

「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

金尾政紀*・久保篤規*

Report on Workshop “Public Use and Scientific Study of Broadband Seismic Data at Syowa Station, Antarctica”

Masaki KANAŌ* and Atsuki KUBO*

Abstract: A workshop on “Public Use and Scientific Study of Broadband Seismic Data at Syowa Station, Antarctica” was held on January 25, 1996 at the National Institute of Polar Research, with 12 participants. The history and present status of seismic observations were reported, followed by presentations concerning scientific studies using broadband data in Antarctica. The main contributions are (1) studies of the velocity structure and anisotropy in the crust and upper mantle using short-period body waveforms and travel time data and (2) analyses of the heterogeneity and anisotropy of seismic wave velocity in the core and the lowermost mantle by using short period core phases and free oscillations of the Earth. Finally, discussions concerning data archiving, public use and future plans of the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) were conducted in regarding to the above scientific results.

要旨:「南極・昭和基地を中心とする広帯域地震データの利用と成果に関する研究小集会」が、1996年1月25日に国立極地研究所にて開催され、所内外から12名が参加した。広帯域地震観測の歴史・現状報告につづき、昭和基地をはじめとする南極の広帯域地震データによる研究成果の発表が中心に行われた。短周期実体波形・走時解析による地殻・上部マントルの速度構造・異方性の研究、ならびに地球自由振動とPKP波等の走時解析による内-外核・最下部マントル境界の地震波速度異方性の研究が主に紹介された。最後にこれらの研究成果をふまえて、今後のデータアーカイブ・公開の指針、および南極観測における将来計画についての検討がなされた。

1. はじめに

広帯域地震データの利用と成果に関する研究小集会が1996年1月25日、国立極地研究所の研究棟2階講義室にて開催された。昭和基地では第30次日本南極地域観測隊(JARE-30)により広帯域地震計による連続観測が開始され、現在も順調にデジタル波形データが蓄積されている。本研究小集会では、このデータを用いての解析結果の発表に重点を置き、今後のJAREにおける観測計画とデータ流通の指針を得ることを目的とした。発表者はJARE参加

*国立極地研究所, National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

者を中心に共同研究者が多く、お互いの研究内容について活発に議論した。昭和基地のデータに限らず南極の他の基地での観測データを用いての研究発表も多くなされた。さらに南極大陸にとどまらず、南半球を中心としたグローバルな視点から、地球内部構造についての知見を得ようとする研究もあり、今後の広帯域地震データを利用した成果の期待の大きさがうかがえた。以下にプログラムを示す。

プログラム

1. はじめに
2. 昭和基地における地震観測の現状
 - (1) 地震観測の歴史 神沼克伊 (極地研)
 - (2) 広帯域地震観測の現状報告 金尾政紀 (極地研)
3. 南極の広帯域地震データによる研究成果
 - (1) 南極大陸における S 波異方性の研究 久保篤規 (極地研)
 - (2) 南極大陸で捉えた沈み込みの帯の異方性 平松良浩 (京大防災研)
 - (3) レシーバ関数による南極大陸の地殻 S 波速度 金尾政紀 (極地研)
 - (4) オーストラリア-南極断裂帯 (AAD) 下の実体波走時解析 岡野憲太 (東大地震研)
 - (5) STS 地震計と重力計の-主に自由振動帯域での-比較 名和一成 (名大理)
 - (6) 極域の PKP 記録を用いた内核の異方性の解析 田中 聡 (東北大)
 - (7) STS 記録を用いた D'' と内核の異方性の研究 山田 朗 (京大理)
4. 南極の広帯域地震データの利用
 - (1) 極地研でのアーカイブ状況 金尾政紀 (極地研)
 - (2) ポセイドン・センターのアーカイブ状況 坪井誠司 (東大地震研)
 - (3) ネットワークを利用した南極外国基地の地震データの利用と公開についての紹介 久保篤規 (極地研)
5. JARE における地震観測の将来計画
 - (1) 新地震計室の建設について 渋谷和雄 (極地研)
 - (2) 第 37 次観測隊での予定, 第 38 次観測隊での計画 金尾政紀 (極地研)
 - (3) 中国・中山基地での共同観測計画 神沼克伊 (極地研)
6. 総合討論

