

インテルサット回線導入に伴う昭和基地・地震モニタリング  
観測システムの更新金尾政紀<sup>1\*</sup>・土井浩一郎<sup>1</sup>・坂中伸也<sup>2</sup>・上村剛史<sup>3</sup>・澤柿教伸<sup>4</sup>・千田克志<sup>5</sup>Replacement of the seismic monitoring system at Syowa Station,  
corresponding to the INTERSAT linkMasaki Kanao<sup>1\*</sup>, Koichiro Doi<sup>1</sup>, Shinya Sakanaka<sup>2</sup>, Takeshi Uemura<sup>3</sup>,  
Takanobu Sawagaki<sup>4</sup> and Katsushi Chida<sup>5</sup>

(2006年4月26日受付; 2006年6月26日受理)

**Abstract:** The seismic observation system at Syowa Station, Antarctica, was partially improved in association with introduction of the INTERSAT communication link from February 2004. The workstation used for acquisition of the seismic signals was replaced by a new one (geotail; IP:133.57.32.60) at the Earth Science Laboratory (ESL). Digital waveform data have been automatically transmitted from a 24-bit A/D converter (Q680; IP:133.57.32.67) to the workstation on TCP/IP protocol by using 'Comserv' software. Among several kinds of seismic signals, 20 Hz continuous data of both short-period (HES) and broadband (STS-1) seismometers have been automatically transferred once a day to the National Institute of Polar Research (NIPR) by using the Unix-to-Unix-Copy (UUCP) protocol via the INTERSAT link. Besides remote operations and monitoring data from NIPR to the acquisition system at ESL, Internet access to the observation system at Syowa Station has significantly improved. For instance, network cameras were introduced both in ESL and the Seismological Hut, which provide real-time images for monitoring related instruments, analogue recorders and room temperature measurements, even when nobody can approach the ESL or Hut during severe weather. The above improvements involving the INTERSAT link have brought several advantages not only to the data transport/communication processes but also to reduce daily maintenance efforts at the Station.

In this report, several topics are demonstrated concerning improvements of seismic monitoring observations associated with the INTERSAT link, followed by introduction of

<sup>1</sup> 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

<sup>2</sup> 秋田大学工学資源学部. Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 1-1, Tegata gakuen-machi, Akita 010-8502.

<sup>3</sup> 総合研究大学院大学. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

<sup>4</sup> 北海道大学大学院地球環境科学研究院. Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-5, Sapporo 060-0810.

<sup>5</sup> 測位衛星技術株式会社. GNSS Technologies Inc., 4th Floor Matsuki bldg. 6-12-5, Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0022.

\*Corresponding author. E-mail: kanao@nipr.ac.jp

the data archive and publication via the Internet.

**要旨:** 南極・昭和基地では、2004年2月よりインテルサット衛星回線を利用した通信システムが立ち上がり、基地外との情報交換・通信能力が格段に向上した。昭和基地の地震モニタリング観測で収録される波形データは、これまでもインテルサット衛星回線により Unix-to-Unix-Copy (UUCP) 伝送を行ってきたが、収録サーバーを更新 (geotail; IP:133.57.32.60) し、インテルサット回線を用いた伝送方式に変更した。短周期地震計 (HES) と広帯域地震計 (STS-1) の 20 Hz 連続サンプリングデータが、定期的に国内 (国立極地研究所サーバー) へ自動伝送される。また常時 IP 接続により国立極地研究所から直接に、昭和基地の収録装置 (geotail, 及び AD 変換機 Q680; IP:133.57.32.67) への遠隔ログインと各種コマンド操作が可能になり、国内から観測機器への制御が格段に容易になった。さらに、ネットワークカメラサーバーによるリモート監視を行うことで、データ収録状況の常時モニタリングが可能になり、現地での見回りの労力が半減した。

本稿では、インテルサット衛星回線の導入に伴う昭和基地の地震モニタリング観測・データ伝送システムの具体的な向上点について紹介する。また、将来のリモートデータ収録を視野に入れた、インテルサット回線を利用した遠隔データ収録試験について報告する。さらに、伝送データのアーカイブ方法と公開内容についても紹介する。

## 1. はじめに

昭和基地における地震観測は、1959年に第3次日本南極地域観測隊 (以下第3次隊と略す) により開始され、現在まで40年以上に渡り連続観測がなされてきた。その間、観測システムや建物・設備は逐次更新を重ね、また観測内容そのものも変遷してきた。1980年代後半より、国際デジタル地震観測網 (Federation of Digital Seismographic Networks; FDSN) が次第に整備され、昭和基地にも第30次隊 (1989年) により広帯域地震計 (STS-1; Wielandt and Steim, 1986) が設置された (村上・神沼, 1991; Nagasaka *et al.*, 1992)。これにより日本を中心とするグローバル観測網 (POSEIDON 計画, Tsuboi, 1995) の重要な定常観測点として位置づけられ、南半球での良質なデータを提供してきた。当時は、蜂の巣山の北斜面にある旧地震計室で観測しており、大きな室温変化を原因とする広帯域地震計特有のドリフト現象 (いわゆるセンサーの長周期オフセット) が重要な問題であった。その後、毎年わずかずつ観測システムが改良され、データの質も向上してきた (例えば、金尾・神沼, 1993; Kanao and Kaminuma, 1994; Kaminuma *et al.*, 1997)。特に第38次隊 (1997年) により、11 m 大型アンテナ付近の新地震計室にすべての観測機器が移設され、基地 LAN を利用したワークステーションによる収録が開始された (金尾ら, 1999)。昭和基地で取得された広帯域地震計データの解析から、地球中心核～表層部の不均質構造や、南極プレート周辺の地震活動や震源過程、さらに氷床変動に伴う地殻変動・氷震活動等、様々な新しい知見が得られてきた (例えば、Isse and Nakanishi, 2001; Kanao *et al.*, 2002; Kanao and Ishikawa, 2004; Kanao and Kaminuma, 2005; Kobayashi and Zhao, 2004; Kuge and Fukao, 2005; Tsuboi *et al.*, 2000; Usui *et al.*, 2005)。

昭和基地のモニタリング観測で収録される地震波形等のデジタルデータは、これまでもインテルサット衛星回線により、容量は少ないもののデータ伝送が行われてきた (金尾ら,

1995)。その後、2004年2月にインテルサット衛星回線による通信システムが立ち上がり、基地外との通信能力が格段に向上した。これに伴い第45次隊で地学棟の収録用サーバーを更新し、インテルサット回線を用いた通信・データ伝送手段に変更した。さらに、国内（国立極地研究所（極地研）等）から昭和基地の収録装置リモートログイン、遠隔操作が可能になった。これにより、国内から観測機器の制御が格段に容易となり、データ収録状況を常時モニタリングできるようになった。

