

学 位 論 文 題 名

Three-Dimensional Velocity Structure and
Hypocenter Distribution beneath Northern Japan

(北日本下の速度構造と震源分布)

学位論文内容の要旨

本研究では、地震の走時データから三次元地震波速度構造を推定する新しいインバース法を開発した。従来の解析方法と比較して、この方法は、速度境界面の二次元深さ分布、各層内のP波およびS波の三次元速度分布、P波およびS波の観測点補正值、ならびに、解析に用いた地震の震源要素を同時に決定する事に特徴づけられる。

この解析方法では、境界面の深さ分布が緯度・経度のべき級数で、地震波速度分布が緯度・経度・深さのべき級数によってそれぞれモデル化されている。このモデル化によって、複雑な境界面の形状や各層内の地震波速度分布が容易に記述可能となった。また、このように、関数を使用する事によって、未知パラメータが関数の係数のみになるため、従来の解析方法と比較して、未知パラメータの数を減じる事ができた。さらに、解析において必要な任意の地点における境界面の深さ、地震波速度、未知パラメータに関する走時の偏微分係数を解析的に求める事が可能である。モデル化された速度構造における地震波の波線とその波線に沿った走時計算には、本研究によって単純化された波線追跡法(シューティング法)が用いられた。また、インバース法において用いられる観測方程式は巨大な粗行列を形成するが、パラメータ・セレーション法を採用する事によって、この巨大粗行列をもともとのサイズの2割以下のサイズにする事ができた。最終的な行列の解法には、Damped Least Squares Methodを用いた。

これまで述べてきた解析方法は、数値実験によって、その精度や解像度が検証された。すなわち、単純化された波線追跡法は一種の近似計算ではあるが、計算される波線の軌跡および理論走時は、真の値と比較しても十分な精度がある事が確認され

た。また、実際の地震観測点および地震の分布を想定した状況下における理論走時データを作成し、そのデータにインバース法を適用した。その結果、地震観測網内においては、仮定された真の速度構造を十分な精度で再現する事ができ、本研究で開発したインバース法が速度構造の推定に十分有効である事が確かめられた。

つぎに、実際のデータに、このインバース法を適用し、北日本（北海道および東北地方北部地域）下の地震波速度構造を推定した。用いた観測点は、北海道大学、弘前大学、東北大学および気象庁によって、北日本に展開されている52地震観測点であり、地震は349個である。これらの観測点と地震から得られた走時データは、約12900（P波＝8400、S波＝4500）である。解析によって得られた結果を以下にのべる。

モホ面の深さ分布は、日高山脈下で32 km、根釧台地周辺で20 kmと、日高山脈から道東に向かって急激に浅くなっている。また、このdip directionは、ほぼ日高山脈の走行に直交している。一方、道南および東北地方においては、モホ面は30 kmから36 kmにわたって広く分布している。

北海道および東北地方の下に潜り込んでいる太平洋プレートの境界面の上面は、研究対象領域内で、深さ50 kmから170 kmにわたって分布している。その上面のdip directionは、道東で北北西、徐々にその方向を変え、東北地方ではほぼ西向きである。また、千島弧に属する道東におけるプレート境界面の上面のdip angleは、東北日本弧の東北地方におけるそれよりも大きい事がわかった。

得られたP（S）波速度は、地殻内で5.8 - 7.0 km/s（3.4 - 4.1 km/s）、上部マントルで7.4 - 8.0 km/s（4.2 - 4.5 km/s）、プレート内部で8.1 - 8.6 km/s（4.6 - 4.9 km/s）の範囲にわたっている。地殻内においては、道北において速度が遅く、東北地方および道東において速くなる傾向がみられた。上部マントルにおいては、基本的には、深さとともに速度が増加する単純な傾向が得られた。プレート内部には、高速度領域がみられた。これらP波およびS波の速度分布から得られるP波速度とS波速度の比、すなわち、 V_p/V_s 比は、地殻および上部マントル内で1.75 - 1.80の値をとる。プレート内部においても、同様の値を取るが、プレート内部に存在する高速度領域においては、1.75以下の値である。

プレート内部の速度分布から、プレートの下面の深さ分布を推定し、潜り込んで

いる太平洋プレートの厚さを求めた。それによると、千島弧側で約90 km、東北日本弧側で110 kmという値を得た。さらに、プレート内部の詳細な速度分布から、プレートが2層構造である事が示唆された。すなわち、第一層目は、プレートの上面に沿って厚さ20km程度の層で、Low-V・High-Vp/Vsで特徴づけられる。第二層目は、厚さが70kmから90kmで、High-V・Low-Vp/Vsな層である。

