に見られる波形は NS 成分の地震計に発生したノイズである。ノイズの問題につい



(a)



(b)



(c)

Fig. 9. (a) Three-component-waveform of Solomon Islands ($M_s=7.1$) recorded at Hokuriku. (b) The waveform recorded at Kamitakara. (c) The waveform recorded at Tottori.

ては次章で述べる。3観測点とも tangential 成分に Love 波の分散がきれいに見える。一方、表面波の主要部の成分間の相対振幅や波形は観測点ごとにより異なっている。3観測点は震央からみた方位角において 3° の範囲にあるので、表面波にみられる観測点間の相違は radiation pattern によるものではなく、伝播経路途中の構造の違い、とくに観測点の近くの regional な構造の違いによるものと考えられる。

4. 観測上の問題点（長周期ノイズ）

STS の記録において主として水平動の記録に、周期が 100 秒以上の長周期ノイズが現れることがある。これについてはすでにいくつかの報告がなされている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。気圧変化と相関がよいことから、長周期ノイズの原因は、気圧変化が STS のガラス容器に歪みを生じさせるためであると考えられている。山田ら¹⁰⁾は水平動地震計のガラス容器に乾燥空気の入った風船をつなぎ外気との圧力差をなくすと、気圧変化の影響はたいへん小さくなり良好な記録が得られるようになったと報告している。また、三上ら⁹⁾によるとガラス容器下面を観測台にしっかり固定することによっても長周期ノイズを 1/10 程度に軽減することができる。

Table 2. The list of SP data. Numerals under the station codes such as 'TTT', 'KTJ', and 'HKJ' indicate the file number of their SP data. '0' shows that there is no SP data for the station. 'JMA' in 'REF' column indicates the hypocenter is referred to Preliminary Earthquake Origins by JMA. The hypocenter with 'PDE1' in 'REF' column is referred to Preliminary Determination of Epicenters (PDE) by NEIC. That with 'PDE2' is referred to Monthly Listing of PDE.

Y	M	D	H	M	S	LAT.	LON.	DEP.	M	LOCATON	REF.	TIT	KTJ	HKJ
1988	706	532	7.2			5.964S	148.780E	53.	6.8	NEW BRITAIN ISLANDS	PDE2	2	0	0
1988	707	054	18.2			41.735N	144.457E	59.4	6.2	SE OFF TOKACHI	JMA	3	0	0
1988	716	447	46.1			34.588N	135.068E	14.8	3.4	OSAKA BAY REGION	JMA	6	0	0
1988	717	1223	5.0			20.090N	121.992E	9.	5.6	PHILIPPINE ISLANDS	PDE2	7	0	0
1988	718	005	55.8			37.047N	142.362E	27.0	5.6	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	8	0	0
1988	721	815	36.6			23.902N	121.598E	51.	5.7	TAIWAN	PDE2	9	0	0
1988	725	1546	6.6			6.081S	133.667E	28.	6.7	AROE ISLANDS	PDE2	11	0	0
1988	729	1831	1.3			32.433N	131.090E	105.0	-9.0	NORTHERN MIYAZAKI PREF	JMA	14	0	0
1988	731	815	17.5			34.968N	139.218E	10.0	4.6	E OFF IZU PENINSULA	JMA	15	0	0
1988	802	2016	5.9			34.945N	139.201E	2.4	5.2	E OFF IZU PENINSULA	JMA	19	0	0
1988	804	1706	51.5			34.940N	139.182E	6.1	4.7	E OFF IZU PENINSULA	JMA	21	0	0
1988	806	936	24.6			25.149N	95.127E	91.	7.2	BURMA-INDIA BORDER	PDE2	22	0	0
1988	808	1809	42.6			33.847N	137.260E	363.1	5.3	SE OFF KII PENINSULA	JMA	23	0	0
1988	810	1338	26.1			10.366S	160.819E	34.	7.4	SOLOMON ISLANDS	PDE2	24	5	0
1988	810	2211	19.4			14.880S	167.293E	125.	6.2	VANUATU ISLANDS	PDE2	26	0	0
1988	811	1227	27.1			34.717N	136.183E	47.3	3.9	NORTHERN HIE PREF	JMA	27	0	0
1988	812	1414	53.9			35.095N	139.867E	69.4	5.3	SOUTHERN BOSO PENINSULA	JMA	29	0	0
1988	817	1336	28.8			36.032N	137.517E	13.2	3.4	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	8	0
1988	820	432	46.6			33.897N	135.197E	12.0	4.3	CENTRAL WAKAYAMA PREF	JMA	2	10	0
1988	821	809	9.5			26.755N	86.616E	57.	6.6	NEPAL-INDIA BORDER	PDE2	3	11	0
1988	825	1723	47.1			35.385N	135.565E	13.2	3.7	WESTERN FUKUI PREF	JMA	5	0	0
1988	827	1025	17.5			11.380N	141.413E	33.	5.6	WEST CAROLINE ISLANDS	PDE2	0	13	0
