

昭和基地の地震モニタリング観測
システムの更新とデータ利用金尾政紀¹・神沼克伊¹・渋谷和雄¹・野木義史¹・
根岸弘明²・東野陽子³・東 敏博³New Seismic Monitoring Observation System
and Data Accessibility at Syowa StationMasaki KANAO¹, Katsutada KAMINUMA¹, Kazuo SHIBUYA¹, Yoshifumi NOGI¹,
Hiroaki NEGISHI², Yoko TONO³ and Toshihiro HIGASHI³

Abstract: The seismic observation system at Syowa Station, East Antarctica was fully replaced in the wintering season of the 38th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-38) in 1996–1998. The old seismographic vault constructed in 1970 was closed at the end of JARE-38 because of cumulative damage to the inner side of the vault by continuous flowing in of water from walls in summer and its freezing in winter. All the seismometers were moved to a new seismographic hut (69°00'24.0"S, 39°35'06.0"E and 20 m above mean sea level) in April 1997. Seismic signals of the short-period (HES) and broadband (STS-1) seismometers in the new hut are transmitted to the Earth Science Laboratory (ESL) via analog cable 600 m in length. The new acquisition system was installed in the ESL with 6-channel 24-bit A/D converters for both sensor signals. All digitized data are automatically transmitted from the A/D converter to a workstation via TCP/IP protocol. After parallel observations with the old acquisition system by personal computers and the new system during the wintering season of JARE-38, the main system was changed to the new one, which has some advantages for both the reduction of daily maintenance efforts and the data transport/communication processes via Internet by use of LAN at the station. In this report, details of the new seismographic hut and the recording system are described. Additionally, the seismic data accessibility for public use, including Internet service, is described.

要旨: 1997年度(第38次日本南極地域観測隊;以下JARE-38と略す)を中心に、これまで定常観測で行われてきた地震観測システムが、ハード及びソフト両面共に大幅に更新された。特に、建造以来25年以上が経過し、施設の老朽化が指摘されていた旧地震感震器室を閉じ、器材をすべて撤収した。そして1996年度(JARE-37)に建設した新地震計室へ、短周期(HES)及び広帯域(STS-1)地震計を移設あるいは新しく設置すると共に、地学棟にワークステーションによる波形データ収録装置を新たに導入して、パソコンにより収録する旧システムから切り替えた。この地震計室及び収録装置すべてを含めての新システム導入により、昭和基地では越冬中の地震

¹ 国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kage 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.² 京都大学附属防災研究所, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji 611-0011.³ 京都大学理学部, Faculty of Science, Kyoto University, Kita-shirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502

計室見回りの労力が半減し、基地 LAN を利用してのデータ収集が合理化されたため、これまでの保守作業がかなりの部分で軽減された。今後はインマルサット回線をさらに利用して、基地外へのデータ公開の迅速化をめざす。さらに常時 IP 接続が可能になれば、国内での観震処理が可能となり、現地での完全自動化が期待される。JARE-38 越冬中の経過を中心にシステム更新の詳細を記載すると共に、インターネット利用を含めたデータ公開についても簡単に述べる。

1. 昭和基地の地震観測の歴史

昭和基地における地震観測は、国際地球観測年 (International Geophysical Year (IGY); 1957-58) を契機に日本の南極観測が開始されたのを受け、第 3 次日本南極地域観測隊 (以下 JARE-3 と略す) より開始された。従って地震観測は、これまで 40 年の長期間に渡り、昭和基地において欠測することなく連続観測されてきた数少ない基礎観測項目である。その間、観測システムや建物・設備は、それぞれの時代の科学・設営技術を背景に逐次更新を重ねており、また観測内容そのものにも様々な変化があった。

まず最初に、昭和基地における地震観測のこれまでの経過を概観する。

[昭和基地・地震観測史]	
1957.7.1 ~ 1958.12.31	IGY
1959 (JARE-3)	HES-V 1 台設置
1961 (JARE-5)	HES-H 2 台設置 (HES 3 成分)
1962 ~	閉 鎖
~ 1965	
1966 (JARE-7)	HES-3 成分で再開
1967 (JARE-8)	地震計室建設 (旧)
	LP (Press-Ewing) 3 成分設置
1968 (JARE-9)	LP 日本製に置き換え
1970 (JARE-11)	蜂の巣山地震計室 (~ JARE-38)
1973 (JARE-13)	テレメーター・テスト
1974 (JARE-14)	みずほ基地で地震観測
	高感度地震計 3 台設置
1977 (JARE-17)	高感度地震計 3 台
1979 (JARE-20)	人工地震開始 (1981 年まで)
1980 (JARE-21)	PELS 設置
1981 (JARE-22)	PELS 3 成分の観測開始、LP 撤去
1987 (JARE-28)	大アレー (3 点) 設置 (1990 年 1 月まで)
1989 (JARE-30)	STS の試験観測開始
1992 (JARE-33)	STS 本格化、地震計 9 成分で観測
1993 (JARE-34)	超伝導重力計測定開始
1996 (JARE-37)	新地震計室建設
1997 (JARE-38)	地震計移設、システム更新

1.1.1. JARE-3 ~ JARE-6 (「宗谷」の時代)

地震観測は IGY の基本観測の一つであり、IGY 本観測中の JARE-2 により観測を開始すべく準備されていた。使用する観測システムは当時開発されたばかりの萩原式電磁地震計

(HES; HAGIWARA, 1958) で、南極での使用に耐えるよう国内で種々のテストが行われていた(萩原, 1997)。HES の記録方式は光テコを用いた光学式で、原則的には地震計と記録器とを一つのシステムとしてまとめて HES と呼ばれた。しかし、その後のエレクトロニクスの進歩により、次々に新しい記録方式が開発され、昭和基地の地震記録方式も、それぞれの時代に適応すべく改良がなされてきた。しかし、地震計(センサー部)だけは今日でも当時と同じ HES の地震計が使われている。短周期地震計として非常に安定しているためである。

発達した海氷のため、観測船「宗谷」の能力では、昭和基地へ近づくことができず、JARE-2 (1958) での越冬は断念された。そして JARE-3 (1959) でも海氷の厳しい状況は同じであったが、総重量 57 トンの資材と食糧が昭和基地に送られ越冬が成立した。そして幸いなことに、HES 地震計上下動 1 成分と記録器及び関係資材が送られ、地震観測が始まった。

JARE-4 (1960) は JARE-3 の状況が引き継がれたが、越冬中は記録器のアッテネーターの倍率を換え、3 本のフィルムに上下動成分の記録を行っていた。JARE-5 (1961) でようやく水平動 2 成分が運び込まれ、上下、水平 2 成分、合計 3 成分での地震観測が始まった (Eto, 1962)。1962 年 2 月、昭和基地は閉鎖された。この JARE-3~5 の 3 年間の地震データは、JARE-7、-8 のデータとともに、JARE Data Reports, No. 4 (KAMINUMA and MURAUCHI, 1969) として刊行されている。なお基地閉鎖中 (1962-1965) は、無人の地震観測は行っておらず、この期間のデータはない。

1.1.2. JARE-7 ~ JARE-10 (「ふじ」の時代初期)

新造観測砕氷船「ふじ」の導入で、日本の南極観測は 1966 年に再開された。「ふじ」は 500 トンの資材を運ぶ能力があった。JARE-7 の地震観測は JARE-5 をそのまま引き継いだ。

地震計は現在の地学棟の南西 30 m 程の丘の南東斜面の平坦地に置かれ、高さ 80 cm、3 成分が入る広さの木造の枠が作られており、上蓋を開いて中に入り調整するようになっていた。南極観測の再開に際し、昭和基地は世界標準地震観測網 (World Wide Seismic Standard Network (WWSSN)) と同じ能力を有する観測点にするように計画された。WWSSN の観測点は、振り子の周期 1 秒程度の短周期地震計と、同 15 ~ 30 秒の長周期地震計の各 3 成分からなっている。短周期地震計の特性は HES で十分カバーできる。長周期地震計としては、当時ようやく使われた Press-Ewing 型地震計が選ばれた。WWSSN は、米ソ冷戦時代の 1960 年代、アメリカが自由主義国内に 124 点の地震観測点を設け、ソビエト(当時)の地下核実験を探知することを目的としていた。南極にも 4 点(南極点、スコット、モーソン、デービス各基地)が置かれていた。

昭和基地へも Press-Ewing 型地震計を持ち込むべく国内で生産し、JARE-8 の出発に備え種々のテストを繰り返した。しかしいくつかの不具合が発見され、JARE-8 では当時東京大学地震研究所が所有していた Press-Ewing 型地震計 3 成分を持参した。さらに JARE-8 では JARE-3 で昭和基地に運び込めなかった地震計室を持ち込み、建設した。この地震計室は半地

下式になることを想定して設計されていたが、当時の昭和基地の土木工事はほとんど手作業であったため、現在新しい地震計室が建てられている付近の露岩の上に建てられた。設計当時は HES 3 成分用であったが、6 成分の地震計を置かねばならなくなった。そこで、建設した地震計室を長周期地震計用とし、入口付近に前室を設け、前室の脇に仕切りを設けて、HES 3 成分を置いた。このようにしてとにかく、JARE-8 で短周期、長周期各 3 成分の観測が開始された。長周期地震計の記録方式も積分増巾器は使用したが光学式であった。

JARE-9 (1968) で国産の長周期地震計を持ち込み、Press-Ewing 型地震計と置き換えた (神沼ら, 1968)。JARE-10 (1969) も同じように、短周期・長周期各 3 成分の地震計で観測を続けた。JARE-8 から帰国後、読みとりデータを JARE Data Reports として年 1 回発行するようになった。また、現地での読みとり結果を外国の関係機関に送付し、昭和基地のデータが震源決定に使われるようにもした。ともに今日まで継続している。

1.1.3. JARE-11 ~ JARE-20 (半地下式地震計室)

露岩上に建設された地震計室は、風が吹くと建物の振動を記録し、ブリザードメーターのようなものだった。昭和基地には小型ながらブルドーザーやパワーシャベルが運び込まれ、土木工事の能力も増大したので、半地下式の地震計室を作ることにして、JARE-11 (1970) で東オングル島中央部、昭和基地の南側にある蜂の巣山の北斜面に建設した (神沼・千葉, 1973)。斜面を削り、建物を建てた後、埋め戻した。前室、長周期地震計室、短周期地震計室からなり、軽量鉄骨で造られ、27 m² の面積を有している。地震計は短周期・長周期各 3 成分であり、JARE-20 まではほぼ同じ状況が続いた。

JARE-13 では無線テレメーターで地震波信号を送る実験をしたり、JARE-14 では東オングル島内に高感度地震計上下動 3 台を設置し、三点方式の観測を行い、付近で起こる氷床や微小地震の震源決定を試みたりした。ただし、記録方式がペン書き速度 4 mm/s の紙送りであり、震源決定はできなかったが、はっきりと P 波、S 波が識別され、局地地震と認められる地震を観測した。長周期地震計の記録方式が光学式だと波形が読みにくいので、ペンレコーダー方式にした。

1973 年に国立極地研究所が発足し、1974 年からは地震の専門家も入所し、観測のバックアップ体制も改善された。JARE-14 や JARE-17 ではみずほ基地でも地震観測を行い、氷震の発生についての研究がなされた (KAMINUMA and TAKAHASHI, 1975; 神沼・西尾, 1978; 神沼・羽田, 1979)。

1.1.4. JARE-21 ~ JARE-29 (自動化)

技術革新が進む中、越冬中長期間に渡り保守作業を行うための、昭和基地への地震専門家の派遣が極めて困難になりつつあったので、地震読みとり作業の軽減をも意図した地震自動観測システムの開発をし JARE-21 で導入した (渋谷, 1986)。

センサーとしては短周期地震計は HES、長周期地震計は保守のしやすい PELS (振り子の固

有期 12 秒) とした。記録方式は磁気テープと長時間ペンレコーダーとの併用であった。マイクロプロセッサを用いた自動検震システムは遠震がほとんどの南極では、十分には機能しなかった。

JARE-22 から地震自動観測システムを 2 台並列で昭和基地に設置し、故障などによるバックアップ体制が充実した。極地研内では事業部観測協力室に設けられた定常観測係が、昭和基地との情報交換、地震の読みとり、所内での記録の管理を行うようになっていたが、その間に器械の老朽化による観測維持の質の低下などをきたした。

