

氏名・(本籍)	ザオ 趙	ダ 大	ベン 鵬
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理博第1211号		
学位授与年月日	平成3年3月28日		
学位授与の要件	学位規則第5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 Tomographic Study of Seismic Velocity Structure in the Japan Islands (日本列島下の3次元地震波速度構造の研究)		
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	堀 内	茂 木
	助 教 授	海 野	徳 仁

## 論 文 目 次

Acknowledgements

Abstract

Chapter 1. General Introduction

Chapter 2. Theory

2-1. Model

2-2. Fast Ray Tracing

2-3. Inversion

2-3-1. Formulation of the Problem

2-3-2. Damped Least Squares Method

2-3-3. LSOR Algorithm

2-4. Resolution Analysis

2-5. Computer Programs

### Chapter 3. P and S Wave Tomographic Images beneath Tohoku, NE Japan

3-1. Introduction

3-2. Data Selection

3-3. Analysis

3-3-1. Velocity Model

3-3-2. Tomographic Images

3-4. Discussion

3-4-1. Effect of the Conrad and the Moho Depths

3-4-2. Effect of the Plate Boundary

3-4-3. Comparison with Previous Studies

3-5. Summary

### Chapter 4. Crustal Structure beneath the Japan Islands

4-1. Introduction

4-2. Data Selection

4-3. Analysis

4-3-1. Velocity Model

4-3-2. Crustal Structure

4-4. Discussion

4-5. Summary

### Chapter 5. P Wave Tomographic Images beneath the Japan Islands

5-1. Introduction

5-2. Data Selection

5-3. Analysis

5-3-1. Velocity Model

5-3-2. Tomographic Images

5-4. Discussion

5-5. Summary

### Chapter 6. Discussion

6-1. Velocity Structure and Other Geophysical Observations

6-2. Velocity Structure and Earthquake Occurrence

6-3. Suggestions for Further Studies

Chapter 7. Conclusions

References

## 論文内容要旨

地震波を用いた地球内部の3次元速度構造の研究は、近年世界各地で数多く行われるようになってきた。これらの研究による3次元速度分布は、その分解能が向上するにつれて、プレート運動およびマントル対流に関するダイナミクスの理解に大きく貢献し、また地震発生や火山噴火機構解明のための基礎的資料を提供しつつある。日本列島下の3次元地震波速度構造は主として気象庁の地震観測網で観測された走時データを用いて推測されてきた。しかし、気象庁の大部分の観測点は低感度であり、データの読み取り精度は高くない。また、観測点密度も充分でなく、このため現在求められている日本列島下の3次元速度構造の空間的解能は百 Km 程度である。最近、地震予知計画に参加している日本の主な国立大学の微小地震観測網で観測された P, S 波到達時刻データが、東京大学地震研究所地震予知観測情報センターに集められ、ここで集められたデータの編集・震源決定が行われるようになった。編集された到達時刻データと地震情報はプレティンとして発行され一般に公開されている。このデータは高感度の微小地震観測網により得られたものであり、走時データの読み取り精度は非常に高い。また、観測点密度も高く、日本列島下の詳細な速度構造決定に適している。本研究では、この高精度の走時データを用いて高分解能で速度構造を調べるための新しい解析手法を開発し、日本列島全域にわたるコンラッド面、モホ面の深さ分布、地殻および深さ 500 Km までの上部マントルの3次元速度構造を推定した。

解析には「国立大学観測網地震カタログ (85年7月~86年12月)」に掲載されている730個の浅発、稍深発および深発地震の P 波および S 波の到達時刻データを用いた。東北大学の微小地震観測網 (臨時観測点を含む) と火山観測網で観測された470個の浅発、稍深発および深発地震の走時データも同時に用いた。これらには、P 波および S 波の初動データのほか、モホ面での SP 変換波、沈み込む太平洋プレート上部境界面での PS および SP 変換波の到達時刻データも多数含まれている。データの数50,919個である。

従来の3次元速度構造の研究には以下のような問題点がある。

(a) モホ面、プレート境界面のような複雑な速度不連続面が存在する場合、その影響が考慮できない；

(b) 反射波や変換波の走時データは地下構造について極めて重要な情報を含んでいるが、有効に利用されていない；

(c) 走時と波線の計算を3次元波線追跡法で行っていない。速度の不均質が極めて強い日本列島のような沈み込み帯では、波線が長い場合その計算には大きな誤差が含まれ、得られる結果に大きな影響を与えるものと思われる。

これらのことを考慮し、本研究では次のような方法を開発した。日本列島下の地殻・上部マントルにはコンラッド面、モホ面および太平洋プレート上部境界面が速度不連続面として存在していることが明らかにされている。そこで、先ずこれら3つの速度不連続面によって地下の

媒質を4層に分け、各層にそれぞれ25~35 Kmの間隔で格子点を置き、各格子点における速度を未知数とする。媒質内の任意の点での速度は、それを囲む隣接した8個の格子点における速度から内挿した値で表す。グリッドメッシュは上部地殻・下部地殻に各1層、マントルウェッジに16層、太平洋プレート上部境界面より下方にも16層置いた。格子点数は64,704個である。大量のデータを用いてインバージョンを行う場合、走時と波線を高速かつ高精度に計算することが極めて重要であるが、ここではpseudo-bending法とスネルの法則を併用する3次元波線追跡法を開発した。この手法は、複雑な速度不連続面が存在しかつ不連続面間の媒質内での速度が3次的に変化する場合にも、直達波のみならず反射波や変換波の走時と波線を高速かつ高精度に計算することが可能である。観測方程式を解くにはLSORアルゴリズムを使った。