1988	827	1203	22.8			34.791N	141.973E	48.	5.1	FAR E OFF KANTO	JMA	0	14	0
1988	903	030	48.9			34.880N	139.267E	9.2	4.0	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	15	0
1988	905	049	22.4			35.497N	138.987E	29.6	5.6	EASTERN YAMANASHI PREF	JMA	8	16	11
1988	905	731	0.8			35.512N	138.976E	31.8	4.2	EASTERN YAMANASHI PREF	JMA	0	17	12
1988	906	107	34.9			36.505N	138.080E	6.9	3.6	NEAR MATSUSHIRO	JMA	0	18	0
1988	907	2053	24.2			30.270N	137.785E	513.6	6.8	SHIKOKU BASIN	JMA	9	0	13
1988	909	2239	49.6			35.012N	135.547E	11.5	3.4	KYOTO-OSAKA BORDER REG	JMA	11	0	0
1988	910	1216	6.0			34.935N	139.245E	13.3	4.2	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	0	15
1988	911	1136	51.2			18.914N	145.625E	176.	5.3	MARIANA ISLANDS	PDE2	0	21	0
1988	913	958	46.2			29.930N	138.978E	451.6	6.0	NEAR TORISHIMA IS	JMA	12	23	17
1988	915	511	31.8			42.228N	143.078E	69.8	4.9	HIDAKA MOUNTAIN REGION	JMA	0	0	19
1988	916	318	56.4			36.200N	140.067E	61.2	4.5	SW SAITAMA PREF	JMA	0	49	20
1988	916	646	52.7			35.487N	140.972E	44.4	4.3	NEAR CHOSI CITY	JMA	0	0	21
1988	926	1723	19.1			35.542N	141.182E	35.7	5.8	NEAR CHOSI CITY	JMA	0	54	0
1988	929	1723	34.1			35.918N	139.190E	15.0	5.0	WESTERN SAITAMA PREF	JMA	22	0	0
1988	1001	1558	37.3			35.813N	137.493E	12.2	4.3	WESTERN NAGANO PREF	JMA	23	59	0
1988	1008	1346	24.5			18.771S	172.415W	35.	6.8	TONGA ISLANDS	PDE2	38	61	0
1988	1009	706	26.2			33.363N	139.367E	210.8	5.3	NEAR HACHIJIJIMA ISLAND	JMA	0	63	0
1988	1009	929	58.9			30.540N	138.163E	502.2	5.9	NEAR TORISHIMA IS	JMA	42	64	0
1988	1010	1452	12.8			42.633N	144.495E	70.9	6.0	SE OFF TOKACHI	JMA	43	65	0
1988	1011	320	25.0			28.644S	177.553E	28.	6.8	KERMADEC ISLANDS	PDE2	45	66	0
1988	1016	2109	27.2			21.856N	121.699E	33.	5.8	TAIWAN REGION	PDE2	51	67	0
1988	1019	908	39.1			37.030N	141.833E	32.2	5.8	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	52	68	0
1988	1020	211	54.2			36.677N	139.318E	12.0	4.3	TOCHIGI GUNMA BORDER	JMA	0	69	0
1988	1020	451	37.7			47.744N	151.334E	185.	5.2	KURIL ISLANDS	PDE2	0	70	0
1988	1021	207	41.4			35.827N	137.510E	11.0	3.7	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	71	0
1988	1026	1140	17.0			33.110N	133.518E	29.	4.5	TOSA BAY	JMA	57	0	0
1988	1107	1250	0.8			22.239S	175.018E	22.	6.7	SOUTH OFF FIJI ISLANDS	PDE2	0	74	0
1988	1108	359	31.5			36.068N	138.092E	5.2	3.7	CENTRAL NAGANO PREF	JMA	0	75	0
1988	1108	815	41.7			1.533N	126.357E	66.	6.2	MOLUCCA PASSAGE	PDE2	0	76	0
1988	1112	1118	3.4			35.907N	139.170E	19.1	3.8	WESTERN SAITAMA PREF	JMA	0	82	0
1988	1113	036	8.2			35.828N	137.492E	13.0	2.2	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	91	0
1988	1114	1115	39.1			3.527S	150.120E	33.	6.6	NEW IRELAND REGION	PDE2	0	105	0
1988	1114	1636	1.4			36.685N	139.327E	8.8	4.1	TOCHIGI GUNMA BORDER	JMA	0	106	0
1988	1115	1741	42.3			52.109N	171.103W	23.	5.4	FOX ISLANDS, ALEUTIAN IS	PDE2	0	107	0
1988	1117	1555	46.0			12.399N	124.537E	19.	6.6	SAMAR, PHILIPPINE ISLANDS	PDE2	65	109	0
1988	1123	1204	14.5			31.200N	142.152E	90.	5.7	NEAR TORISHIMA IS	JMA	70	115	0
1988	1124	1514	41.5			35.827N	137.535E	11.3	4.2	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	116	0