インバース法によって得られたP波およびS波の観測点補正値の空間分布は、ブーゲー異常の分布と非常に良い相関が見られた。すなわち、負の観測点補正値の観測点は、正のブーゲー異常の地域に位置し、一方、正の補正値の観測点は負のブーゲー異常地帯に位置していた。また、地質分布との関係も明瞭に見られ、負の観測点補正値の観測点は、古第三紀、中生代および新生代の地質構造、正の補正値の観測点の観測点は、新第三紀および第四紀の地質構造上に位置していた。

得られた北海道下の震源分布から、太平洋プレートに二重深発面が確認された。この二重深発面の上面はプレートの二層構造の第一層目に対応し、その地震活動度は、深さ60 kmから90 kmの浅い領域で高い。一方、下面の地震活動は、100 kmよりも深い領域で活発で、第二層目の高速度層内に分布している。また、この上面の地震分布は深さ90 kmから折れ曲がり始め、深さ130 km付近で下面の地震分布と一致しているように見える。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	岡 田	廣
副 査	助教授	森 谷	武 男
副 査	助教授	中 西	一 郎
副 査	助教授	笠 原	稔

学 位 論 文 題 名

Three-Dimensional Velocity Structure and
Hypocenter Distribution beneath Northern Japan
(北日本下の三次元速度構造と震源分布)

北海道及び本州東北部のいわゆる北日本は、二つの島弧が会合しているところで、地震・火山・地殻変動などの地学的諸現象が地球上でも極めて活発なところである。従来から固体地球科学の研究者のこの地域に対する関心は高く、これらの地学的諸現象について数多く研究されている。これらの研究にとって基本的に重要なもの、それは地殻・上部マントル構造であるが、今までの多くの研究の中で、この広い領域を精度良く推定した例は皆無に等しい。

申請者は本研究において、地殻・上部マントル構造を精度良く推定するための新しい解析法を開発し、これを使って北日本直下の地殻・上部マントル構造を三次元的に今までにない広い領域を高い精度でかつ詳細に推定した。

まずその解析法であるが、それは①速度境界面の二次元深さ分布、②各層内のP波及びS波の三次元速度分布、③P波S波の観測点補正值、④解析に用いる地震の震源要素など、4種類の変量の同時推定を可能とする。これは従来にない構成が非常に明解な解析法であり、しかも複雑な地殻・上部マントル構造をかなり詳細に推定できる特徴をもっている。今後広く応用されるであろう優れた解析法である。

解析法の基本的な点を要約すると、構造のモデル、たとえば境界面の深さ分布を緯度・経度のべき級数で、また地震波の速度分布は緯度・経度・深さのべき級数で表わす。得られたデータを使ったこのべき級数の係数決定が即構造の推定となる。べき級数によるモデル表現は複雑な境界面の形状や地震波速度分布を容易に記述できる上に、モデルを表わす未知パラメータの個数が比較的少なくてすむ。それは、このべき級数表現によれば、安定解を得るために重要な未知パラメータの微小なゆらぎによる走時の乱れ、いわゆる走時パーティションが解析的に容易に求め得るからである。

このようなモデル表現の適否は数値実験によって検証し、精度解像度など良い結果を得ている。これをもとに対象地域に起こった地震の走時データ12,900を収集し、北日本直下の地殻・上部マントル構造を精度良く推定した。同時に、使用した地震の震源分布、観測点補正值なども推定した。推定内容は概略以下の通りである。

1) モホ面の深さ分布は日高山脈下では比較的深く、道東に向かってそれが急に浅くなる。これは今まで推定されていたものとよく調和する結果である。2) 道南及び東北地域でモホ面の深さが複雑に変化する。すなわち二つの島弧の会合点の複雑な構造を明らかにしている。3) 北海道及び東北地域のもぐり込む太平洋プレートの形状、深さ分布、速度分布などの推定結果は地震の震源分布と非常によく符合する。また走時異常などで推定されていたプレート内の高速度層の存在も明瞭である。4) この地域の太平洋プレートの厚さを初めて定量的に推定。千島弧で約90 km、東北日本弧で約110 kmと二つの島弧の差を明らかにしている。5) 観測点補正值の空間分布は、ブーゲー異常の分布と非常によい相関がある。これは今後震源決定において、観測点補正值をブーゲー異常値から推定できる道を開いたに等しい。6) 震源の空間分布は、従来のものよりまとまりよく求められており、太平洋プレートに存在すといわれている二重深発地震面がより明瞭になった。さらにこれは、深さ約130 kmで一つの面に融合するという新しい結果を示し、この融合を上面の地震活動の低下による結果と推定している。この深さが、Ringwood(1974)の提唱している「部分熔融によるマグマの分化が起こるところ」と一致するということは今後の興味ある話題となろう。

以上、申請者は北日本直下の地殻・上部マントル構造について多くの点で優れた研究成果を挙げた。審査員一同は、申請者が博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。