本稿では、インテルサット衛星回線の導入に伴う昭和基地の地震モニタリング観測・データ伝送システムの具体的な向上点について紹介する。また、将来のリモートデータ収録を視野に入れた、インテルサット回線を利用した遠隔データ収録試験について報告する。さらに、伝送データのアーカイブ方法と公開内容についても紹介する。

## 2. 収録装置の一部更新

現在の昭和基地における地震モニタリング観測は、第38次隊で導入され、ここ数年間は特に大きな支障もなく連続稼働してきたシステム（金尾ら、1999）をほぼそのまま継承している。以下に、具体的な観測システムの概要を記載する（図1）。

第37次隊で建造された地震計室内に設置されている、萩原式電磁式短周期地震計（HES；Hagiwara, 1958; 萩原, 1997）、並びに広帯域地震計（STS-1）の各3成分（上下動, 南北水平動, 東西水平動）の波形データは、約500m長のアナログケーブルを経て地学棟に送られる。地学棟では、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AD変換器（Quanterra社製、Q680；IP: 133.57.32.67）を経て、TCP/IPプロトコルを用いた収録プログラム（Comserv）により、収録用サーバー（ワークステーション）のハードディスクに常時記録される。また、地震計の機種ごとに異なるレコーダーで、アナログ記録が連続で行われている（詳しくは、金尾ら、1999を参照）。

第45次隊では、インテルサット衛星回線の導入に合わせて、2004年3月に地学棟の収録用サーバーを更新した（geotail; IP: 133.57.32.60）。基地LANを用いたTCP/IPプロトコルにより、AD変換器（Q680）から転送される年間数GBのオリジナル波形データは、収録用サーバー（ハードディスク容量40GB）で3年以上連続して記録可能である。

## 3. UUCP データ伝送と験震作業

収録用サーバー（geotail）に保存される様々なトリガー条件、サンプリング周期を持つ計9種類の地震波形データ（表1）のうち、短周期地震計（HES）3成分と広帯域地震計（STS-1）3成分の20Hz連続データ（BHE, N, Z, 及びBLE, N, Z）を、収録用サーバー（geotail）の自動動作プロセス（cron）により、毎日定期的に極地研の伝送・編集用サーバー（geogold;; IP: 133.57.20.209）にUUCP（Unix to Unix Copy）伝送が行われている。この時、収録時のオリ

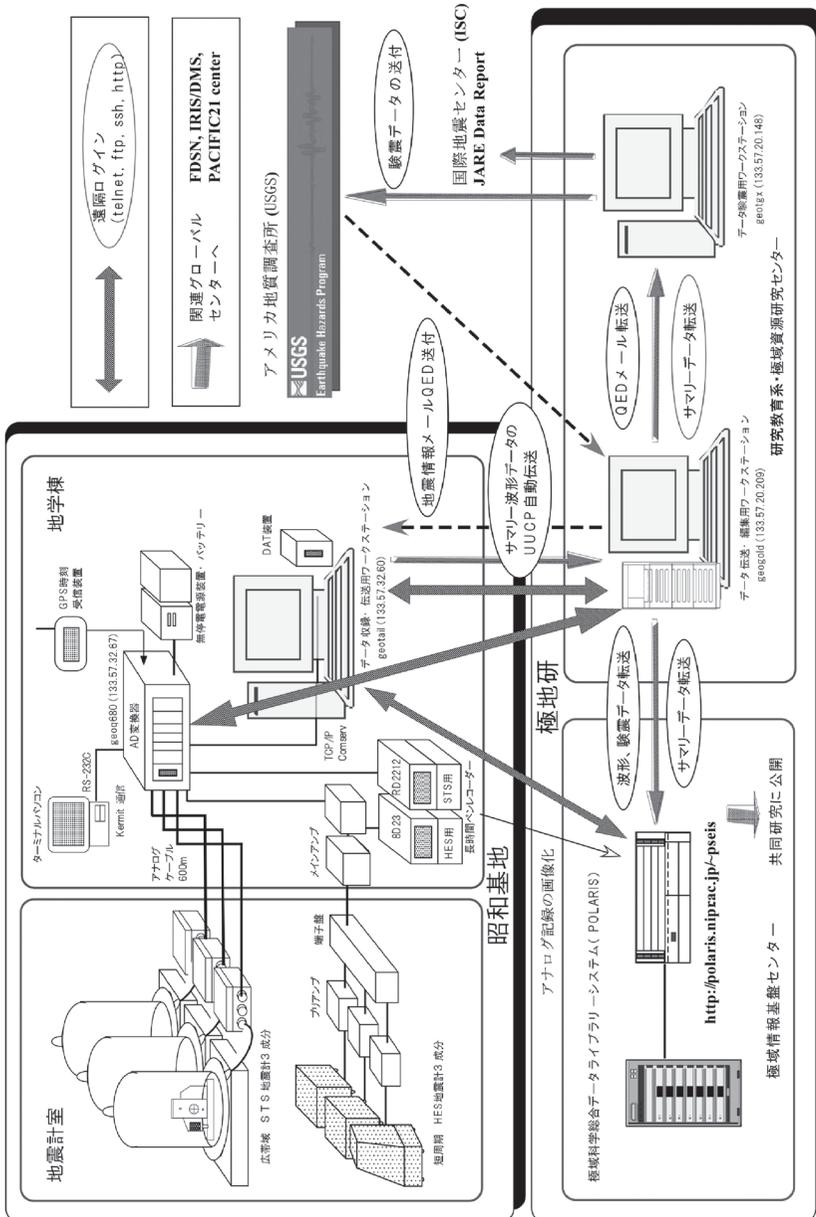


図 1 昭和基地の地震モニタリング観測データのインターネット回線を用いた伝送方式とファイル管理・公開の流れ

Fig. 1. Block diagram of data transfer by using INTERSAT link and archive / public use procedure for seismic monitoring observations at Syowa Station.