Table 2. (Continued)

Y	M	D	H	M	S	LAT.	LON.	DEP.	M	LOCATON	REF.	TTT	KTJ	HKJ
1988	1124	1757	53.2			36.405N	137.283E	268.0	-9.0	TOYAMA GIFU BORDER REG	JMA	0	117	0
1988	1126	623	48.2			35.828N	137.510E	13.	3.0	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	144	0
1988	1203	2201	10.7			34.180N	135.617E	68.9	4.5	NE WAKAYAMA PREF	JMA	95	157	0
1988	1204	1514	10.4			20.014N	121.930E	10.	5.5	PHILIPPINE ISLANDS REGION	PDE2	0	158	0
1988	1204	1338	6.3			18.493N	146.367E	76.	5.7	MARIANA ISLANDS	PDE2	0	159	0
1988	1207	1641	24.2			40.987N	44.185E	5.	6.8	TURKEY-USSR BORDER REGION	PDE2	96	160	0
1988	1210	455	36.7			34.562N	137.007E	349.2	5.5	MIKAWA BAY REGION	JMA	0	161	0
1988	1213	1841	36.2			34.977N	135.568E	13.6	4.1	KYOTO-OSAKA BORDER REG	JMA	98	162	0
1988	1216	250	49.2			35.475N	140.198E	80.6	4.1	CENTRAL CHIBA PREF	JMA	0	174	0
1988	1216	1857	16.5			29.790S	177.915W	31.	6.2	KERMADEC ISLANDS	PDE2	0	184	0
1988	1217	429	3.7			29.385N	142.577E	38.	5.6	NEAR TORISHIMA IS	JMA	0	188	0
1988	1222	1841	54.9			35.148N	137.118E	49.7	4.4	CENTRAL AICHI PREF	JMA	103	0	0
1988	1224	2209	40.5			5.090S	149.758E	369.	5.6	NEW BRITAIN REGION	PDE2	0	194	0
1988	1228	1104	51.3			32.898N	139.580E	222.4	5.3	NEAR HACHIJOJIMA ISLAND	JMA	0	195	0
1988	1228	1802	8.5			36.068N	139.918E	56.0	4.3	SW IBARAKI PREF	JMA	0	196	0
1988	1229	2309	51.2			34.052N	139.063E	7.7	4.6	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	197	0
1988	1230	409	57.2			36.622N	141.110E	46.4	4.8	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	198	0
1988	1230	1408	5.0			34.073N	139.065E	12.3	4.0	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	199	0
1989	102	1945	59.8			34.058N	139.100E	15.8	5.0	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	200	0
1989	103	1341	12.3			29.582N	131.308E	68.7	5.9	NEAR AMAHI-OSHIMA IS	JMA	104	201	0
1989	103	1902	32.4			35.512N	141.145E	40.5	4.9	NEAR CHOSI CITY	JMA	0	202	0
1989	103	2056	1.8			36.268N	137.185E	3.1	2.7	TOYAMA GIFU BORDER REG	JMA	0	203	0
1989	107	408	24.5			36.367N	141.963E	34.	5.8	FAR E OFF IBARAKI PREF	JMA	105	204	0
1989	108	711	28.6			36.108N	141.398E	17.	4.6	FAR E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	205	0
1989	109	740	42.3			36.353N	137.245E	5.9	2.7	TOYAMA GIFU BORDER REG	JMA	0	206	0
1989	109	1139	4.5			34.105N	139.075E	11.0	3.8	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	207	0
1989	109	2242	36.4			46.986N	153.479E	14.	6.4	KURIL ISLANDS	PDE2	107	208	0
1989	110	1455	1.4			3.217S	130.556E	47.	6.5	CERAM	PDE2	108	209	0
1989	113	447	41.0			46.789N	153.896E	33.	6.0	KURIL ISLANDS	PDE2	109	211	0
1989	114	301	56.5			46.478N	153.673E	33.	5.6	KURIL ISLANDS	PDE2	111	212	0
1989	116	1624	20.6			41.477N	141.955E	64.6	5.2	E OFF AOMORI PREF	JMA	0	213	0
1989	117	935	23.1			6.151S	148.947E	32.	6.4	NEW BRITAIN REGION	PDE2	0	214	0
1989	117	1533	18.8			35.967N	137.293E	8.5	3.1	NORTHERN GIFU PREF	JMA	0	215	0
1989	123	720	17.8			41.748N	144.520E	64.	6.0	SE OFF TOKACHI	JMA	114	218	0
1989	125	503	38.0			42.120N	142.790E	49.0	5.8	S OFF URAKAWA	JMA	0	219	0
1989	126	2255	1.6			47.520N	154.331E	28.	5.6	KURIL ISLANDS	JMA	0	220	0
1989	127	1734	51.1			56.202N	164.375E	28.	6.2	KOMANDORSKY ISLANDS	PDE2	115	222	0
1989	128	1626	50.1			33.267N	142.093E	62.	5.5	FAR E OFF IZU ISLANDS	JMA	116	223	0
1989	130	301	22.8			34.910N	136.435E	15.5	3.9	NORTHERN HIE PREF	JMA	0	224	0
1989	130	2101	41.1			34.497N	139.073E	0.	3.9	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	226	0
1989	201	1922	41.2			31.725N	140.575E	91.	5.5	NEAR TORISHIMA IS	JMA	0	227	0
1989	204	1956	50.0			37.310N	141.317E	61.4	5.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	0	228	0
1989	205	1059	48.3			33.503N	141.003E	58.5	5.5	E OFF HACHIJOJIMA IS	JMA	119	230	0
1989	206	724	33.1			35.420N	136.773E	8.0	3.8	SW GIFU PREF	JMA	0	231	0
1989	210	2015	24.6			2.305N	126.760E	44.	6.8	HOLUCCA PASSAGE	PDE2	120	232	0
1989	214	620	21.3			10.447S	161.372E	32.	6.4	SOLOMON ISLANDS	PDE2	0	234	0
1989	219	1358	24.0			34.608N	136.468E	45.4	5.3	NORTHERN HIE PREF	JMA	122	235	0
1989	219	2127	9.7			36.018N	139.908E	55.3	5.6	SW IBARAKI PREF	JMA	123	236	0
1989	222	1542	44.7			32.483N	138.268E	355.1	5.5	FAR S OFF TOKAI DISTRICT	JMA	125	0	0
1989	221	1038	45.8			33.860N	132.353E	51.4	4.1	AKINADA SETONAIKAI	JMA	124	0	0
1989	225	2016	35.4			29.915S	177.885W	31.	6.7	KERMADEC ISLANDS	PDE2	0	240	0
1989	228	458	15.7			35.795N	140.212E	73.2	4.6	NORTHERN CHIBA PREF	JMA	0	244	0
1989	228	839	10.8			2.301N	128.009E	54.	6.0	HALMAHERA	PDE2	0	245	0
1989	301	225	41.0			34.475N	139.417E	18.5	4.8	NEAR NIJIMA ISLAND	JMA	0	246	0
1989	301	1142	3.5			43.972N	148.968E	47.	5.8	KURIL ISLANDS	PDE2	0	247	0
1989	306	2339	44.3			35.693N	140.713E	55.7	6.0	NEAR CHOSI CITY	JMA	129	249	0
1989	307	330	19.5			36.275N	137.012E	279.6	5.0	TOYAMA-GIFU BORDER REG	JMA	0	250	0
1989	311	1405	0.6			17.766S	174.761W	230.	6.4	TONGA ISLANDS	PDE2	0	251	0
1989	311	1612	17.2			35.908N	140.563E	44.6	4.9	SOUTHERN IBARAKI PREF	JMA	0	252	0
1989	313	1323	57.2			34.103N	137.230E	355.9	5.5	ENSUNADA	JMA	0	253	0

Table 2. (Continued)

