

## 南極・昭和基地での超高性能地震計による観測

長坂健一<sup>1</sup>・神沼克伊<sup>2</sup>・渋谷和雄<sup>2</sup>

### Seismological Observations by a Three-Component Broadband Digital Seismograph at Syowa Station, Antarctica

Ken-ichi NAGASAKA<sup>1</sup>, Katsutada KAMINUMA<sup>2</sup> and Kazuo SHIBUYA<sup>2</sup>

**Abstract:** A three-component broadband STS (Streckeisen seismometer) seismograph was installed at Syowa Station in 1989, to obtain precise (digital) seismic record for the study of the earth's interior and earthquakes. The STS observation system at Syowa Station is introduced and some examples of digital seismogram are shown in this paper.

The STS system has two different outputs, BRB (Broad-Band: 0.1~20 s/0.1~360 s) and LP (Long-Period: longer than 20 s), with a dynamic range of at least 120 dB. Seismic signals are recorded in digital form together with analog seismogram for monitoring. The BRB output is currently recorded with a long-term thermal pen recorder and the digital recording system by use of personal computers, while the LP output is recorded with the pen recorder and the cassette logger. Well recorded events, most of these are large events, are compiled into floppy disks from the digital recording system approximately once a week. The digital records were transmitted successfully to National Institute of Polar Research, Japan via the satellite telecommunications system.

**要旨:** 南極・昭和基地 (69.005°S 39.582°E) では、グローバル地震観測網の POSEIDON 計画の一環として、1989 年 (JARE-30) に広帯域フィードバック型地震計 STS (Streckeisen seismometer) が設置された。1990 年 (JARE-31) には、前年度にみられた問題点に対して改良を加えるとともに、引き続いて STS による地震観測を行い、いくつかの良好な記録を得ることができた。

1990 年 5 月からは、定期的にデジタル記録の収録も開始された。デジタル記録の日本への送信テストも実施され、必要なときには昭和基地の地震記象がすぐにでも入手可能になった。しかし、なお STS による地震観測は改善されるべき問題点も多く、温度変化に対する対策の必要がある。

#### 1. はじめに

1989 年、第 30 次南極地域観測隊 (JARE-30) は、南極・昭和基地に STS (Streckeisen seismometer) と呼ばれる超高性能地震計を設置した (村上・神沼, 1990)。昭和基地の STS による地震観測は、グローバル地震観測網のうち日本を中心に推進されている POSEIDON 計画の一環として、地球内部構造のより詳しい解明のためとも位置づけられる。また昭和基

<sup>1</sup> 茨城大学理学部地球科学教室。Faculty of Science, University of Ibaraki, 1-1, Bunkyo 2-chome, Mito 310.

<sup>2</sup> 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

地は、HES（萩原式電磁地震計，固有周期1秒）3成分，PELS（長周期地震計，固有周期15秒）3成分を用いて地震自動観測システムによる定常観測を実施している（神沼ら，1968；渋谷，1986）が，これらのシステムの老朽化が問題となり，従来のシステムに替わって，STSは定常観測するための新システムでもある。

1990年（JARE-31）には，STSによる地震観測を引き継ぎ，JARE-30で生じた問題を考慮して改良を加えるとともに，デジタル収録による定常観測を始めた。以下では，STSにより昭和基地で観測された地震波形例を示すとともに，厳しい自然環境下でのSTSの設置や温度変化などによる様々な問題点を記述する。また，南極域での超高性能地震計による地震定常観測の有効性，問題点を克服した今後のシステム完成のための一考察を行う。

## 2. 昭和基地におけるSTS地震観測

1986年に広帯域デジタル地震観測網連合（FDSN）が国際測地学地球物理学連合（IUGG）の下部機構として発足した。南極研究科学委員会（SCAR）の固体地球物理学作業委員会でも，南極への超高性能デジタル地震計の設置を推進するよう各国へ勧告している。

西太平洋からアジア東部および南部にまでおよぶ広範囲をカバーする超高性能地震観測網の建設が，日本の地震研究者の間で進められている。これはPOSEIDON（Pacific Orient

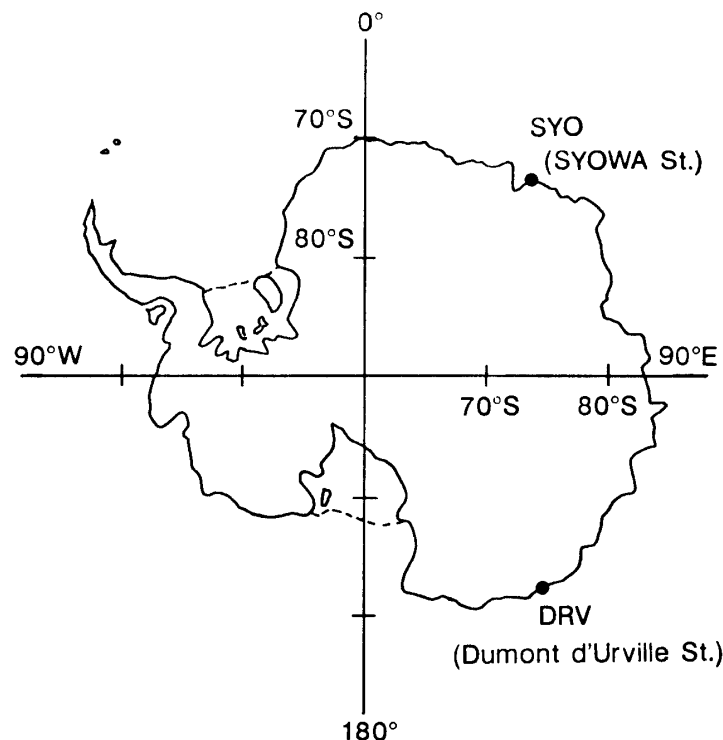


図1 南極のSTS地震観測点

Fig. 1. Location of digital seismographic stations in Antarctica. Dumont d'Urville (DRV) and Syowa (SYO) Station installed a three-component broadband STS (Streckeisen seismometer).

Seismic Digital Observation Network) 計画と呼ばれている。

南極・昭和基地は、POSEIDON 計画の対象地域外にあるが、観測網の外側からその中を見る望遠鏡的な役割と、南極域におけるグローバル地震観測網の推進の立場から、POSEIDON 計画の一環として配置計画に入れられている。フランスを中心とする GEOSCOPE 計画では、すでに Dumont d'Urville 基地に超高性能地震計 (STS) が設置されている (図 1 参照)。超高性能地震計 (STS) は、微小地震から巨大地震、地球潮汐までを 1 台で記録できる高倍率・広帯域の特性を有する地震計で、スイスの Streckeisen 社が開発した。

従来の地震自動観測システムは、1980 年に設置されて以来 10 年以上が経過し、システムの故障が目立つようになった。1990 年 (JARE-31) には、イベント・トリガー方式によるデジタル磁気記録の収録が HES 3 成分において不能となった。さらに、数年前から長時間連続アナログ磁気記録の再生も不具合が度々発生し、現状では長時間連続モニター記録のみが稼動しているに過ぎない。従って、従来の PELS・HES の長・短各 3 成分の地震計によるシステムに替わり、STS による地震定常観測の新しいシステムの確立が早急に必要となってきた。

### 3. STS の設置

#### 3.1. STS の特性

STS の特性を図 2 に、昭和基地のシステムを図 3 に示す。STS の大きな特徴は、振り子型の地震計とフィードバック回路を組み合わせることによって、従来の地震計よりも広い周

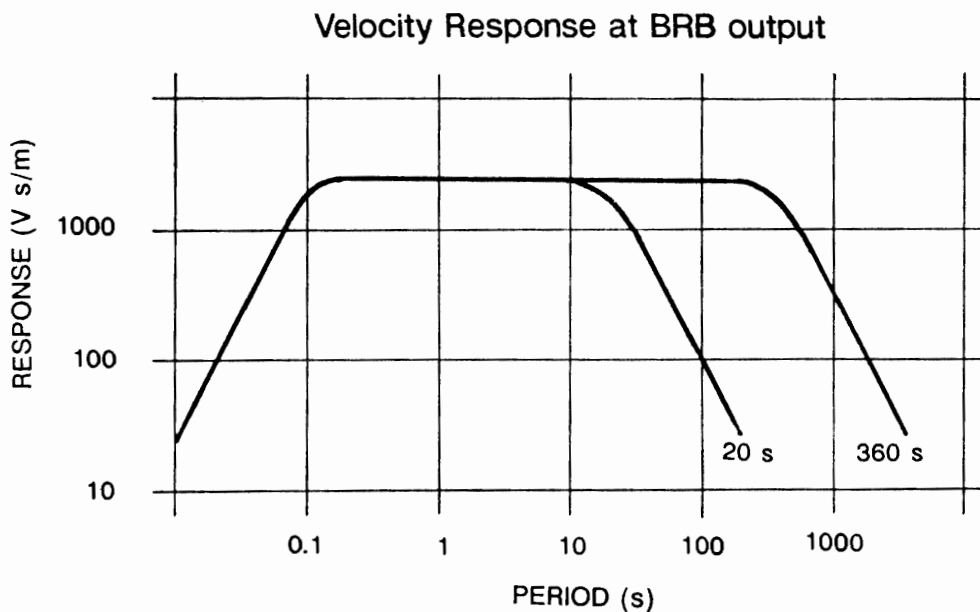


図 2 STS の特性

Fig. 2. Velocity response of BRB (Broad-Band) output of STS seismometer.