**表 1** Comserv による収録データの種類一覧。短周期地震計と広帯域地震計の各 3 成分 (BHE,N,Z and BLE,N,Z) の 20 Hz サンプリング連続データは、インテル回線で自動的に極地研に伝送される。

*Table 1. All the kinds of seismic data recorded by 'Comserv' software. 20 Hz continuous data (BHE,N,Z and BLE,N,Z) of both short-period (HES) and broadband (STS-1) seismometers are automatically transferred to NIPR by UUCP via the INTERSAT link.*

AFP.D/ DC 供給電圧	LHE.D/
AFP.E/	LHN.D/ STS-LP 1Hz 連続
BHE.D/	LHZ.D/
BHN.D/ STS-VBB 20Hz 連続(UUCP伝送)	LHZ.E/
BHZ.D/	LLE.D/
BHZ.E/	LLN.D/ HES-LLP 1Hz トリガー
計6成分、約20MB/日	LLZ.D/
BLE.D/	LLZ.E/
BLN.D/ HES-LVBB 20Hz 連続(UUCP伝送)	UHE.D/
BLZ.D/	UHN.D/ STS-ULP 0.01Hz 連続
BLZ.E/	UHZ.D/
HHE.D/	UME.D/
HHN.D/ STS-VSP 80Hz トリガー	UMN.D/ マス・ポジション
HHZ.D/	UMZ.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/

データ種類:

[\*.D/; データファイル, \*\*E; 東西成分, \*\*N; 南北成分, \*\*Z; 上下成分, \*.E/; エラーメッセージ]

サンプル周期:

[H\*\*; 80Hzサンプル, B\*\*; 20Hzサンプル, L\*\*; 1Hzサンプル, V\*\*; 0.1Hzサンプル, U\*\*; 0.01Hzサンプル]

地震計種類:

[\*H\*; High gain (i.e., STS seismometer), \*L\*; Low gain (i.e., HES seismometer)]

ジナル形式であるグローバル地震学汎用フォーマット (Mini\_SEED ; Standard for Exchange of Earthquake Data) から、一度圧縮率を変換したサマリー形式のファイルを作成し、UUCP 伝送している。データ容量は、上記の 20 Hz 連続データ計 6 ファイル (各成分で 1 日 1 ファイル, 計 6 成分) で、約 20 MB/日である (表 1)。例として、UUCP 伝送された 2004 年 12 月 26 日に発生したスマトラ沖巨大地震 (Mw=9.0) の波形記録を図 2 に示す。

極地研の伝送用サーバー (geogold) へ UUCP 伝送された Mini\_SEED 形式のサマリーデータを用いて、伝送用サーバーまたは験震用サーバー (geotgx; IP:133.57.20.148) で験震作業が行われ (図 3)、アメリカ地質調査所の地震情報センター (United States Geological Survey / National Earthquake Information Center; USGS/NEIC) やイギリスの国際地震データセンター (International Seismological Center; ISC) へ地震走時データが報告される (表 2)。そして最終的に JARE Data Reports (Seismology) として刊行されている (例えば, Doi and Kanao, 2006)。これと対応する形で、USGS/NEIC からの地震情報速報メール (QED) を、伝送用サーバー (geogold) 経由で地学棟の収録用サーバー (geotail) へ毎日伝送し、現地の隊員へ対して地震情報の提供を行っている (図 1)

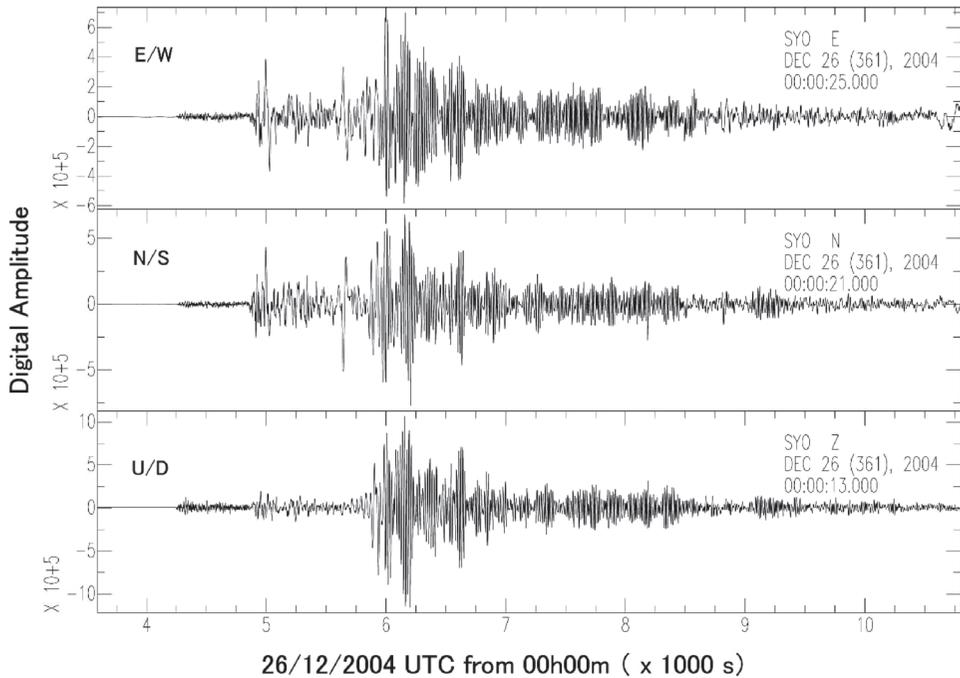


図 2 インテルサット回線によりデータ伝送された 2004 年スマトラ沖巨大地震 (26/12/2004,  $M_w=9.0$ ) の 3 成分広帯域地震計による波形記録 (STS-1 型, 20Hz 連続サンプリング). 横軸は 12 月 26 日の 0 時 0 分からの経過時間.

Fig. 2. Three component broadband waveforms (STS-1; 20 Hz continuous; BHZ,N,E) of the Sumatra-Andaman Earthquake (26/12/2004,  $M_w=9.0$ ) recorded at Syowa Station. All the data were transferred to NIPR by INTERSAT link. The horizontal axis represents the time from 00 h 00 m of the day.

従って、これまで行われてきた越冬中の暫定的な験震報告と帰国後の再験震という 2 回の作業が、今回のシステム更新により極地研のみで行うように移行された。なお、これまで地学棟で越冬隊員により験震作業が行われていた時期の験震率については、Kanao and Kaminuma (1995) などにまとめられているが、UUCP 伝送されたデジタルデータを用いた験震率についても、それほど変化はないと思われる。しかしまだ移行して間もないため、均一な験震データを継続して提供するよう努める必要がある。また、グローバルに分布する遠地地震のみならず、南極周辺の局所的なイベントについても、長期間のモニタリング観測による験震作業を今後も継続する必要がある。

#### 4. 収録装置への遠隔ログイン

これまでのインマルサット回線では、昭和基地端末とのコミュニケーションという意味では、UUCP によるデータ伝送のみが可能であった。昭和基地のサーバーに直接遠隔ログインが行えないため、現地の隊員が定期的に観測システムの見回りを行い収録状況を確認してい

