

氏 名 山下 幹也

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 806 号

学位授与の日付 平成 16 年 9 月 30 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 東南極みずほ高原下における大陸地殻の深部反射構造

論文審査委員	主	査	教授	澁谷	和雄
			教授	本吉	洋一
			教授	伊藤	潔（京都大学）
			教授	宮町	宏樹（鹿児島大学）

## 論文内容の要旨

### 『東南極みずほ高原下における大陸地殻の深部反射構造』

現在の南極大陸は、そのほとんどが 2000m を越える厚い氷床に覆われている。そのため沿岸部を中心としたわずかな露岩を除き、表層の地質情報を直接得ることは難しい。従って地殻の内部構造を推定するには、地震探査をはじめとする物理探査が有効な手段となる。第 41 次および第 43 次日本南極地域観測隊(JARE-41, -43)では、みずほ高原において屈折法および広角反射法地震探査を実施した[宮町ほか (2001, 2003)]。本論文では、これらの探査データに対し反射法的な解析を適用することにより、みずほ高原下での大陸地殻深部の特徴のイメージングとモホ面の形状およびその物理的性質について、新しい知見を得ることを目的とした。

反射法解析によって得られた反射断面からは、JARE-41, -43 両測線とも明瞭な反射面がいくつか見られる。JARE-41 測線の結果からは、往復走時約 15 秒に明瞭なモホ面が検出できた。JARE-43 測線では反射面は往復走時で大きく 4 つに分類できる。一つは 5 秒付近に見られ、上部地殻と中部地殻の境界であると考えられ、Yoshii et al. (2004)による速度境界(深さ 10km)とも対応している。往復走時 8~9 秒の反射面は、Yoshii et al. (2004)では中部地殻と下部地殻の速度境界に対応している。また、11~12 秒に見られる反射面は連続性もよく、JARE-43 測線全体にわたって観測できる。SP2 の発破では、往復走時 13 秒と 15 秒に大きな振幅を持つ反射面が得られた。また SP3 の発破では往復走時 15 秒に強い反射面が得られた。この往復走時 15 秒の反射面は JARE-41 測線で観測されたモホ面に相当すると思われる。またモホ面近傍に見られる反射面は断続的な多数のセグメントに構成され、モホ面が単一な物質境界ではないことを示唆している。隣り合う発破点で得られた、ほぼ同じ位置のモホ面からの反射振幅の強度が異なることから、モホ面直下の物性が均質ではなく水平方向に変化していると推測できる。一方、モホ面からは振幅の非常に大きな反射波が観測されているが、単一の面としてはイメージングされず、幾つかの幅を持った反射面の集合体として検出されている。JARE-41 測線ではモホ面は水平に近い単一の面として検出されたが、JARE-43 測線では幾つかのセグメントに分かれた反射面で構成され、下部地殻内の反射面はやや南西下がり傾斜している。このイメージングの違いはかつての圧縮場の影響・圧縮軸の方向を反映していると推定できる。

JARE-41, -43 地震探査データには、いくつかの記録に初動の数秒後に明瞭な後続波が見られる記録がいくつか見られた。JARE-41 データのスペクトル解析からは、初動と後続波では異なる卓越周波数を持つことが指摘されている[Tsutsui et al. (2001b)]。モホ面近傍での反射波の物理的性質を知るために、モホ面からの反射波(PmP)が観測された点を選び、初動のPgとPmPのそれぞれのスペクトル、およびそれらのスペクトル比(PmP/Pg)を求めた。その結果、得られたスペクトル比の多くはほぼ平坦な特性を示すが、一部にスペクトルのピークが周期的にあらわれていること(例えば 12, 24, 36 Hz)が確認された。これらの周波数依存性をモホ面直下の低速度あるいは高速度層での地震波の干渉によるものと考えると、反射断面上で単一の反射面として見られるようなモホ面は、1000m 程度の厚さを持つ薄層から構成されていると説明できる。また同じ反射面からの反射波でも、異なる観測点で得られる繰り返し基本周波数( $f_0$ )が異なることから、モホ面付近の薄層の厚さが測線に沿って水平方向に変化していることが示唆される。

本研究で得られた深部反射構造から、みずほ高原下の地殻は速度構造的にはゆらぎは小さいが、速度構造モデルに対応したいくつかの反射面が存在することがわかった。モホ面は単一の境界ではなく、速度コントラストの強い 2 つの反射面と無数の不連続な反射面の集合体であることが示唆された。このことは、 Gondwana 大陸分裂時の圧縮場の影響と考えられ、本地域における地殻の進化過程を解明する重要な情報を与えるものである。