2. 会議の概要

昭和基地における地震観測の現状

最初に、JARE-30 以降の広帯域地震観測の簡単な歴史が説明され、毎年次観測システムの拡充やデータ通信の整備が行われていることが述べられた。次に、現在の地学棟内の観測シ

システムの具体的な説明と地震計室の現状が紹介され、越冬中の保守に苦勞を要する旨が紹介された。また現地での験震作業と電子メールでの国際地震情報センター (National Earthquake Information Center (NEIC)) への報告、およびその時期についての説明があった。越冬隊員の帰国後1年以内に JARE Data Reports (Seismology) が作成され、最終的な読み取りデータが国際地震センター (International Seismological Center (ISC)) へ報告される旨も説明された。インマルサット衛星回線を利用したデータ伝送も順調に行われ、JARE-34以降の伝送容量の概略が報告された。

また、JARE-3 (1959年度) の HES 上下動1成分観測により始まった、昭和基地における地震観測の歴史が紹介され、広帯域地震計設置以前の基地観測の主な流れと、野外観測における主だった項目が述べられた。著者を含めて、デジタルデータを主に解析に使用している若年の利用者にとって、記録の連続性と有用性が再度理解され参考になった。

南極の広帯域地震データによる研究成果

このセクションが本研究小集会の中心であり、地殻、上部マントルから内核にいたるまで、地球内部の広範囲の構造を、さまざまな地震波を用いての発表が行われた。

S波のスプリットング解析による異方性の研究では、南極大陸における広帯域地震観測点でのSKS波解析が進められており、地殻深部と上部マントルにおける地震波速度の異方性分布が得られている。すでに、昭和、デュモン・デュルビルおよびモーソンの各基地で地震波速度異方性が得られており、またテラノバ・ベイ基地とノイマイヤー基地でも別の研究により同じような報告がされている。これらの地震波速度の速い方向は、現在のプレート運動の方向とは一致せず、過去に形成された異方性が残っていると考えられる。

また、SKS波とS波のスプリットングを組み合わせ、南極大陸直下の地震波速度異方性の結果をもとに、震源近く(南太平洋の沈み込み帯)の地震波速度異方性について研究発表があった。昭和基地とデュモン・デュルビル基地のデータによる、南アメリカ、トンガ-ケルマディックおよびニューヘブリス-スダにおける結果は、沈み込むプレート(スラブ)のdip方向に平行な速度異常が主に観測された。この原因が上部マントルにおけるshear-flowにより生じたオリビンの選択配向により形成されたとすると、南太平洋の沈み込み帯では主に、スラブのdip方向に平行なマントル流が存在すると考えられる。

地殻と上部マントルにおける速度構造の研究では、遠地地震の広帯域地震P波波形インバージョンにより、深さ60kmまでのS波速度モデルが東南極の3観測点(昭和基地、デュモン・デュルビル、モーソン)で得られ、地殻深部構造とその形成過程との関係が調べられた。広域変成作用の年代が古いほど地殻内速度変化が少なく、モホ面が明瞭で深くなる傾向がある。特に昭和基地周辺では、高圧岩石実験による変成岩の弾性波速度との対応から地殻構成物質を推定し、表面地質がグラニュライト相に対応する方位と、角閃岩相漸移帯とで地

殻構造の違いが確認された。地殻下部になるに従い塩基性岩組成が増加することと、中・下部地殻における反射層を説明するために複数の岩石の層構造を仮定することが重要である。

また、昭和基地のデータを用いた *PP-P*, *SS-S* の走時残差解析からは、オーストラリア-南極断裂帯 (Australian-Antarctic Discordance (AAD)) 下の速度異常域の規模の検証が試みられた。その結果、周辺の高嶺で大きな正の残差を示すのに対し、AAD を中心に 105°E - 135°E の範囲でゼロから負の残差が集中する。この AAD 領域を中心に高嶺軸方向に 2000 km を超える規模の高速度域がみられることが確認された。原因としては AAD 下の MORB が低圧で、低い部分熔融度で生成された特徴を示すことから、上部マントルが異常に低い温度であることが考えられる。