以上の方法とデータを用いて、日本列島のほぼ全域にわたってコンラッド面とモホ面の深さ分布および地殻・上部マントルの速度構造を求めた。波線が5個以上通った格子点は約12,000個である。checkerboard resolution test (CRT) と restoring resolution test (RRT) を行った結果、200 Km以浅の層では解析領域のほぼ全域にわたってレゾリューションが高いことがわかった。それより深い層では沈み込む太平洋プレート周辺で波線の数が多いのでレゾリューションが高い。

求められたコンラッド面の深さ範囲は12~22 Kmである。北海道の東部では浅く、西に向かって深くなっている。東日本では内陸の下で深く、日本海と太平洋に向かって浅くなっている。西日本におけるコンラッド面は北で浅く、南に向かって深くなっている。求められたモホ面は25~40 Kmの深さ範囲に位置し、日本列島全域にわたって内陸の下で深く、海に向かって浅くなっている。中部地方の中央部でモホ面が最も深く、その深さは40 Kmに達している。これらの特徴はこれまでの日本列島の幾つかの地域で行われた爆破観測の研究結果と調和的である。

求められた3次元地震波速度分布の特徴は以下の通りである。

(a) 西日本と東日本における地殻内の速度分布には明らかな違いがある。西日本は全体的に速度がやや速く、より均質であるのに対して、東日本では速度が平均的に遅くかつ不均質性が強い。この特徴は重力異常急変帯の分布とも調和的である。

(b) 活火山直下の上部地殻、下部地殻およびマントル最上部には顕著な低速度域が存在する。

(c) 沈み込む太平洋プレートに相当する高速度域が明瞭に認められ、その厚さは80~90 Kmである。

(d) 40~65 Kmの深さ範囲では、西南日本内陸部に高速度域が広範囲にわたって存在する。また、九州下の40~90 Kmの深さ範囲に東から西に向かって傾斜した高速度域が明瞭に認められ、その厚さは30 Km前後である。これらはフィリピン海プレートに対応するものと思われる。

(e) 北海道南部と南関東地域は千島弧と東北日本弧、東北日本弧と伊豆・マリアナ弧の会合部にあたるが、これらの領域付近では、太平洋プレートに相当する高速度域の厚さが他の部分

と比べてかなり薄くなっている。この特徴は 90~175 Km の深さ範囲に特に明瞭にみられる。

(f) 東北地方の鉛直断面で見ると、地殻内で活火山直下に存在する低速度域が上部マントルに達すると、そこから西に向かって傾斜している。また、これら活火山直下の低速度域あるいはその周辺部でマグマ活動に起因すると思われる深さ 25~40 Km の低周波微小地震、地殻深部溶融体反射面、内陸地殻内地震の発生がみられる。

以上のように、日本列島下の 3 次元地震波速度構造が高い分解能で求められ、本研究で開発した方法は、沈み込み帯のような複雑な地域の構造を研究する上で非常に有効であることがわかった。本研究で明らかにされた速度分布の特徴は、内陸地震の発生機構、沈み込み帯でのマグマ生成、上昇過程、海洋プレートの沈み込み、さらにはグローバルテクトニクスを理解する上で非常に重要であると思われる。

## 論文審査の結果の要旨

地球の内部構造を調べることは、固体地球物理学にとって最も基本的な問題の一つであり、従来から種々の方法により内部構造の研究が行われてきた。なかでも、地震波を用いて推定される地震波速度構造は最も空間的分解能が高く、地球内部で起こっている現象の理解を深める上で重要な貢献をしてきた。

趙大鵬提出の論文は、日本列島下の地殻・上部マントルの3次元地震波速度構造を精度高く求めたものである。日本列島は典型的な沈み込み帯に位置しており、地震活動が極めて高く、また地震観測点が空間的に密に設置されていることから、世界的にみても最も高い空間的分解能で3次元速度構造が推定されている地域である。しかしながら、従来の seismic tomography の研究では、地下に実際に存在する速度不連続面を無視していること、3次元波線追跡を行っていないこと等により、その空間的分解能は100 Km程度であり、例えば沈み込む太平洋プレートに相当する高速度層が必ずしも明瞭に見えているわけではない。本論文では、上記の問題点を解決するため、pseudo-bending法とスネルの法則を併用した高速かつ高精度の3次元波線追跡法を新たに開発し、さらに地下に存在する速度不連続面を取り入れた一般的な速度構造に適用することが可能なインバージョンの新しい手法を開発した。この方法を50,000個余りのP波、S波および後続波のデータに適用し、従来の研究に比し格段と高い空間的分解能で日本列島下の地殻・上部マントルの3次元地震波速度構造を得た。それは、(1) 太平洋プレートに相当する高速度層が明瞭に認められ、その厚さが80~90 Kmである、(2) 活火山直下の地殻・最上部マントルに顕著な低速度域が分布し、それが上部マントルで西に向かって傾斜している、(3) 西日本に比較して、東日本では地殻内の速度が平均的に遅くかつ不均質である、(4) 西南日本ではフィリピン海プレートに相当する厚さ30 Km程度の高速度層が認められる、(5) 太平洋プレートが大きな変形を受けている島弧会合部で、プレート内の速度が有意に遅くなっていること等、沈み込み帯における地震の発生機構、マグマの生成、上昇過程、プレートの沈み込み過程を理解する上で重要な事実を明らかにしたものと高く評価される。

以上のように、本論文は著者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、趙大鵬提出の論文は理学博士の学位として合格と認める。