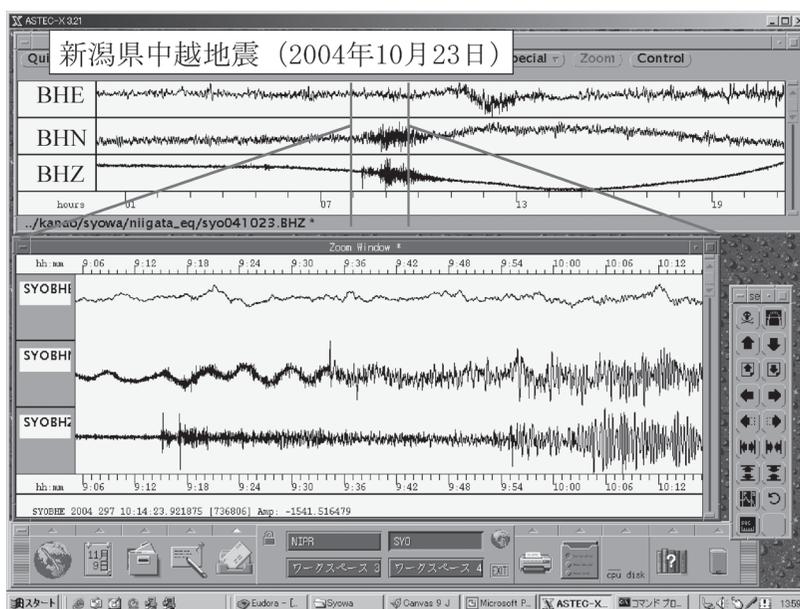


図 3 UUCP 伝送された Mini\_SEED 形式のサマリー波形データの観震画面 (geogold: 133.57.20.209). 2004 年新潟県中越地震 (10/23/2004, Mw=6.6) の 3 成分広帯域地震計による波形例 (STS-1 型, 20Hz 連続サンプリング). 主要地震波相の走時データは, アメリカ地質調査所と国際地震センターに送られる.

Fig. 3. Example of UUCP-transferred Mini\_SEED data for three component broadband waveforms (STS-1; 20 Hz continuous; BHZ,N,E) of the Niigata-Chuetsu Earthquake (10/23/2004, Mw=6.6) recorded at Syowa Station. The workstation screen is on the NIPR server (geogold: 133.57.20.209). Arrival times for major seismic phases are detected, then reported to USGS/NEIC and ISC.

表 2 昭和基地地震モニタリング観測データの管理・公開の連携先一覧 (海外及び国内)

Table 2. List of collaborating institutions and organizations (i.e., international and domestic data centers) in relation to publication of Syowa Station seismic monitoring data.

■ 海外:

- United States Geological Survey, National Earthquake Information Center (USGS/NEIC) <http://neic.usgs.gov/neis/>
- International Seismological Center (ISC) <http://www.isc.ac.uk/>
- Federation of Digital Seismographic Networks (FDSN) <http://www.fdsn.org/>
- The Incorporated Research Institutions for Seismology, Data Management System (IRIS/DMS) <http://www.iris.edu/>
- Antarctic Seismic Web Resource (AnSWer) <http://rses.anu.edu.au/seismology/answer/>

■ 国内:

- PACIFIC21 (developed from POSEIDON)
- Ocean Hemisphere Project Data Management Center, Earthquake Research Institute, University of Toyo (OHP/ERI) <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>
- Institute for Frontier Research on Earth Evolution, Japan Marine Science and Technology Center (IFREE/JAMSTEC)

た。しかしインテルサット回線の導入により、極地研の関連サーバー（geogold等）から直接に地学棟の収録用サーバー（geotail）に遠隔ログインをして、収録状況の確認と各種収録パラメーターの設定、サーバー内のファイル管理が可能になった。観測システムの管理運用上、画期的な改善である。

AD変換器（Q680）から収録用サーバー（geotail）へのデータ収録状態について、収録用サーバー上で動作するComservプログラムにより、‘comlink server（Q680とgeotailの通信）’と‘datalog client（geotail内のデータ収録）’の2つのプロセスの動作状況、ならびにcomlinkプロセスでの収録データの通信パケット数の増加等を監視することで、遠隔地（極地研）サーバーからの確認が可能である（図4のA）。また、AD変換器（Q680）内部の動作状況の確認については、第45次隊の以前は主に、AD変換器にシリアルケーブル（RS-232C）で接続された地学棟の専用パソコンから行っていた。‘Kermit’という通信プロトコルにより、収録状態の確認（メインメニュー（図4のB）から、Start Status Monitor（H）画面に入る（図4のC））や各種収録パラメーター制御、ならびに地震計のマス・ポジションの電氣的な遠隔

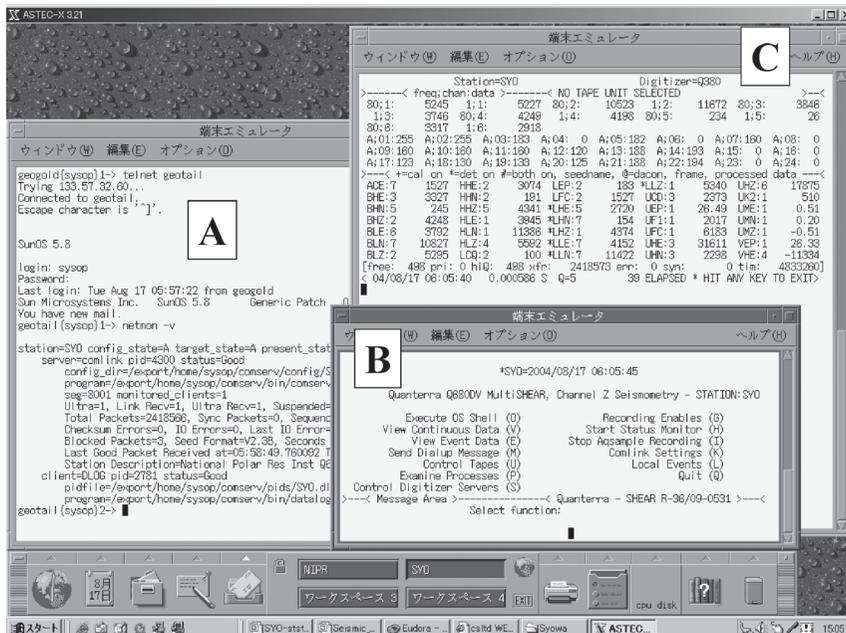


図4 地学棟の収録用サーバー (A, geotail; IP: 133.57.32.60) と AD 変換器 (B & C; Q680; IP:133.57.32.67) への遠隔ログイン画面。画面 B は AD 変換器の ‘Main Menu’ を、画面 C は収録状態 ‘Status Monitor (H)’ を、それぞれ示す。

Fig. 4. Example of the ‘remote login’ screens on the acquisition workstation (A, geotail; IP: 133.57.32.60), and on the A/D converter (B & C; Q680; IP:133.57.32.67) of the Earth Science Laboratory. Screen B represents the ‘Main Menu’ and screen C shows the ‘Status Monitor (H)’ of the acquisition flags in Q680, respectively.