Y	M	D	H	M	S	LAT.	LON.	DEP.	M	LOCATON	REP.	TTI	KTJ	HKJ
1989	315	327	41.7	32.973N	132.062E	52.8	4.5	BUNGO CHANNEL	JMA	132	0	0		
1989	318	137	18.7	35.732N	140.728E	50.6	5.2	NEAR CHOSI CITY	JMA	0	255	0		
1989	318	519	8.3	35.428N	133.410E	13.7	3.8	WESTERN TOTTORI PREF	JMA	135	0	0		
1989	319	2350	31.4	36.262N	137.197E	8.0	2.0	TOYAMA GIFU BORDER REG	JMA	0	256	0		
1989	321	1100	51.6	36.993N	134.665E	396.1	5.5	NW OFF KINKI DISTRICT	JMA	136	257	0		
1989	323	1831	21.9	33.797N	141.607E	58.	5.0	E OFF HACHIOJIMA ISLAND	JMA	0	258	0		
1989	330	2312	14.1	41.742N	143.783E	40.1	5.6	SE OFF ERIMOMISAKI	JMA	0	259	0		
1989	406	1705	57.1	19.306S	169.002E	166.	6.1	VANUATU ISLANDS	PDE2	138	260	0		
1989	411	619	3.2	35.185N	137.218E	48.9	3.7	CENTRAL AICHI PREF	JMA	0	262	0		
1989	411	1256	36.9	49.488N	159.185E	16.	6.6	KURIL ISLANDS	PDE2	139	263	0		
1989	412	441	0.6	36.085N	139.902E	57.9	4.2	SW IBARAKI PREF	JMA	0	264	0		
1989	413	202	12.4	35.385N	135.593E	370.1	-9.0	WESTERN FUKUI PREF	JMA	0	265	0		
1989	418	1947	12.5	34.133N	135.217E	8.4	3.2	NW WAKAYAMA PREF	JMA	142	0	0		
1989	421	759	54.0	57.166N	121.976E	26.	6.5	EASTERN USSR	PDE2	143	0	0		
1989	421	1420	59.5	35.447N	134.260E	9.2	2.6	EASTERN TOTTORI PREF	JMA	144	0	0		
1989	426	220	41.1	33.858N	135.585E	28.6	3.2	SOUTHERN WAKAYAMA PREF	JMA	146	0	0		
1989	427	1120	3.6	30.622N	141.167E	86.	6.5	NEAR TORISHIMA IS	JMA	147	0	0		
1989	428	425	17.7	35.055N	135.167E	14.8	3.6	SE HYOGO PREF	JMA	148	0	0		
1989	502	1608	17.2	35.328N	136.603E	39.6	4.7	SW GIFU PREF	JMA	149	0	0		
1989	506	328	39.4	8.281S	71.381W	593.	6.4	WESTERN BRAZIL	PDE2	153	0	0		
1989	509	818	43.6	32.378N	137.840E	410.4	5.9	FAR S OFF TOKAI DISTRICT	JMA	156	0	0		
1989	517	1404	35.9	57.086N	122.018E	31.	5.9	EASTERN USSR	PDE2	157	0	0		
1989	519	700	39.6	17.853N	147.009E	56.	5.1	MARIANA ISLANDS REGION	PDE2	0	267	0		
1989	519	1121	56.3	54.305N	165.574W	104.	6.1	FOX ISLANDS, ALEUTIAN IS	PDE2	0	268	0		
1989	523	233	21.3	37.385N	137.685E	16.8	3.4	OFF S NIIGATA PREF	JMA	0	269	0		
1989	523	1723	7.2	36.335N	137.257E	10.	2.6	TOYAMA GIFU BORDER	JMA	0	270	0		
1989	523	1954	46.3	52.341S	160.568E	10.	8.2	MACQUARIE ISLANDS	PDE2	158	271	0		
1989	524	2231	14.4	56.177N	164.264E	19.	6.1	KOMANDORSKY ISLANDS	PDE2	159	272	0		
1989	525	043	34.3	56.173N	164.185E	36.	5.4	KOMANDORSKY ISLANDS	PDE2	160	273	0		
1989	530	1318	43.1	36.150N	136.768E	4.0	3.3	FUKUI GIFU BORDER REGION	JMA	0	275	0		
1989	531	322	45.6	34.138N	135.218E	8.2	3.6	NW WAKAYAMA PREF	JMA	161	0	0		
1989	531	1454	20.5	45.383S	167.086E	23.	6.3	SOUTH ISLAND, NEW ZEALAND	PDE2	162	0	0		
1989	601	1339	39.2	36.960N	141.962E	54.7	4.8	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	163	276	0		
1989	604	813	11.1	33.463N	136.933E	401.0	5.7	SE OFF KII PENINSULA	JMA	164	277	0		
1989	610	152	12.1	20.260N	145.147E	149.	5.4	MARIANA ISLANDS	PDE2	0	279	0		
1989	613	1752	41.9	30.908N	138.820E	395.4	5.5	NEAR TORISHIMA IS	JMA	0	280	0		
1989	614	1917	35.2	12.875N	143.351E	126.	5.5	SOUTH OF MARIANA	PDE2	166	281	0		
1989	615	644	33.6	40.198N	144.670E	0.	5.1	FAR E OFF NORTH HONSHU	JMA	0	282	0		
1989	617	842	36.3	31.890N	138.345E	385.2	6.8	NEAR TORISHIMA IS	JMA	168	284	0		
1989	625	300	50.2	35.835N	136.857E	12.8	3.5	FUKUI GIFU BORDER REGION	JMA	0	286	0		
1989	625	1052	18.0	37.082N	142.402E	9.1	4.5	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	0	287	0		
1989	626	1227	3.9	19.362N	155.083W	9.	6.1	HAWAII	PDE2	169	288	0		
1989	628	1200	28.9	45.096N	151.292E	44.	5.1	KURIL ISLANDS	PDE2	170	289	0		
1989	629	2013	29.4	34.698N	133.331E	21.3	3.6	EASTERN HIROSHIMA PREF	JMA	171	0	0		
1989	630	2040	50.6	35.818N	137.503E	6.5	3.6	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	290	0		
1989	701	124	3.4	35.497N	138.980E	19.8	4.4	EASTERN YAMANASHI PREF	JMA	172	291	0		
1989	702	035	39.7	36.563N	141.270E	37.9	4.3	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	292	0		
1989	704	1547	53.6	34.992N	139.135E	2.7	3.8	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	295	0		
1989	704	1853	58.7	34.975N	139.120E	3.8	4.1	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	296	0		
1989	704	1937	4.0	34.982N	139.108E	4.2	3.9	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	297	0		
1989	704	2146	13.6	34.987N	139.113E	6.0	4.1	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	298	0		
1989	704	2212	34.4	34.978N	139.122E	2.5	3.3	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	299	0		
1989	704	2250	44.2	34.975N	139.115E	3.2	3.9	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	300	0		
1989	705	011	37.5	34.978N	139.102E	0.5	4.0	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	301	0		
1989	705	228	21.4	34.982N	139.123E	2.4	4.7	E OFF IZU PENINSULA	JMA	176	302	0		
1989	705	346	42.1	34.980N	139.091E	0.3	4.1	CENTRAL IZU PENINSULA	JMA	177	303	0		
1989	705	830	36.1	34.975N	139.115E	2.3	3.8	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	304	0		
1989	705	1226	23.2	34.978N	139.125E	3.2	3.6	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	305	0		
1989	706	347	56.9	34.981N	139.112E	2.1	4.1	E OFF IZU PENINSULA	JMA	0	306	0		
1989	706	530	8.3	34.975N	139.118E	1.6	4.2	E OFF IZU PENINSULA	JMA	178	307	0		