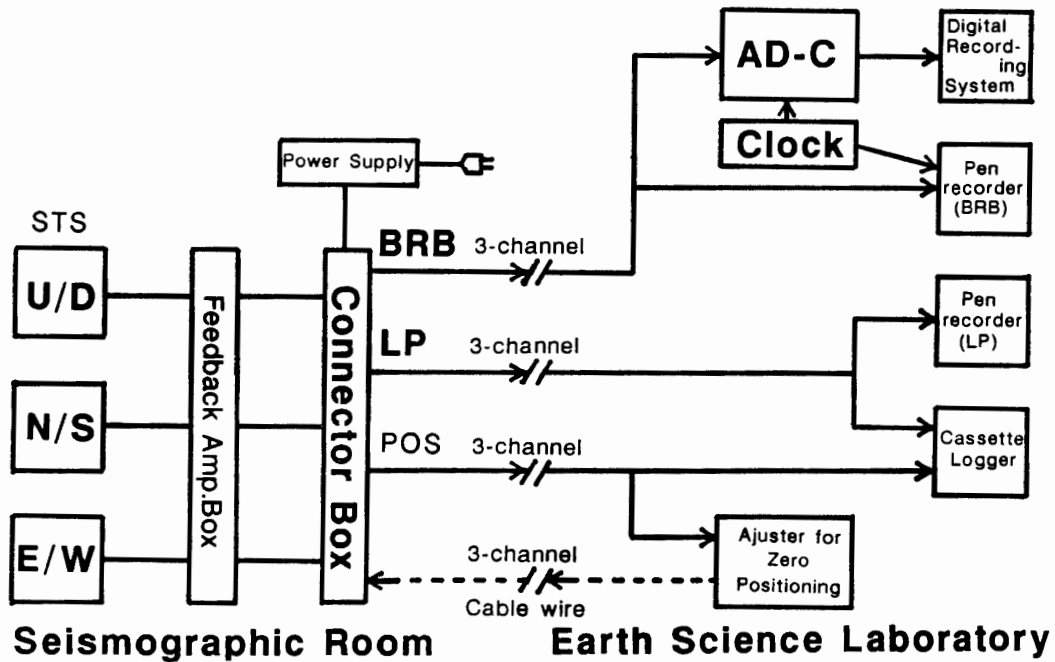


図 3 STS 観測システムブロックダイアグラム

Fig. 3. A schematic diagram of STS seismic recording system at Syowa Station.

波数帯域と広いダイナミック・レンジを持つことである。出力は BRB (Broad-Band) と LP (Long-Period) がある。BRB 出力は速度出力であり、周期は 0.1~20 s, あるいは 0.1~360 s を選択できる。LP 出力は加速度出力で、20 s 以上のすべての周期を記録できる。そして両出力ともにダイナミック・レンジは 140 dB 以上におよぶ。

ブームポジションは、POS (position) 出力によってモニターすることができ、ブームがシフトした場合のゼロ点への微調整は、センタリングモーターにより外部からの調整が可能である。センタリングモーターは、MOT (motor) 端子に 12 V の電圧を加えることによって稼動する。AD 変換器は、1 サンプル 24 ビット、1 秒間 20 Hz サンプルングを行う。内部の刻時装置は精度 1 ms で校正は外部時計による (図 3 参照)。

### 3.2. 設置状況

#### (1) 概観

STS の地震計センサー部は、従来の HES・PELS とともに地震計室内に設置された。地震計室は生活によるノイズを極力避けるために基地居住区から南へ約 500 m ほど離れた地点に位置し、日射による温度変化やブリザードなどの強風による振動を避けるために半地下式の構造になっている。昭和基地の地質は、堆積層がなく基盤岩である花崗岩質片麻岩が露出している。地震計室内は、基盤岩上に直付けされたコンクリート基台があり、各種の地震計が設置されている (神沼・千葉, 1973)。

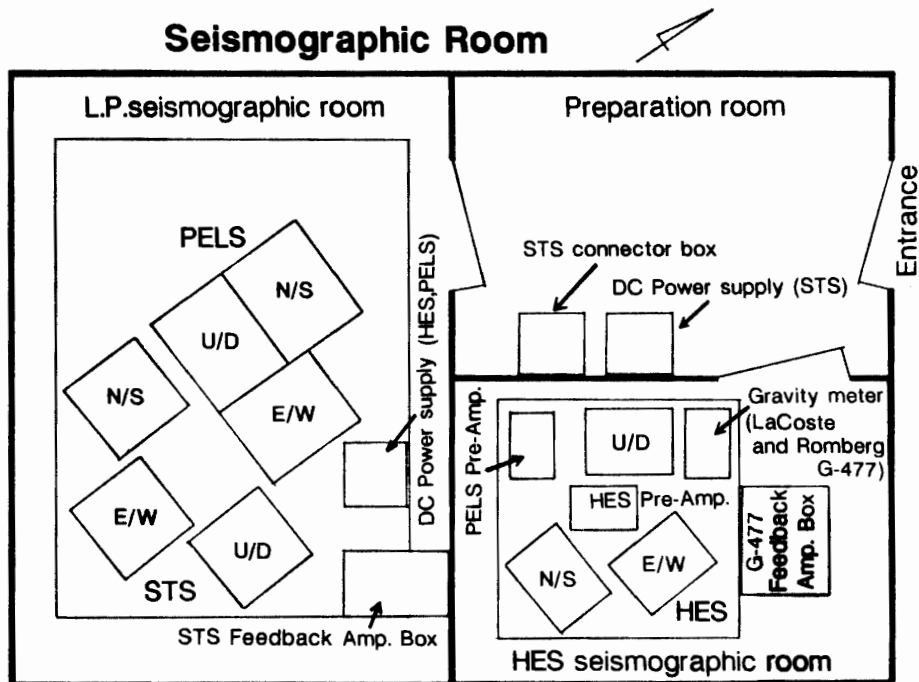


図 4 地震計室内センサー配置図

Fig. 4. Location of seismometers (HES, PELS, STS) and a gravity meter (LaCoste and Romberg G-477) in the seismographic room at Syowa Station.

図 4 に示すように、地震計室は前室・短周期地震計室・長周期地震計室の 3 部屋に別れる。STS 地震計 3 台 (U/D・N/S・E/W の 3 成分) は、PELS と並んで長周期地震計室の基台に設置され、STS フィードバックアンプ部もここに置かれている。前室は、STS の電源部・コネクターボックスが置かれている。コネクターボックスを新しく設置することにより従来の BRB 出力のみの観測のほかに、LP 出力の観測、POS 出力のモニター及び POS ゼロ点調整の地学棟からの遠隔操作が可能になった。なお短周期地震計室の基台には HES が設置されているが、1990 年は新しくラコステ重力計 (G-477) を置き、重力潮汐の連続観測を行った。これは、STS の LP 出力による地球潮汐の検出が、昭和基地での観測状態でどの程度可能であるかの比較を目的としている。また重力潮汐観測の温度補正のためにデジタル温度計を設置し、短周期地震計室内の温度変化をモニターした。

地震計室で得られる各データは信号ケーブルにより地学棟まで送信され記録される。HES・PELS の信号用には 20 ch ケーブルが敷設されており、同ケーブルの空きチャンネルを利用して STS の LP・POS・MOT 信号用とした。BRB 出力信号には別に専用の信号ケーブルを敷設してある。さらに重力潮汐観測および温度の出力は、別の既設の信号ケーブル (1987~1989 年テレメーター地震観測で使用した物) を再利用している。

## (2) STS センサー部

地震計の設置状況を図 5、図 6 に示す。地震計を置くガラスプレートはコンクリート基台

上に直接置かれているが、接着剤を用いての固定や砂を敷くなどの試みは行っていない。これは、地震計の設置場所の変更の可能性があること、砂を敷くことについては含有水分の凍結によりガラスプレートの水平が保てなくなることを配慮したためである。従って、ガラス