補正などが、この専用パソコンから行なわれていた。このAD変換器のオペレーションシステム(OS-9)を介し、インテルサット回線の導入後には、極地研の関連サーバーから直接地学棟のAD変換器に遠隔ログインを行うことで、地学棟端末からのKermit通信による操作と同じことが随時可能になった。

### 5. カメラサーバーによる遠隔監視

2004年10月(第45次隊)より、インテルサット回線を利用したリモート監視システム(ネットワークカメラサーバー)を地学棟の地震観測室に導入した(Axis社製, AXIS240, webcam06; IP: 133.57.32.46)。カメラサーバーの自動動作機能(cron)を利用して、極地研の「極域データライブラリーシステム(polaris)」の地震データ公開用URL(<http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/webcam/>)へ、静止画像を1分間隔で自動的にftp転送して更新する。このカメラサーバーの導入により、HES地震計3成分を常時モニターしている長時間レコーダー(NEC三栄社製, 8D23)の感熱紙記録と、STS-1広帯域地震計3成分をモニターしているペンレコーダー(理化電機社製, R-66)の動作画像が、遠隔地(極地研, 他)から常時モニター

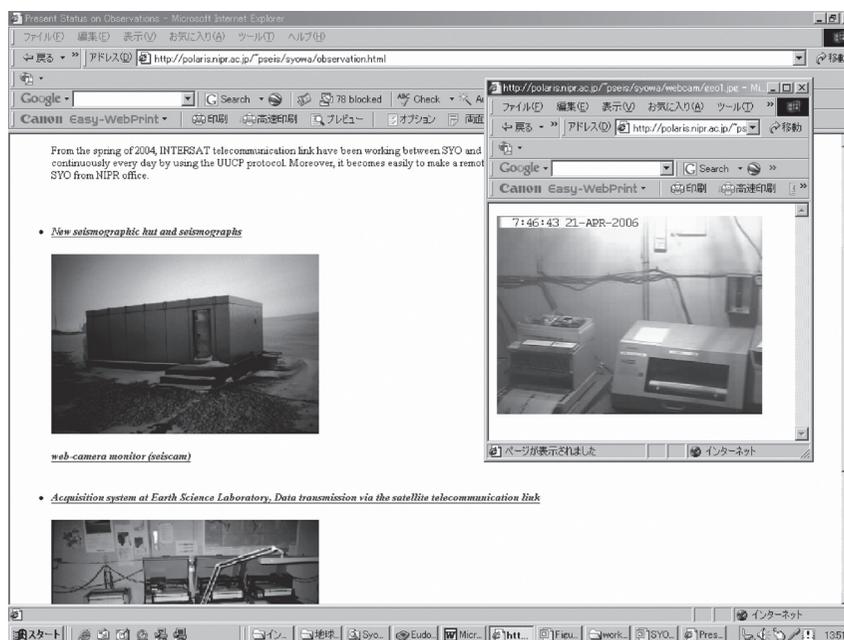


図 5 ネットワークカメラサーバー (webcam06; IP: 133.57.32.46) による地学棟アナログ記録計のモニタリング。静止画像が1分間隔で「極域データライブラリーシステム」の公開用URL (<http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/webcam/>) へ転送される。

Fig. 5. Example of the network-camera server (webcam06; IP: 133.57.32.46) installed at the Earth Science laboratory. Photos of analogue recorders are automatically sent to the URL (<http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/webcam/>) at one minute intervals.

可能になった(図5)。地震観測室へのカメラサーバー設置の主な目的は、アナログ記録計の連続動作が正常に行われているか、またアナログ記録紙の送りエラーや紙詰まりがないか、などを確認するためである。なお、カメラサーバー自体にも遠隔ログインができ、より短時間(2, 3秒)の間隔のモニタリング画像の更新も可能である。この場合、アナログ記録計のガルバノメーター(感熱紙へのサーマルペン記録器部分)の動作も確認できる。遠隔地(国内、極地研)からのモニタリング利用と共に、カメラサーバー設置によるもう一つの利点として、例えば昭和基地内でブリザード等の悪天候で地学棟へ行けない場合、管理棟等のある主要区画より、基地LANに接続された端末から観測システムのモニタリングが可能である。

2006年4月(第47次隊)より、地震計室内の水素メーザー室の温度モニターとして、地学棟と同機種(Axis240, seiscam; IP: 133.57.32.32)を設置、運用を開始した。水素メーザーの架台下温度と室温とを常時モニタリングするためである。この地震計室内のカメラサーバー静止画像も、地学棟カメラサーバーの場合と同様に、polaris内の別の公開用URL(<http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/seiscam/>)へ1時間ごとに自動伝送して更新している。また基地内の端末からも、サーバー内にログインしてモニタリング可能である。室温管理は、これまでメーザー室内に設置していた温室用ヒーターで行ってきたが、ブリザード前後の気温の急激な上下変動や、夏期間の高温時などにはあまり対応できなかった。そのため、手動で温室用ヒーターの設定変更を行い、また部屋のドアの開閉により温度調整を行ってきた。さらにVLBI観測中には、メーザー室温の安定を保つため、観測開始の2, 3日前からの入室を控えなければならなかった。今回のカメラサーバー導入による室温の遠隔モニタリングにより、上記の見回りの労力がかなり軽減される。

## 6. 遠隔データ収集試験

地学棟のAD変換器(Q680)から極地研の編集・伝送用サーバー(geogold等)へ、インテルサット回線を経由して直接遠隔データ収録する試験を、2004年11月に行った(11月8日～26日、Comserv対応のTCP port = 23401)。このTCP/IPプロトコルを用いた直接収録において収録データが欠落する原因として、KDDI関連のものと極地研ゲート側の2種類が考えられる。今回の試験では、特に後者の通信性能を向上させるのが目的である。収録ソフト(Comserv)を極地研の伝送用サーバー(geogold)にインストールすると共に、地学棟のAD変換器のTCP出力ポート先を、geogoldに変更して試験を行った。

一般的に用いられる他のTCP/IPプロトコル(telnet, ftp ssh等)と同一のプライオリティーレベル3(priority policy 3)で試験収録を行った場合、インテルサット回線の不安定さによりComservでTCP収録されたデータパケットに、欠落(跳び)が生じていることが判明した(11月8日～16日の試験)。例えば11月10日には、KDDI山口局の衛星モデムの不調が別途判明しており、TCP収録データと照らし合わせた結果、モデムが不調な時間とデータの欠落時