JARE-28 で初めて、東オングル島、とっつき岬、ラングホブデの三点によるテレメーター観測が実現した。とっつき岬、ラングホブデは太陽電池を電源として、現場で記録し、現場へ行ってテープ交換を行う方式であった。この三点観測は JARE-30 まで続いたが、この観測により昭和基地近辺の地震活動がかなり明らかとなった (AKAMATSU *et al.*, 1989)。

またミニコン (マイクロプロセッサ) 自動観測システムによる短周期・長周期各 3 成分の記録方式も、最終的には JARE-33 において終了した。長時間レコーダーによるアナログ記録は、その後も継続している。

1.1.5. JARE-30 ~ (デジタル収録の時代)

JARE-30 により広帯域地震計 (STS-1; STRECKEISEN and MESSEGERAETE, 1987) のアナログ記録による連続観測が開始され (村上・神沼, 1991), JARE-31 により BRB 出力 3 成分のデジタル収録が開始した (NAGASAKA *et al.*, 1992)。その後、毎年わずかずつではあるが、観測システムの更新が繰り返され (金尾・神沼, 1993; KANAO and KAMINUMA, 1994b), 現在まで順調にデジタル波形データが蓄積されている。

昭和基地は、日本を中心に 1980 年代より推進されているグローバル地震観測網 (POSEIDON 計画; 現在は PACIFIC21 計画に更新; TSUBOI, 1995) の一観測拠点としての役割を担っている。昭和基地で取得される広帯域地震データの解析からは、グローバルな視点から南半球を中心とした地球内部構造や、南極プレート周辺の地震の震源過程についての新たな知見が得られている (例えば, KUBO *et al.*, 1995; KANAO, 1997; KANAO *et al.*, 1997; 久保・金尾, 1997; TANAKA *et al.*, 1997)。なお、1995 年までの広帯域地震データによる研究成果は、金尾・久保 (1996) により研究小集会報告としてまとめられている。

また JARE-37 以降には、リュツォ・ホルム湾の沿岸露岩域に可搬型の広帯域地震計を、同時期に最大 3 箇所設置し、当該地域の地殻構造を面的に探る試みが開始され、1999 年 1 月 (JARE-40) 現在も継続観測されている (NEGISHI and KANAO, 1998)。さらに昭和基地のデータを含めて、約 15 km 間隔となる大規模スパンの観測網として、アレイ的に解析することで、地球中心核および下部マントル境界での不均質構造や異方性を探ることが期待される。

なお、国内外の共同研究利用者に対しては、昭和基地で得られるデータを基地のローカル・エリア・ネットワーク (LAN) およびインマルサット衛星回線を用いて、迅速に伝送・公

開することも順次行われている (金尾ら, 1996; KAMINUMA *et al.*, 1997).

下記に, JARE-30 以降の観測システム更新に関する事項を簡単に示す.

[JARE-30 以降のデジタル・システム更新の経過]

1989 (JARE-30)	STS-1V, -1H 3 成分設置 BRB 3 成分モニター開始	[越冬 村上寛史]
1990 (JARE-31)	BRB 3 成分デジタル収録開始	[越冬 長坂健一]
1991 (JARE-32)	POS 3 成分アナログモニター開始	[越冬 山本正人]
1992 (JARE-33)	LP 3 成分デジタル収録開始	[越冬 金尾政紀]
1993 (JARE-34)	BRB 収録ソフト変更(10 Hz→20 Hz)	[越冬 岡野憲太]
1994 (JARE-35)	地学棟 WS より UUCP 伝送開始	[越冬 名和一成]
1995 (JARE-36)	QED 情報伝送開始	[越冬 田中俊行]
1996 (JARE-37)	新地震計室建設, 沿岸観測開始	[越冬 根岸弘明]
1997 (JARE-38)	観測システム更新と基地 LAN 整備	[越冬 金尾政紀]
1998 (JARE-39)	システム整備, 旧地震計室閉鎖	[越冬 東野陽子]
1999 (JARE-40)	システム整備	[越冬 中西 崇]

JARE-38 では, これまで定常観測として行われてきた上記の地震観測システムの, ハード及びソフト両面共, 大幅な更新を行った. 以下には, JARE-38 における越冬経過を中心に, 新観測システムの概要を記載すると共に, 新収録装置で得られたデータの利用方法についても述べる.

2. 新システムの導入

建造以来 25 年以上経過して, 施設の老朽化が以前より指摘されていた (金尾・神沼, 1993; 1994a) 旧地震感震器室内の観測機材をすべて撤収し, JARE-37 で建設した新地震計室へ短周期及び広帯域地震計を移設した. さらに, 新しくワークステーションによる収録システムを地学棟に導入して, 越冬中の平行観測を経てパソコンによる旧システムから切り替えた. 新地震計室から地学棟までは, 専用ケーブル 5 本を基地主要部を通る電源ラック上を利用して敷設した.

新システムの立ち上げ時や, 越冬最終時の旧地震感震器室の撤収作業にあたっては, 夏期間を中心に JARE-37 及び JARE-39 の地学関係隊員を中心に, 観測隊員ならびに「しらせ」乗員の協力のもとで行われた. また, 越冬期間中における地震計等の移設作業には, JARE-38 越冬隊員の助力を得て行った.

2.1. 新地震計室建設と機材移設

2.1.1. 新地震計室の概要

新地震計室は, 東オングル島・蜂の巣山北側のふもとの旧地震感震器室から約 200 m 北側, 多目的大型アンテナの南側でかつ JARE-32 で建設された重力計室の北西隣に位置する (図 1, 図 2; 69°00'24"S, 39°35'06"E, 20 m above sea level). 短周期室, 長周期室, 収録室, および前室

の4部屋で構成され、床面積が計42 m²の平屋建てである(図3, 図4). 外壁は表面がチタン貼りの断熱パネルを用い、従来の基地建物よりも頑強な素材を使用している. 広帯域地震計(STS-1)と短周期地震計(HES)は、長周期室の簡易型冷凍庫内(床面積 5 m²)のコンクリート基台に設置されており、センサー部は外壁と冷凍庫パネルにより2重に覆われている(国立極地研究所, 1998). これは、広帯域地震計のマス・ポジション(ゼロ点)が、温度変化に特に敏感であるため(山田ら, 1989; 金尾・神沼, 1994a), 温度の年変化を極力軽減するためである. さらに広帯域地震計、特に水平動成分は、気圧の変動の影響をわずかに受けるため、2重に覆うことでこの影響も合わせて軽減される.

新地震計室の設計における基本的思想は、以下の通りである.

1) 地震計室全般

- ・前室、収録室及びセンサー室を配置すること.
- ・地震計室は高床式でなく、平坦な岩盤上に直接基礎を打つこと.
- ・建物の高さは、風による振動の影響を考慮して、地上より2500 mm程度とする.
- ・気温、気圧の擾乱を避けるため、各部屋を天井までの仕切り壁により完全に区切る.
- ・風の主方向を考慮し、建物北東側に出入口を、北西側に大型物資搬入口を、それぞれ

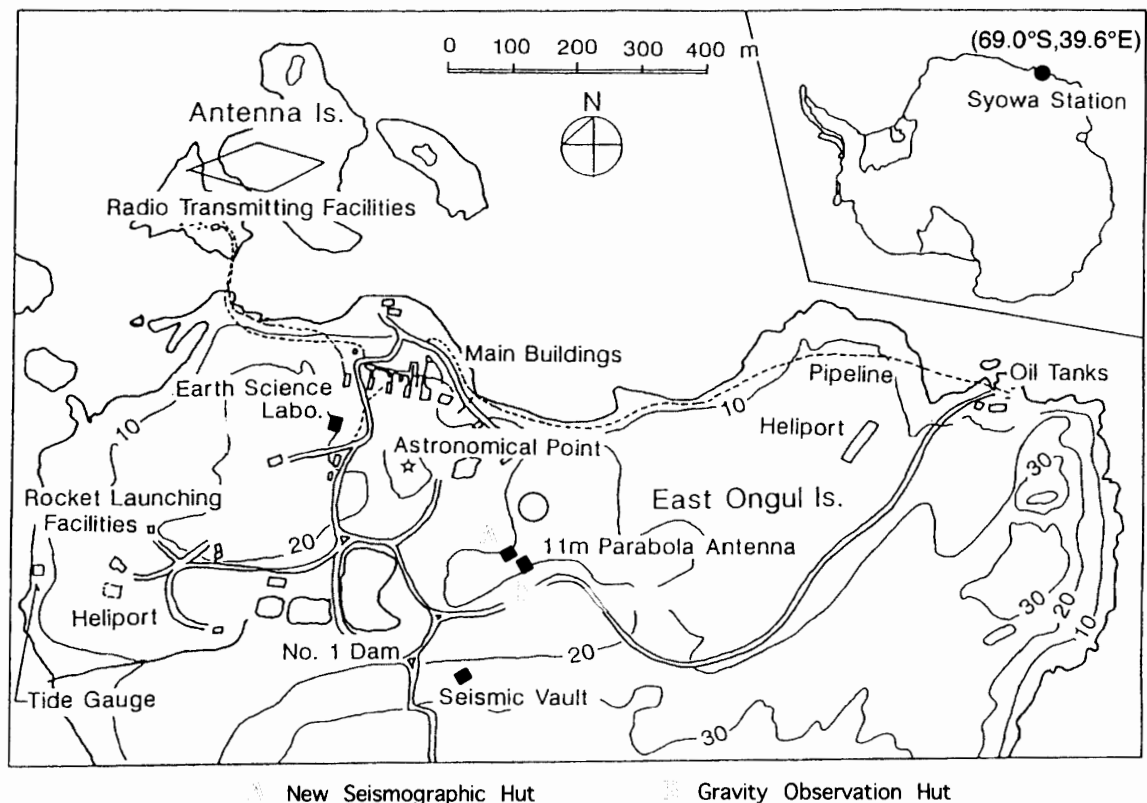


図1 昭和基地の地震観測関係の諸施設

Fig. 1. Map showing the location of construction for seismologic and geophysical observations at Syowa Station.

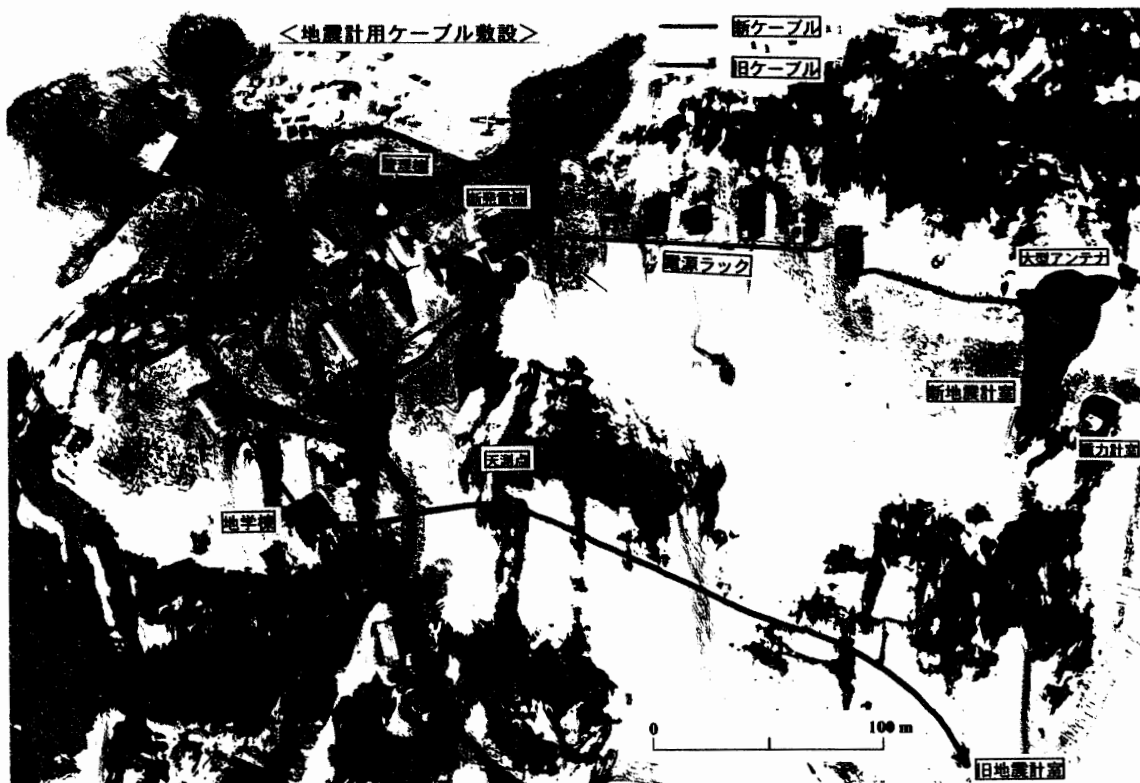


図2 昭和基地内のケーブル敷設位置

Fig. 2. Locations of seismic analog cables between the new seismographic hut and the Earth Science Laboratory. The cables were mounted on the electric cable racks, which connect the main buildings of Syowa Station.

