

氏名・(本籍)	ひ の りょう た 日 野 亮 太
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第1259号
学位授与年月日	平成4年3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地球物理学専攻
学位論文題目	A Study on the Crustal Structure of the Izu-Bonin Arc by Airgun-OBS Seismic Profiling (エアガン-OBS 観測による伊豆・小笠原弧の地殻構造に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 長谷川 昭 教 授 平 澤 朋 郎 教 授 浜 口 博 之 教 授 大 竹 政 和 助 教 授 山 本 清 彦 助 教 授 堀 内 茂 木

論 文 目 次

Acknowledgements

Abstract

Contents

Chapter 1 General Introduction

- 1-1 Tectonic Setting of the Izu-Bonin Arc
- 1-2 Crustal Structures of Island Arcs
- 1-3 Summary of Contents

Chapter 2 Data Acquisition and Processing

2-1 Data Acquisition System

2-2 Data Processing

2-2-1 Data Reduction

2-2-2 Filtering

Chapter 3 Data Analyses

3-1 Automatic Estimation of 1-D Seismic Velocity Structure

Using Downward Continuation of Slant Stacked Wave Field

3-1-1 Introduction to This Section

3-1-2 Principle of Downward Continuation

3-1-3 Application to OBS Data

3-1-4 Discussion

3-2 2-D Travel Time Inversion

3-2-1 Introduction to This Section

3-2-2 Formulation of Modified Time-Term Method

3-2-3 Result of Synthetic Test and Discussion

3-3 Forward Modeling for Detailed 2-D Velocity

Structure Model using 2-D Ray Tracing

Chapter 4 Crustal Structure in the Middle Izu-Bonin Arc

—Results of the 1989 Experiment—

4-1 Introduction

4-2 Experiment

4-3 Structural Features Indicated by SCH and OBS Records

4-4 Results from 1-D (One-Dimensional) Inversion

4-5 Results from 2-D (Two-Dimensional) Ray Tracing

4-6 Discussion and Summary of the Structure

Chapter 5 Crustal Structure in the Northern Izu-Bonin Arc

—Results of the 1990 Experiment—

5-1 Introduction

5-2 Experiment

5-3 Structural Features Indicated by OBS Records

5-4 Results from 2-D (Two-Dimensional) Travel Time Inversion

5-5 Results from 2-D (Two-Dimensional) Ray Tracing

5-6 Discussion and Summary of the Structure

Chapter 6 Discussion

- 6-1 Introductory Remarks of This Chapter
- 6-2 Comparison with the Previous Studies
- 6-3 A Continuous Structure Model along the Forearc Region
- 6-4 Relation to Observed Gravity Anomaly
- 6-5 Tectonic Implications of the Structure

Chapter 7 Conclusions

References

論文内容要旨

島弧は現在新たに大陸性の地殻が生成されつつある場であり、島弧の地殻の成長過程は大陸地殻の進化の上で重要なプロセスと考えられている。特に海洋性プレート上に形成された海洋性島弧はもともと海洋底であった場所に陸が形成される場で、その地殻を詳しく調べることで、大陸性の地殻が形成されつつある過程を観察することができると思われる。地震波を用いた地殻構造探査は地殻の深部にある物質を特定する大きな手掛かりを与え、それらの分布を明らかにするものであり、それによりもたらされる高い分解能の情報は地殻の成長を考えるうえで重要である。しかしながら、海洋性島弧はそのほとんどが海で覆われているために地震探査はあまり行われておらず、特に進化過程を論ずる情報となりうるような詳細な結果は今まで得られていない。

伊豆・小笠原弧は海洋性の太平洋プレートの沈み込みに伴ってフィリピン海プレートの東縁に形成された海洋性島弧である。この島弧ではさまざまな地学現象がその走向に沿う南北の方向で変化していることが知られ、島弧の形成過程を反映したのものとして注目されてきた。こうした違いに対応してその地殻構造がどのように変化しているかを調べることは、伊豆・小笠原弧の進化史を明らかにするために重要であるばかりでなく、海洋性島弧の成長過程を理解するための有用な情報をもたらすものと考えられる。

本研究では1989年および1990年に伊豆・小笠原弧の中部と北部において行った地震探査の結果から、これらの地域で詳しい地殻構造を明らかにする。その目的は、伊豆・小笠原弧の詳細な地殻構造とその南北方向の変化を明らかにすることを通じて、海洋性島弧の地殻の構造と進化について新たな知見を得るところにある。

地震探査では、人工震源としてはエアガンを、受震器として海底地震計 (OBS) を用いることにより、S/N の高いデータを高い空間的密度で得ることができた。データ処理では deconvolution filter をエアガン-OBS 探査で得られた記録波形に作用させることを試みた。この filtering により記録上での後続波の同定が容易となる。こうしたデータを解析に用いることにより、地殻構造をより高い精度で求めることが可能となった。データ解析ではより客観的な構造解析を目的として、二つの inversion 法を開発した。その一つは得られた波形記録に2度のデータ空間の変換を施し、自動的に1次元速度構造を推定するものである。 $t-x$ (走時-震央距離) 空間で得られた波形記録を slant stacking により $\tau-p$ (intercept time-ray parameter) 空間に変換し、さらに下方接続により得た $z-p$ (深さ-ray parameter) 空間での記録上で自動読み取りを行うことにより、高分解能の1次元速度構造モデルを効率的に得ることができるようになった。もう一つの inversion は2次元の走時 inversion で、従来からある time-term 法を OBS を用いた探査用に改良したものである。この走時 inversion により、海底直下の堆積層の厚さの横方向の変化を OBS で得られた走時データから客観的に推定することが可能となった。このような inversion により求められた地殻構造モデルを初期モデルとし、記録上に現われ

