

「エンダービーランドの地学調査の展望」
に関する研究小集会報告

金尾政紀*

Report on Workshop “Prospects on the Earth Science Program in
Western Enderby Land, East Antarctica”

Masaki KANAOK*

Abstract: A workshop on “Prospects on the Earth Science Program in Western Enderby Land” was held on September 8, 1998 at the National Institute of Polar Research, with 34 participants. The future program of earth sciences in Enderby Land, entitled “Structure and Evolution of the East Antarctic Lithosphere (SEAL Project)” was discussed, considering both scientific significance and logistic problems. First, the details of geological surveys in the Tonagh Islands were reported by the 39th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-39) in 1998, followed by the planning of the JARE-40 party in 1999, using two helicopters over wide areas of Western Enderby Land. Second, seismic explosion experiments by JARE-41 in 2000 were planned to be held on the Mizuho Plateau icesheet. The location of seismic lines was changed from Tonagh Island, because of the danger of environmental impact on the vegetation and alteration of outcrops. Finally, a proposed large-scale seismic experiment across the geological boundary between the Napier and the Rayner Complexes using helicopters was determined to face operational difficulties and will be discussed laterly in relation to future plans of JARE. This report is focused on the environmental assessment for seismic explosion experiments in the Antarctic region.

要旨: 「エンダービーランドの地学調査の展望に関する研究小集会」が1998年9月8日、国立極地研究所にて開催され、所内外から34名が参加した。第39次日本南極地域観測隊(39次隊:1998年)夏隊により行われた、トナー島の地質調査の詳細な報告が、スライドやビデオを交えて行われ、島全域の地質図が初めて示された。また、第40次隊(1999年)で予定している小型ヘリコプターを用いての地質・地形調査の詳細な計画が報告され、オペレーション実行上の安全対策等、各種問題点について議論した。観測隊出港までにさらに具体的な詰めを行うことにした。第41次夏隊(2000年)で実施予定の人工地震探査は、環境アセスメントの観点よりトナー島露岩域での探査ではなく、みずほ高原の大陸氷床上での実験に切り替えることで参加者の了解を得た。第42次隊(2001年)以降のアムンゼン湾-ケーシー湾にかけての長距離測線による人工地震探査については、小型ヘリコプター導入における諸問題点を含めて、今後第VI期計画と絡めて改めて議論することになった。本報告では、南極域における人工地震探査の環境アセスメントの問題に特に重点を置いて記載する。

* 国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

1. はじめに

エンダービーランドの地学調査の展望に関する研究小集会在1998年9月8日、国立極地研究所の研究棟2階講義室にて開催された。エンダービーランド・アムンゼン湾域を中心とした、南極観測の第V期5カ年計画におけるSEAL (Structure and Evolution of East Antarctic Lithosphere) 計画について、これまでの調査報告と研究成果をまとめると共に、それらを踏まえて1998年度以降の計画を再検討し、その方向性を探ることを目的にしている。これまでに、SEAL計画の実際の計画立案、運営について議論するためのワーキンググループが、年に2回の割合で実施されてきた(本吉洋一, 1994)。今回の研究小集会是、そのワーキンググループの会合の一環でもある。

第40次日本南極地域観測隊(以下40次隊のように略す)では、トナー島に小型ヘリコプターの拠点を設け、広範囲での地質・地形調査を行うが、そのための強風対策、事故等による非常時の処置、通信体制等の安全面を中心に検討した。また、41次隊以降に予定されている人工地震探査については、環境アセスメントへの対応や、火薬類のヘリコプターでの輸送等、十分に議論することを目的とした。また、科学的に十分な目的を達成するための、探査測線の選定の具体案を提示し、所内外の関係者と意見交換を行った。さらに、オペレーション実行上の具体的な制約等をまとめ、雪上車や人員枠の確保の問題等の設営面をも含めて、関係者間で十分に議論することを目的とした。それらの問題点を抽出し、今後の準備段階のための参考指針を作成した。