## 『東南極みずほ高原下における大陸地殻の深部反射構造』

南極地域では、わずかな露岩域を除き雪氷に覆われているため地質情報を直接得ることが難しい。そのため、地震探査をはじめとする物理探査が地殻の内部構造を推定する有効な手段となる。日本南極地域観測隊は1999年（第41次隊：JARE-41）と2001年（第43次隊：JARE-43）に、南極・みずほ高原において屈折法および広角反射法による人工地震探査を実施したが、山下幹也君は南極人工地震グループの一員として実際に2001年の第43次隊に参加してデータを取得し、反射法解析による結果と解釈を博士論文にまとめた。

みずほ高原上に設定された2測線では、約1km間隔という高密度な観測点配置により、150-180kmの測線で地殻深部からと思われる特徴的な後続波や氷床中を伝わる直達波、表面波等を記録した。本研究では、得られた波形データに対し広角反射法解析を適用し、大陸地殻深部のイメージングを行った。実施した Band-pass filtering、静補正、振幅回復、ミュート、Normal Moveout (NMO) 補正、マイグレーション等の信号処理は、この種の解析として考えられるすべてであり、得られた結果は、地下の音響インピーダンス変化の特徴を良く表している。特にモホロビッチ不連続面（モホ面）に相当する深さ約40km付近に強い音響インピーダンス変化を持つ反射面が検出されたが、単一の面でイメージングされるのではなく、水平方向に異なる長さを持った幾つかの反射面の集合体である。またJARE-41 測線（NW-SE 方向）では地殻内の反射面がほぼ水平であるのに対し、JARE-43 測線方向（SW-NE 方向）では下部地殻に南西方向に傾斜したうねりを伴う反射面が確認されている。安定大陸地殻において200km規模の測線長、40-50km規模の深さまでを、クロスした2測線の反射断面で地殻の3次元媒質構造を推定した例は数例しかなく、特に南極域ではこの研究が唯一初めての例である。

山下君はさらに、得られた波形の初動波群(Pg)とモホ面からの反射波群(PmP)で異なった卓越周波数を持つことに着目し、モホ面近傍媒質の物性変化で卓越周波数の変化が説明できるかどうか吟味した。両者のスペクトル比(PmP/Pg)を求めたところ、震源（発破点）—反射点—観測点の組み合わせによって、周期的にスペクトルピークがあらわれることを確認した。そして、モホ面直下にP波速度が周囲媒質より相対的に速い薄層をモデル化し、薄層内での干渉によって強めあう周波数がスペクトルピークとして現れるという解釈を示した。こうして求めたモデル層厚は約2 kmで、反射断面イメージで見られる2重モホ面の厚さ（約2 km）と調和し、周囲媒質のP波速度を8.0km/sとすると薄層内では8.2-8.5 km/sになることを示した。

山下君は、こうして求められた地殻反射断面の形状が地殻進化過程での圧力場の変化で説明できるかどうか議論した。JARE-43 測線方向（SW-NE 方向）での南西方向に傾斜したうねりはかつてのパンアフリカン変動時（約5億年前）の圧縮場で生じたものと解釈した。またスペクトル解析で得られたモホ面周辺に存在する高速度の薄層が、JARE-41 測線方向（NW-SE 方向）を含めた両測線にわたって見られることから、その後の Gondwana 分裂時の伸張場（約1.5億年前）などの応力場が影響したものと解釈した。このように、観測、解析、モデル化に至る一連の論証は十分、説得力を持つものである。

本研究はもともと、申請者を含めた5-6名のチームによる観測に基づいていて、先行した個別の解析結果に依存している部分もある。特に、速度構造は Miyamachi et al. (2001, 2003), Yoshii et al. (2003) の結果を用いている。しかし、一連の信号処理による反射断面の図化、その幾何形状と媒質物性の特徴をスペクトル解析と薄層内干渉のモデル化によって考察し、合理的な解釈を与えたのは、申請者のオリジナリティであることを確認した。行った構造地質学的論証、特に、高速度薄層の幾何形状と媒質特性が、パンアフリカン変動時とその後の Gondwana 分裂の応力場を反映しているという主張は示唆に富んでいて、他の安定大陸地殻における反射法観測・解析の推進に寄与するだろう。このように、結果の新規性とこの研究が開いた研究の seeds は十分、博士論文に値すると判断された。

既出の査読付き英文筆頭論文1編、同審査中1編、国際学会での英語による口頭発表1編から判断して、申請者は研究者として十分な英語力を持っていると考えられる。

以上の観点から総合的に判断し、審査員全員、山下幹也君に理学博士の学位を授与することが適切と判断した。