る全ての初動と主要な後続波の走時、振幅の震央距離に対する変化の仕方を説明するような2次元構造モデルを試行錯誤により求め、それを最終モデルとした。構造モデルに対する理論走時、理論記象の計算には2次元波線追跡法を用いた。

以上のようにデータ処理・解析の方法を高度化することにより、伊豆・小笠原弧の詳細な地震波速度構造モデルを得ることが可能となった。以下に本研究で得られた主要な結果を背弧域と前弧域についてそれぞれ示し、そのテクトニクス的な意義について考察する。

伊豆・小笠原弧の背弧域は現在背弧拡大活動の初期にあり、リフティングによって地殻が伸張されつつあると考えられている。本研究ではそうした背弧リフトと考えられている背弧凹地群のうち、中部の須美寿リフトと北部の御蔵海盆の上部地殻構造を明らかにした。須美寿リフトでは背弧リフトに伴う火山活動により形成されたと考えられる基盤層の速度勾配は大きく、特に南側の南須美寿海盆では 1.3s^{-1} にも達する。北須美寿海盆の基盤の速度勾配はこれに比べ小さく(0.76s^{-1})、須美寿リフトの基盤層には南北に構造の大きな変化が見られる。これに対して、上部地殻に対応すると思われるその下位の 5.8 km/s 以上のP波速度(V_p)を示す層には顕著な南北方向の変化は見られない。御蔵海盆の基盤および上部地殻に対応する層の V_p はそれぞれ $3.4\text{--}4.2\text{ km/s}$ 、 $5.6\text{--}6.3\text{ km/s}$ と推定された。これら2つの背弧凹地の地殻構造を比較してみると、須美寿リフトの基盤をなす層の速度勾配が御蔵海盆のそれに比べ著しく大きいことがわかった。御蔵海盆に比べ須美寿リフトのほうがより発達した背弧リフトであると考えられており、このような地殻構造の相異は背弧リフトの発達過程と関連している可能性がある。

前弧域ではモホ面までの地殻構造が中部から北部にかけて連続的に明らかにされた。求められた構造モデルは6層からなる。最上部の2層は非常に小さな V_p を示し($1.8\text{--}3.1\text{ km/s}$)、堆積層と考えられる。音響基盤に対応する層の V_p は $4.0\text{--}4.9\text{ km/s}$ である。そのさらに下位の2層は上部地殻および下部地殻に対応する層で、それぞれの層の V_p は $5.3\text{--}6.3\text{ km/s}$ 、 $6.9\text{--}7.3\text{ km/s}$ である。

前弧域北部の北緯 32.7° 付近では上部地殻構造が不連続的に変化する場所が認められた。この場所より北側では上部地殻層の厚さが南側に比べ、約2倍になっている。探査した領域のモホ面の深さはおよそ $15\text{--}20\text{ km}$ であるが、上部地殻の不連続的な変化が見られる場所のごく近傍で、モホ面が局地的に急激に深く(23 km)なっている部分が見いだされた。このような不連続的な地殻構造の変化は地殻全体を貫くような大規模な構造線の存在を示唆する。

本研究により明らかにされた伊豆・小笠原弧の中部および北部の前弧域における地殻構造モデルと筆者の以前の研究により明らかにされている南部の前弧域(小笠原トラフ)での地殻構造モデルとを総合することにより、伊豆・小笠原弧の前弧における南北方向の地殻構造の連続的な変化の様子を明らかにすることができた。それによると、顕著な南北変化は地殻の厚さのみならず、上部・下部地殻を構成する層の速度にも見られることがわかった。地殻全体の厚さは北部では約 18 km であるのに対して、中部では 13 km 、南部では 11 km と島弧に沿って南へ行くほど薄くなっている。北部と中部との間の地殻の厚さの大きな違いは下部地殻層の厚さの

違いによる。上部・下部地殻の層内の平均速度は北から南に向かって減少する傾向にある。特に中部と南部との間では速度の違いが大きく、南部の上部・下部地殻層の示す 5.1-5.4 km/s, 6.5-6.9 km/s の V_p は中部で得られた V_p に比べ明らかに小さい。

このようにして求められた地震波速度構造をもとに、地殻内の密度分布モデルを推定した。推定された密度分布モデルから計算される重力異常の南北変化のパターンは観測された重力異常のそれと一致し、地震学的に明らかにされた地殻構造の南北方向の変化は重力異常のデータからも支持されることが確認された。