以下にプログラムを示す。

プログラム

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| 1) 39次隊調査報告 | 小山内康人(岡山大教育学部) |
| 2) 40次隊調査計画 | 本吉洋一(極地研) |
| 3) SEAL計画における人工地震探査の背景 | 白石和行(極地研) |
| 4) 環境アセスメント | |
| ・これまでの経過説明 | 金尾政紀(極地研) |
| ・環境庁、諸外国対応の今後の予定 | 佐野雅史(極地研) |
| 5) 20～22次隊における実験概要と研究成果 | 伊藤 潔(京大防災研) |
| ・地震探査による構造変形解明への期待 | 久保篤規(東大地震研) |
| 6) 初年度(41次隊)計画 | |
| ・探査計画の概要 | 金尾政紀(極地研) |
| (目的、オペレーション素案、人員、車両) | |
| ・観測器材の準備状況 | 金尾政紀・渋谷和雄(極地研) |
| (レコーダー・センサー・電池、氷床ボーリング装置、ペネトレーター) | |

- ・観測点展開, 薬量について 筒井智樹 (京大理学部)
 - ・震源について 一ノ瀬洋一郎 (東大地震研)・金尾政紀 (極地研)
(ダイナマイト, 発破技術, エアガン)
 - ・屈折法探査, 及び処理についての考察 宮町 宏樹 (鹿児島大理学部)
 - ・反射法探査, 及び処理についての考察 戸田 茂 (愛知教育大)
 - ・雪上車オペレーションについての考察 石沢賢二 (極地研)
 - ・その他コメント 鮎川 勝 (極地研)
(安全, 輸送, オペレーションスケジュール等)
- 7) 次年度計画
- ・これまでの経過と探査計画の概要 金尾政紀 (極地研)
 - ・古地磁気調査について 石川尚人 (京大総合人間学部)
 - ・小型ヘリコプターオペレーションについて 野木義史 (極地研)
(運用, 安全, 管制)
- 8) 討 論
- ・問題点の抽出と解決策の提案
 - ・今後の準備計画

2. 会議の概要

2.1. 39 次夏隊地質調査報告

1998年2月に39次隊により行われたトナー島の地質調査の詳細が、スライドやビデオを交えて報告された。現地に行きたくない者にとって、現場の概要と調査の雰囲気は十分わかる説明であった。また、トナー島全域の詳細な地質図が作成され、はじめて示され、島全体は4つの大きな構造に分かれるなど、地質概要が紹介された。

2.2. 40 次隊小型ヘリコプターオペレーション計画

40次隊の小型ヘリコプターを用いた地質・地形調査の計画の詳細が報告され、オペレーション実行上の安全対策等、各種問題点について議論した。40次隊の関係隊員も参加しており、11月の出港までに具体的な詰めを行うことになった。

2.3. SEAL 計画における人工地震探査の背景

第V期5カ年計画におけるSEAL計画の概要とこれまでの経過、ならびに後半に予定されている人工地震探査の位置づけについて説明があった。また、オペレーションに必要な観測隊員の枠の確保の問題が指摘され、特に小型ヘリコプターを用いる年度については、他観測分野との調整などが必要であり、年度によっては実施状況がかなり厳しい場合もあることが説明された。

表 1 最近の南極大陸上に

Table 1. Summary of seismic experiments on the after 1990 and reports at SCAR meetings are also shown for comparison.