重力計との比較による地球自由振動の研究では、昭和基地で観測している超伝導重力計、ラコスト重力計との地震波スペクトルの比較が行われた。それぞれのセンサー、特に超伝導重力計の自由振動帯域での信号検出能力を調べることを目的としている。1994年6月に発生したボリビア巨大深発地震の解析からは、広帯域地震計のスペクトルが高周波数側では超伝導重力計とよく一致しているが、1 mHz より低い周波数では S/N が悪くなることが分かった。また時間経過によっても S/N が悪くなり、自由振動のモードが確認できるのは、地震計では発生から3日程度までであった。地震計は気温変化などによる影響が大きく、記録の長期安定性という面で劣っており、長周期あるいは小振幅-低減衰のシグナルの検出には重力計が優れていると言える。地震計で良質の自由振動記録を得るためにも、今後の新地震計室での観測に期待したい。

実体波を用いた内核の異方性研究では、極域の PKP 記録を用いて地球回転軸と平行な方向に伝わる波線について解析し、内核の南北方向における半球的な地震波速度異方性の研究が行われた。東半球では PKP(BC)-PKP(DF) 走時差残差の、PKP(DF) 波線と赤道のなす角度に対する変化がほとんど見られないのに対し、西半球では波線の角度による残差の違いが現われた。内核最上部では西半球だけに地震波速度の異方性が存在すると解釈される。内核上部 400 km における深さ方向の変化は、内核-外核境界から深さ 200 km までは異方性がなく、200 km より深い領域に 4% 程度存在すると考えられる。

また、フィジーの地震を日本の観測点のデータを用いて解析し、マントル最下部の D'' 層の構造を推定する研究が行われ、極域における新しいテーマとして紹介された。広帯域地震記録の D'' 層からの S 波反射波 (*SdS*) を検出し、その反射面の性質や最下部マントルの S 波速度構造を推定した。*SdS* 波は *ScS* 波に先行して transverse 成分に大きな振幅が現われることから、震源や観測点直下の構造によるフェイズではなく、マントル最下部に起因すると考えられた。最後に、昭和基地の HES のフィルム記録、および紙記録より読み取った、コア・フェイズの初動走時解析による内核の地震波速度異方性についての予備的結果が報告され、今後ともデータを追加していく旨が伝えられた。

南極の広帯域地震データの利用

最初に、極地研究所におけるデータアーカイブ状況が説明された。昭和基地は、世界中の広帯域地震観測網連合 (Federation of Digital Seismographic Networks (FDSN)) の 1 観測点に属しており、日本の広帯域地震観測網 (旧 POSEIDON 計画) にも参画し、デジタルデータを提供している。昭和基地のデータを提供する立場から、東京大学地震研究所の広帯域データセンターと極地研究所とで調整を行い、データ利用と公開については、越冬して観測に従事した者に優先権を与え、段階的に公開する方針を定めている。提供するデータの種類の、地震波形データにとどまらず、すでに JARE Data Reports として印刷されている、昭和基地で検知された地震の震源リストや地震波到達時刻などの情報も、Anonymous ftp サイトや WWW サーバ (<http://www.nipr.ac.jp>) からインターネット経由で利用できるよう整っている。データ公開についての詳細は、金尾ら (1996) に詳しい。