設ける。

2) 前室

- ・各種設置備品、消耗品を収納するスペースを有する。
- ・暖房設備は特に必要としない。
- ・越冬期間中の保守の際には、主に前室にある北東側出入口を使用する。

3) 収録室

- ・パソコン、紙記録等のデータ収録装置の一部を配置できるスペースを有する。
- ・AC電源確保のため分電盤を設置し、壁コンセントを複数配置する。
- ・保守隊員と収録装置の安全のため、暖房空調設備を整える。
- ・各種信号ケーブルを配置するスペースを設ける。
- ・大型物資搬入口は、夏期間の必要時に限り使用する。

4) センサー室

- ・各種地震計本体(センサー部)を設置するための十分なスペースを有する。
- ・地震計用基台は、長周期、短周期、及び予備用の3つを用意する。

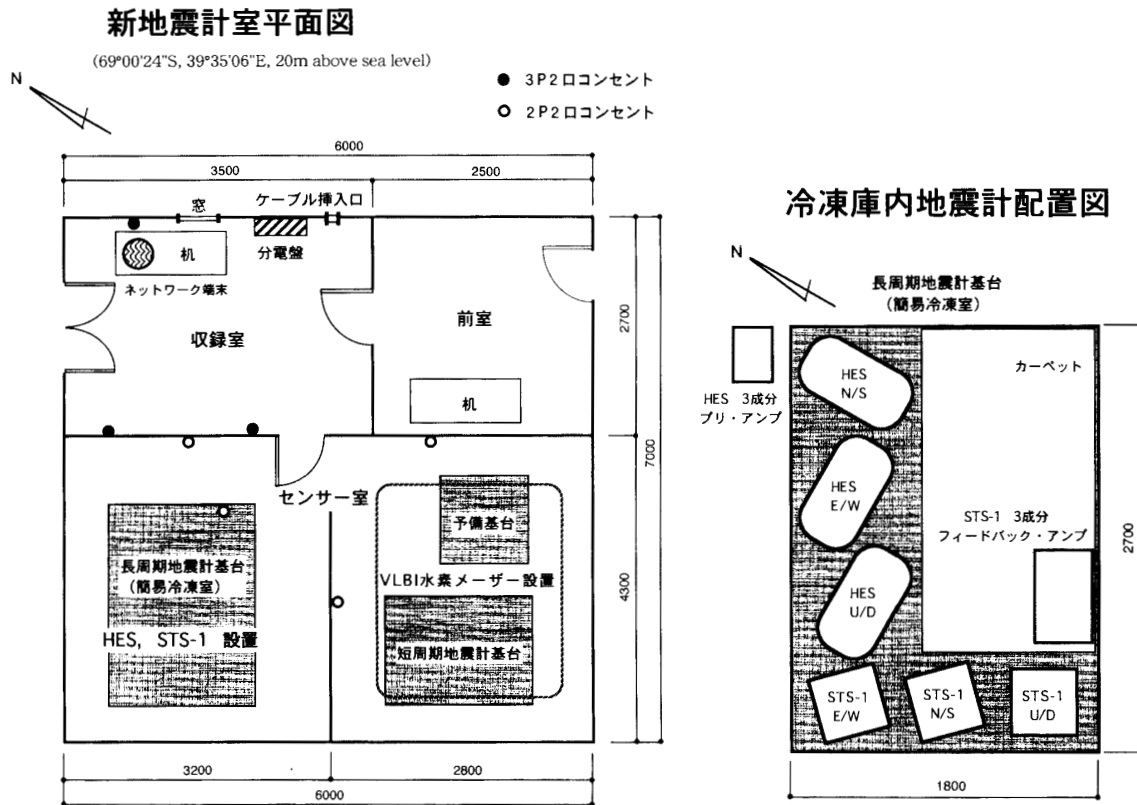


図3 新地震計室平面図(左)と冷凍庫内地震計配置図(右)

Fig. 3. Plain view of the new seismographic hut (left) and the location of seismometers (HES, STS-1) in the seismographic hut covered doubly by adiabatic walls (right).

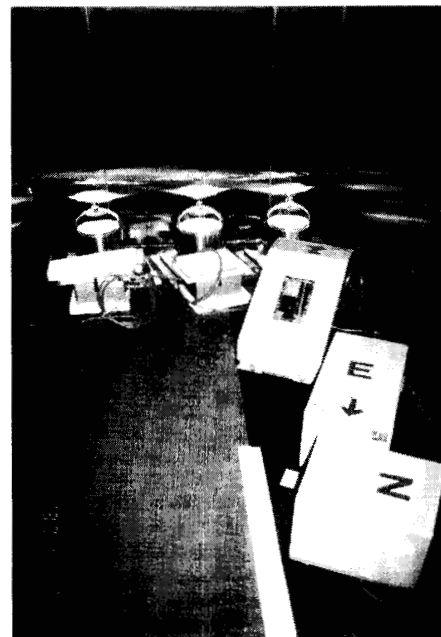
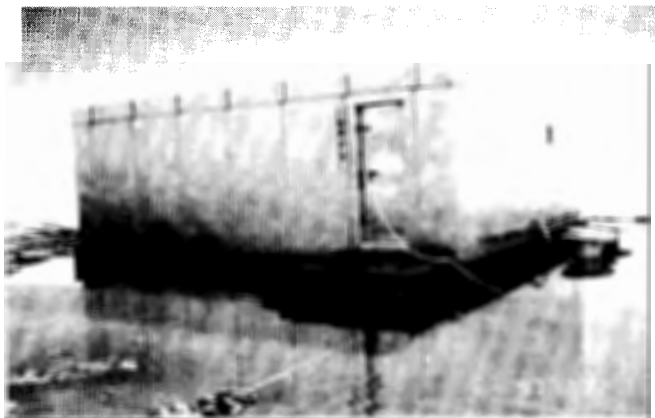


図4 新地震計室の概観(左)と冷凍庫内地震計設置状況(右)

Fig. 4. Outside view of the new seismographic hut (left) and the installation condition of seismometers (right).

- ・地震計用基台は、基盤岩に固定し水平に埋め込み、建物(床)から完全に切り離す。
- ・各種信号ケーブルを配置するスペースを設け、壁にはコンセントを複数配置する。
- ・温度、気圧変動の影響を抑えるため、センサー室内に簡易型冷凍庫に使用する建物を入れ、2重構造とする。

2.1.2. 建設作業と電気配線・内装工事

新地震計室の建設作業は、JARE-37 夏期間に主に行われた。場所の選定は、基本的に「地震計基台を岩盤上に設置し、建物の振動が直接伝わらないように周囲の床と完全に隔離する」、「地震計室敷地内の地上高低差が 30 cm 以内である」という条件のもとに、予定地周辺を調査し、最終的に重力計室の約 40 m 北西側に決定した(図 1)。この場所は、多目的大型アンテナレドームと重力計室とを頂点とする正三角形のもう 1 つの頂点にあたり、重力計室での超伝導重力計観測や GPS 連続観測等の保守とを一度にまとめて行うことができる利点がある。

地震計基台と岩盤との関係は、重力計室の北西-西側に広く露出している岩盤の、北東端に近い部分に長周期・短周期用の基台が接続されている状態である。建物の北東側(前室と収録室のある部分)の基礎は、岩盤まで掘り下げずに「捨てコンクリート」を打っており、収録室をはじめとする各部屋の振動が、地震計基台に直接伝わりにくくなるよう配慮した。

工事内容としては、岩盤の掘削・平坦化および基礎型枠組みの後に、前室・収録室部分の埋め戻し、基礎鉄筋取り付け、基礎コンクリート打ち、床部スタイロフォーム敷き詰め、床鉄筋取り付け、土間コンクリート打ち、外壁パネル組み、屋根パネル取り付け、ドア取り付けを行い、約 2 週間で組み立て・外装を完成した。JARE-37 越冬中には床塗りの一部を行い、その後短周期地震計(L22-D; 固有周期 2 Hz)による試験観測を行った。

電源は重力計室から 100 V 30 A を分岐して、収録計室に設置した簡易分電盤より各部屋に分岐させた。また簡易分電盤から各部屋へのモール配線も、JARE-37 越冬中に一部実施した。

JARE-38 夏期間には、新規持ち込みの専用配電盤の設置、各部屋へのモール配線の完成、若干の配線変更(照明・コンセントの区別)を行った。専用配電盤には、2 P 20 A 用のブレーカーが計 5 個(収録室、長周期室、短周期室、前室、および照明用)についており、総容量で 45 A 相当(3 P 30 A)まで可能である。

内装関係は、JARE-38 夏期間中に内壁ねじカバー部のコーキング剤による充填作業、地震計基台の塗装仕上げ、全室の清掃等を行った。これにより新規持ち込みの地震計の設置や旧地震感震器室からの移設ができる状態になった。

また、LAN ケーブルについても、すでに重力計室まで延びているイエローケーブルに末端処理をしてさらに延長し、新地震計室内まで繋げた。収録室にネットワークパソコン端末を設置し、地学棟その他の基地内サーバー・端末へアクセスができるようにした。

2.1.3. 機材移設と越冬観測経過

地震計の移設・新設作業を中心に、JARE-38 越冬中の新地震計室に関連する観測経過を以

下に記載する。

1997年3月下旬に、HES3成分を旧地震感震器室から新地震計室に移設した。また、同3月末に新規持ち込みのSTS-1・3成分を新地震計室に設置し、その後微調整を行い4月4日より20秒モードで連続観測を開始した。2式とも長周期室にある広帯域地震計用冷凍庫内に据え付けた。HESは当初、短周期室に設置する予定であったが、温度管理の容易さと、将来VLBI用水素メーザーを短周期室に設置する方針に変更されたため、STS-1とともに冷凍庫内に置いた。また、旧地震感震器室に比べて温度変化の影響が少ないと考えられるため、STS-1には、旧地震感震器室で行っていたような断熱材による保温箱は使用していない。

地学棟のハイブリッドレコーダー(RD2212)に記録している温度センサーを、4月上旬に旧地震感震器室の旧STS-1上下動成分用の保温箱内から、新地震計室内長周期室の冷凍庫内地震計基台上へ移して、測定場所の変更をした。また見回り時の確認のために、各部屋に水銀温度計を設置した。さらに5月上旬より新STS-1用フィードバックアンプにラバーヒーターを巻いて保温に努めた。越冬前半から極夜期にかけては、この状態で観測を継続した。

越冬後半の10月中旬以降、HESの上下動成分にパルス状ノイズが発生し始めたため、10月末にセンサーのおもり位置の調整を実施した。しかしその後も少数ではあるがノイズが発生したので、1998年1月中旬にJARE-39隊員と引き継ぎを兼ねて再調整を行った。10月以降の急激な外気の温度上昇が原因と思われる。同様にSTS-1についても温度変化に伴うマス・ポジションのドリフトが生じたが、地学棟からの遠隔操作のみで調整した。

12月12日には、重力計室から分岐していた旧地震感震器室用電源ケーブルの取り外し作業を実施したため、その際新地震計室に約5分間の作業停電が発生した。また、同日に前室入り口に新地震計室用看板の取り付けを実施した。

JARE-39到着後の12月末には、VLBI観測用水素メーザーの短周期室への搬入準備のため、ライナー敷きとコンパネ類での室内外床の段差解消作業を実施した。1998年1月5日に短周期室へ水素メーザーを搬入して据えつけ作業を実施、その後電源を投入した。1月中旬にJARE-39への引き継ぎを兼ねて、STS-1・3成分センサー部の調整、ならびにSTS-1用ガラスベルシャー内の真空引きを行った。また、旧地震感震器室から撤去した旧STS-1用のフィードバックアンプ用保温箱を、冷凍庫内の新STS-1として流用した。さらに1月末から2月にかけて、STS-1用ガラスベルシャー内の真空確認を行い、漏れのある成分については再度真空引きを行った。JARE-39の4月以降、20秒モードから360秒モードへの切り替えを行い、1999年1月現在(JARE-40)まで連続観測を継続している。