| Reference | Country | Region | Year | Experiment line / recorder pt. |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|--|
| (Published) | | | | |
| [previous JARE experiments] | | | | |
| Ikami et al. (1980) | Japan | S route | 1979 | 50km / 10pt. |
| Ito et al. (1983) | Japan | Ongul Is. | 1980 | 1km / 8pt. 5km / 11pt. |
| Ito et al. (1983) | Japan | Soya Coast | 1980 | 10km / 10pt. |
| Ito et al. (1983) | Japan | Mizuho Plateau | 1980 / 81 | 300km / 27pt. |
| [Published after 1990] | | | | |
| Sroda et al. (1997) | Poland | Antarctic Peninsula shelf | 1984 / 85 | total: 1000km (7lines) / 7 st., 5ch. |
| Jarvis and King (1993) | UK | Larsen Ice Shelf | 1989 | 2km / 5.2m interval |
| King et al. (1993) | UK | Near Rothera Station | 1991 | test of airgun |
| King and Beil (1996) | UK | Ronne Ice Shelf | 1991 / 92 / 93 | total: 158 km (6 lines) / 300m cable |
| Jarvis and King (1995) | UK | Larsen Ice Shelf | 1993 | 24km / 48ch., 2.4km cable |
| King and Bell (1997) | UK | George VI Sound | 1994 / 95 | 23 km / 50m int., 48ch. |
| Jokat et al. (1997) | Germany | Filchner-Ronne Ice Shelf | 1994 / 95 | 150 km / 12 st. + 2.6km cable |
| Vedova et al. (1997) | Italy, Germany USA | Transantarctic Mountains | 1993 / 94 | 300 km / 58 st. |
| (SCAR reported) | | | | |
| Bannister et al. (1996) | NZ,USA | Ross Ice Shelf | 1990/91 | 140 km / streamer cable + pt. 96 km / |
| Bannister and Brink (1996) | NZ,USA | Wilkes Basin | 1993/94 | |
| Nixdorf (1996) | Germany | Ekstrom Ice Shelf | 1993/94 | 20km / |
| Nixdorf (1996) | Germany | Foundation Ice Stream | 1994/95 | 70km / |
| King (1998) | UK | Orville Coast | 1996/97 | |
| King (1998) | UK | Candlemas and Thule Is. | 1996/97 | |
| King (1998) | UK | Evans Ice Stream | 1998/99 | |
| (Planned) | | | | |
| JARE-41 | Japan | Mizuho Plateau | 1999 / 2000 | 17km / 170pt. 170km / 170pt. |

おける人工地震探査の例

Antarctic Continent. Covers published studies in 1996 and 1998. The previous survey in JARE-20, -21

| Analysis | Target depth | Seismic source | Explosive charge | Shot hole / depth |
|---------------------------------------|---|------------------------|---|---|
| refraction | testing measurement | explosive | 560kg (ice sheet) 1000kg (sea) | mechanical drill / 63m 110m (sea) |
| refraction | surface layer | explosive | 0.1-0.7kg (rocks) 80-100kg (sea) | mechanical drill / 0.5-0.9m 55m (sea) |
| refraction | upper crust | explosive | 20-100kg (ice sheet) | mechanical drill / 5-30m |
| refraction | deep crust and Moho | explosive | 1000.1400kg (ice sheet) 2977kg (sea) | mechanical drill / 100.143m 160m (sea) |
| refraction | deep crust and Moho | explosive | 50-100kg of TNT (sea) / 6km int. | 80m (sea) |
| reflection / shallow refraction | firm and ice layers | explosive | 2.27kg / 250m int. | hot-water drill / 9m |
| reflection | ice shelf thickness | airgun | 25kg weight / 100kg compressor | 0.5m |
| reflection | sub-seabed (1.5s TWT) | explosive | 2kg ammonium nitrate / fuel oil | hot-water drill / 10-15m |
| reflection / shallow refraction | sedimentary sequences | explosive | up to 8kg / up to 64kg | hot-water drill / up to 9m |
| reflection | sediments beneath ice shelf deep crustal structure | explosive | 5-200kg / 50m-2.4km int. ammonium nitrate / fuel oil | hot-water drill / hand-dug pits |
| reflection / refraction | sediments and upper crust (3.5s TWT) | airgun (sea) | / 150m int. | 10-20m (sea) |
| reflection / refraction | deep crustal structure | explosive | 80-530kg (ice sheet) | hot-water drill / 9-39m multiple shot pattern / 4-20 |
| reflection reflection / refraction | ice shelf and crust | | (oversnow) | |
| multi-channel array | firm layers | | (oversnow) | |
| reflection | ice thickness | explosive | 500m int. | |
| reflection | ice thickness | explosive | 500m int. | |
| refraction | rock velocity | explosive ? | (rock outcrops) | |
| reflection / refraction | crust | explosive ? | (oversnow) | |
| reflection / refraction | crust | explosive ? | (oversnow) | |
| reflection refraction | upper crust deep crust and Moho | explosive explosive | 100-300kg (ice sheet) 300-500kg (ice sheet) | steam drill / 30-50m steam drill / 30-50m |