次に、東京大学地震研究所の広帯域データセンターの現在までのアーカイブ状況について説明があった。データセンターへは海外の観測点を含めて、全国からデータ集積されるが、各観測点の観測状況の差によって連続収録、イベント・トリガー方式などさまざまなアクセス方法がある。それぞれオンライン、オフラインの系統があり、連続オンライン収録は Earthquake Research Institute Observation System (ERIOS) と呼ばれ、昭和基地のデータもここに入れられる予定である。データの一部は核実験探知のための国際共同計画 (GSETT-3) にベータ観測点として登録されており、地震がどこで起こっても、約 3 時間以内にアメリカにある International Data Center のデータベースに自動的に送信されるようになっている。これは電子メールによるデータ利用システムにより行われており、Auto Data Request Manager (Auto DRM) と呼ばれる。広帯域データセンターの地震計記録もこのシステムにより利用可能で、その使い方について簡単な紹介がなされた。

最後に、コンピューター・ネットワークを利用した南極外国基地の地震データの利用と公開についての現状の紹介が行われた。図 1 に示すように、FDSN の Station Book に記載されている、南極における広帯域地震観測点は昭和基地を含め 8 点あり、それぞれ各国のグローバル観測網に属している。また、ほとんどの観測点のデータは Incorporated Research Institute for Seismology (IRIS) の Data Management Center (DMC) のデータベースシステムを利用して得られる。昭和基地のデータも、日本の広帯域データセンターを通じて IRIS/DMC へ配布される予定である。本研究集会においても、外国基地のデータを用いた研究の報告がいくつかなされている。同種類の研究テーマを行う場合、データを早く収集・解析する必要があり、まさに国際競争と言ってよいであろう。

JARE における地震観測の将来計画

国立極地研究所により平成 8 年度からの南極観測の第 V 期 5 年計画について簡単な説

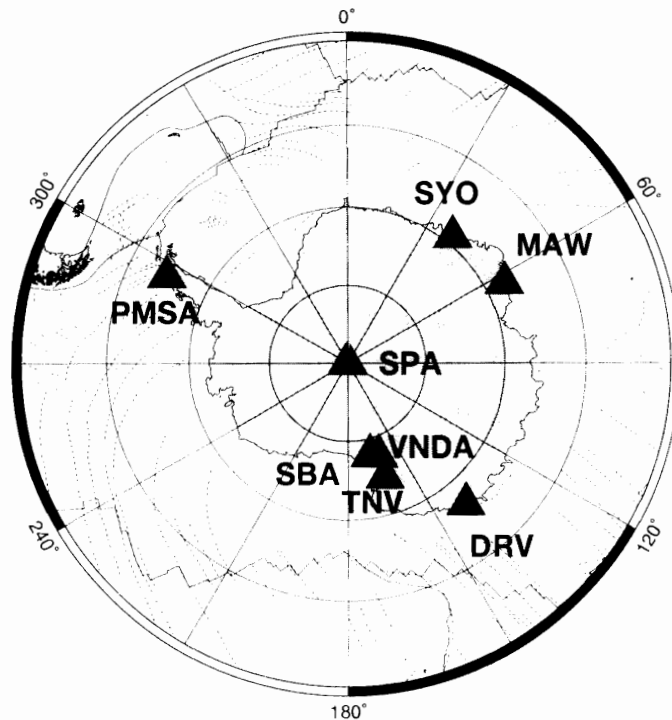


図 1 FDSN の Station Book に記載されている南極の広帯域地震観測点の分布

Fig. 1. *Distribution of broadband seismographic stations in Antarctica (from FDSN Station Book) (January 1996).*

明があり、広帯域地震観測が短周期地震観測などと共に、昭和基地におけるモニタリング観測の主項目であることが認識された。また、JARE-37により新地震計室の建設作業が進行中(1996年1月現在)であることが報告された。JARE-37越冬期間には、できるもの限り、またJARE-38の夏期間に残りのすべての地震計の移設をする予定である。なお、移設に伴う観測システムの更新と新地震計室-地学棟間の信号ケーブルの敷設も計画されている。今後の観測システムの更新については、国内の広帯域観測点で使用できるように設計・準備されている統一規格(AD変換器, パソコン)を採用し、データ交換・保守を用意することが検討されている。なお収録データ・フォーマットについては、すでに1993年度から地震研究所のERIOSシステムに準拠したものを採用している。また、基地LANの敷設・完成もJARE-38で予定されており、インマルサット衛星回線を利用した昭和基地-極地研究所間のデータ伝送を継続することも述べられた。