2.1.4. 室内温度の年変化

長周期室冷凍庫内の地震計基台上の温度は、アナログ出力をもつセンサーにより地学棟で連続記録をしたが、新地震計室内の各部屋の温度は、見回り時にのみ水銀温度計により確認を行った。地震計を設置した1997年3月以降、1998年10月まで(一部JARE-39による)の各

部屋の温度変化を図5に示す。前室から順次、収録室、長周期室・短周期室、長周期室内冷凍庫へと、北東側の入り口から奥へ行くに従って、外気温の遮蔽効果が現われていることがわかる。JARE-38観測中の極寒期には、前室と冷凍庫内では約6、7°Cの開きがあった。

旧地震感震器室におけるJARE-37までの室温の年変化は、STS-1を設置していた長周期室で約20°Cであった(金尾・神沼, 1994a)が、新地震計室の場合、長周期室冷凍庫内の年変化はそれよりもやや少ないといえる。これは、旧地震感震器室が半地下であるのに対し、新地震計室が地上建設型であるため、部屋全体の温度の遮へい効果は少ないが、2重壁にしているための遮蔽効果の方が大きいと考えられる。

さらにJARE-39到着後の1998年1月初旬以後は、短周期室に据え付けられたVLBI用水素メーザーからの発熱により、各室温が急激に上昇した。HES, STS-1各3成分を設置している長周期室内冷凍庫は、常時扉を閉めているため外気と遮蔽され断熱効果が働き温度が低下し、最終的に8-9°Cで安定した。しかし、JARE-39の越冬開始以後も、水素メーザーを設置している短周期室の温度を常時20°C前後に保つ必要があるため、冷凍庫内温度も年変化が約16°CとJARE-38越冬中よりもさらに少ない。このことは、温度変化にかなり敏感である広帯域地震計のマス・ポジションの変動が、これまでよりも少なくなり、地震計の保守にとってはかえって好都合といえる。今後もさらに温度変化をモニターする必要があるが、長周期室内冷凍庫と水素メーザー室の間を直接に常時開放すれば、センサー設置場所周辺の温度変化はさらに少なくなると予想される。

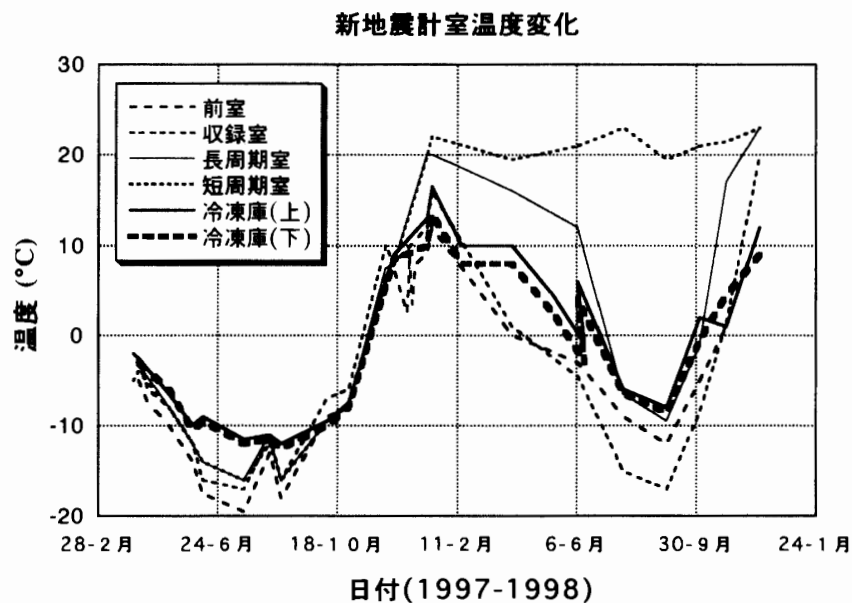


図5 地震計室内の各部屋の温度変化(1997年2月-1998年11月)

Fig. 5. Temperature change from February 1997 to November 1998 in the individual rooms of the seismographic hut.

2.1.5. 地動ノイズのスペクトル

新地震計室で得られるデータの特性を調べるため、平穏時における地動ノイズの振幅スペクトルを、旧地震感震器室に設置していた時期と比較した(図6)。オングル島における地動ノイズは、リュツォ・ホルム湾及び周辺域の波浪・海氷起源の振動が大きく影響していると考えられる。越冬中の厳冬期の場合、通常の気候ではオングル諸島周辺は定着氷によりすべて囲まれているため、季節による違い(6月と9月)よりも、むしろブリザード等天候・海氷

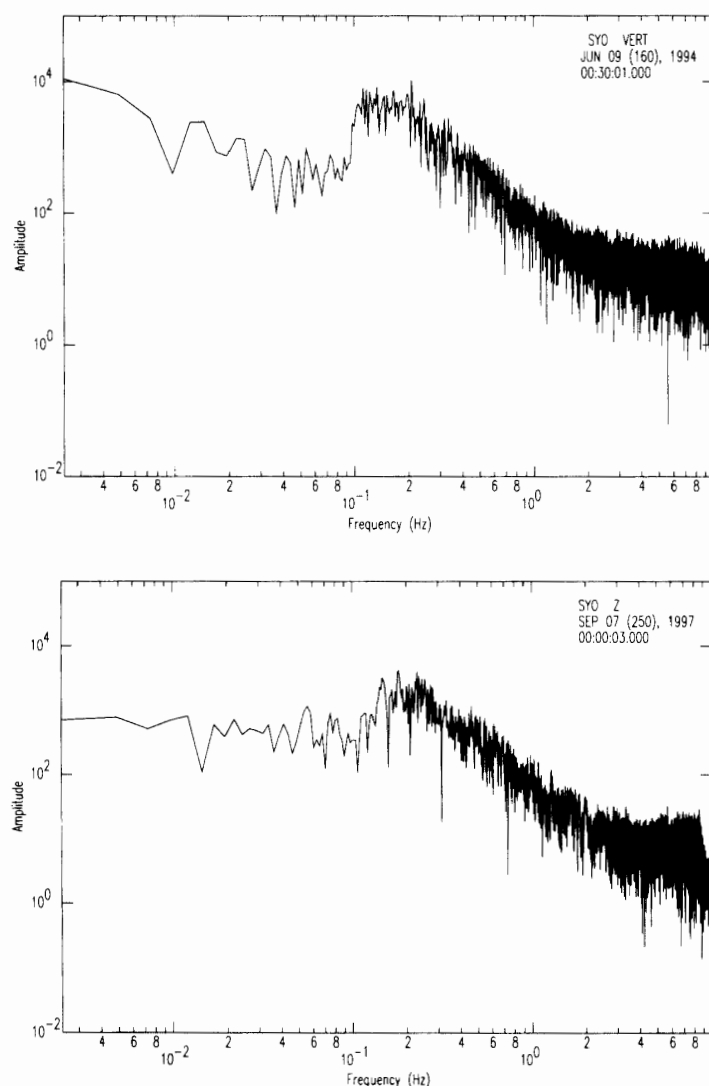


図6 STS-1 移設前後における平穏時ノイズ・スペクトルの比較(上;旧地震感震器室1994年6月9日,下;新地震計室1997年9月7日)

Fig. 6. Comparison of noise revealed by amplitude spectra for the vertical component of STS-1 (STS-VBB; 20 Hz continuous sampling; LHZ) in the old seismic vault in June 9, 1994 (upper) and in the new seismographic hut in September 7, 1997 (lower).

の状態が大きく影響する。スペクトル・データは、両者ともに STS-1・上下動成分の 20 Hz 連続サンプリング収録したものである。

新地震計室は、旧地震感震器室のように半地下構造ではないため、地動ノイズとしては特に高周波数帯で建物の振動を拾いやすいのではないかと予想された。しかし、実際は 5-7 Hz 帯でノイズレベルが高いものの、旧地震感震器室に設置した場合とほぼ同程度の地動ノイズ・スペクトルを示すことが分かった。1 Hz よりも低周波数側では、振幅スペクトルの顕著な違いは認められない。また、後述 (2.4.2) するアナログ記録においても、同様なことが示されている。

2.1.6. 旧地震感震器室

JARE-38 夏期間の終わりの 2 月中旬まで、これまでの隊と同様に壁からの浸水が凍結した氷の除去作業を行った。しかし、3 月以降越冬終了までは浸水もなく安定していた。夏期間中の 2 月 13 日に HES の水平動 NS 成分の信号ケーブルが、地学棟下の清掃時に誤って切断される事故が起こったが、すぐに結線し復旧した。また 2 月より続いていた同成分の低感度現象は、センサー内のおもり吊し用バネを調整することで解消し、新地震計室までの移設まで観測を継続した。4 月初めの新 STS-1 設置に伴い、旧地震感震器室の長周期地震計 (PELS; 固有周期 12-15 秒) 3 成分の収録を中止した。これは STS-1 により PELS の記録周波数帯をすべてカバーすることができるためである。そのため旧地震感震器室では、残った旧 STS-1・3 成分のみを越冬後半まで据え置き、アナログモニターをすることにした。

その後 11 月末に、旧 STS-1・3 成分の観測を終了し、12 月上旬にはケーブル配線等の撤収作業をほぼ終了した。観測機材は、旧 STS-1・3 成分のセンサー部を除いてすべて新地震計室に撤去した。最終的には JARE-39 夏期間中の 1 月中旬に、残ったセンサー部も新地震計室に移動・保管した。JARE-39 の越冬開始以後は、旧地震感震器室への入室・作業は一切行わないことになる。

2.2. ケーブル敷設

JARE-38 夏作業中に、新地震計室と地学棟間に 600 m 長のアナログケーブル 5 本を新たに敷設した。これまでの地震計の信号ケーブルは、旧地震感震器室から天測点の南側を経て地学棟まで接続されていた (図 2) が、ほとんどの部分を地上に這わせており、近年越冬後半の除雪の際に重機により誤って切断されることが多かった。従って切断事故を防ぐため、新ケーブルはすべて、基地内の各棟を結ぶ電源ラック上を利用した。

ケーブル敷設作業は、多数の観測隊員と「しらせ」乗員の協力を得て、JARE-38 夏期間に集中的に行われた。5 本の内訳は、STS-1 用専用ケーブル (オレンジ色) 4 本 (3 成分と予備 1 本)、および HES 用 24 芯アナログケーブル (黒色) 1 本である。HES 用 24 芯アナログケーブルについては、300 m 長のケーブル 2 本を新発電棟～環境科学棟の間で接続している。新発電棟

内への引込みについては、新たに壁面に穴を開けて通し、2階通路の室内ラックに敷設した。新地震計室、および地学棟内へのケーブル引込み長はそれぞれ10 m程度におさえ、それ以外の余長部分はすべて基地内LANケーブルと同様に地学棟下のラック上に8の字型に納めた。さらに、重力計室まで延びているLANケーブルを新地震計室内まで導入し、ネットワ

地震自動観測装置構成図

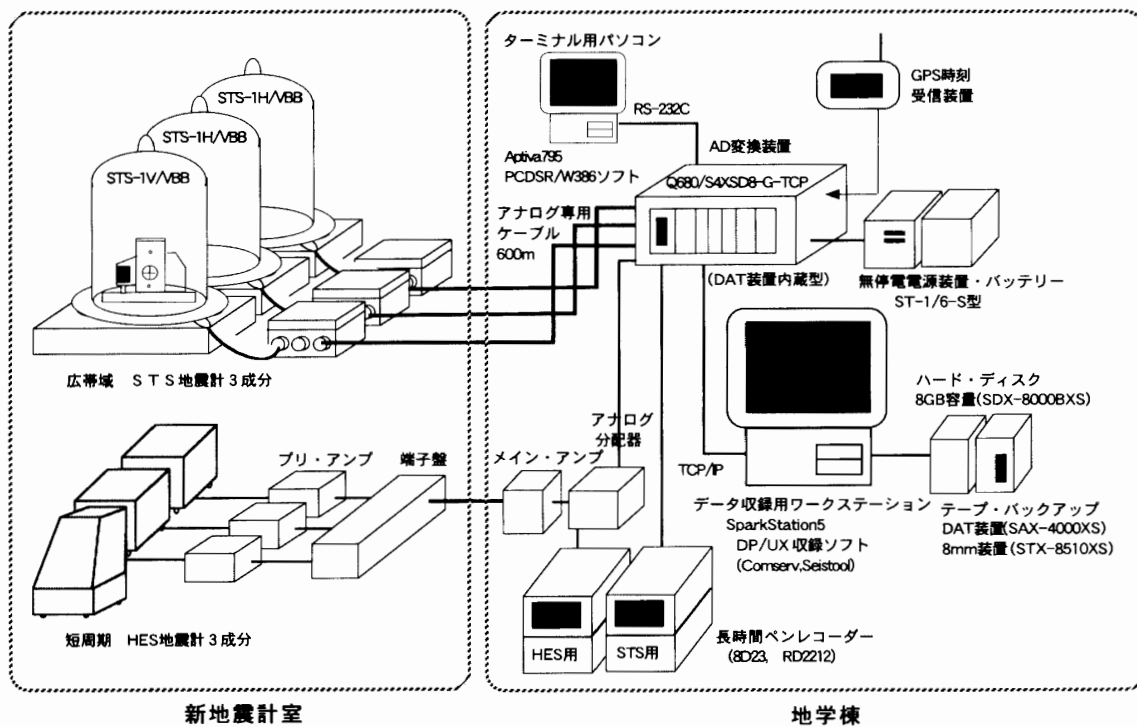


図7 新地震収録システムの構成

Fig. 7. Block diagram of the new seismic observation system at Syowa Station.
Left; in the seismographic room, right; in the Earth Science Laboratory.