2.4. 環境アセスメント

最近の南極地域における人工地震探査の実施状況を表1に示す (SRODA *et al.*, 1997; JARVIS and KING, 1993, 1995; KING *et al.*, 1993; KING and BELL, 1996, 1997; JOKAT *et al.*, 1997; VEDOVA *et al.*, 1997; SCAR, 1996, 1998, etc). 諸外国の中では、イギリス (UK) がほぼ毎年継続して探査を行っているのが注目される。また、大陸氷床上のほとんどの実験はダイナマイト震源を使用していることが分かる。他の震源として一部でエアガン (KING *et al.*, 1993) が使われ始めているが、まだガン容量も小規模なもので試験的に棚氷上での基盤の深さを求めている程度である。モホ面及びそれ以深の探査には、現段階ではやはり数 100 kg のダイナマイト薬量が必要である。

これまで南極で行われてきた火薬震源の場合の、周辺的环境に対する影響評価について考察したものを以下に示す。

- ・ダイナマイトの燃焼に伴う木粉 (カーボン) やでん粉 (コンスターチ) を主に含む炭酸ガス及び窒素ガスが周辺の大気中及び氷床上に吹き出すことが予想される (日本油脂資料, 1998)。これは、1980–1982年 (20, 21次隊) に実施したみずほルートでの人工地震実験時にも、孔から黒い煙が吹き出し周辺の氷床が黒く汚染されることが確認されている (片岡, 1983)。しかし、41次隊の実験で使用する予定の爆薬は、木粉、でん粉の組成が21次使用分よりもそれぞれ 3.00→0.00 (%), 4.25→2.00 (%) と少ないため、黒い粉による汚染はさらに少ないと予想される。

- ・火薬が完全に反応しない場合には、BaSO₄ が完全に分解しないため、硫黄化合物の発生量が少なくなり、NO₂ 等も発生する。こうした噴出物の環境影響評価は重要であるが、エアガン等の非火薬震源においては、これらはすべて排出されることはないと期待される。

- ・発破作業はすべて積雪のある氷床上で行い、露岩域では実施しない。従って、生態系への影響は極めて軽微であると考えられる。また海域においては、鳥類やアザラシ類など生態系への影響が考えられるが、平成11年度の実験では海中、および海水面上での発破作業は行わないため、これらに対しての影響も無視できる。

- ・爆風については、通常が発破で 20 g/cm² 程度の爆風圧であり、距離・時間と共に急激に減衰するため、国内での発破と同様に著しい影響を与えない。また、21次の実験では、爆風は約 7000 m/s 程度 (片岡, 1983) であったが、41次隊の実験もそれと同程度と考えられる。爆風が達する範囲は、過去の実験からは水平方向に最大 100 m 程度である。実際は孔内で液封した状態での発破であるため、主として雪面に対して垂直上向きに放出されるので、人体や外環境に対して特に問題ないと考えられる。

- ・発破音については、地形や気象条件、特に風速や風向が一番影響を及ぼすが、聞こえる範囲は約 1km 程度から最大数 km 程度に達すると思われ、これについても環境に及ぼす影響は特にないと考えられる。

会合では当初41次隊で予定されていたトナー島での人工地震探査から、リュツォ・ホルム

湾地域・内陸みずほルート付近でのオペレーションに計画を変更したい、旨の説明がなされた。これは、1) 露岩域でのダイナマイトによる発破作業の環境にたいする影響(地形の改変、植生への影響)が大きいと思われる、2) また、上記のように諸外国における最近の人工地震実施状況をも鑑みても露岩での発破による探査実績は極めて稀である、等の理由により大陸氷床上での発破作業の方が望ましいと考えられるためである。環境アセスメント案は、トナー島の場合をすでに作成していたが、リュツォ・ホルム湾地域の計画についても氷床上発破に重点を置いて新たに作成した。

また、極地研環境影響企画室から、南極における環境保護法とアセスメントの基本概念が紹介されると共に、今後の環境庁や諸外国との対応について、時系列に沿った手順の説明がなされた。特に41次隊の場合には、国内の南極環境保護法が実質的に施行される初年度にあたるため、将来的なことも鑑みて、アセスメントの手法を確立しておくことが望まれる。実際的には、11月中を目処にアセスメント案(初期環境影響評価; IEE)を環境庁に提出し、その下の委員会で評価される。IEEの範疇であれば、来年5月の南極条約国会議でIP(インフォメーションペーパー)として提出する手続きを踏む。