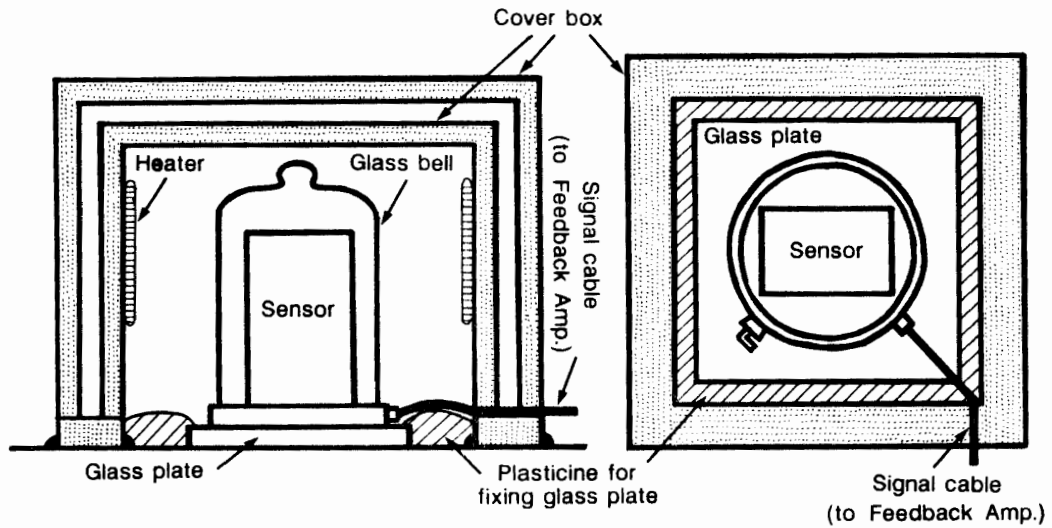


図 5 STS センサー部の断面図および平面図  
 Fig. 5. A schematic diagram of STS seismometer.

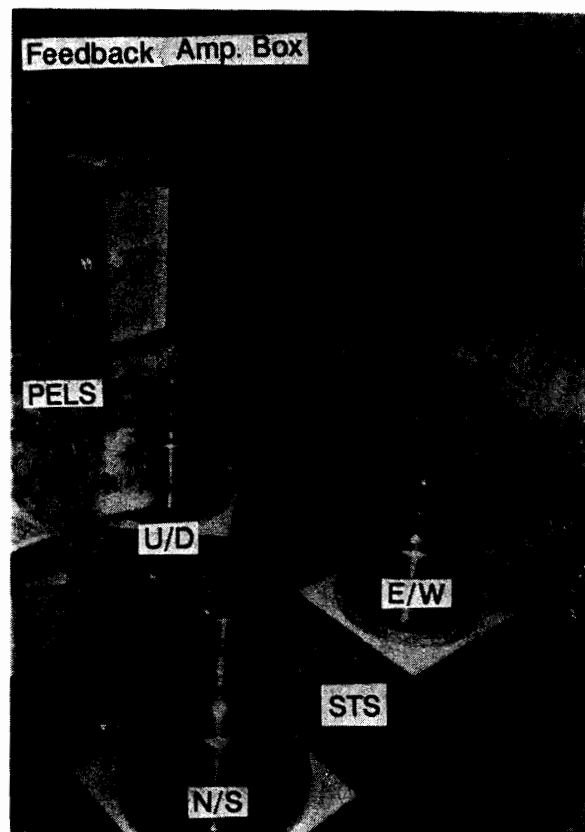


図 6 STS センサー部の写真  
 Fig. 6. A photograph of STS seismometers.

プレートの周囲を油粘土で押さえつけることにより固定を試みた。

地震計は保温箱で覆い、内部をサーモスタット付きヒーターにより約  $+15^{\circ}\text{C}$  に設定して保温した。保温箱は断熱材（発泡スチロール製）で二重に作成し、それぞれをアルミコーティングして保温性を高めてある。

ガラスベル内部は、空気抵抗や対流の影響を取り除くために、上下動・水平動地震計ともに外気圧比 10% の真空状態となっている。またフィードバックアンプ部の固有周期モード (20 s あるいは 360 s) の切り替えにより、調整期間中を除いて大部分の期間を 360 s モードで観測を実施した。フィードバックアンプ部も低温にさらされないように別の保温箱内に収められ、内部はヒーターで保温 (約  $+15^{\circ}\text{C}$ ) されている。

### 3.3. 収録システム

#### (1) 記録

地震計室から送信されるデータの収録はすべて地学棟で行っている。記録は以下の 4 通りで行った。

- ① 感熱式 3 ch ペンレコーダー (日電三栄 8D23H) により、BRB 出力 3 成分の長時間モニター記録を 2 mm/s の記録速度で観測した。すでに定常化されており、通年の記録を得た。刻時は、昭和基地内の情報処理棟で受信されている NNSS (Navy Navigation Satellite System) で較正される標準時計に同期している。
- ② AD 変換器 (QUANTERRA Q52K-1) を経て、BRB 出力 3 成分のデジタル記録を得た。定常的な収録は、1990 年 5 月 1 日より開始した。
- ③ カセットロガー (TEAC DR-55) により、POS 出力 3 成分・LP 出力 3 成分および温度記録を得た。刻時は内部時計であり、外部時計による較正は行っていない。
- ④ ペンレコーダー (3 ch) により LP 出力 3 成分のモニター記録を得た。

#### (2) デジタル記録の収録・編集システム

STS センサー部・フィードバックアンプ部から出力された信号は、約 600 m の信号ケーブルを経て地学棟内の AD 変換器に入力される。20 Hz サンプリングでデジタル変換された信号は、データ収録用ソフトにより PC-9801VX の内部ハードディスク (20 MByte) および外部ハードディスク (40 MByte) にバイナリー形式で蓄えられる。このとき 20 Hz サンプルは、10 Hz に平均変換されて収録される。24 時間の 3 成分のデータ量は約 15 MByte に及び、そのため内部ハードディスクに 1 日分の収録、外部ハードディスクに 2 日分の収録が出来るに過ぎない。容量が一杯になったところで、カートリッジ (約 20 MByte/1 巻) へダウンロードするために、収録をいったん停止させる。

データを吸い上げたカートリッジは、編集用ソフトにより別の PC-9801VX システムを用いて主に 2 種類のファイルが作成される。

- ① 10 Hz オリジナルデータからイベント部分を抜き出し、10 Hz の部分ファイルを作成し

てフロッピーディスクに収録する。

② 10 Hz オリジナルデータのすべてを 1 Hz に変換して約 13 日分の 1 Hz ファイルをまとめてカートリッジ 1 巻に収録する。なお、編集後の 10 Hz オリジナルデータは消去する。

### 3.4. 1989 年度に生じた問題

1989 年 1 月～4 月にかけて、JARE-30 の村上寛史隊員により STS 設置のための準備作

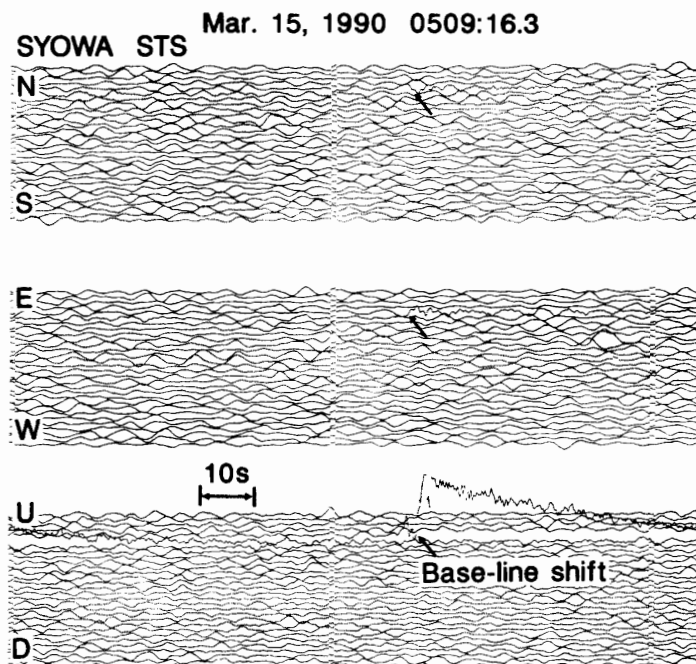


図 7a

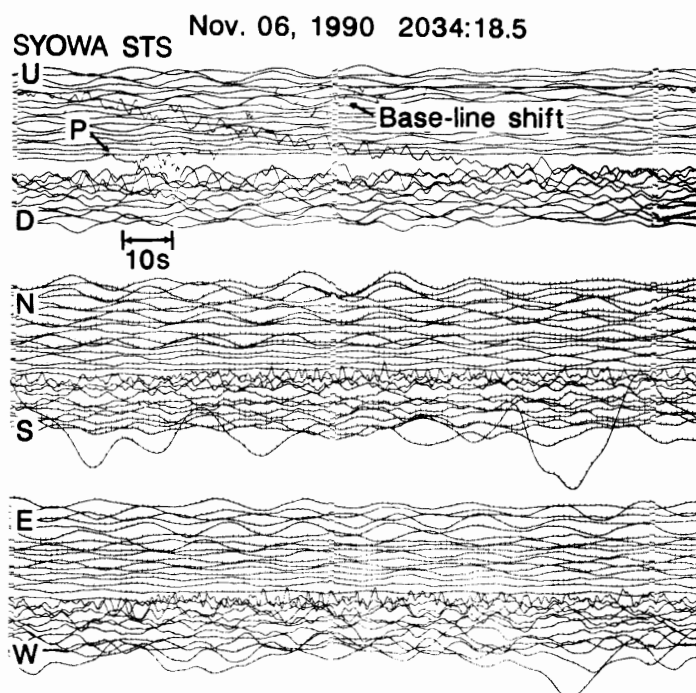


図 7b

図 7a,b パルス状にシフトする現象 (シフトノイズ) の例  
Figs. 7a, b. An example of the base-line shift of STS.