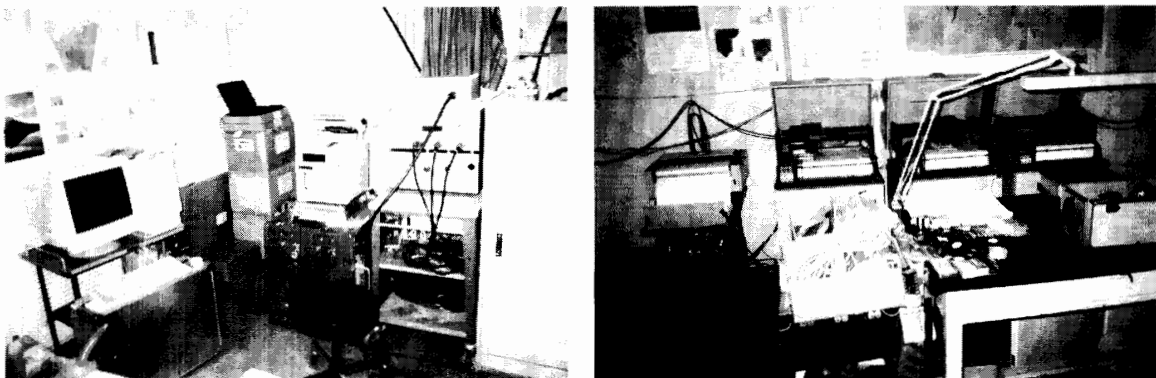


図8 地学棟内のデジタル収録システム(左)とアナログモニター(右)

Fig. 8. New digital acquisition system (left) and the analogue pen-recorders (right) in the Earth Science Laboratory.

ーク端末用パソコンを設置した。

2.3. 地学棟の新収録システム

これまでのパソコンによる収録システム (金尾・神沼, 1993) からの大きな変更点は、広帯域地震計 (STS-1) 3 成分とともに、短周期地震計 (HES) 3 成分も合わせて計 6 成分を A/D 変換し、基地 LAN を利用して TCP/IP プロトコルによりワークステーションで収録することである (図 7)。

地学棟内の地震観測室に収録用 A/D 変換器と、それに付随する電源部、端子板、および A/D 変換器の内部モニター用パソコンを設置した。また、地震観測室の加湿器の更新と共に新たに静電気防止装置も据え付けている。さらに停電対策として、すべての連続収録装置を新規持ち込みの無停電電源装置に接続した (図 8)。

2.3.1. ワークステーションによるデータ収録

A/D 変換器 (Quanterra 社, Q680; IP 172.16.85.20) は、その内部に UNIX に似たオペレーション・システム (OS-9) を搭載した LAN 対応の機種であり、TCP/IP プロトコルにより地学棟内の別部屋に設置したワークステーション (Solaris Spark 5, geoturbo; IP 172.16.85.21) に接続され、AD 変換された地震データがネットワーク経由で常時転送される (Quanterra Inc., 1993)。日本国内では、同様なシステムが防災科学技術研究所の FREESIA プロジェクトにおいて、すでに用いられている (福山ら, 1996)。

収録データは、ワークステーション上で動くプログラム (DP/UX aquisition software; Comserv program) により 4GBytes 容量のハードディスクに記録されると共に、波形データを含む全てのログデータが、A/D 変換器内蔵の DAT テープ (2 GBytes) に書き込まれる。収録用パラメーターの設定は、Q680 内の “aqcfg” というフラグファイルで行うが、データ収録様式に変更がなければ、基本的には収録用フラグの更新は必要ない。

Comserv プログラムは、簡単なスクリプト・コマンド (“Run”, “Stop”) によりそれぞれ開始、終了することができる。また、ワークステーションへの収録状態を以下のようなコマンド (“netmon”) により随時確認することができる。geoturbo 内の 2 つのプロセス (comlink server と datalog client) が良好であれば、転送されるデータパケット数の増加を確認することで、Q680 より geoturbo へ正常にデータが送られていることが分かる。

以下には収録状態の良い例を示す。

```
geoturbo{quant}-> netmon -v
station=SYO config_state=A target_state=A present_state=R
server=comlink pid=28042 status=Good
config_dir=/home01/quant/config/stations/SYO
program=/home01/quant/config/bin/comserv
seg=8013 monitored_clients=1
Ultra=1, Link Recv=1, Ultra Recv=1, Suspended=0, Data Format=QSL
```



```

Total Packets=818808, Sync Packets=23946, Sequence Errors=0
Checksum Errors=0, IO Errors=0, Last IO Error=0 (Error 0)
Blocked Packets=2, Seed Format=V2.3B, Seconds in Operation=1660985
Last Good Packet Received at=20:31:17.121028 Thu May 22 1997
Station Description=National Polar Res Inst Q680/Remote
client=DLOG pid=7991 status=Good
pidfile=/home01/quant/config/pids/SYO.dlog
program=/home01/quant/config/bin/datalog

```

収録データのフォーマットは、グローバル地震学で汎用に使われている Mini_SEED 形式 (Standard for Exchange of Earthquake Data : SEED; The IRIS Consortium, 1994) であり、アスキー形式に変換したり (decode)、あるいは波形の必要な部分を切り出すソフト (qmerge) も用意されている。また、地震波形の表示・編集ソフト (Seistool) を用いて、SAC (Seismic Analysis Code) 形式に変換することもできる。従って、これまでよりもさらに迅速に共同利用者への解析希望に供することが可能である。

データの種類の、STS-1・3 成分以外に、新たに HES3 成分も同時に収録しているため、トリガー条件やサンプリング周期の異なる以下の計 9 種類を持つ。データ量は約 20 MBytes/日になるが、これらはワークステーションのハードディスク (geoturbo: /data/comserv/SYO の下) に約半年の連続記録が可能である。越冬期間中は、約 5 カ月に 1 回の割合で、DAT テープ (2 GBytes) に定期的に保存している。

[*.D/; データファイル, *.E/; イベントファイル]

AFP.D/ DC 供給電圧	LLE.D/
AFPE/	LLN.D/ HES-LLP 1Hz トリガー
	LLZ.D/
BHE.D/	LLZ.E/
BHN.D/ STS-VBB 20Hz 連続	
BHZ.D/	LOG.L/ ログ・データ
BHZ.E/	UCI.D/
BLE.D/	UHE.D/
BLN.D/ HES-LVBB 20Hz トリガー	UHN.D/ STS-ULP 0.01Hz 連続
BLZ.D/	UHZ.D/
BLZ.E/	
	UME.D
HHE.D/	UMN.D/ マス・ポジション
HHN.D/ STS-VSP 80Hz トリガー	UMZ.D
HHZ.D/	
HHZ.E/	UTI.D/ 内部温度 0.01Hz 連続
HLE.D/	VHE.D/
HLN.D/ HES-LG 80Hz トリガー	VHN.D/ STS-VLP 0.1 Hz 連続
HLZ.D/	VHZ.D/
HLZ.E/	VHZ.E/
LHE.D/	
LHN.D/ STS-LP 1Hz 連続	
LHZ.D/	
LHZ.E/	

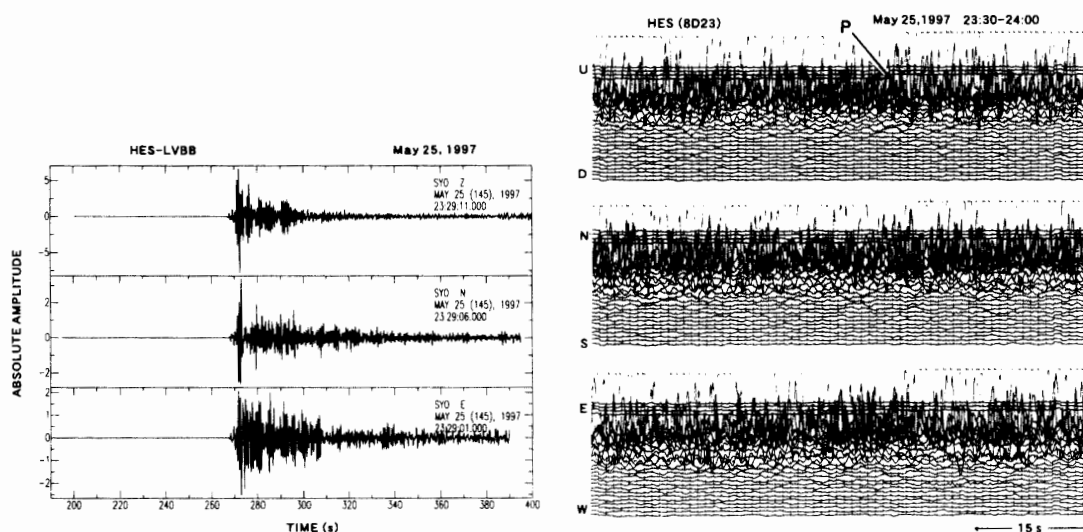


図9 1997年5月25日のSouth of Kermadec Islands地震のHES記録(左; デジタル, 右; アナログ)
 Fig. 9. Left; digital waveforms of the three-component HES (HES-LVBB; 20 Hz sampling trigger; BLZ,N,E) for the South of Kermadec Islands Earthquake ($M_b=6.2$, $\Delta=75.0$) on May 25, 1998. Right; analogue monitored three-component seismogram of HES for the same event.

短周期地震計のデータは、主にトリガー収録方式によるものである。図9には1997年5月25日に発生したSouth of Kermadec Islandsの地震 ($M_b=6.2$, $\Delta=75.0$) のHES-LVBB (20 Hz トリガー; BLZ, N, E3 成分) のデジタル記録と、これと同じ地震の長時間ペンレコーダー (8D23) の感熱紙記録を並べて示した。

また、広帯域地震計のデータは主に連続収録方式によるものである。1998年3月25日に発生した南極プレート内で起きた巨大地震 ($M_s=8.0$, $\Delta=39.4$) を始め、着実に新地震計室でのデータが蓄積されつつある。図10にはワークステーション上の波形表示ソフト (Seistool) を用いた、南極プレート内巨大地震のSTS-1; LP (1 Hz 連続; LHZ, N, E3 成分)を示す。

2.3.2. パソコンによる内部モニター装置

内部モニター用パソコン (IBM, Aptiva) は、シリアルケーブル (RS-232C) により A/D 変換器 (Q680) に接続し、内部モニター用通信プログラム (Kermit) による収録状態の確認や、地震計のマス・ポジションの電氣的補正を、コマンド入力により行うことができる (Quanterra Inc., 1993)。これにより、遠隔地 (地学棟) からの地震計の調整がかなり容易になった。さらに、Q680 内蔵の DAT ドライブの操作も行うことができる (Control Tapes (U) コマンドを選択する)。

Kermit によりモニターソフトを立ち上げると、最初に以下のメインメニュー画面 (acquisition-mode menu) が表示される。この画面以降、各メニューを選択する。いくつかの重要なコマンドについて、具体例を示す。