2.5. 20～22次隊における実験概要と研究成果

20年前に行われた、みずほルートにおける人工地震探査のオペレーション概要とその成果について報告がなされた(伊神ら, 1980; 伊藤ら, 1983)。東南極盾状地での地殻内及び最上部マントルの速度、下部地殻の反射面の存在、重力・地磁気データとの対応、さらに地質学的な地殻進化過程と現在の地殻構造の関連性が指摘された。41次隊で行う際の、反射面の確定等のターゲット地域を決める上で、大変貴重な意見を得た。20年を経て、機器類等の更新はあるが、掘削作業や測線の展開に要する日程を算出する上で、こうした過去の大陸氷床でのオペレーションの実施例は大変参考になる。

しかしこの実験以後、約20年余り人工地震実験はなされていない。これは、1) 設営・観測の両面ともに大掛かりなオペレーションになり、一時期に多人数を必要とする、2) 観測器材が時代と共に進展し、かつ1台当たりが高価である地震探査用の器材を、1探査実験で100式以上を用意するには、その予算獲得が必要である、3) 安全面、特に火薬の扱いや小型ヘリコプターを使用する場合には、十分な対策が必要である、さらに最近では、4) 南極の環境保護の面から環境影響評価を十分に行う必要がでてきており、特に人工地震実験の場合もその例外ではない、等の理由による。

さらに、昭和基地を中心とした遠地地震波形を用いた解析により、リュツォ・ホルム岩体の形成時と、その後現在に至るまでの地殻変形過程の一つの解釈が説明された。変成相の異なる宗谷海岸とプリンス・オラフ海岸の露岩地域を比較する観点から、大陸の海岸線に平行な測線、即ちみずほルートにはほぼ直行する地震探査測線が必要という提案がなされた。

2.6. 初年度 (41 次隊) 計画

最初に、みずほ高原における計画の概要、オペレーション日程、人員、車両、その他主に設営的なことからの現段階の計画案が説明された。測線と震源の組み合わせをどのように設定するかで、日程や雪上車の運行が変わるため、今後早い時期に測線を確定する必要がある。観測点展開、薬量についての考察もなされた。雪上車オペについては、現段階の計画で無理はないと思われるが、今後さらに具体的な計画が立案されるに従って、車両やその絞り込みをする必要がある。その他、オペレーション全体に無理のないスケジュールで計画すること、今後設営的なサポートも含めて、関係者と相談すること、などの指摘がなされた。

探査に必要な諸々の観測器材 (レコーダー・センサー・電池、氷床ボーリング装置、ペネトレーター) の準備状況についても説明がなされた。38 次隊越冬中にかなりの部分はテストされたが、今後特にペネトレーターの開発や、測線展開に必要な器材の数を十分に揃えることが必要である。震源については、基本的に南極用特殊ダイナマイトを使用する。低温と静電気対策のため、ニトログリセリンの含有量の多い火薬を使用する。また、20 次隊夏隊で行われた実験時の発破方法 (海中及び氷床) についても紹介があった。さらに、非火薬震源の可能性についてレビューがなされ、特にエアガン (バブルフリーエアガンまたはウォーターガン) の来年度以降における導入も計画している。他の震源 (パイプロサイズ車、など) については、開発までの時間と予算の問題が指摘されたが、今後将来的に導入することも検討している。

みずほ高原における探査の、屈折法的、および反射法的解析、処理についての考察もなされた。40 km 深のモホ面の屈折波を捕えるためには、250 km 以上の測線長が必要なことが指摘された。反射法的解析のためには、特に震源の数を多くして、スタック数を増やす方向が望ましいことが指摘された。特に、みずほルートに直行する測線をどの程度扱うか、が今後の検討課題とされたが、実施に直接関係する地震担当者で再度詰めることになった。図 1 に、エンダービーランド-東クイーンモードランドの地質概念図と人工地震探査測線案を示す。

2.7. 第 2 年度 (42 次隊) 計画

アムンゼン湾-ケーシー湾にかけての長距離測線による人工地震探査についての、これまでの経過と探査計画の概要の説明があった。前回のワーキンググループ会合 (08/05/1998) における報告以降、計画自体はあまり進展していない。また、アムンゼン湾周辺における古地磁気調査について、今後の調査計画の概要が説明された。当初は 41 次隊でトナー島での調査を予定していたが、氷床上での人工地震に変更されたため、42 次隊以降に実施し、特にヘリコプターにより広域的にデータを取得することが希望として出された。