業として、BRB 出力用の信号ケーブル (約 600 m) 3 本の敷設、地震計室の方位の据え付け再測量をはじめ、予備観測、収録システムの点検、STS システムの設置が行われた。4 月下旬より、アナログモニター記録の連続記録を開始し調整が続けられた。設置の際、フィードバックアンプ部の保温に留意した。STS 観測を軌道にのせる前の調整段階にあり、ガラスプレートの基台への接着、ガラスベル内の真空化は行わず、20 s モードでの観測を行った。

観測の中で頻発した問題点は、図 7 a, b に見られるようなパルス状にシフトする現象 (以下これを「シフトノイズ」と呼ぶことにする) が発生したことである。これらの「シフトノイズ」は、上下動成分にのみ発生しており、水平動成分には全く見られない。分析によると、「シフトノイズ」は外気温が  $-20^{\circ}\text{C}$  以下の極低温が続いたとき、気温変化率が大きいとき、あるいは地震・氷震の到達直後に見られる。原因として、上下動地震計のリーフ・スプリングの温度変化による歪、フィードバックアンプ部の制御エラーなどをはじめ、地震計の温度環境によるところが大きいと考えられている。このため地震計を毛布で 2 重にカバーしたり、つららや霜の落下が原因となる「シフトノイズ」の影響を防ぐため天井にシートを張るなどの対策が取られたが、状況は改善されていない。

また、「シフトノイズ」に伴って、1989 年 4 月下旬から 7 月 1 日までの 2 カ月余りの間に最高で 20 V (積算値) の著しい上下動成分の POS のゼロ点シフトがみられた。水平動成分は比較的安定しているものの同期間中に E/W で +0.6 V, N/S で -2.9 V のシフトがあった。なお、比較的「シフトノイズ」の安定している時期をみてデジタル収録を試みた (村上・神沼, 1990)。

以上の問題点、考えられる原因を考慮して 1990 年 (JARE-31) には主に以下の対策を取り、状況をみながら新たな観測体制を整えた。

- ① 半地下式地震計室の土砂盛りを行った。これは、日射による温度変化を抑えるためと強風によって相当量の土砂が失われていたために地震計室の保守を兼ねた。
- ② 設置場所変更の可能性からガラスプレートの基台への接着を見合わせ、油粘土による固定を行った。固定は、地震・氷震の到達直後に「シフトノイズ」が見られることから、ガラスプレートの不安定が原因と考えられるためである。
- ③ 再調整のあと、ガラスベル内を真空化した。
- ④ 保温箱を作成し、地震計を保温した。
- ⑤ コネクターボックスを増設し、POS ゼロシフトの常時監視を可能にした。また、地震計室入室による温度変化を極力抑えるために、POS ゼロ点調整を地学棟から遠隔操作で行えるようにした。
- ⑥ 固有周期モードを 20 s から 360 s に切り替えた。
- ⑦ 地震計室内の温度を連続記録し、温度と「シフトノイズ」・ゼロシフトとの相関を調べた。
- ⑧ 1990 年 5 月よりデジタル収録を開始し、ルーチン観測の体制を準備した。

- ⑨ LP 出力の観測を試み、重力潮汐観測との同時観測を行った。  
 ⑩ 衛星通信（インマル回線）を用いたデジタル記録の日本への送信実験を行った。

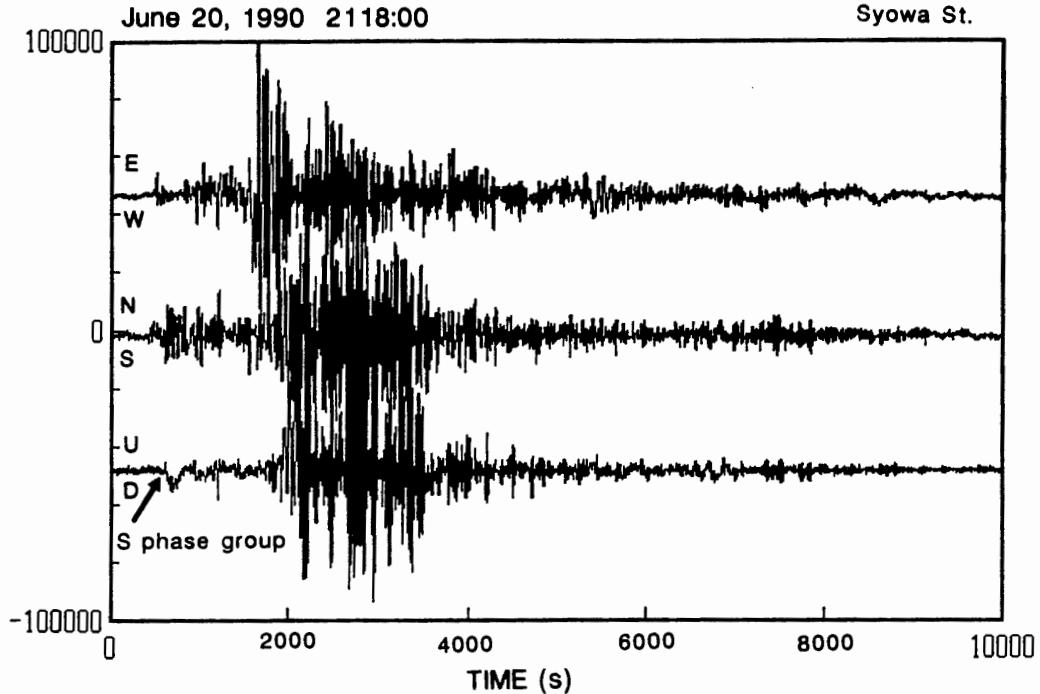


図 8a イラン西部地震 (STS デジタル記録)

Fig. 8a. Digital seismogram of the three-component STS seismograph. The earthquake hypocenter parameters are as follows; origin time, 2100:09.9, June 20, 1990, location,  $36.957^{\circ}\text{N}$ ,  $49.409^{\circ}\text{E}$ , Depth, 19 km,  $m_b = 6.4$ ,  $M_s = 7.7$ , Western Iran.

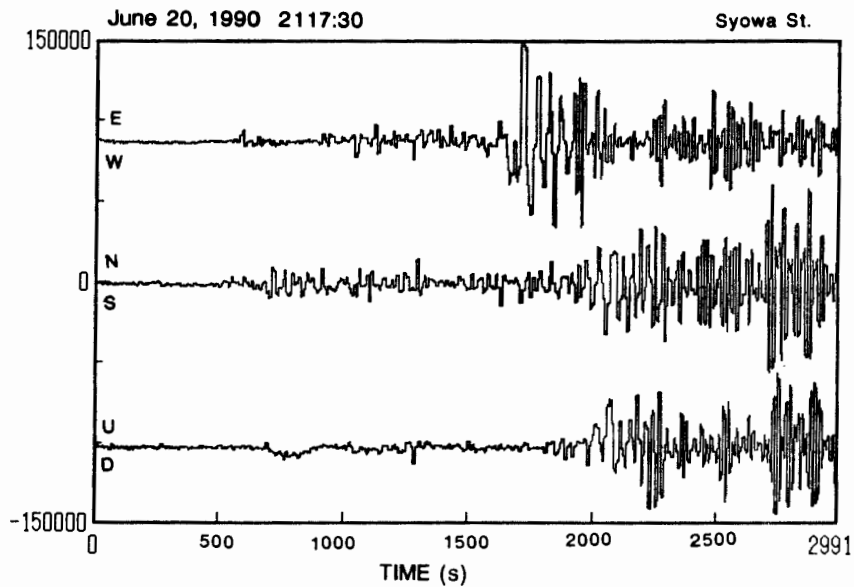


図 8b イラン西部地震 (STS デジタル記録, 転送用)

Fig. 8b. An example of the transmitted seismogram from Syowa Station to Japan by the satellite telecommunications system. The initial 3000 s records in Fig. 8a were used for the transmission test shown.