Table 2. (Continued)

Y	M	D	H	M	S	LAT.	Lon.	DEP.	M	LOCATON	REF.	TTT	KIJ	HKJ
1989	706	723	58.4	34.985N	139.107E	3.0	3.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	308	0	
1989	706	957	33.0	34.990N	139.107E	2.8	4.0	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	309	0	
1989	706	2351	56.5	34.975N	139.130E	3.4	3.6	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	310	0	
1989	707	001	44.2	34.975N	139.133E	4.5	5.2	E OFF IZU PENINSULA		JMA	179	0	0	
1989	707	1254	32.0	34.985N	139.128E	0.	3.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	311	0	
1989	707	1339	36.5	34.975N	139.123E	0.	4.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	180	312	0	
1989	707	1857	28.2	34.978N	139.118E	2.4	3.9	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	313	0	
1989	708	2035	18.9	34.987N	139.122E	4.1	4.1	E OFF IZU PENINSULA		JMA	181	314	0	
1989	708	2146	52.8	34.990N	139.128E	2.6	4.0	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	315	0	
1989	709	207	30.7	34.990N	139.110E	3.1	4.1	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	316	0	
1989	709	424	30.7	34.973N	139.125E	0.	3.8	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	317	0	
1989	709	639	15.6	34.983N	139.122E	2.9	4.0	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	318	0	
1989	709	817	50.1	34.982N	139.115E	1.3	3.6	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	319	0	
1989	709	1004	6.9	34.982N	139.122E	2.3	3.9	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	320	0	
1989	709	1109	11.6	34.975N	139.112E	3.4	5.5	E OFF IZU PENINSULA		JMA	182	321	0	
1989	709	1222	29.6	34.987N	139.127E	2.7	4.6	E OFF IZU PENINSULA		JMA	183	322	0	
1989	709	1355	29.8	34.982N	139.122E	2.9	3.9	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	323	0	
1989	709	1830	1.9	34.983N	139.112E	1.6	3.8	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	324	0	
1989	709	2111	34.4	34.988N	139.113E	1.1	4.1	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	325	0	
1989	709	2144	49.9	34.985N	139.110E	1.4	3.8	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	326	0	
1989	709	2346	33.5	34.983N	139.125E	0.	4.0	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	327	0	
1989	710	354	46.7	34.990N	139.113E	1.4	3.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	328	0	
1989	710	543	25.0	34.990N	139.110E	1.2	4.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	184	329	0	
1989	710	1750	52.6	34.978N	139.128E	1.3	3.7	E OFF IZU PENINSULA		JMA	0	330	0	
1989	711	859	15.0	46.050N	151.316E	75.	5.5	KURIL ISLANDS		PDE2	0	331	0	
1989	712	743	58.1	32.073N	140.617E	67.	5.1	E OFF HACHIJOJIMA ISLAND		JMA	0	332	0	
1989	714	1530	24.7	34.987N	139.107E	0.	4.8	E OFF IZU PENINSULA		JMA	186	333	0	
1989	714	1939	44.0	34.937N	136.762E	15.7	3.5	ISE BAY REGION		JMA	0	334	0	
1989	715	044	18.0	35.778N	137.407E	8.2	2.7	WESTERN NAGANO PREF		JMA	0	335	0	
1989	715	542	40.0	8.081S	125.139E	10.	6.2	TIMOR		PDE2	187	336	0	
1989	721	945	10.9	35.845N	137.588E	8.2	3.9	WESTERN NAGANO PREF		JMA	0	338	0	
1989	722	1402	11.5	2.299N	128.142E	142.	6.4	HALMAHERA		PDE2	188	339	0	
1989	726	654	23.1	7.191S	122.175E	620.	5.6	FLORES SEA		PDE2	189	340	0	
1989	727	1852	3.0	34.682N	132.315E	14.0	2.4	WESTERN HIROSHIMA PREF		JMA	190	0	0	
1989	730	1338	23.9	33.375N	140.928E	43.9	5.5	E OFF HACHIJOJIMA ISLAND		JMA	207	0	0	
1989	801	207	27.8	8.048S	121.384E	14.	6.2	FLORES ISLAND REGION		PDE2	208	0	0	
1989	803	1309	46.9	32.528N	137.647E	419.4	5.8	FAR S OFF TOKAI DISTRICT		JMA	211	343	0	
1989	803	1734	6.6	33.805N	134.968E	58.1	3.8	S PART OF KII CHANNEL		JMA	212	0	0	
1989	803	2031	20.4	23.043N	121.965E	11.	6.4	TAIWAN		PDE2	213	344	0	
1989	804	1410	13.0	31.088N	131.435E	34.	5.3	SE OFF OSUMI PEN		JMA	214	0	0	
1989	806	830	31.8	33.403N	140.913E	39.	4.9	E OFF HACHIJOJIMA		JMA	215	345	0	
1989	806	636	29.1	1.883N	128.251E	114.	5.7	HALMAHERA		PDE2	0	346	0	
1989	807	753	57.8	42.822N	145.133E	46.4	5.5	OFF NEMURO PENINSULA		JMA	216	347	0	
1989	810	719	20.0	35.100N	134.405E	12.1	3.0	SW HYOGO PREF		JMA	217	0	0	
1989	810	2242	44.7	34.218N	135.605E	64.9	4.6	NE WAKAYAMA PREF		JMA	219	349	0	
1989	812	040	10.7	0.800N	126.817E	51.	5.7	MOLUCCA PASSAGE		PDE2	0	351	0	
1989	813	146	43.3	8.682N	125.718E	55.	5.9	MINDANAO, PHILIPPINE IS		PDE2	0	352	0	
1989	815	251	8.7	19.016S	176.652E	33.	5.9	SOUTH OF FIJI ISLANDS		PDE2	0	353	0	
1989	819	1345	15.2	34.963N	138.252E	23.9	3.7	CENTRAL SHIZUOKA PREF		JMA	0	354	0	
1989	820	2016	56.5	11.766N	41.942E	12.	6.3	ETHIOPIA		PDE2	0	355	0	
1989	821	109	6.6	11.874N	41.870E	16.	6.2	ETHIOPIA		PDE2	0	356	0	
1989	822	325	41.0	4.104S	154.459E	494.	5.8	SOLOMON ISLANDS		PDE2	0	357	0	
1989	822	812	41.4	24.094N	122.478E	43.	6.3	TAIWAN REGION		PDE2	0	358	0	
1989	822	1656	9.6	41.448N	142.105E	64.9	5.1	E OFF AQMORI PREF		JMA	0	359	0	
1989	822	2352	28.7	35.865N	137.555E	11.2	3.4	WESTERN NAGANO PREF		JMA	0	360	0	
1989	824	041	24.6	34.468N	138.860E	208.9	4.8	S OF SURUGA BAY		JMA	0	361	0	
1989	825	1247	27.7	35.518N	136.598E	47.0	3.3	SW GIFU PREF		JMA	0	362	0	
1989	826	911	43.4	36.267N	140.945E	38.9	5.1	E OFF IBARAKI PREF		JMA	0	363	0	
1989	830	030	41.0	47.498N	148.422E	403.3	5.7	SOUTHERN SEA OF OKHOTSK		JMA	0	373	0	
1989	904	1420	55.9	4.219S	136.667E	9.	6.0	WEST IRIAN REGION		PDE2	0	374	0	

