

学位論文題名

Crustal structure of the southernmost Kuril Trench  
of Hokkaido, Japan,  
by seismic tomography and Airgun-OBS profiling

(地震波トモグラフィー、およびエアガン-海底地震計を用いた  
構造探査により明らかになった千島海溝南部の地殻構造)

学位論文内容の要旨

千島海溝の南部では、太平洋プレートの沈み込みにより M8 級のプレート間地震が繰り返し発生している。また余震域から推定されたそれらの地震の破壊域は重なっていないことから、それらの地震はそれぞれ空間的に規則的に分布しているとされている。特に北海道十勝沖で発生した 2003 年十勝沖地震は、1952 年十勝沖地震の再来地震であるとされ、この領域における地殻構造を明らかにすることは、地震における破壊域の構造的特性を議論する上で非常に重要である。しかしながら、本研究の対象領域である十勝沖では自然地震を用いた 3 次元地震波トモグラフィー、エアガン-海底地震計を用いた構造探査が行われてきたが、詳細な地殻構造は得られておらず、地殻構造と破壊域を議論する研究はされていなかった。

本研究では、海底地震計を用いた 2003 年十勝沖地震の余震観測、およびその周辺で行われたエアガン-海底地震計を用いた構造探査の記録を解析することにより、今まで明らかにされていなかった巨大地震域周辺、特に 2003 年十勝沖地震震源域周辺における地殻構造を明らかにすること、そしてその結果から破壊域の特性を考察することを目的とする。

本研究は、2003 年十勝沖地震発生直後に行われた海底地震計を用いた大規模な余震観測、および 2006 年に十勝沖から根室沖にかけて行われたエアガン-海底地震計を用いた構造探査に参加することによって取得できた膨大な地震データに基づくものである。2003 年十勝沖地震本震発生直後の 10 月 1 日から約 50 日間、余震活動が活発であるとされた領域にのべ 47 台の海底地震計を 15-20 km 間隔に設置し、稠密な余震観測を実施した。本研究ではこの観測で得られたデータを用いて、3 次元トモグラフィー解析を行い、P 波速度構造、P 波速度と S 波速度の比の構造 ( $V_p/V_s$  構造) を求めると共に、震源の再決定を行った。2006 年における観測では、2003 年十勝沖地震破壊域周辺における詳細な速度構造の把握を目的として、海底地震計と制御震源としてエアガンを用いた反射、屈折法探査を行い、地殻の P 波速度構造を決定した。本観測では 2 本の測線を展開し、特に海溝軸に平行な測線では Yamanaka and Kikuchi (2003) により求められた 2003 年十勝沖地震の破壊域を通るように展開された。P 波速度構造の決定には上下動地震記録を用い、解析には二次元波線追跡法を用いたフォワードモデリング、初動走時トモグラフィー、および反射波を用いた反射波マッピング法により構造モデルを決定した。

トモグラフィー解析を行うにあたり、本研究では気象庁一元化震源を基に観測域周辺で発生した 589 個の地震の震源を決定した。震源計算には Hirata and Matsu'ura (1987) による計算プログラムを用いた。また、一般に海底には地震波速度が遅い堆積層が厚く存在しているために、海底地震計に記録される初動は遅くなる。そのため本研究では各観測点での P 波と S 波の観測走時と計算走時の平均的な差を補正值と

して、堆積層による走時の遅れを補正した。これらの地震を初期震源として 3 次元トモグラフィー解析を行い、P 波速度構造、 $V_p/V_s$  構造、震源の再決定を行った。トモグラフィーの計算には Haslinger and Kissling (2001) による SIMULPS14 を用いた。この結果、観測域内において  $V_p > 7.0 \text{ km/s}$  を示す海洋地殻が陸域に沈み込む構造が明らかとなり、その上盤側プレートである島孤地殻内での P 波速度の不均質性が本研究により明らかとなった。特に、釧路海底谷周辺において島孤地殻が高  $V_p$  を示す結果が得られた。同時決定された詳細な震源分布では気象庁による CMT 解と比較することにより、沈み込む太平洋プレートの形状をより正確に把握することができた。