長距離測線の人工地震は、40 次隊と同様に小型ヘリコプターを用いたオペレーションであるため、ヘリコプターの運用方法、安全、管制方法についての検討がなされた。火薬など危険物の輸送に関しては、航空法では正式には許可されていないため、今後「しらせ」のヘリコプターを用いるなど、検討する必要がある。また、スリング輸送を含めた、積載重量と飛行可

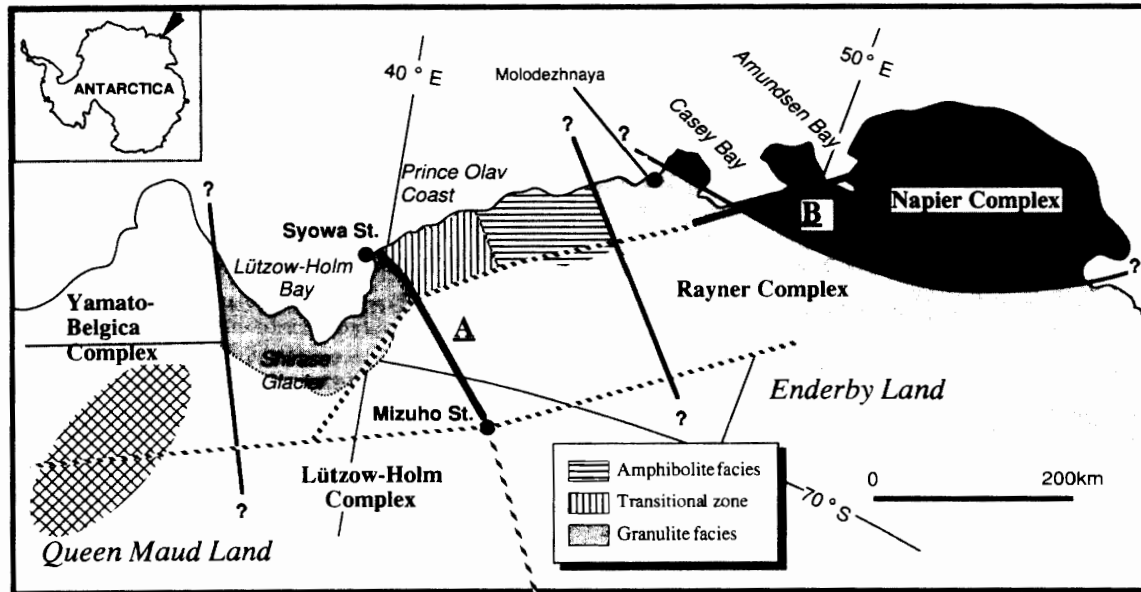


図1 エンダービーランド～東クイーンモードランドの地質概念図と人工地震探査測線案 (A. みずほプレート, 41次予定, B. アムンゼン湾～ケーシー湾, 42次以降予定, 波線, 将来計画).

Fig. 1. Planned seismic experiment lines (A; Mizuho Plateau, JARE-41, B; Amundsen Bay - Casey Bay region, Proposed, dashed lines; Future plans) with geological setting in eastern Queen Maud Land and western Enderby Land, East Antarctica. Four distinct metamorphic complexes from the Archean age (Napier Complex) to the early-Paleozoic age (Lützow-Holm and Yamato-Belgica Complexes) are indicated (modified after MOTYOUSHI et al., 1989). Syowa and Mizuho Stations are situated on the Lützow-Holm Complex. Metamorphic grade increases progressively along the Prince Olav Coast to the Shirase Glacier.