4. 結 果

4.1. 観測された地震波形例

STS による地震観測をルーチン化した後もなお、「シフトノイズ」の問題を含めて様々な問題点が残っているが、良好な状態の観測も行われている。

以下に示す STS デジタル・モニター記録 3 成分は、360 s モードの BRB 出力である。

(1) イラン西部地震

1990 年 6 月 20 日, 21 時 00 分 09.9 秒 UT, イラン西部の 36.957°N, 49.409°E, 深さ

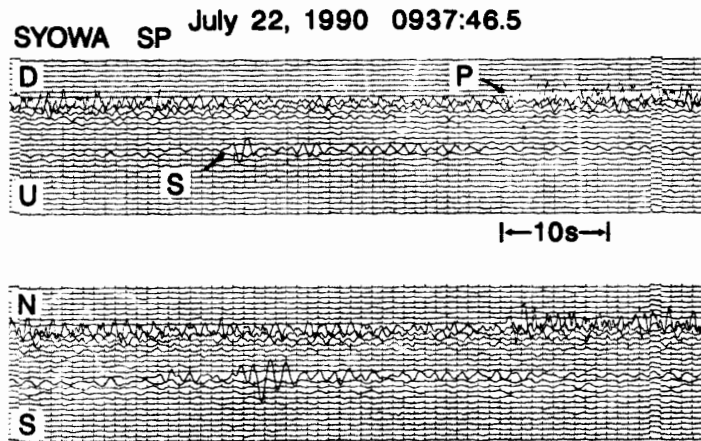


図 9 フィジー島南部地震  
 Fig. 9. Examples of seismogram of the earthquake south of Fiji Islands. Hypocenter parameters of the earthquake are as follows, origin time, 0926: 14.6, July 22, 1990, location, 23.622°S, 179.893°W, Depth, 531 km, mb = 5.9, South of Fiji Islands.

図 9a フィジー島南部地震 (SP モニター記録)  
 Fig. 9a. The monitor-recorded seismogram of the earthquake south of Fiji Islands with HES.

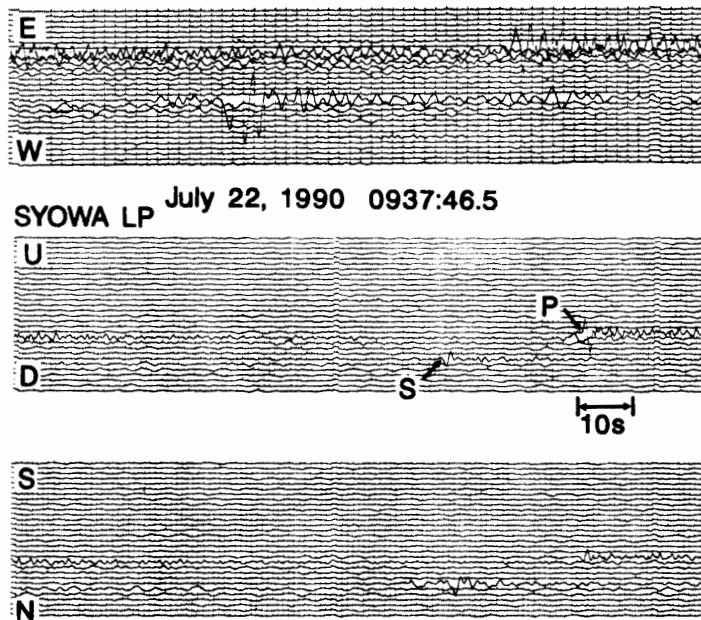
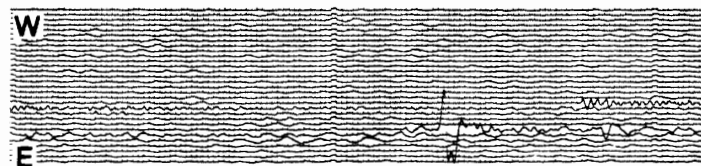


図 9b フィジー島南部地震 (LP モニター記録)  
 Fig. 9b. The monitor-recorded seismogram of the same earthquake in Fig. 9a with PELS.



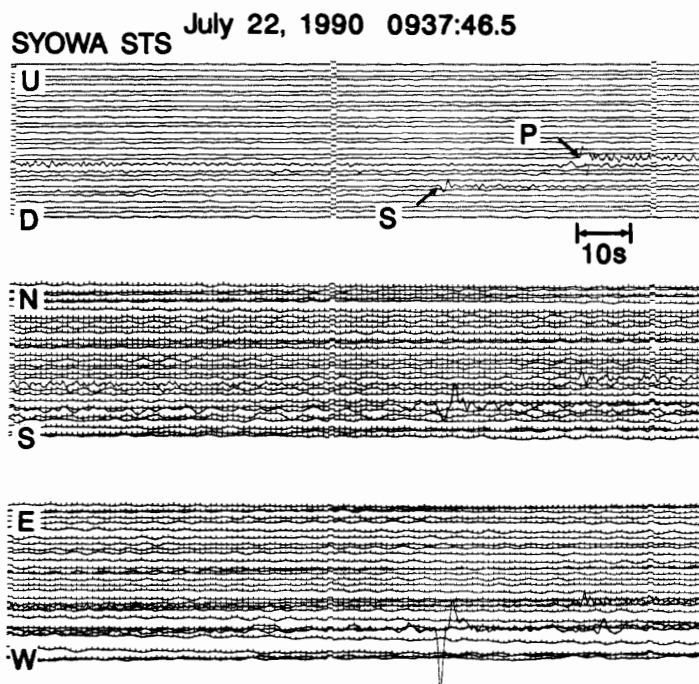


図 9c フィジー島南部地震(STS モニター記録)

Fig. 9c. The monitor-recorded seismogram of the same earthquake in Fig. 9a with STS.

19 km を震源とする地震 ( $m_b=6.4$ ,  $M_s=7.7$ ) が発生した。図 8a に STS デジタル記録を示す。

震源から昭和基地までの震央距離は約  $106.2^\circ$  であるため、昭和基地はシャドウゾーンとなって  $P$  波グループが記録されていない。 $S$  波グループ、表面波、その他のいくつかの波が明瞭に記録されている。この波形の STS デジタル記録の一部はインマル回線を用いた日本への電送試験に用いられた(図 8b 参照)。

### (2) フィジー島南部地震

1990 年 7 月 22 日, 09 時 26 分 14.6 秒 UT, フィジー島南部の  $23.622^\circ\text{S}$ ,  $179.893^\circ\text{W}$ , 深さ 531 km を震源とする深発地震 ( $m_b=5.9$ ) が発生した。図 9a に SP モニター記録, 図 9b に LP モニター記録, 図 9c に STS モニター記録, 図 9d~f に STS デジタル記録を示す。図 9e および図 9f は,  $P$  波,  $S$  波のデジタル記録の拡大図である。

昭和基地への  $P$  波到達時刻は, 09 時 37 分 46.5 秒 UT であった。STS デジタル記録には,  $P$  波グループと  $S$  波グループが明瞭に記録され,  $S$ - $P$  時間は 573.5 秒である。また波形には, 約 10 分の長周期のノイズが見られる(図 9d 参照)。

### (3) ローカルな地震

図 10 に示したデジタル波形は, 1990 年 5 月 6 日に発生した地震で震源は決まっていない。昭和基地での  $P$  波到達時刻は, 12 時 53 分 25.8 秒 UT であった。 $S$ - $P$  時間が 263 秒であることからインド洋の南極プレート境界, あるいは南極大陸内部で発生した地震とも考えられる。

図 9d フィジー島南部地震  
(STS デジタル記録)  
Fig. 9d. Digital seismogram  
of the three-component STS  
seismograph for the same  
earthquake in Fig. 9a.

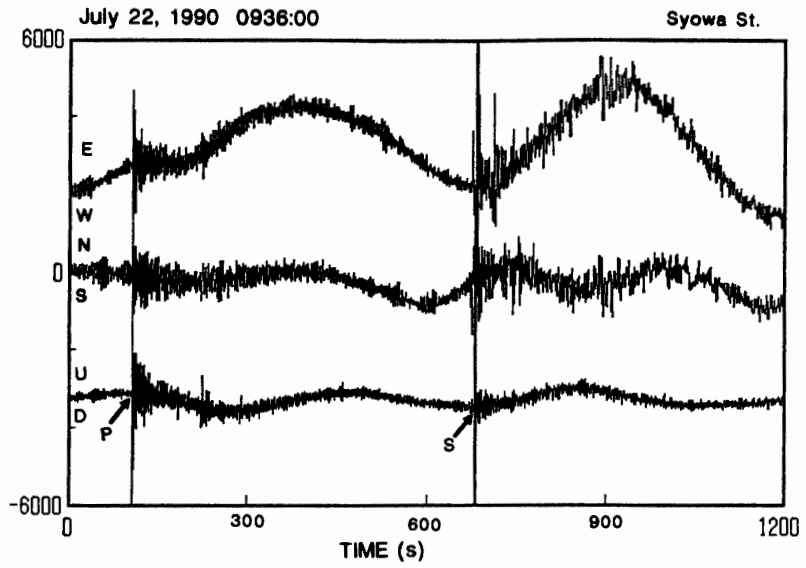


図 9e フィジー島南部地震  
(STS デジタル記録, P  
波)  
Fig. 9e. Enlarged digital  
seismogram of the portion  
of P phase in Fig. 9d.