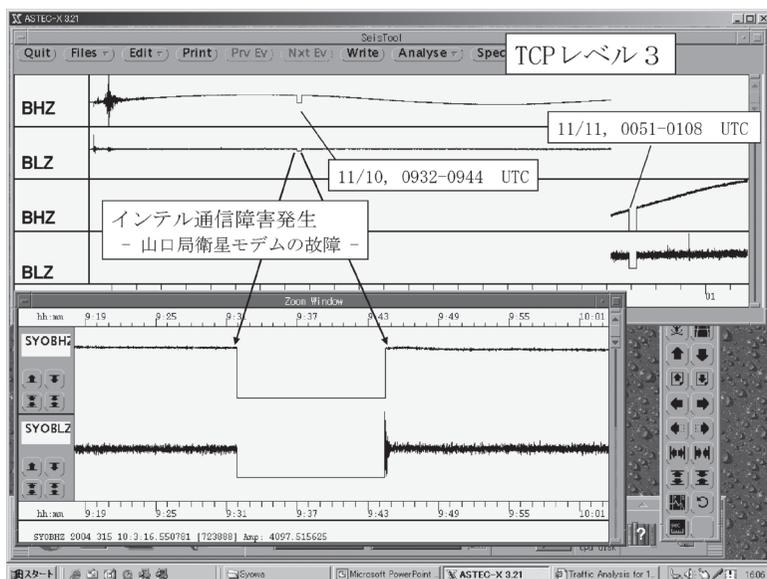


図 6 遠隔データ収録試験 (TCP レベル 3 の場合, 2004 年 11 月 10-11 日の例). 11 月 10 日に KDDI 衛星モデムの不調によりデータ欠落が生じる.

Fig. 6. Example of remote data acquisition in TCP Priority Policy 3 on 10-11 November 2004. Some packets were lost from the transmitted data due to trouble in the KDDI satellite modem.

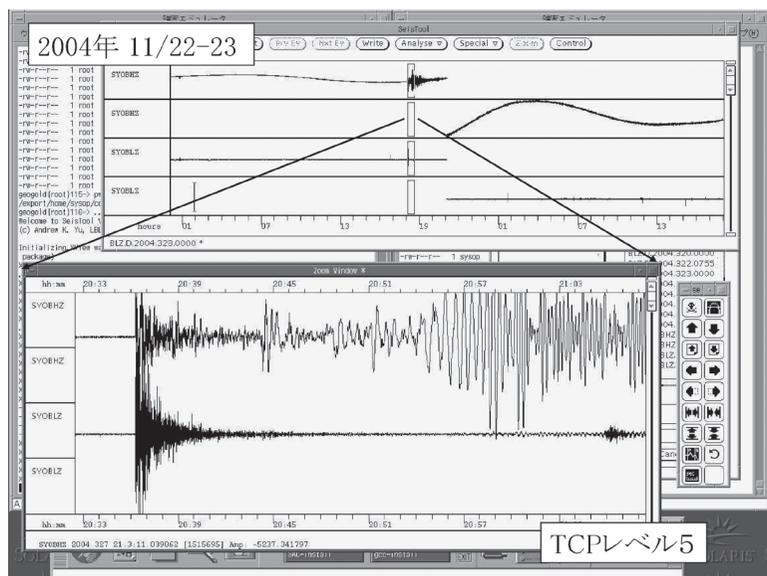


図 7 遠隔データ収録試験 (TCP レベル 5 の場合, 2004 年 11 月 22-23 日の例). 11 月 22 日には, ニューージーランド西方沖地震 (22/11/2004, Ms=7.1) の波形が正常に記録されている.

Fig. 7. Example of remote data acquisition in TCP Priority Policy 5 on 22-23 November 2004. Clear seismic waveforms are observed for the Earthquake Off West Coast of New Zealand (22/11/2004, Ms=7.1) recorded at Syowa Station.

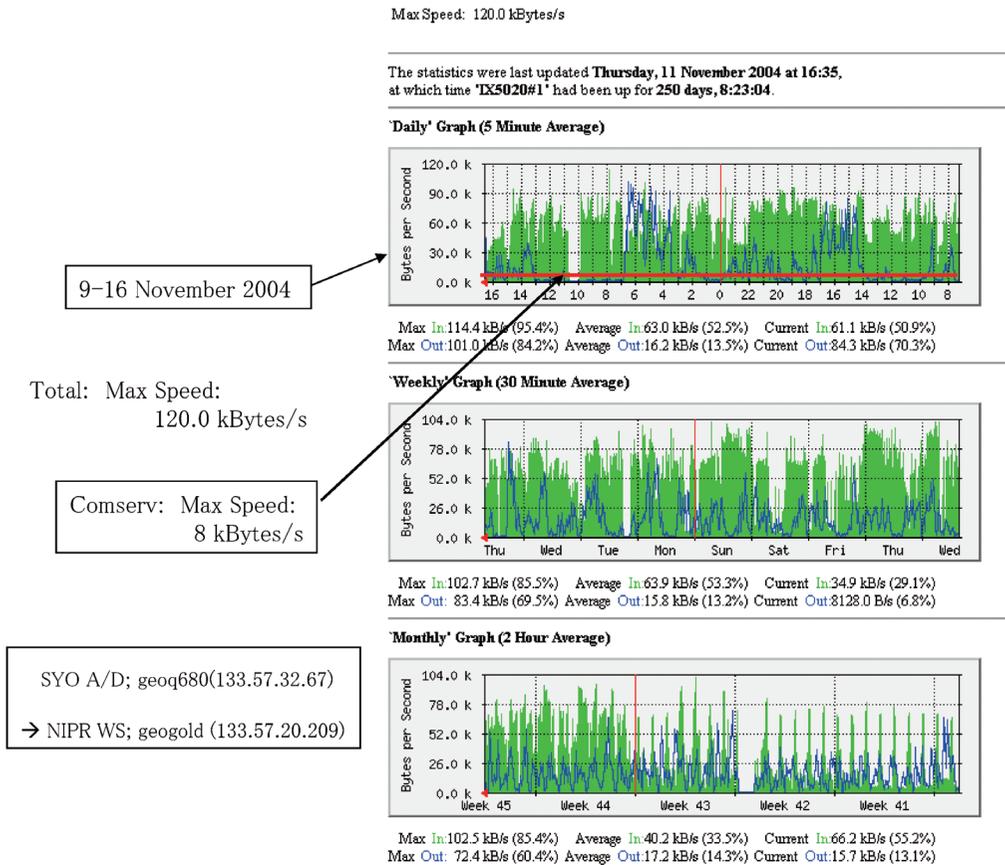


図 8 遠隔データ収録試験期間（2004 年 11 月）のインテルサット回線トラフィック。Comserv によるデータ収録は最大速度 8kB/s。（緑色；昭和基地→極地研の全体，青線；極地研→昭和基地の全体，上図；11/11/2004 前後 1 日間，中図；前 1 週間，下図；前 1 カ月間）。

Fig. 8. INTERSAT traffic during the remote acquisition testing period on November 2004. The maximum speed for the 'Comserv' data packets was 8 kB/s. (Green; SYO → NIPR, Blue; NIPR → SYO, upper; one day around 11/11/2004, middle; before one week of 11/11/2004, lower; before one month).