Table 2. (Continued)

Y	M	D	H	M	S	LAT.	Lon.	DEP.	M	LOCATON	REF.	ITI	KIJ	HKJ
1989	904	2214	58.2			55.543N	156.835W	11.	6.9	SOUTH OF ALASKA	PDE2	0	375	0
1989	905	1307	4.4			35.550N	140.138E	78.2	4.6	CENTRAL CHIBA PREF	JMA	0	376	0
1989	905	2025	52.2			29.547N	128.542E	0.	5.8	NW AMAHI-OSHIMA IS	JMA	0	377	0
1989	905	2203	34.7			29.560N	128.573E	0.	5.7	NW AMAHI-OSHIMA IS	JMA	0	378	0
1989	906	2345	51.0			0.976N	126.106E	37.	5.5	MOLUCCA PASSAGE	PDE2	0	379	0
1989	907	2352	25.0			33.105N	138.972E	53.7	4.3	NEAR HACHIJOJIMA IS	JMA	0	380	0
1989	910	244	46.7			35.983N	137.317E	9.4	2.8	NORTHERN GIFU PREF	JMA	0	381	0
1989	915	410	25.7			1.644N	127.322E	103.	6.0	HALMAHERA	PDE2	0	382	0
1989	916	1137	24.3			34.937N	132.843E	12.1	3.2	SHIMANE HIROSHIMA BORDER	JMA	221	383	0
1989	916	1703	6.1			35.577N	140.150E	78.2	4.2	CENTRAL CHIBA PREF	JMA	0	384	0
1989	917	337	30.1			35.858N	137.360E	11.6	3.7	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	385	0
1989	919	642	48.2			37.072N	137.157E	269.0	5.4	TOYAMA BAY REGION	JMA	223	387	0
1989	921	930	36.3			36.565N	141.217E	39.3	4.6	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	392	0
1989	922	1125	50.8			31.583N	102.433E	15.	6.1	SICHUAN PROVINCE, CHINA	PDE2	235	0	0
1989	925	218	42.3			33.345N	134.912E	52.5	5.0	SE OFF SHIKOKU	JMA	236	0	0
1989	925	2317	47.0			20.355S	169.277E	34.	6.3	VANUATU ISLANDS	PDE2	237	0	0
1989	928	2049	42.1			34.022N	135.235E	9.0	3.9	NW WAKAYAMA PREF	JMA	239	0	0
1989	1001	319	23.9			20.270N	98.849E	18.	5.5	BURMA	PDE1	241	0	0
1989	1002	424	34.7			31.115N	131.397E	33.	5.3	SE OFF OSUMI PEN	JMA	242	0	0
1989	1006	1240	42.4			36.875N	141.733E	35.1	4.4	E OFF FUKUSHIMA PREF	JMA	0	395	0
1989	1007	424	36.2			35.757N	136.370E	10.7	3.8	CENTRAL FUKUI PREF	JMA	246	396	0
1989	1008	048	30.7			51.282N	179.024W	33.	6.7	ANDREANOF ISLANDS	PDE1	247	397	0
1989	1008	550	41.0			51.153N	179.281W	33.	5.3	ANDREANOF ISLANDS	PDE1	248	0	0
1989	1008	2157	54.7			6.565S	130.398E	33.	5.0	BANDA SEA	PDE1	256	0	0
1989	1009	1940	41.7			31.328N	130.413E	150.3	5.0	SATSUMA PENINSULA REGION	JMA	258	0	0
1989	1010	1419	48.4			36.823N	138.158E	206.8	9.0	NORTHERN NAGANO PREF	JMA	0	404	0
1989	1010	1528	24.0			35.582N	140.058E	78.3	4.7	CENTRAL CHIBA PREF	JMA	0	405	0
1989	1011	2142	29.5			34.907N	135.053E	17.7	4.0	SE HYOGO PREF	JMA	259	406	0
1989	1012	2045	49.4			36.475N	142.738E	47.	4.9	FAR E OFF KANTO	JMA	0	407	0
1989	1013	1831	44.5			35.775N	137.408E	8.0	3.2	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	408	0
1989	1014	619	58.6			34.823N	139.503E	21.2	5.7	NEAR IZU-OSHIMA ISLAND	JMA	260	409	0
1989	1014	1505	53.5			34.183N	135.188E	5.3	3.7	NW WAKAYAMA PREF	JMA	261	0	0
1989	1014	2157	19.6			35.027N	138.500E	3.0	3.9	CENTRAL SHIZUOKA PREF	JMA	0	410	0
1989	1015	1557	10.2			32.373N	129.698E	3.0	4.8	W OFF AMAKUSA ISLAND	JMA	262	0	0
1989	1016	2345	31.1			22.117S	171.517E	33.	5.3	LOYALTY ISLANDS REGION	PDE1	263	0	0
1989	1018	904	15.2			37.036N	121.883W	19.	7.1	CENTRAL CALIFORNIA	PDE1	268	423	0
1989	1019	201	35.3			40.084N	113.958E	10.	5.7	NORTHEASTERN CHINA	PDE1	0	426	0
1989	1019	320	47.3			40.093N	113.923E	10.	5.3	NORTHEASTERN CHINA	PDE1	0	427	0
1989	1022	1508	52.1			35.853N	137.363E	10.0	3.1	WESTERN NAGANO PREF	JMA	0	430	0
1989	1027	206	43.3			39.767N	143.838E	9.	6.2	FAR E OFF SANRIKU	JMA	270	0	43
1989	1027	305	19.1			34.147N	135.662E	70.2	3.8	SOUTHERN NARA PREF	JMA	271	432	44
1989	1027	741	17.9			35.258N	133.377E	13.3	5.3	WESTERN TOTTORI PREF	JMA	272	433	45
1989	1027	919	59.5			39.790N	143.850E	7.	4.9	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	434	0
1989	1027	1045	55.8			39.823N	143.930E	0.	6.1	FAR E OFF SANRIKU	JMA	273	435	46
1989	1028	604	52.4			10.998S	162.382E	29.	7.1	SOLOMON ISLANDS	PDE1	274	436	47
1989	1028	1127	53.9			34.002N	135.625E	64.4	4.0	SOUTHERN NARA PREF	JMA	275	0	48
1989	1029	645	19.2			35.467N	134.368E	9.5	2.9	EASTERN TOTTORI PREF	JMA	277	0	0
1989	1029	1209	11.5			39.572N	143.755E	0.	6.0	FAR E OFF SANRIKU	JMA	278	442	51
1989	1029	1425	37.8			39.518N	143.743E	0.	6.5	FAR E OFF SANRIKU	JMA	279	444	52
1989	1029	1951	24.3			39.447N	143.798E	0.	5.5	FAR E OFF SANRIKU	JMA	280	445	53
1989	1030	053	10.5			39.413N	143.847E	0.	5.7	FAR E OFF SANRIKU	JMA	281	446	54
1989	1030	818	5.7			39.743N	143.500E	2.	4.9	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	447	0
1989	1030	325	33.5			39.855N	143.567E	0.	7.1	FAR E OFF SANRIKU	JMA	293	0	0
1989	1102	2242	13.8			40.058N	143.552E	3.9	5.7	FAR E OFF SANRIKU	JMA	294	0	0
1989	1103	1449	47.1			39.607N	143.338E	2.	4.8	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	1526	0
1989	1105	512	0.7			39.020N	143.838E	0.	5.9	FAR E OFF SANRIKU	JMA	295	1528	0
1989	1105	551	11.1			39.108N	143.927E	0.	5.5	FAR E OFF SANRIKU	JMA	296	0	0
1989	1105	656	40.6			39.238N	143.792E	0.	5.3	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	1529	0
1989	1105	2242	1.0			39.135N	143.915E	0.	5.5	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	1530	0
1989	1106	008	24.7			40.068N	142.800E	25.0	5.1	NE OFF IWATE PREF	JMA	0	1531	0