JARE-37で試験的に開始し、JARE-38から本格的に行う観測項目として、リュツォ・ホルム湾沿岸露岩域における広帯域地震計による機動観測がある。夏期間はヘリコプターで、また越冬期間は雪上車により移動・設置を行い、1点2カ月程度の観測を予定している。主に遠地地震を対象とし、レシーバ関数解析やS波スプリッティング、表面波解析といった、リュツォ・ホルム湾地域の構造解明に重点を置く。また、可能ならば微小地震の震源決定も

行いたい。さらに JARE-41, -42 で計画されているアムンゼン・ケーシー湾地域での人工地震探査の際には、広帯域地震計を現地露岩に設置し、エンダービーランドの地下構造を求め、東南極楕状地における地殻進化と深部構造を面的に探る。

最後に中国・中山基地においても、広帯域地震計による国際共同観測を中国国家地震局との共同で検討している旨が説明された。今後希望者があれば、共同観測は積極的に推進される。

総合討論

今後3年間の共同研究の進め方について意見交換を行い、平成8年度からは、これまでの研究課題の延長上に主に三つのテーマで行うことにした。一つは、南極プレート周辺域の地殻、マンツルの地震波速度構造を面的に研究することである。その際に波形と走時解析を中心に微細な速度構造モデルを求める。大陸では深部構造とその進化の関連を探り、また海洋域ではプレート境界の速度構造とその成因を探る。二つめは、地殻・マンツルの地震波速度異方性・不均質構造に関する研究で、南極大陸上にS波速度の異方性の空間分布を求めると共に、沈み込み帯での異方性を求める。また、地殻と上部マンツルからの寄与を分離する新たな手法を開発する。三つめは、地球中心核の構造の解明に関するもので、複数観測点のデータを用いてアレィ的に解析し、孤立した1観測点では得られない微細な内核-外核境界、外核-最下部マンツルの境界(D''層)の不均質・速度異方性を探る。

また、JAREでの観測データのアーカイブの方針についても議論が行われた。データ取得者のプライオリティ期間を得て、最終的には国立極地研究所と東大地震研究所の広帯域データセンターで同時に保管、公開を行うことを改めて再確認した。現在のところ、最終的なデータ保存媒体としてはCD-Rが最適であるとの認識で、ここ2,3年は地震研究所でオリジナルMOからの焼き付け作業を行うことにした。オリジナルMOは、紙記録と同様に最終的には極地研究所の地球物理資料庫で保管される。

さらに、Long Period (LP) データについて利用価値が検討された。地球自由振動帯域での超伝導重力計との比較研究のためには重要であるが、現在のところ未だ本格的な解析はなされていない。地震計のドリフト特性を調べるための基礎データとしても有効であるので、今後超伝導重力計観測が継続される数年間はデータを取得することとした。

3. おわりに

昭和基地における広帯域地震データを用いて、これまでにさまざまな地球内部構造の研究が行われ、その一部が本研究小集会で発表された。今後とも観測の質の高いデータを提供するとともに、インマルサット回線を利用しての準リアルタイム解析が行える環境整備を行う必要がある。また、昭和基地のみならず諸外国のデータも、今やインターネットを利用して

簡易に利用できる状態にあり、観測データ・解析手法ともに国際競争に耐えうる研究をますます推進する必要がある、また期待されるところでもある。さらに、本小集会の参加者からも意見があったように、野外での広帯域地震計を用いての機動観測、とりわけアレイ的にデータを取得解析することが望まれる。実際の観測上の問題点を踏まえ、今後の JARE の活動の中で積極的に取り組んで行きたい。

謝 辞

この研究小集会は国立極地研究所の共同研究の一環として行われた。講演の要旨と議論について資料をお寄せ頂いた発表者の皆様に記して感謝いたします。

文 献

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.

(1996年3月21日受付; 1996年5月17日改訂稿受理)