能距離についての関係も紹介された。トナー島をベースキャンプとした場合、約200 km程度までの測線であれば、フライトスケジュールの日程も消化することが可能であろうと推定された。さらに、強風対策、燃料デポ、管制方法についても検討された。

2.8. 討 論

41次隊の計画の場所や目的の変更については、当会合で決定されたとし、次回の地学専門委員会(1999年1月)で改めて了承を得ることになった。ただSEAL計画はもともとアムンゼン湾方面を指向していたため、みずほ高原で行うことの位置づけを示すことが指摘されたが、エンダービーランドから東クイーンモードランドにかけての東西にまたがる四つの岩体の地殻形成過程を調べるという意味において、第V期SEAL計画につながると言える。SEAL計画自体も、第VI期以降を考えて、より広範囲な領域への拡張が期待される。

また、冒頭に話題のあった、観測隊員の枠の確保の問題が再度指摘され、特に小型ヘリコプターを用いる年度では、状況が厳しいことが確認された。42次隊でのヘリコプター導入は実質的に難しいと思われ、43次隊以降への移行も含めて今後検討することになる。43次隊以降の計画については、第VI期5カ年計画(43-47次隊)と直接関連するため、近い時期に再度地学関係者で集まり、議論することになった。その際、第VI期以降の将来計画を交えながら、

他観測分野との調整を含めて検討する必要がある。

3. おわりに

今回の研究小集会は、SEAL計画のワーキンググループの会合の一環として催されたが、SEAL計画の前半を終了し、後半に向けての新たな態勢を整える上で、これまでの経験と研究成果を報告し議論を交えることは大変重要な意味を持つと言える。会議中も科学的な意義とオペレーションの実行可能性、また環境問題への対応も絡んで、かなり白熱した意見交換が行えた。当会合で指摘された実際の観測上の問題点を踏まえ、今後の南極観測隊の活動の中で積極的に取り組んで行きたいと考える。

文 献

- 伊神 輝・一ノ瀬洋一郎・原田道昭・神沼克伊 (1980): 南極における人工地震観測の概要. 南極資料, **70**, 158-182.
- 伊藤 潔・伊神 輝・渋谷和雄・神沼克伊・片岡信一 (1983): 南極における人工地震観測の概要 (続). 南極資料, **79**, 107-133.
- JARVIS, E. P. and KING, E. C. (1993): The seismic wavefield recorded on an Antarctic Ice Shelf. *J. Seism. Explor.*, **2**, 69-86.
- JARVIS, E. P. and KING, E. C. (1995): Seismic investigation of the Larsen Ice Shelf, Antarctica: In search of the Larsen Basin. *Antarct. Sci.*, **7**, 181-190.
- JOKAT, W., FECHNER, N. and STUDINGER, M. (1997): Geodynamic models of the Weddell Sea embayment in view of new geophysical data. *The Antarctic Region, Geological Evolution and Processes*, ed. by A.C. RICCI. Siena, Terra Antarct. Publ., 453-459.
- 片岡信一 (1983): 南極における地震爆破について. 「火薬と保安」技術ノート, 日本油脂株式会社武豊工場編, 14-18.
- KING, E. C. and BELL, A. C. (1996): A towed geophone system for use in snow-covered terrain. *Geophys. J. Int.*, **126**, 54-62.
- KING, E. C. and BELL, A. C. (1997): Seismic reflection investigation of George VI Sound, Antarctic Peninsula. *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, ed. by A.C. Ricci. Siena, Terra Antarct. Publ., 697-703.
- KING, E. C., JARVIS, E. P. and MOWSE, E.A. (1993): Seismic characteristics of an airgun fired over snow. *Cold Reg. Sci. Technol.*, **21**, 201-207.
- 本吉洋一 (1994): 西エンダービーランドの地学研究計画に関する研究小集会報告. 南極資料, **38**, 185-191.
- 日本油脂株式会社 (1998): 爆薬について. 名古屋, 武豊工場研究開発部.
- SCAR (1996): Solid Earth Geophysics Working Group Report. Cambridge. XXIV SCAR Meeting.
- SCAR (1998): Solid Earth Geophysics Working Group Report. Conception. XXV SCAR Meeting.
- SRODA, P., GRAD, M. and GUTERCH, A. (1997): Seismic models of the Earth's crustal structure between the South Pacific and the Antarctic Peninsula. *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, ed. by A.C. RICCI. Siena, Terra Antarct. Publ., 685-689.
- VEDOVA, B.D., PELLIS, G., TREY, H., ZHANG, J., COOPER, A.K., MAKRIS, J. and the ACRUP Working Group (1997): Crustal Structure of the Transantarctic Mountains, Western Ross Sea. *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, ed. by A.C. RICCI. Siena, Terra Antarct. Publ., 609-618.

(1998年11月24日受付; 1998年12月1日改訂稿受理)