Table 2. (Continued)

Y	M	D	H	M	S	LAT.	LON.	DEP.	M	LOCATON	REF.	TTT	KTJ	HKJ
1989	1106	056	19.8			39.157N	143.797E	16.	5.4	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	1532	0
1989	1106	1756	19.1			40.173N	142.458E	38.	5.4	NE OFF IWATE PREF	JMA	0	1	0
1989	1109	507	8.7			30.987N	142.020E	114.	-9.0	NEAR TORISHIMA IS	JMA	0	4	0
1989	1109	946	10.1			35.710N	135.807E	7.5	3.5	E PART OF WAKASA BAY	JMA	0	0	61
1989	1110	154	37.6			35.268N	133.365E	12.7	4.4	WESTERN TOTTORI PREF	JMA	297	0	62
1989	1110	626	4.4			35.010N	134.752E	16.1	3.6	SW HYOGO PREF	JMA	298	0	0
1989	1111	118	2.0			35.035N	135.625E	15.2	4.1	KYOTO OSAKA BORDER REG	JMA	299	5	0
1989	1111	1601	13.9			35.253N	133.365E	13.5	4.1	WESTERN TOTTORI PREF	JMA	300	0	0
1989	1111	1640	11.0			34.040N	133.517E	36.1	4.2	HIUCHINADA, SETONAIIKAI	JMA	301	0	0
1989	1114	848	28.5			35.257N	133.367E	14.1	3.7	WESTERN TOTTORI PREF	JMA	302	0	0
1989	1114	1438	54.6			5.058S	102.762E	33.	5.0	SOUTHERN SUMATERA	PDE1	0	7	0
1989	1114	2332	4.2			9.162S	124.761E	33.	5.5	TIMOR	PDE1	0	8	0
1989	1116	1302	56.6			33.368N	131.528E	12.0	4.6	NORTHERN OITA PREF	JMA	305	0	65
1989	1118	1029	2.7			36.090N	136.212E	9.5	2.8	CENTRAL FUKUI PREF	JMA	0	0	66
1989	1121	1347	7.7			40.172N	142.408E	35.	4.9	NE OFF IWATE	JMA	0	0	73
1989	1123	503	2.3			37.218N	138.228E	13.2	4.0	OFF S NIIGATA PREF	JMA	0	0	74
1989	1124	049	41.7			39.872N	143.297E	0.	5.2	FAR E OFF SANRIKU	JMA	0	0	75
1989	1201	1357	17.2			30.848N	137.535E	520.0	-9.0	SHIKOKU BASIN	JMA	0	19	89
1989	1202	2115	16.0			39.510N	143.430E	0.	5.5	FAR E OFF SANRIKU	JMA	314	21	0
1989	1205	1033	11.1			35.218N	138.347E	25.0	3.8	CENTRAL SHIZUOKA PREF	JMA	0	23	0
1989	1206	1741	5.2			32.442N	142.052E	70.	-9.0	FAR E OFF IZU ISLANDS	JMA	0	24	0
1989	1207	1727	28.3			35.937N	139.583E	56.1	4.3	EASTERN SAITAMA PREF	JMA	0	25	0
1989	1207	2159	32.6			25.943N	59.002E	10.	5.6	SOUTHERN IRAN	PDE1	0	26	0
1989	1208	1923	11.3			10.071N	126.513E	33.	6.0	PHILIPPINE ISLANDS REGION	PDE1	0	28	0
1989	1208	2112	57.2			32.317N	141.365E	51.	5.2	E OFF HACHIJOJIMA ISLAND	JMA	0	29	0
1989	1209	223	30.8			36.595N	141.075E	45.6	5.6	E OFF IBARAKI PREF	JMA	317	30	0
1989	1210	538	8.5			0.184N	123.456E	154.	6.3	MINAHASSA PENINSULA	PDE1	318	41	0
1989	1214	1325	3.2			36.452N	141.270E	43.2	4.5	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	45	0
1989	1215	621	2.6			33.803N	135.405E	53.0	3.6	CENTRAL WAKAYAMA PREF	JMA	322	0	0
1989	1216	343	46.0			8.393N	126.778E	33.	7.4	HINDANAO, PHILIPPINE IS	PDE1	323	0	0
1989	1217	825	35.4			40.060N	143.538E	0.	5.8	FAR E OFF SANRIKU	JMA	324	0	0
1989	1217	1854	40.3			32.682N	132.672E	38.4	4.5	FAR E OFF MIYAZAKI PREF	JMA	325	0	0
1989	1220	908	25.6			8.130N	126.879E	64.	6.0	HINDANAO, PHILIPPINE IS	PDE1	326	52	0
1989	1220	2201	7.8			38.188N	135.575E	379.8	5.6	SEA OF JAPAN	JMA	0	54	0
1989	1222	149	15.8			44.413N	149.955E	5.	6.0	SE OFF ETOROFU	JMA	0	55	0
1989	1222	932	50.2			36.425N	141.120E	39.6	4.8	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	56	0
1989	1223	2024	6.1			17.471N	145.726E	193.	5.8	MARIANA ISLANDS	PDE1	327	57	0
1989	1225	349	14.0			33.680N	138.738E	259.8	5.1	FAR S OFF TOKAI DISTRICT	JMA	0	58	0
1989	1225	1747	21.8			36.390N	141.010E	33.6	4.5	E OFF IBARAKI PREF	JMA	0	59	0
1989	1225	1935	23.8			34.143N	135.062E	9.3	3.8	NW WAKAYAMA PREF	JMA	0	60	0
1989	1225	1424	33.3			60.056N	73.494W	10.	6.3	NORTHERN QUEBEC	PDE1	0	61	0
1989	1231	818	49.9			3.434S	146.132E	33.	6.6	BISMARCK SEA	PDE1	328	0	0
1989	1231	1915	50.4			5.801S	130.134E	169.	4.9	BANDA SEA	PDE1	329	0	0