2006 年に行われた構造探査の解析では、Zelt and Smith (1992) による 2 次元波線追跡法を用いて試行錯誤的に構造を求め、その結果を初期モデルとして Fujie et al. (2006) による初動走時トモグラフィー、およびマッピング法を用いて、それぞれの測線下における地殻構造を明らかにした。その結果、十勝沖から根室沖にかけては十勝沖で堆積層が厚くなっており、また島孤地殻の P 波速度が十勝沖でのそれに比べ、根室沖にかけて速くなることがわかった。その速度変化を示す領域は地震波トモグラフィー解析の結果とも一致する。

再決定された詳細な震源分布から、山田・他 (2005) によって示唆されたプレートの折れ曲がりが海溝軸から約 90km の位置にあることが示され、この折れ曲がりの位置と Yamanaka and Kikuchi (2003) によって求められた 2003 年十勝沖地震の破壊域の上端が一致することがわかった。また、2003 年十勝沖地震の破壊域において、すべり量が最も大きかった領域のプレート上盤側、つまり島孤地殻内において、高  $V_p/V_s$  が見られた。このことにより、地震時の破壊によって海洋プレートから島孤地殻内に供給された水の存在が示唆された。また、釧路海底谷から西に約 10km の位置で、島孤地殻の P 波速度が大きく変化することが明らかになり、この位置と、Yamanaka and Kikuchi (2003) による破壊域の東端が一致することがわかった。千島海溝南部では、太平洋プレートの斜め沈み込みによる千島弧と東北日本弧の衝突が提唱されている (Kimura, 1986)。本研究では、島孤-島孤衝突によって島孤地殻内の速度構造が遷移的に変化し、これが 2003 年十勝沖地震における破壊域に影響を与えていると解釈した。また、2006 年に行われた構造探査では、この速度変化の大きかった場所において、プレート境界面からの顕著な反射波が確認できた。この場所は Ozawa et al. (2004) によって求められた大きな余効変動の場所と一致した。これらのことから、十勝沖、またはその周辺域での上盤側プレートの不均質性がプレート境界面の固着強度に違いを生じたものとして解釈することができる。以上のことから、沈み込むプレート境界の形状や、島孤地殻内の速度構造の変化によるプレート境界面上で固着強度の違いが、2003 年十勝沖地震における破壊域の広がりや規定する要因の 1 つであり得ることが本研究によって示唆されたと言える。

# 学位論文審査の要旨

主 査 准教授 高 波 鐵 夫  
副 査 教 授 茂 木 透  
副 査 教 授 村 上 亮  
副 査 教 授 笠 原 稔  
副 査 准教授 谷 岡 勇市郎  
副 査 准教授 篠 原 雅 尚 (東京大学地震研究所)

## 学位論文題名

### Crustal structure of the southernmost Kuril Trench of Hokkaido, Japan, by seismic tomography and Airgun-OBS profiling

(地震波トモグラフィ、およびエアガン-海底地震計を用いた  
構造探査により明らかになった千島海溝南部の地殻構造)

近年、海溝沿いの巨大地震に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くは地震に伴う運動の解明を目的としており、それらの地震を発生させた背景の詳細な地殻構造の研究は未開拓の分野であり、今後の発展が待たれている状況である。

本論文は、千島海溝最南端部に発生した 2003 年十勝沖地震の震源域について、海底地震計を用いた地震直後の稠密余震観測網データと 2006 年に実施した海底地震計-エアガンによる人工地震探査データとを用いて、海底地殻構造を地震学的に研究し、地震発生場の地殻構造上の有益な情報を得ることを目的としてまとめたものである。2003 年十勝沖地震のような巨大地震直後のこの種の研究は世界で初めてであり、これらの貴重なデータを博士課程 5 年かけて研究した結果、地震時に大きく滑ったアスペリティ分布、余効変動の時空間分布、そして高精度の余震分布などと、 $V_p$  構造、 $V_p/V_s$  構造との関係性を追求し、地震に伴う運動にこの種の地震学的構造、とくに流体が関与していることを明らかにした。さらに千島海溝における海溝軸に沿った方向での島弧地殻構造の不均質性を明らかにし、この種の地殻構造が 2003 年十勝沖地震破壊域の拡がりを支配したと指摘した。

これを要するに、著者は、2003 年十勝沖地震の破壊過程にプレート境界の物性の状態が大きく関与していること、さらにその破壊域の広がりにはプレート上盤側の地殻構造が影響していたという新知見を得たものであり、海洋プレートが沈み込む千島海溝沿いの巨大地震発生機構を理解する上で、著者の研究が貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士 (理学) の学位を授与される資格があるものと認める。