間とが一致することを確認した（図 6）。

その後試行実験を重ねた結果，TCP のプライオリティーレベルを 5 に上げて収録した場合，途中にテレビ会議（プライオリティーレベル 7 相当）が入っていたにもかかわらず，欠落なく TCP 収録できることが確認された（11 月 22 日～26 日の試験，図 7）。Comserv による遠隔データ収録は，AD 変換器から収録用サーバーへ最大速度 8 kB/s で行われているため，最大速度 120 kB/s のスペックを持つインテルサット回線のうち，最高でも 1/15 程度の通過帯域を占めるにすぎない。地震データパケットは 2，3 秒ごとに遠隔収録されるため，平均としては 1/30-1/40 程度の回線占有率と思われる（図 8）。

今後の検討事項としては，インテルサット通過帯域の一部を本データ通信領域に絶対枠

として確保する、いわゆるバースト式 (rate policy) を併用し、最低保障レート (guaranteed) を 100 bps 程度に設定して試験を行うことが考えられる。この場合には、今回行ったプライオリティーレベルの指定のみよりも、遠隔データ収集の安定性がさらに良くなることが予想される。

以上の試験により、現時点のインテルサット回線環境においても、地学棟の収録サーバー (geotail) が (予備器を含めて) 万一故障した場合には、極地研サーバーで一時的に収録可能であることが示された。さらに突き詰めて言えば、例えば地学棟の AD 変換器から極地研のデータライブラリー・サーバー (polaris) へ直接収録することが、(物理的には) 可能であろうし、万一このような (または類似した) 状況が将来的に安定して可能になれば、昭和基地現地でのデジタルデータの収録自体が不要になることも予想される。

## 7. データアーカイブと公開

第 30 次隊で広帯域地震計を導入以後に、昭和基地で得られた各種地震データは、基地 LAN 及びインマルサット衛星回線を用いて可能な限り迅速に伝送し、国内外の共同研究利用者に対して Web 上や DAT, 8 mm テープや CD-R での媒体で公開・提供されてきた (例えば、金尾ら, 1995 ; Kaminuma *et al.*, 1997)。

インテルサット回線により極地研の伝送用サーバー (geogold) に UUCP 伝送されてきた Mini\_SEED 形式のサマリーデータは、第 3 章で述べたように伝送サーバー内で験震作業が行われた後、「極域データライブラリーシステム (polaris)」へ転送・アーカイブされる。そして、Comserv 収録による全種類のデータ (表 1) と共に、polaris より共同研究利用者提供されている (データ公開用 URL ; <http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/>, 図 9)。

地学棟では、これまでも地震波形収録用サーバー (geotail) の外付 DAT ドライブ (圧縮モード 24 GB) 内のテープへ、geotail の cron 機能により毎日自動的にバックアップが行われてきた。データ総量は年間で数 GB 容量になり、安全を期して 3 カ月に一度テープ交換を行っている。さらにインテルサット回線導入後は、極地研の関連サーバーから地学棟の収録用サーバー (geotail) へ直接リモートログインを行うことで、Comserv による連続収録データを随時 (現在は、DAT テープ交換に合わせて 3 カ月に一度)、polaris へ ftp 等でファイル転送を行っている。これにより、現地でのテープ媒体等への保管と持ち帰り作業は、バックアップの意味として以外はほとんど不要になったと言える。また、第 6 章で述べたように、国内 (極地研) での遠隔データ収録が将来的に軌道に乗れば、昭和基地でのデータ収録自体が全く不要になることも想定される。

なお、HES 及び STS-1 両地震計の過去 20 年以上のアナログ記録についても、特に重要な長時間レコーダー (NEC 三栄社製, 8D23) の感熱紙記録を、データ持ち帰り後に極地研にて画像ファイル化 (pdf 形式) している。その画像データは、polaris 内の上記のデータ公開

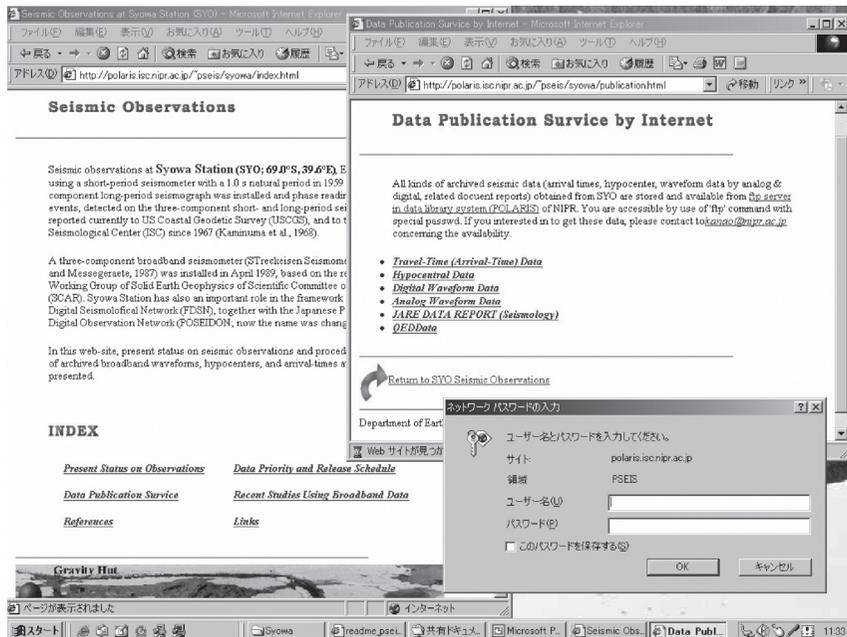


図 9 「極域データライブラリーシステム」の地震モニタリング観測の公開用ページの例 (URL: <http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/>)

Fig. 9. Example of home page in 'polaris' for seismic monitoring observations and publications of data retrieved from Syowa Station (URL: <http://polaris.nipr.ac.jp/~pseis/syowa/>).