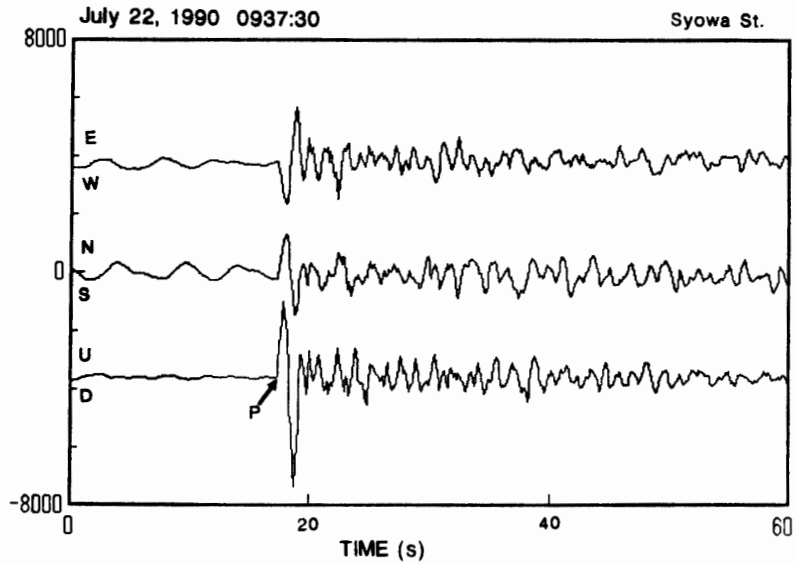
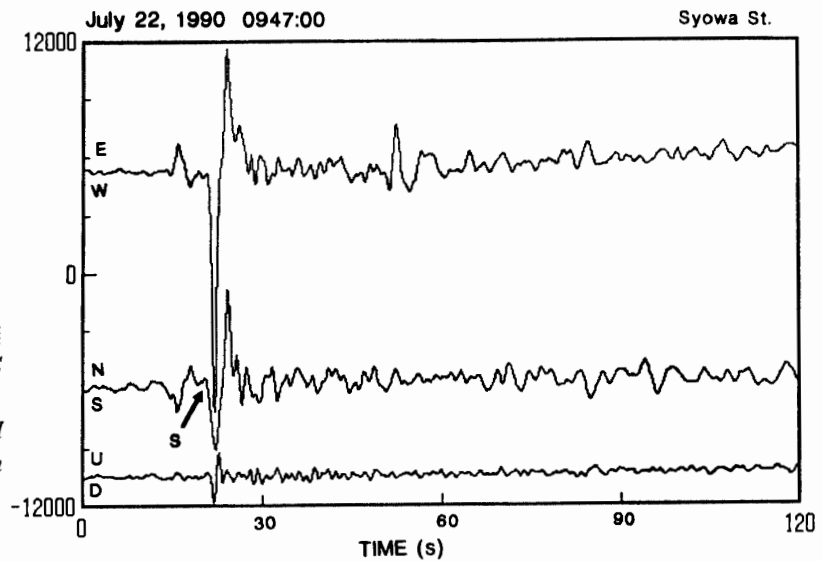


図 9f フィジー島南部地震  
(STS デジタル記録, S  
波)  
Fig. 9f. Enlarged digital  
seismogram of the portion  
of S phase in Fig. 9d.



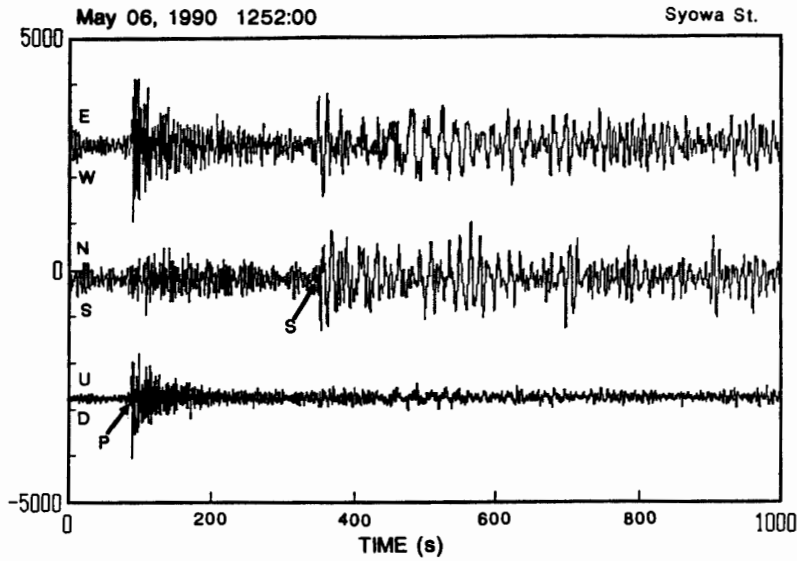


図 10 ローカルな地震 (STS デジタル記録)  
 Fig. 10. Digital seismograms of a local event with S-P time of 263 s recorded with the three-component STS seismograph.

4.2. 観測できない地震 (HES との比較)

気温変化の影響を受けるためのノイズが大きくなるために高い倍率が出せないの、微小地震までを現状の STS でカバーすることは困難なようである。図 11 に、HES に記録された地震波形例 (a) と、これに相当する STS による地震波形例 (モニター記録 (b) およびデジタル記録 (c)) を示す。この点の克服が今後の課題の 1 つである。

4.3. 日本へのデータ送信

ほかの分野 (例えば地磁気定常観測) では、すでにインマル回線を利用して昭和基地から国立極地研究所情報処理センターへのデータ電送が随時実施されている。1990 年 (JARE-31)

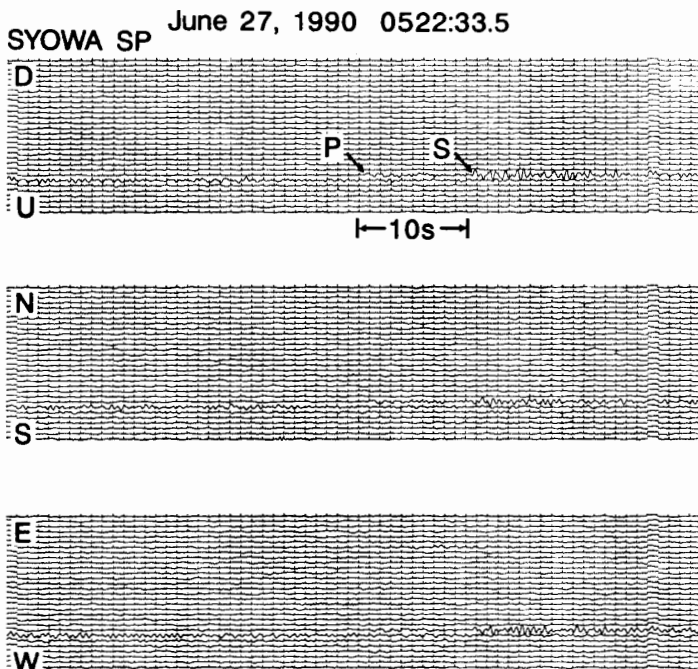


図 11a,b,c STS で読み取りのできない地震例  
 Figs. 11a,b,c. An example of a monitor-recorded seismogram of small earthquake recorded with HES(a). P arrival of the earthquake, however, cannot be detected clearly as shown on the monitor-recorded seismogram with STS(b) and the digital seismogram of STS(c).