ワークステーション上の地震波形収録ソフト (Seistool) による

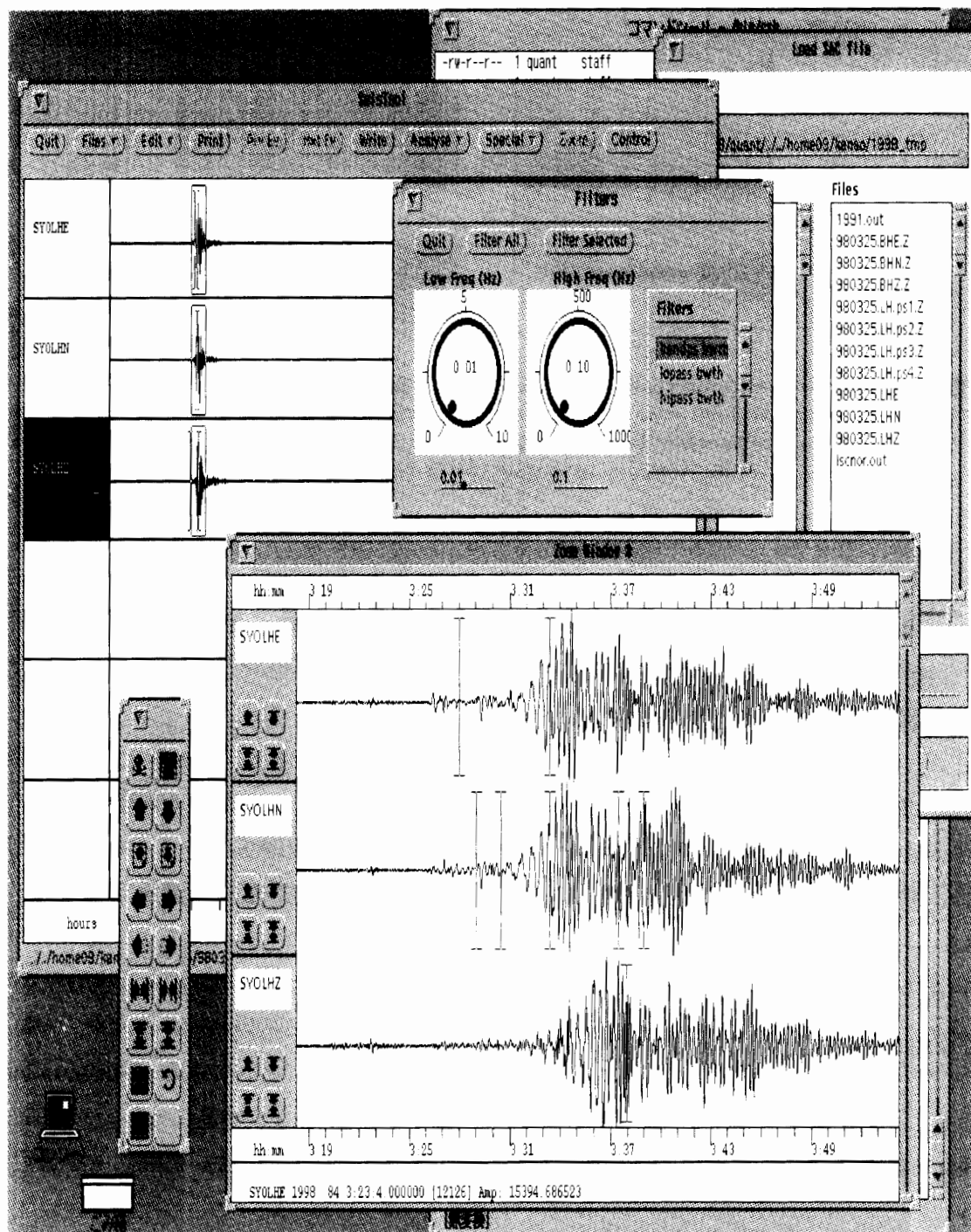
読み取り／波形編集の例 (1998年3月25日南極プレート内の巨大地震($M_w=8.1$))

図 10 Seistool による南極プレート内で起きた巨大地震の波形

Fig. 10. Digital waveforms of the three-component STS-1 (STS-LP; 1 Hz continuous sampling; LHZ,N,E) for the Balleny Islands Region Earthquake ($M_s=8.0$, $\Delta=39.4$) in March 25, 1998 by DP/UX "seistool" viewing and editing software on workstation screen.

acquisition-mode メニュー (最初の画面)

1997/05/22 11:58:19

Quanterra Q680 Very Broad Band Seismic Processor - STATION: SYO

Execute OS Shell (O)	Calibrate (L)
View Continuous Data (V)	Sensor Auto-Zero (Z)
View Event Data (E)	Write Message to Server (W)
Send Dialup Message (M)	Edit Detection Parameters (D)
Control Tapes (U)	Start Status Monitor (H)
Examine Processes (P)	Stop Recording (I)
Control Timebase (F)	Quit (Q)

Select function:

>---< Message Area >-----< Quanterra - SHEAR R-35/06-0528 >---<

FROM AQSAMPLE:

FROM AQSAMPLE:

注) Stop Recording (I) の表示なら収録中. Start Recording (R) なら停止中.

次に、現在の Q680 の内部状態を確認するためには、Start Status Monitor (H) を選択する。

Start Status Monitor (H) 選択 (現在の状態の確認)

Quanterra Q680 Very Broad Band Seismic Processor - STATION: SYO

>---< adc, addr/freq; chan; data >---< /???? at file ???? blk ?????? >---<

```

      2195      1503      7770      8103      -794      -480      2757      2889      577
      676      1709      1817255255181      0181      0131      0160160160 95188193      0
0140129130100188194 0
0 :1      2757 :6      577 :1      1709 :7      2734 :1
      688 :7      1953* :5      2889 :1      11735 :6      11827* :1      676 :5
      2205 :2      2224* :5      1817 :1      7373 :2      7448* :7      2195* :2
      7770* :2      -794 :7      1156 :5      7606 :5      177 :1      1503 :7
      8103 :4      -480 :2      567 :2      522 :2      526 :2      381 :2
      26.24* :5      2992 :4      -2389 :6 -2422.49 :4      1539 :2      6228 /MT0
      1617 -WRITING-
[free: 2997 pri:18 hiQ:      1 xfr:      1659587 err:      0 syn: 0 tim:      5630774]
97/05/22 12:00:18 0.002389 F *Q=5 F=1539 17 ELAPSED * HIT ANY KEY TO EXIT>

```

注) 内部時計の UTC との時間差については、Q=5 なら GPS の Time quality は良い (-1 ~ 5) . DC 電源については、AFP=28 ~ 30 [volt] ならば良い状態. データ列の表示が常時更新されているがを確認する.

さらに、地震計センサーのマス・ポジションのオフセットを調整するためには、Sensor Auto-Zero (Z) を選択する. 下記で選んだチャンネルに定電圧が供給され、オフセット値が補正される.

Sensor Auto-Zero (Z) 選択 (センサー・オフセット調整時のメッセージ)

```
Sensor Auto-Zero (Z)
Are you sure you want to do a mass recentering? y
    Quanterra Q680 Very Broad Band Seismic Processor-STATION: SYO
Calibrator #1=QAPCAL, Channels 1-3
Calibrator #2=QAPCAL, Channels 4-6
Calibrator number [0 to exit]: 1
Duration in ms [100-2000 CR=500]:
Mass Recentered
```

なお、Q680 からシリアルケーブルを用いて、パソコン上でのデータの読み出し (PCSEED プログラム)、波形標示 (PCDSR プログラム) 機能も別途あるが、昭和基地の収録システムでは常時使用していないため、ここではその詳細は述べない (Quanterra Inc., 1993).

2.3.3. 越冬経過

1997 年 2 月中に、JARE-37 隊員の協力を得て地学棟に新規収録装置一式を搬入し、A/D 変換器やワークステーション等の設置を行い、基地内 LAN への接続まで完了した。3 月以降に地学棟内で新収録システムの組立・調整、ならびに試験収録を行い、4 月上旬より本格的な連続収録を開始した。時刻用 GPS アンテナは旧システム分とは別に、新たに地学棟屋上へ取り付け付けた。越冬期間中は旧システムとの平行観測を継続した。

A/D 変換器からワークステーションへのデータ収録は、見回り時に収録プロセスを確認すること以外は、特に保守の手間を要しなかった。停電のないかぎり順調に連続稼働した。10 月 16 日に一度、ワークステーションにトラブルが発生し、データ収録が停止した。同日に発電棟の「中故障」が発生していたが、正確な関連は不明である。なお、6 月、12 月および越冬交代後の 2 月初めに、外付けドライブの DAT テープへ、ハードディスクのデータの保存を行った。

しかしながら、A/D 変換器付属の DAT テープへの変換器内部のログデータ書込みについては、テープへのアクセス時に不調が多く、最終的には 6 月より以降はデータ取得を行わなかった。地震波形等の重要なデータは、ワークステーションへ別に蓄積されていたため、特にすべてのログデータは必要としなかったためでもある。

また、デスクトップ (卓上型) パソコンによる A/D 変換器の内部モニターも当初は順調に動作したが、7 月よりシリアルポートからの接続が不良になった。そのため越冬後半は休止していたが、JARE-39 持ち込みのノート型パソコン (IBM thinkpad) により接続が可能となり、それ以後は必要な時に限りモニター・調整コマンドの入力を行った。おそらくデスクトップパソコンは、画面制御の相性の問題のみと思われる。

12 月中に新システムの JARE-39 用引継書を作成し、夏期間中に適宜項目別に引き継ぎを実施した。また、JARE-39 の新規持ち込み分のケーブル配線接続を共同で行った。具体的には 1 月中旬に、A/D 変換器用の電源 (ST-6) 前面の MONITOR 端子からの BRB, POS, MOT 各ケー

ブルの取り付け作業である。これにより、これまで仮配線であった BRB 出力の 8D23・8K23 ペンレコーダーへの接続、POS 出力の RD2212 レコーダーへの接続が正規に完成した。またこのケーブルを使用することで、これまで使用していたマス・ポジション調整のための外部制御装置 (MON1) を経由する必要がなくなり、A/D 変換器の制御用パソコンから直接コマンド入力 (Sensor Auto-Zero (Z)) により、STS-1 センサーのマスポジションの自動調整が可能となった。そのため、これまで使用していた外部制御装置は、今後地震計室で直接センサーを調整する時、および地学棟における調整の予備として使用することにした。

2.4. 旧収録システムと験震作業

旧収録装置については、パソコンによるデジタル記録は JARE-38 越冬中に終了したものの、アナログ連続記録は依然として現在も継続している。これは主に、現地における緊急時のため常時モニターする必要性と、基地から外国への験震作業に使用しているためである。

2.4.1. 旧パソコン・ミニコン収録

地学棟内の旧デジタル収録装置 (金尾・神沼, 1993) については、以下の通り越冬中にすべて終了した。旧 STS-1・3 成分の LP 信号 3 秒サンプリングの記録は、越冬終了間際の 11 月末まで順調にデータ取得を行った。また、旧 STS-1・3 成分の BRB 信号の 20Hz 収録については、MO ドライブの不調が続いたため 5 月初めに中止した。それぞれストリーマテープと MO に記録したデータ類は持ち帰ったが、収録装置 (パソコン、AD 変換器、等) は地学棟に残置し、新システムの予備とした。

なお、すでに未使用となっていた、旧自動地震観測装置 (ミニコンによるシステム、JARE-21 で持ち込み) は、JARE-37 の段階で地学棟下に分解され移動したが、その一部を JARE-38 で持ち帰った。

2.4.2. アナログモニター

地学棟の長時間アナログペンレコーダー (8D23) は、JARE-38 の当初 3 台を稼働させていた。HES 用は 4 mm/s、STS-1 用、及び PELS 用は 2 mm/s の記録速度で、それぞれ連続モニター記録をした。PELS 用は、4 月初めの新 STS-1 の立ち上げ時以降、同 BRB 信号 3 成分に切り替えた。その後、越冬後半の 10 月初めまでは HES 用、旧 STS-1 用、新 STS-1 用の 3 各 3 成分 1 台ずつ、計 3 台で稼働させ、それ以後は旧 STS-1 撤収に伴い 2 台のみ記録した。1 台は地学棟の予備として使用し、さらにもう 1 台の予備は新地震計室の収録室に据え付けてあり、各種地震計の試験観測時に利用する。

図 11 には、HES の移設前後の比較のため、旧地震感震器室および新地震計室で記録された地震波形の 8D23 記録例をそれぞれ一つずつ示す。また、図 12 には旧 STS-1 と新 STS-1 の、1997 年 5 月 21 日に発生した Vanuatu Islands の地震 ($M_b=5.9$, $\Delta=83.8$) の感熱紙記録を並べて示した。それぞれの地震計において地震記録の質は、移設をしたものの新旧で同程度である。