5. 結 語

本論文では我々の新しい地震観測システムについて紹介した。広帯域・広ダイナミックレンジという特徴により、従来の微小地震観測システムではとらえきれなかった波形や phase を完全に記録できるようになった。さらに digital data であるので、波形の拡大縮小表示やフィルタリング等が容易に行なえる。簡単なデータ変換を行えば、大型計算機で波形解析をすることも可能である。著者のうちの渋谷ら¹²⁾は、遠地地震の P 波初動部の waveform inversion をすることにより最上部マントルまでの微細速度構造を推定する研究を始めている。今後、STS システムにより良質の波形を蓄積し、それらを解析していくことは、地球内部構造や震源過程の研究においてとても有用であると確信する。

参 考 文 献

- 1) Wielandt, E. and G. Streckeisen: The Leaf-spring Seismometer: Design and Performance, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72, 1982, pp. 2349-2367.
- 2) Wielandt, E. and J.M. Steim: A Digital Very-broad-band Seismograph, Annales Geophysicae, Vol. 4, 1986, pp. 227-232.
- 3) Woodhouse, J.H. and A.M. Dzeiwonski: Mapping the Upper Mantle: Three-Dimensional Modeling of Earth Structure by Inversion of Seismic Waveforms, J. Geophys. Res., Vol. 89, 1984, pp. 5953-5986.
- 4) Tanimoto, T.: The Three-dimensional Shear Wave Structure in the Mantle by Overtone Waveform Inversion—I. radial seismogram inversion, Geophys. J.R. astr. Soc., Vol. 89, 1987, pp. 713-740.
- 5) Tanimoto, T.: The 3-D Shear Wave Structure in the Mantle by Overtone Waveform Inversion—II. Inversion of X-wave, R-wave and G-waves, Geophysical Journal, Vol. 93, 1988, pp. 321-334.
- 6) Jordan, T.H. and S.A. Sipikin: Estimation of the Attenuation Operator for Multiple ScS Waves, Geophys. Res. Lett., Vol. 4, 1977, pp. 167-170.
- 7) Jordan, T.H.: Whole-mantle Reflection Seismology; Layering of the Earth from the Crust to the Core, Lecture Note for POSEIDON '89 Tsukuba Winter School.
- 8) Ando, M., Y. Ishikawa and H. Wada: S-wave Anisotropy in the Upper Mantle under a Volcanic Area in Japan, Nature, Vol. 286, 1980, pp. 43-46.
- 9) 三上直也・長田芳一・石川有三・安藤雅孝: STS 地震計の長周期ノイズについて, 地震学会予稿集, No. 1, 1989, p. 129.
- 10) 山田功夫・深尾良夫・石原 靖・青木治三: STS 地震計による広帯域・広ダイナミックレンジ地震観測, 地震, Vol. 42, 1989, pp. 21-31.
- 11) 松浦紳二・石原 靖・山田功夫・青木治三: STS 地震計の長周期ノイズの特性, 地震学会予稿集, No. 1, 1990, p. 16.
- 12) 渋谷拓郎・平原和朗: 波形インヴェージョンによる地殻および最上部マンツルの速度構造の推定, 地震学会予稿集, No. 1, 1990, p. 74.
- 13) G. Streckeisen, AG Messgeraete: Very-broad-band Feedback Seismometers STS-1V/VBB and STS-1H/VBB Manual, 1987.