図 11a

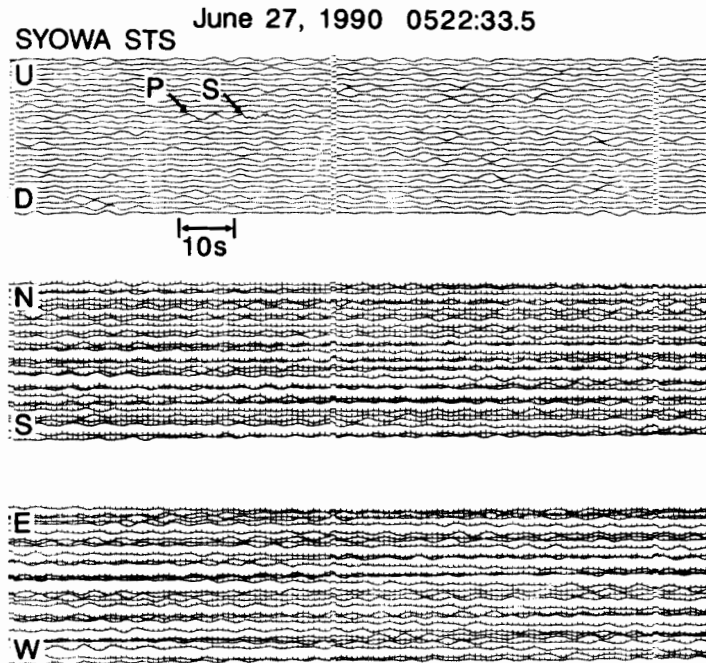


図 11b

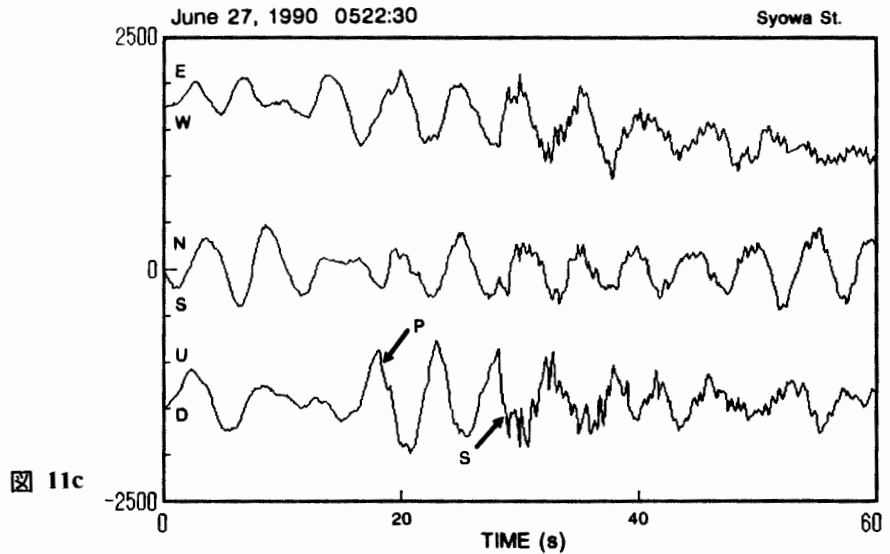


図 11c

は、初めての試みとして STS デジタル記録のデータ電送試験を 9 月 14 日に行った。

試験用のデータとして、1990 年 6 月 20 日のイラン西部地震波形の前半部分で地震波到達前から 50 分間の記録を 1 Hz 変換したファイルを作成し送信した。総容量は、50700 Byte であり、実際の送信時間は約 12 分で通話料金は約 7200 円であった。図 8b に示したように良好な地震波形を再現できた。現状では料金が高く難点はあるものの、必要なときに昭和基地の地震記象がすぐにも入手可能であることが示された。

## 5. 問題点

## 5.1. 気温の変化による不安定性

1990年(JARE-31)にも1989年(JARE-30)の観測で見られた「シフトノイズ」およびゼロ点シフトが発生している。「シフトノイズ」は、図7a,bに見られるようにパルス状にシフトする現象を指し、ゼロ点シフトは、ブームポジションの変位(POS)がゼロ点からゆっくりとずれる現象を指す。JARE-31は、ガラスプレートを油粘土で固定するなどしたが、効果は出ていないようである。

図12に「シフトノイズ」の頻度と温度との相関を示す。温度は、外気温と地震計室内温度の2つを示す。外気温のデータは、気象庁の観測によるもので毎日の平均気温をプロットした。室内温度は、重力潮汐観測の温度補正用のために記録していたものである。「シフトノイズ」の頻度は1日ごとの発生回数をプロットした。図12によると、低下する室内温度の時間勾配が増したときに「シフトノイズ」が急激に増加していることが分かる。逆に、室内温度が上昇する時は、「シフトノイズ」の顕著な増加は見られない。また、温度変化が比較的安定していても8月下旬から9月にかけての低温時には、急激な温度低下による不安定な状態が後日にまで尾を引き、温度安定期に入ってもなお「シフトノイズ」の増加が繰り返され、波形記録の安定までに時間がかかっている。

表1 STSの温度係数  
Table 1. The coefficient of temperature for STS seismograph.

月 日	7/3	7/24	9/12
地震計室内温度 (°C)	-9	-6	-13
POS (V) U/D	-2.5101	-0.7780	-4.9312
N/S	-1.2197	-0.8173	-2.1777
温度係数 (V/°C) U/D	0.5774	0.5933	
N/S	0.1341	0.1943	

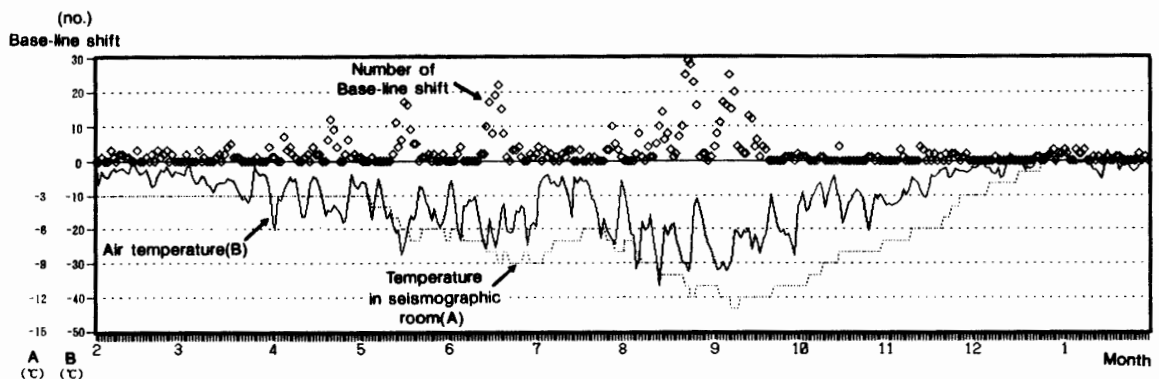


図12 シフトノイズと温度の関係

Fig. 12. The number of base-line shift of seismogram (diamond signs), air temperature (solid line) and room temperature (broken line).



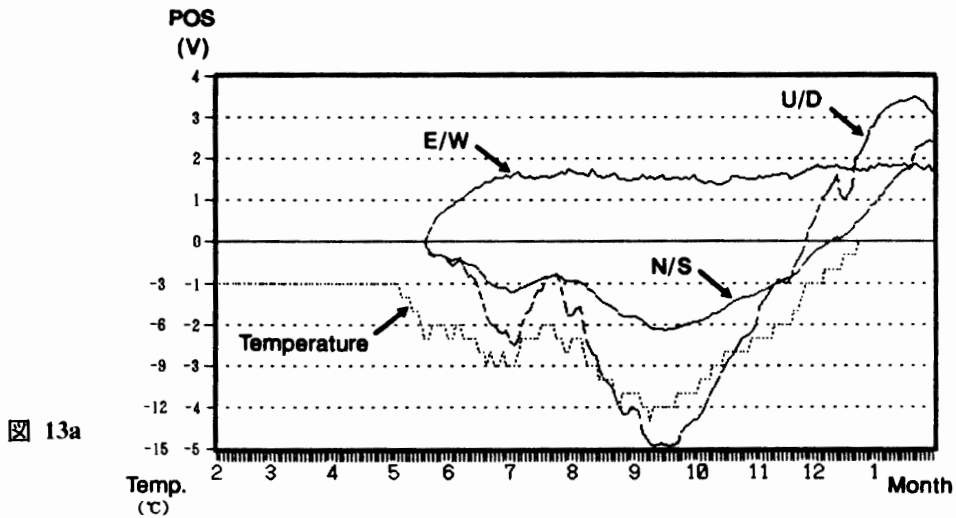


図 13a

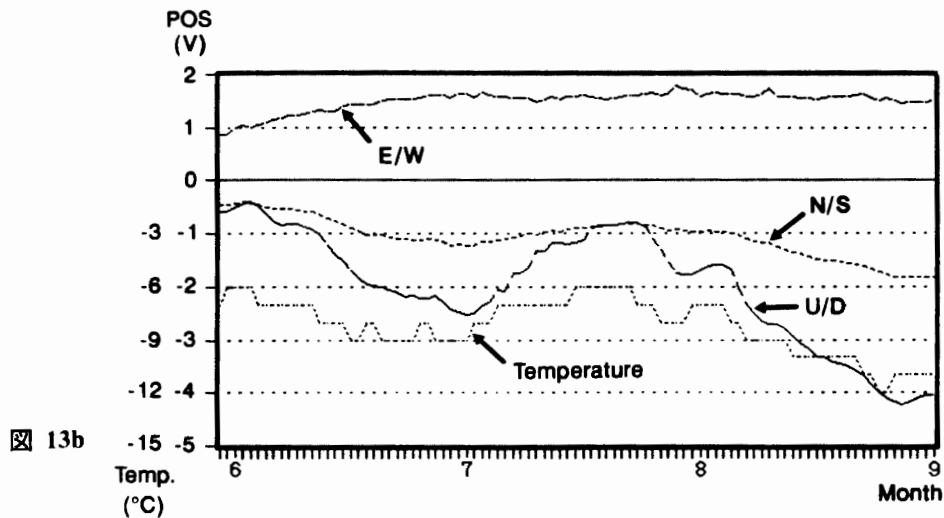


図 13b

図 13a,b ゼロシフトの積算値と温度の関係

Figs. 13a, b. Cumulative POS shift of three components of STS and room temperature of the seismographic room.