南部の小笠原トラフや中部の前弧海盆は古第三紀のリフト活動により形成されたことが知られている。リフト活動は地殻を伸張し薄くする作用であることから、伊豆・小笠原弧の前弧に沿って南に向かって地殻が薄くなっているのはこうしたリフト活動と関係したものと考えられ、南部ほどリフト活動が進行していたという従来の考えを支持する。しかしながら、一般にリフト内では地殻を構成する層の速度が減少することは知られておらず、リフト活動だけでは地殻内の速度が南北方向に変化することを説明することは難しい。

上部地殻に見られる速度の南北方向の変化は、伊豆・小笠原弧の島弧火成活動の南北変化と関連させて説明することができると考えられる。およそ 5.6 km/s の V_p を示す層が上部地殻層であるとすると、この層の速度の南北方向の変化は、約 6 km/s の V_p をもつ部分がこの層全体に対して占める割合の変化ととらえることができる。北部では V_p = 約 6 km/s の部分は上部地殻層の全体を占めるが、中部ではその占める割合が減少している。さらに南部では、 V_p = 約 6 km/s の部分は上部地殻層内には見られない。中部の火山フロントを横断する測線で行った探査では、上部地殻層内の 6.2-6.3 km/s の V_p を持つ部分が前弧から火山フロントに向かって厚くなっている様子が明らかにされ、火山フロントでの島弧火成活動が約 6 km/s の V_p をもつ部分の成長に関連していることが示唆される。したがって、この V_p = 約 6 km/s の部分が北部でより多く存在することは、岩石学的に推定されている火山活動が北部の方でより活発である事実を反映したものである可能性がある。

これまで海洋性島弧の地殻は、大陸の縁辺に形成された大陸性島弧の地殻に比べ地殻が薄いことと、 V_p = 約 6 km/s の層を持たないことがその特徴であると考えられてきた。しかし、本研究により海洋性島弧の一つである伊豆・小笠原弧の上部地殻には 6 km/s 層が広く分布することが明らかにされた。この 6 km/s 層は大陸地殻の上部地殻を構成する花崗岩質の物質に対応すると思われ、花崗岩質層が北部に多く存在し、南部では見られないという解釈は、火山フロントで産出する火山岩の化学組成の南北変化とも一致する。本研究で示された伊豆・小笠原弧における 6 km/s 層の存在は、海洋性島弧の地殻にも花崗岩質層が存在する可能性を示唆する。また、6 km/s 層の分布が島弧火成活動の活動度と関連して地域性を示していることは、この層の形成が海洋性島弧の地殻の進化過程と密接な関係を持っていることを意味していると思われる。

論文審査の結果の要旨

伊豆・小笠原弧は海洋性の太平洋プレートの沈み込みに伴ってフィリピン海プレートの東縁に形成された海洋性島弧と考えられているが、そのほとんどが海で覆われているために地震探査はほとんど行われておらず、特に海洋性島弧の地殻の構造と進化過程を論ずる情報となりうるような詳細な結果はこれまで得られていなかった。

日野亮太提出の論文は、エアガンを人工震源とし海底地震計を受震器とする屈折法地震探査実験およびそのデータ解析から、伊豆・小笠原弧の詳細な地殻構造についての研究を行ったものである。2度にわたる海域の実験を実施し、大量の高S/N データを得ることを可能とした。データ解析では、より客観的な構造解析を目的として二つの inversion 法を開発した。一つは得られた波形記録に2度のデータ空間の変換を施し、自動的に1次元速度構造を推定するものであり、他方は従来の time-term 法を海底地震計を用いた探査用に改良した2次元の走時 inversion である。

これらの新たに開発した解析法および2次元波線追跡法を用いて得られた地震波速度構造は、次の通りである。(1)これまで一般に認められていた伊豆・小笠原弧地殻構造モデルの任意性を指摘し、より精密なモデルを提出した。(2)背弧域に関しては、南部の須美寿リフトと北部の御蔵海盆の速度構造を求めた。基盤層の速度勾配は北部に比べ南部において著しく大きいことから、南部の背弧リフト活動がより発達していることを示した。(3)前弧域では、地殻構造の南北方向の変化を定量的に示した。地殻の厚さおよび上部・下部地殻層の速度の北から南に向かう減少を明らかにし、それと伊豆・小笠原弧の前弧リフト活動および島弧火成活動の南北変化との関連を指摘した。

一般に海洋性島弧の地殻の特徴は、大陸の縁辺に形成された大陸性島弧の地殻に比べ地殻が薄く、P波速度約6 km/sの層を持たないことであると考えられたきた。しかし、本研究は海洋性島弧の一つである伊豆・小笠原弧の上部地殻には6 km/s層すなわち花崗岩質層が広く分布することを明らかにした。この6 km/s層の分布は島弧火成活動の活動度と関連した地域変化を示しており、この層の形成は海洋性島弧の地殻の進化過程に深く関わっていることを示唆している。

以上のように、日野亮太提出の論文は、伊豆・小笠原島弧の地殻構造を明らかにするとともに地殻の進化過程について新しい知見を得たものとして高く評価される。これは、同人が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、日野亮太提出の論文は博士（理学）の学位論文として合格と認める。