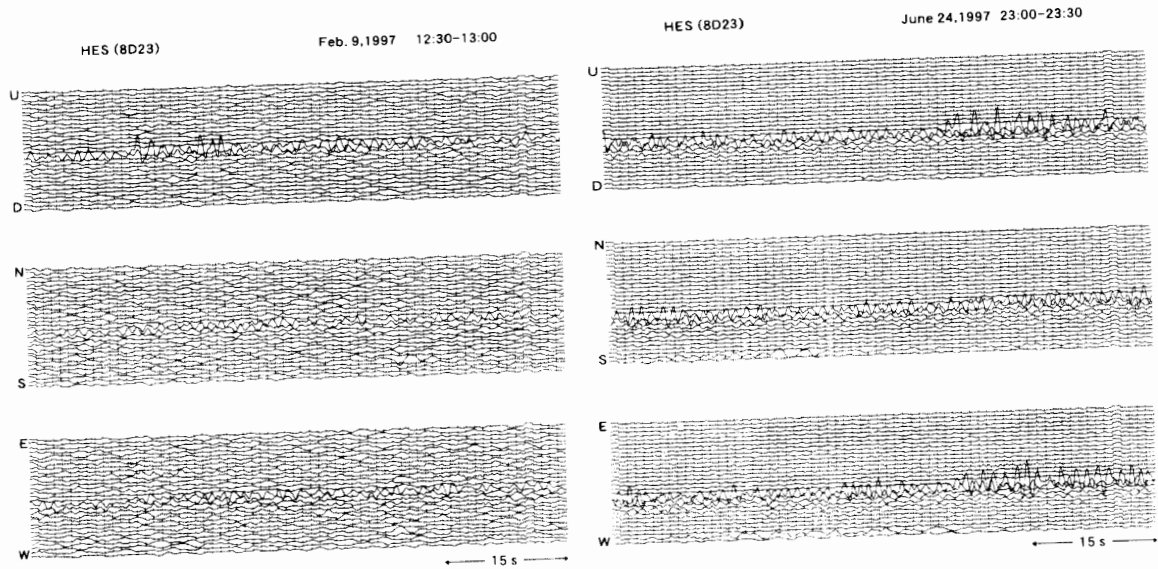


図 11 HES の旧地震感震器室 (左; 1997 年 2 月 9 日の Near Coast of Peru 地震) および新地震計室 (右; 1997 年 6 月 24 日の Halmahera, Indonesia 地震) で記録された地震波形例。
 Fig. 11. Left; analogue monitored waveforms of the three-component HES in the old seismic vault for the Near Coast of Peru Earthquake ($M_b=5.7$, $\Delta=85.4$) on February 9, 1997. Right; analogue monitored three-component seismogram of HES in the new seismographic hut for the Halmahera, Indonesia Earthquake ($M_b=5.9$, $\Delta=87.6$) on June 24, 1997.

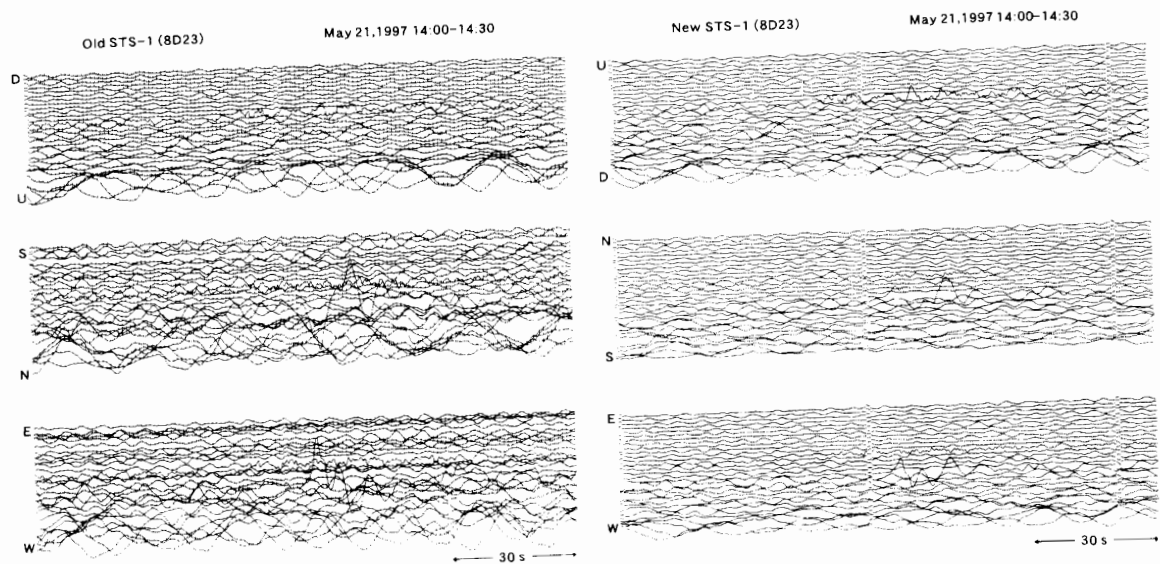


図 12 旧 STS-1 (左; 旧地震感震器室) と新 STS-1 (右; 新地震計室) の 1997 年 5 月 21 日に発生した Vanuatu Islands 地震の波形。
 Fig. 12. Left; analogue monitored waveforms of the three-component old STS-1 in the old seismic vault for the Vanuatu Islands Earthquake ($M_b=5.9$, $\Delta=83.8$) on May 21, 1997. Right; analogue monitored three-component seismogram of new STS-1 in the new seismographic hut for the same event.

ことが分かる。

8D23 とは別の、遅い紙送り (5 mm/min) のペンレコーダー (8K23) については、越冬当初、旧 STS-1・3 成分の BRB 信号と PELS3 成分を記録していたが、PELS 撤収に伴い4月初めに一時収録を中止した。その後、7月下旬より新、旧 STS-1 の BRB 出力3成分を記録した。さらに10月初め以降は旧 STS-1 を止めて新 STS-1 のみのモニターに切り替え、そのままの状態 JARE-39 に引き継いだ。なお 8K23 のチャンネルによっては、ペンの感熱状態が悪いため、状況をみて他の空きチャンネルに繋ぎ変えるなど越冬期間中に随時調整作業を行った。

なお JARE-40 では、新たに6チャンネル式ペンレコーダー (R-66) を持ち込み、8K23 と交換する。R-66 により、STS-BRB3 成分を紙送り 2 cm/hour で連続記録を行う。これは、海洋潮汐や重力潮汐と同じ記録速度であり、遠地地震の全体の波形をみるには適当である。

また、ハイブリッドレコーダー (RD2212) による POS 信号3成分の連続記録については、5月初旬に新 STS-1 用に接続を変更し、その後越冬終了まで変更はしなかった。なお、これまで RD2212 で記録していた、旧地震計室の旧 STS-1 上下動地震計用保温箱内の温度モニターは、4月初め以降に新地震計室内長周期室の冷凍庫内地震計基台上の温度として入力し、連続モニターした。各月末には、これまでと同様にメモリー記録の出力と記録紙の交換を実施した。

旧収録システム用刻時信号は、これまでと同様に地学棟の屋上に設置している GPS 受信機からの信号を基準とした。

2.4.3. 験震作業

越冬期間中、これまで通り 8D23 紙記録から地震イベントの読み出しを行い、その結果をアメリカ地質調査所 (United States Geological Survey/National Earthquake Information Center; USGS/NEIC) と極地研究所へ電子メールで報告した。これと対応する形で、逆に NEIC から地震情報の電子メール (QED) が、地震発生から1週間遅れで届いた。QED をもとに再度験震作業を行い、若干数を追加報告した。

興味ある振動現象として、7月29日から31日にかけて、顕著な短周期振動 (1–5 Hz) が数時間に渡り5回発生した。通常の低気圧通過に伴うものとは別の波形であり、海水起源と思われるが正確な原因は定かでない。NOAA の衛星画像の読図によると、定着氷が流出した形跡があり、その流出に伴う可能性が考えられる。図13に、その振動の HES による 8D23 記録を示す。また、図14には、HES の 20 Hz サンプリング・デジタルデータの短周期振動時におけるスペクトルを、平穏時 (1997 年 5 月 25 日) との比較で示した。これによると特に短周期側の 3–5 Hz 帯が励起されていることが分かる。

月別の地震読みとり個数は、再験震した分を含めて総計 680 個 (716 データ) となった。帰国後、極地研究所において再読みとりを行い、国際地震センター (International Seismological Center; ISC) への報告と JARE Data Reports (Seismology) の編集が行われる。最近の旧地震感震器室における験震率については、KANAO and KAMINUMA (1995) にまとめられているが、新地震

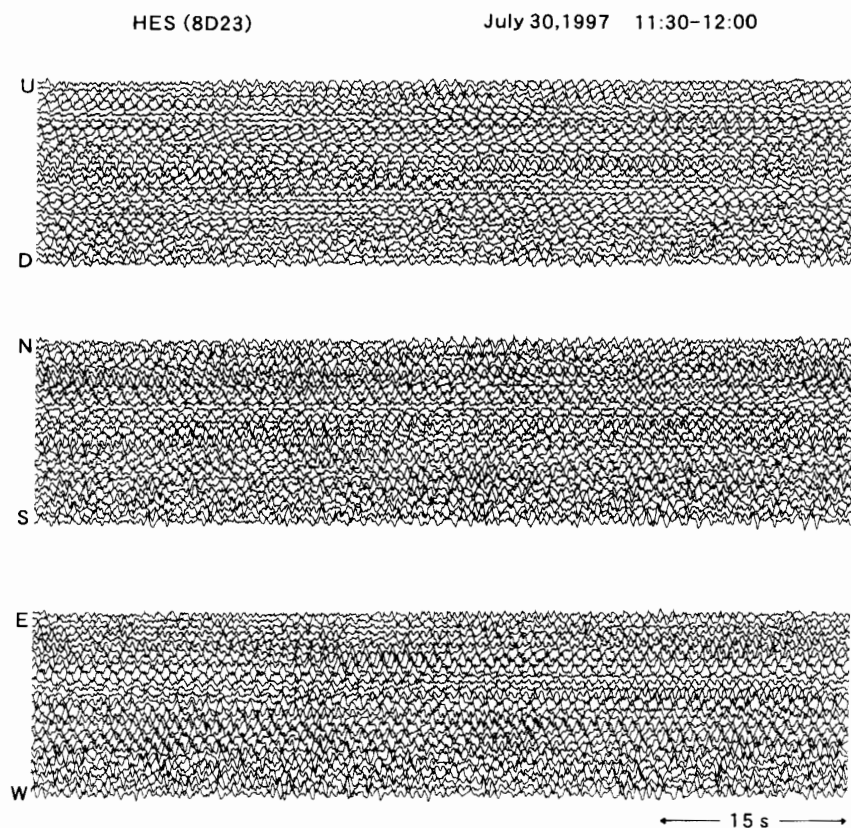


図 13 リュツォ・ホルム湾内の定着氷の流出に伴うと考えられる短周期振動の HES アナログ記録 (1997 年 7 月 30 日)

Fig. 13. Analogue monitored waveforms of the three-component HES records characterized by short period frequencies of about 1–5 Hz along with a movement of a large amount of fast sea ice from Lützw-Holm Bay on July 30, 1997.

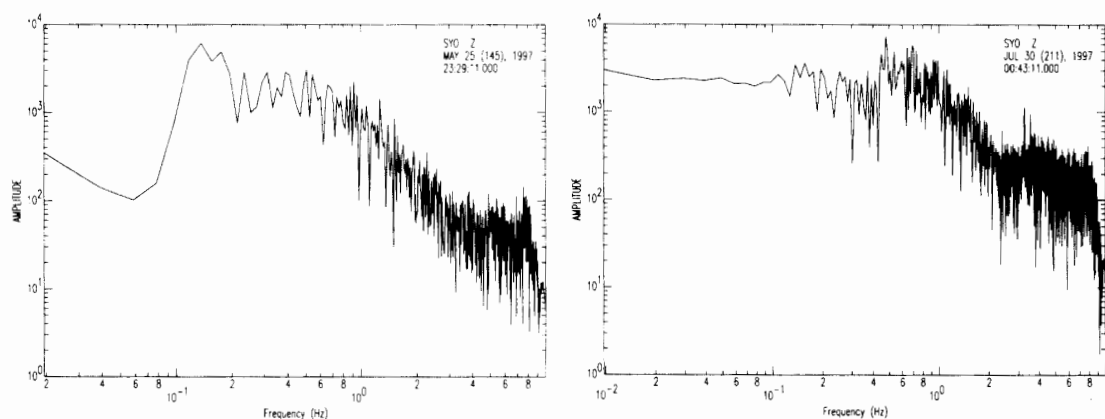


図 14 リュツォ・ホルム湾内の定着氷の流出に伴うと考えられる短周期振動の HES スペクトル (左; 平穏時 1997 年 5 月 25 日, 右; 短周期振動時 1997 年 7 月 30 日)

Fig. 14. Amplitude spectra of the vertical component of HES (HES-LVBB; 20 Hz sampling trigger; BLZ) for the short period frequencies about 1–5 Hz along with movement of a large amount of fast sea ice from Lützw-Holm Bay on July 30, 1997 (right hand side), compared with a normal calm period on May 25, 1997 (left hand side).