用 URL でアーカイブを行い、共同利用者へ公開・提供している。固体地球物理学分野に限らず、紙記録による連続モニターはこれまで観測に必須であったにもかかわらず、それが長年に渡り蓄積された場合、保存管理に労力を要するのが常である。地震波形画像のデジタル媒体へのコンパイルは、データの保存性を高めると共に、ユーザーが容易にデータ検索をするにも有効である。

## 8. センサー室の温度管理

インテルサット回線の導入とは直接には関係ないが、第 5 章に関連して地震計センサー室の温度管理システムの強化を、第 46 次、並びに第 47 次隊で新たに行ったため、内容を簡単に記載する。

外気温の変化による広帯域地震計 (STS-1) 特有のドリフト現象 (いわゆるセンサーの長周期オフセット) が、旧地震計室の時期から通年観測する上での重大な問題であった (山田ら, 1989; 金尾・神沼, 1994)。第 38 次隊で新地震計室に移設して以降は、特に地震計センサー付近の温度を極力一定に保つために、地震計室内の端子盤室にある蓄熱ファンヒーター、ならびに水素メーザー室にある温室用ヒーターとを併用して、可能な限り地震計室全体での室

温調節に努めてきた。

STS-1 地震計のドリフト現象のモニタリングとしては、これまで地学棟のハイブリッドレコーダー (NEC 三栄製, RD2212) を用いて、センサー出力 3 成分のマス・ポジション (ゼロ点)、及び地震計センサー周辺の温度の連続記録を行ってきた。第 38 次隊以前では、ゼロ点が  $\pm 2.0$  V の範囲を越えた場合、地学棟内で STS-1 地震計の外部制御装置 (MON1) を用いてアナログ的に電気調整を行っていた。第 38 次隊以後は、基地 LAN を介して地学棟収録用サーバーの Comserv ソフトから、コマンド入力 (sensor auto-zero(Z)) により定電圧を供給しゼロ点調整ができるようになった (金尾ら, 1999)。

しかし、STS-1 地震計のマス・ポジション出力と並行して記録している、アナログ出力を備えた地震計センサー室内の温度計が、第 45 次隊の越冬中に故障した。そのため、第 46 次隊で新たなデジタル温度計 (VAISALA 社製, HM70) を持ち込み、2005 年 4 月より設置・温度データの取得を開始した。第 47 次隊越冬中の 2006 年 4 月現在、センサー室の温度が 5°C 前後になるよう設定されている。これらのシステムにより、地震計センサー室の温度を地学棟で常時モニタリング可能で、地震計データとともに温度のデジタル記録も並行観測データとして利用できる。

## 9. おわりに

インテルサット回線の導入に伴い、昭和基地の地震モニタリング観測システムを一部更新し、現地での収録データを迅速に極地研の関連サーバーに伝送することが可能になった。インターネット利用によりデータ収集の合理化と国内からのリモートモニタリングが行えるようになり、現地の保守管理作業の軽減に役立った。また、これまで基地で行ってきた験震作業を、伝送データを用いて極地研内で実施できるように変更したことで、国際地震センター (ISC) などへの検震報告と JARE Data Reports (Seismology) の編集作業の効率化も期待される。

第 30 次隊で広帯域地震計を蜂の巣山北麓の旧地震計室に設置した当初は、センサー部の調整のために地震計室の現場に必ず行く必要があった。従って、極夜期やブリザード等の悪天候時にはかなり厳しい保守環境に置かれていた。その後第 38 次隊での基地 LAN の導入、さらには第 45 次隊でのインテルサット回線の導入により、国内からの遠隔操作でセンサー調整とモニタリングが可能になった。わずか 15 年足らずの期間ではあるが、遠隔地のデータ収録とその保守体制に関しては、極めて画期的な改善がなされたと言える。昭和基地での保守管理の労力は半減したが、国内を含めて観測保守に係る関係者の相互協力がより重要になったと言えよう。

また伝送データのアーカイブと公開方法については、今後対話型のデータダウンロードシステム (例えば、New Interface for Network Java Application; NINJA 等) を導入することで、利用者のさらなる便宜を図る体制を整えることが肝要と思われる。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 (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。極域情報基盤センターと第 45, 46, 47 次隊の LAN 担当隊員の方には、昭和基地とのネットワーク接続・データ伝送に関して貴重なご助言を頂き、また様々な便宜を図って頂きました。極域研究資源センターの澁谷和雄教授、茨木亜裕子氏、塩見明子氏には、デジタル及びアナログの地震データのコンパイル作業に対して、多大なご協力を頂きました。また、小島秀康教授と野木義史助教授、さらに匿名のレフリー 1 名の方には、本稿の改定にあたり有益な助言を頂きました。以上の皆様に記して感謝いたします。

### 文 献

- Doi, K. and Kanao, M. (2006): Seismological Bulletin of Syowa Station, Antarctica, 2004. JARE Data Rep., **285** (Seismology 40), 112 p.
- Hagiwara, T. (1958): A note of the theory of the electromagnetic seismograph. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, **36**, 139–164.
- 萩原尊禮 (1997): HES 地震計。地震予知と災害, 東京, 丸善, 152–157.
- Isse, T. and Nakanishi, I. (2001): Inner-Core anisotropy beneath Australia and differential rotation. Geophys. J. Int., **151**, 255–263.
- 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 Antarct. Publ., 1049–1052.
- Kanao, M. and Ishikawa, M. (2004): Origins of the lower crustal reflectivity in the Lützow-Holm Complex, Enderby Land, East Antarctica. Earth Planets Space, **56**, 151–162.
- 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 (1994): 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. (1994): Broad-band 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.
- Kanao, M. and Kaminuma, K. (2006): Seismic activity associated with surface environmental changes of the Earth system, around Syowa Station, East Antarctica. Antarctica: Contributions to Global Earth Sciences, ed. by D.K. Futterer *et al.* Berlin, Springer, 361–368.
- 金尾政紀・神沼克伊・渋谷和雄・野木義史 (1995): 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.
- 金尾政紀・神沼克伊・渋谷和雄・野木義史・根岸弘明・東野陽子・東敏博 (1999): 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。南極資料, **43**, 16–44.
- Kanao, M., Kubo, A., Shibutani, T., Negishi, H. and Tono, Y. (2002): Crustal structure around the Antarctic margin by teleseismic receiver function analyses. Antarctica at the Close of a Millennium, ed. by J. A. Gamble. *et al.* Wellington, R. Soc. N. Z., 485–491 (R. Soc. N. Z., Bull. 35).

- Kobayashi, R. and Zhao, D. (2004): Rayleigh-wave group velocity distribution in the Antarctic region. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **141**, 167–181.
- Kuge, K. and Fukao, Y. (2005): High-velocity lid of East Antarctica: Evidence of a depleted continental lithosphere. *J. Geophys. Res.*, **110**, B06309, doi:10.1029/2004JB003382.
- 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, **1991**(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.
- Tsuboi, S. (1995): POSEIDON. *IRIS Newsl*, **14**, 8–9.
- Tsuboi, S., Kikuchi, M., Yamanaka, Y. and Kanao, M. (2000): The March 25, 1998 Antarctic Earthquake: Great earthquake caused by postglacial rebound. *Earth Planets Space*, **52**, 133–136.
- Usui, Y., Hiramatsu, Y., Furumoto, M. and Kanao, M. (2005): Thick and anisotropic D" layer beneath Antarctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13311, doi: 10.1029/2005GL022622.
- Wielandt, E. and Steim, J. M. (1986): A digital very-broad-band seismograph. *Ann. Geophys.*, **4B**, 227–232.
- 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 2 輯, **42**, 21–33.