図 13 に各成分のゼロ点シフトの積算と地震計室内温度との相関を示す (図 13a は 1 年間の推移を示し, 図 13b は 6~8 月までの推移を拡大図で示す). ゼロ点シフトは 1990 年 5 月 19 日の POS を 0 V とし、その後はゼロ点調整を行った量の積算値を示した. 5 月 19 日以前の数値は、STS の調整段階にあったので除外した. E/W 成分は 6 月から安定しており変位量が 1 V 以内に収まっている. N/S, U/D 成分は変位量が多いものの、温度との相関は明瞭である. E/W についてもはっきりしないが温度との相関が見られる. すなわち、温度の上下に合わせて、POS が上下に推移し、一方的にずれるのではない. 表 1 は、ゼロ点シフトの勾配と温度勾配の相関から得られる、U/D, N/S のそれぞれの地震計の温度係数を示した. E/W は相関が不明瞭なため示していない. 温度係数は、U/D が  $0.58\sim 0.59\text{ V}/^\circ\text{C}$ 、N/S が  $0.13\sim 0.19\text{ V}/^\circ\text{C}$  であることがわかる.

これらのことから温度変化が原因となって、「シフトノイズ」やゼロ点シフトに影響を及ぼしていることが明らかで、温度環境に問題があり、この点の改善が必要である。

## 5.2. その他の問題点

STS と HES を比較すると、振幅の小さい地震動は現在の STS 記録では読み取りが困難である。ただし、倍率を高めることで微小地震の検出は可能で、増幅器等の接続が必要と思われる。

現状の収録システムでは、デジタル記録の連続収録は連続 3 日間が限度である。従って、2 日ごとにハードディスクからカートリッジへダウンロードする作業を伴い、この間、収録を一時停止する必要がある。この結果、2 日ごとに約 15 分間の欠測となっている。

## 6. ま と め

STS による地震観測は、地震波形例から、従来の地震観測よりも優れた観測が可能であることが実証された。デジタル収録や日本へのデータ電送の成功は、POSEIDON 計画に代表されるグローバル地震学に多大な寄与が期待され、世界的な震源決定、地下構造解析、地球内部研究などに威力を発揮する。今後も昭和基地は南極域の数少ない地震観測点の 1 つとして重要である。種々の問題点が一刻も早く克服され、完全なシステム化の実現が期待される。

微小地震を含めたエネルギーの小さい地震についての STS のモニター記録による検知率は、HES に比べて極めて低い。STS のデジタル記録でも、ノイズレベルが高くなり地震の読み取りは現状では難しい。これは、地震計から記録部までの間に、増幅器が接続されておらず信号の減衰が原因となっていると思われる。従って STS による微小地震の検出は、高性能な増幅器およびフィルターの接続によって改善が期待される。

図 12 から外気温と地震計室内温度を比較すると、外気温は日変化が激しく最低  $-40^{\circ}\text{C}$  近くまで低下するが、地震計室内は比較的变化も少なく、最低温度も  $-13^{\circ}\text{C}$  にとどまっている。地震計室内の温度は、外気温の変化に影響を受けてはいるものの外気温に比べて安定している。これは、半地下式の構造が優れているためであると言える。ただし地震計の安定のためには、温度変化のないことが望ましく、より一層の改善が望まれる。老朽化した地震計室の改善により、温度変化やブリザードなどによるグラウンドノイズの影響を小さくすれば今まで以上に地震の検出が可能になる。STS によって微小地震が検出され、HES と同程度の地震検知率 (KAMINUMA, 1969; 神沼, 1971) を実現できれば、STS による地震定常観測が実施できよう。

STS 設置以来、頻発している「シフトノイズ」は、①温度環境、②ガラスプレートの不安定、③低温下での地震計の特性などに原因がある。①については、室内温度の連続モニターとの比較により、「シフトノイズ」は急激な温度変化（低下）が原因であることが分かった。

地震計は、保温箱でカバーし保温を施したものの、コンクリート基台に接するガラスプレートをとおして、室内温度が保温箱内部の温度に影響を与えている。②については、図 7b に見られるように、地震・氷震の振動到達直後に「シフトノイズ」が発生していることから推察される。③については、上下動成分に頻繁に「シフトノイズ」が発生することから、上下動地震計の特性、すなわちリーフ・スプリングの低温下での歪やフィードバック回路の制御エラーなどが考えられる。

また、ゼロ点シフトの原因は、温度環境が明らかに影響を与えていることが分かった。長周期地震計では温度変化  $0.1^{\circ}\text{C}$  以内に抑えることが望ましいことを考えれば当然のことと言える。

以上のことから対策として、

(1) 地震計保温箱内の温度安定化 ( $+15^{\circ}\text{C}\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  が望ましい) を図る。ただし内部の温度は、 $+15^{\circ}\text{C}$  に高めるよりも、 $0^{\circ}\text{C}$  前後の低い温度であっても、まず温度が変化しない環境 ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ) を作ることが最も重要である。そのためには、

- (a) 外気と完全に遮断するために保温箱を密閉する。密閉にはスプレー式発泡スチロールなどを用いて隙間を充てんする。
- (b) 保温箱内部の温度コントロールを精密なものにする。

問題点: (a) 保温箱の完全密閉は、保温箱の取り外しが大変となり、地震計調整・点検時が難点である。

(b) 低温にさらされている基台をカバーし、基台を含めた温度コントロールが必要となる。

(2) 地震計室内の温度安定化

- (a) 人の立ち入りを避ける。
- (b) 地震計室の密閉度をさらに高める。
- (c) 地震計室内の温度、コンクリート基台の温度を一定にする。
- (d) 温度変化の極めて小さい岩窟内 (完全地下) など、温度環境の優れた設置場所を設ける。

問題点: 新地震計室の建設が必要。

(3) ガラスプレートの完全固定。ガラスプレートを基台へ接着する、あるいはコンクリートで固めて基台と一体化する。

などの対策が考えられる。

記録装置は、すでにモニター記録、デジタル記録を定常化させている。今後、2セットのパソコンによる並列運用か、あるいは大容量ディスクの追加などにより欠測のない収録システムの確立が望まれる。また、収録・編集ともにシステム及びプログラムの改善を行い、ダウンロードを自動化するなどの半自動化システム、さらには無人化が今後の課題と言える。

## 謝 辞

超高性能地震計 STS による地震観測を継続するにあたり、第 30 次及び第 31 次南極地域観測隊隊員諸氏の多大な助力と励ましを受けた。ここに感謝の意を表します。

国内においては、京都大学防災研究所の渋谷拓郎氏から STS に関する研修を受け、また京都大学防災研究所の赤松純平氏、伊藤潔氏、梅田康弘氏、村上寛史氏、名古屋大学理学部の山田功夫氏、アムコ株式会社の菅沼一代氏からは、STS の問題点改善に対する助言をいただいた。あわせて感謝の意を表します。

なお、気象庁からは昭和基地の気象データを快く提供していただいた。さらにこの報告の作成にあたっては、多くの方々の注意深いご指摘のおかげで文章の改善がなされたことを付記し、ここに厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 神沼克伊・江頭庸夫・吉田光雄 (1968)：昭和基地の地震観測。南極資料, 33, 65-70.  
KAMINUMA, K. (1969)：The seismological observation and the earthquake detection capability of Syowa Station, Antarctica. Bull. Earthquake Res. Inst., 47, 453-466.  
神沼克伊 (1971)：昭和基地で観測した微小地震。南極資料, 40, 65-73.  
神沼克伊・千葉平八郎 (1973)：昭和基地の新地震計室と地震検知率。南極資料, 46, 67-82.  
村上寛史・神沼克伊 (1990)：南極昭和基地における STS 地震計による広帯域地震観測。第 11 回南極地学シンポジウムプログラム・講演要旨。東京, 国立極地研究所, 36.  
渋谷和雄 (1986)：地震活動。南極の科学, 5, 地学, 国立極地研究所編。東京, 古今書院, 274-285.  
(1991 年 8 月 19 日受付; 1991 年 9 月 19 日改訂稿受理)