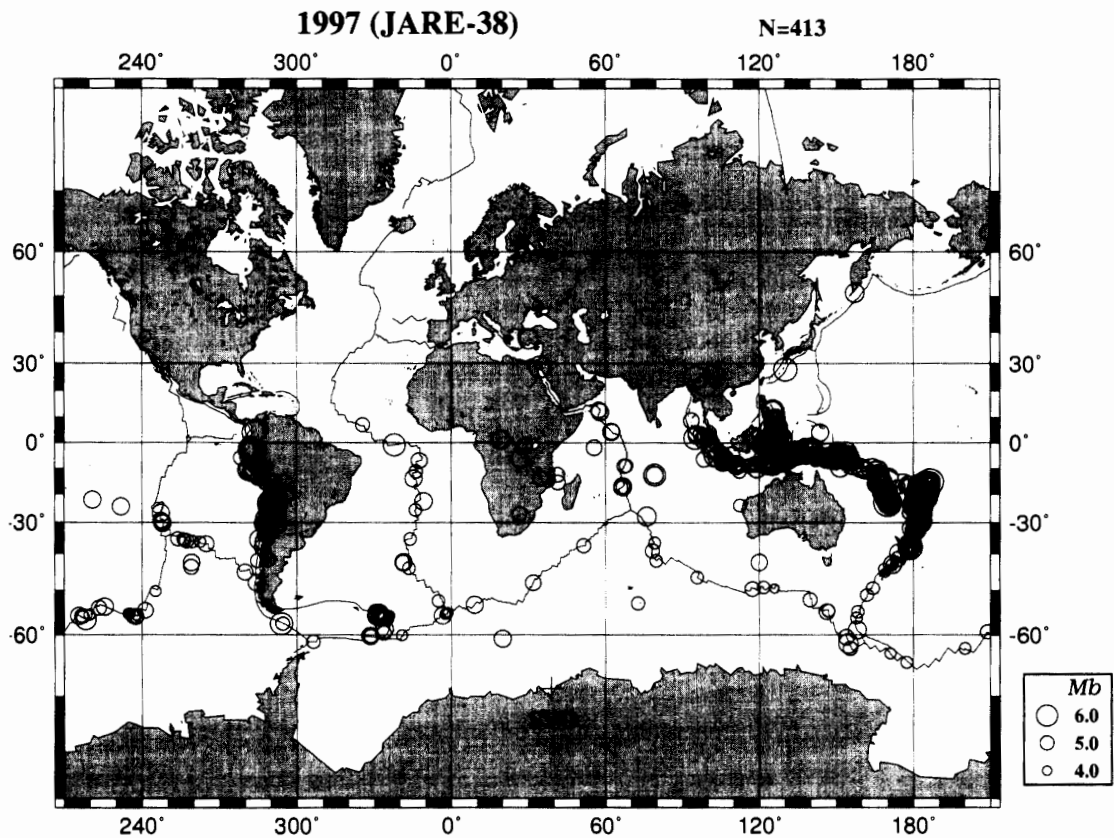


図 15 昭和基地で観震された地震の分布 (1997 年)

Fig. 15. Epicenters of the 413 earthquakes recorded at Syowa Station in 1997. The sizes of earthquake circles are proportional to the body-wave magnitude (M_b) determined by the National Earthquake Information Center (NEIC).

計室に設置されて以降も、それほど観震数の変化はないと思われる (図 15)。しかし、まだ移設して間もないため、今後とも地震モニタリング監視を継続していく必要がある。

3. データ利用

これまで通り UUCP 接続による基地～極地研間の大地震イベントの伝送を継続しているとともに、基地外利用者への対応も実施している。帰国後の波形データは PACIFIC21 計画のもと、極地研究所と東京大学地震研究所海半球センター (Oceanic Hemisphere Project Data Management Center; OHP) で同時に公開している。共同研究利用者へは、DAT、8 mm テープや CD-R での提供を行っている。毎年時の隊員帰国後に極地研究所で再観震をした読み取りデータは、震源データとともに極地研発行の JARE Data Reports (Seismology) に継続して掲載している (KANAOKA, 1999; etc.)。さらに、同時に ftp サイト (133.57.3.2; <ftp://geoipx.nipr.ac.jp/pub>) や、WWW サーバ (<http://www.nipr.ac.jp>) からでも利用可能である。なお、これらのデータ公開の詳細

細については、それまでの経過を踏まえて金尾ら (1996) や KAMINUMA *et al.* (1997) に詳しく記載しているので、そちらを参照にしてほしい。特に地震観測についての情報は、URL (http://geoipx.nipr.ac.jp/~kanao/seismic_obs) から最新情報が得られる。

4. おわりに

本報告では、昭和基地の地震モニタリング観測における新システムの導入について報告した。新地震計室へ移設したことで、越冬する担当隊員の地震計室への見回りの労力が半減し、保守作業がかなりの部分で軽減された。また、基地 LAN を利用してのデータ収集の合理化が実現されたことで、地学棟における半自動化処理が開始された。今後は、さらにインマルサット回線を積極的に利用することで、基地外へのデータ公開の迅速さを目指す。将来的に、データ伝送により自動的に重要なデータ成分のみを国内 (極地研究所) に転送し、そこでのデータ処理と読み取り作業に切り替えることができれば、昭和基地の現地における観震作業の完全自動化が期待される。

南半球における重要な定常観測点として、グローバルな地震学的解析のための良質なデータを、国際デジタル地震観測網 (Federation of Digital Seismographic Networks; FDSN) や日本の PACIFIC21 計画に継続して提供することが、昭和基地の地震モニタリング観測に今後とも期待される。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、国内外の様々な方にご助言、ご指導を頂きました。ここに厚くお礼を申し上げます。国立極地研究所の事業部観測協力室には、新地震計室の設計と建築にあたってご協力を頂きました。また、防衛大学の坪井誠司氏、防災科学技術研究所の福山英一氏には、新収録システム導入についての貴重なご助言を頂きました。さらに、アムコ株式会社の菅沼一代氏、鈴木茂美氏、伊藤一義氏、山口隆広氏、さらに Quanterra 株式会社の J. STEIM 氏には、新システムの開発に大いにご協力を頂きました。

また、越冬期間中ならびに夏期間のシステム設置作業、およびケーブル敷設作業については、山内恭第 38 次観測隊長、山岸久雄夏隊長をはじめ、JARE-37、-38、-39 の各隊の隊員の諸氏、ならびに帖佐正和艦長以下「しらせ」乗員には多大なご支援を頂きました。ここに改めてお礼を申し上げます。

文 献

- AKAMATSU, J., ICHIKAWA, N. and KAMINUMA, K. (1989): Seismic observation with local telemetry network around Syowa Station, East Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **3**, 1–12.
ETO, T. (1962): On the electromagnetic seismographs at Syowa Base. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **14**, 48–50.

- 福山英一・石田瑞穂・堀 貞喜・関口渉次・綿田辰吾 (1996): Freesia Project による広帯域地震観測. 防災科学技術研究所報告, **57**, 23-31.
- HAGIWARA, T. (1958): A note of the theory of the electromagnetic seismograph. Bull. Earthq. Res. Inst., **36**, 139-164.
- 萩原尊禮 (1997): HES 地震計. 地震予知と災害, 8. 観測機器の開発. 東京, 丸善, 152-157.
- 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.
- 神沼克伊・羽田敏夫 (1979): 南極昭和基地で観測された氷震. 南極資料, **65**, 135-148.
- KAMINUMA, K. and MURAUCHI, S. (1969): Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica, 1959-1962 and 1966-1968. JARE Data Rep., **4** (Seismology 1), 94p.
- 神沼克伊・西尾文彦 (1978): 南極みずほ観測拠点での長周期地震計による観測. 地震, **31**, 229-230.
- KAMINUMA, K. and TAKAHASHI, M. (1975): Iceshock swarms observed at Mizuho Camp, Antarctica. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), **54**, 75-83.
- 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., KANAO, M. and SHIBUYA, K. (1997): Present status on seismological observations at Syowa Station, East Antarctica. The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes, ed. by C. A. Ricci. Siena, Terra Sci. Publ., 1049-1052.
- KANAO, M. (1997): Variations in the crust structure of the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica using shear wave velocity. Tectonophysics, **270**, 43-72.
- KANAO, M. (1999): Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica, 1997. JARE Data Rep., **236** (Seismology 33), 65p.
- 金尾政紀・神沼克伊 (1993): 南極・昭和基地における超高性能地震計による広帯域高感度地震観測—第33次観測隊報告1992—. 南極資料, **37**, 291-318.
- 金尾政紀・神沼克伊 (1994a): 超高性能地震計 (STS-1V, 1H) の低温下における動作特性. 南極資料, **38**, 199-231.
- KANAO, M. and KAMINUMA, K. (1994b): Broadband and wide dynamic-range seismic observations with an STS-seismograph at Syowa Station, East Antarctica. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **7**, 1-13.
- KANAO, M. and KAMINUMA, K. (1995): Detection capability of earthquakes recorded at Syowa Station, Antarctica, from 1987 to 1993. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), **39**, 156-169.
- 金尾政紀・久保篤規 (1996): 南極・昭和基地の広帯域地震データの利用と成果に関する研究小集会報告. 南極資料, **40**, 259-266.
- 金尾政紀・神沼克伊・渋谷和雄・野木義史 (1996): コンピュータ通信ネットワークを利用した昭和基地の固体地球物理学データの伝送, 管理, 公開について. 南極資料, **39**, 303-320.
- KANAO, M., KUBO, A., HIRAMATSU, Y. and SHIBUTANI, T. (1997): Crustal heterogeneity and anisotropy for shear waves in the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica by the Broadband Teleseismic Waveforms. The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes, ed. by C. A. Ricci. Siena, Terra Sci. Publ., 1135-1141.
- 国立極地研究所編 (1998): 施設・設備. 基地要覧, 1. 昭和基地. 東京, 43.
- 久保篤規・金尾政紀 (1997): 地震波速度異方性からみた南極昭和基地下の地殻-マントルのデカップリング. 南極資料, **41**, 497-512.
- KUBO, A., HIRAMATSU, Y., KANAO, M., ANDO, M. and TERASHIMA, T. (1995): Analysis of SKS splitting at Syowa Station in Antarctica. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **8**, 25-34.
- 村上寛史・神沼克伊 (1991): 南極昭和基地における STS 地震計による広帯域地震観測. 地震学会講演予稿集, No.1, 62.
- NAGASAKA, K., KAMINUMA, K. and SHIBUYA, K. (1992): Seismological observations by a three-component broadband digital seismograph at Syowa Station, Antarctica. Recent Progress in Antarctic Earth Science, ed. by Y. Yoshida *et al.* Tokyo, Terra Sci. Publ., 595-601.
- NEGISHI, H. and KANAO, M. (1998): Field seismic observations by portable broadband seismometers in the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), **42**, 179-189.
- QUANTERRA INC. (1993): Q680/SXS-G Operation Manual.
- 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.
- STRECKEISEN, G. and MESSEGERAETE, A. G. (1987): Very-broad-band Feedback Seismometers STS-1V/VBB and STS-1H/VBB Manual.
- TANAKA, T., FURUMOTO, M. and NAWA, K. (1997): Attempt to detect combination tones between the Earth's

- free oscillation and the Earth tide. Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci., **10**, 11–18.
- The IRIS CONSORTIUM (1994): 1994 Annual Report. Incorporated Research Institutions for Seismology.
- TSUBOI, S. (1995): POSEIDON. IRIS Newsletter, Arlington, Vol. XIV, **1**, 8–9.
- 山田功夫・深尾良夫・石原 靖・青木治三 (1989): 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, **42**, 21–33.

(1998 年 12 月 16 日受付; 1999 年 2 月 5 日改訂稿受理)