

氏名・(本籍)	あずま りょう すけ 東 龍 介
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第 2554 号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 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	東北日本沈み込み帯における海洋リソスフェアの地震学的構造
論文審査委員	(主査) 准教授 日野亮太 教授 藤本博己, 海野徳仁 助教 伊藤喜宏

論 文 目 次

謝辞	i
概要	iii
目次	vii
第1章 序論	1
1.1 日本海溝沈み込み帯における地震学的研究	1
1.2 海洋リソスフェアの含水化	2
1.3 海洋リソスフェアの構造	4
1.3.1 海洋リソスフェアの構造	4
1.3.2 日本海溝周辺の太平洋プレートの構造	6
1.4 本研究の目的	7
第2章 人工地震探査に基づく解析	8
2.1 2007年三陸沖人工地震探査	8
2.1.1 屈折法・広角反射法地震探査実験	8
2.1.2 海底地震計	10
2.2 データ処理	10
2.2.1 時刻較正	10
2.2.2 OBS 設置座標の決定	11
2.3 解析手法	11
2.4 アウターライズ(OR)測線の解析	13
2.4.1 レコードセクションの解釈	13
2.4.2 二次元 P 波速度構造の推定	14

2.4.3 Vp/Vs 比構造の推定	16
2.4.4 結果	17
2.5 海溝軸陸側斜面（IT）測線の解析	17
2.5.1 レコードセクションの解釈	17
2.5.2 二次元 P 波速度構造の推定	19
2.5.3 結果	21
第 3 章 自然地震観測記録に基づく解析	132
3.1 2005年宮城沖アウターライズ地震余震観測	132
3.1.1 観測概要	132
3.1.2 海底地震計	132
3.2 データ処理	133
3.2.1 時刻較正	133
3.2.2 OBS 設置座標の決定	133
3.2.3 OBS 観測点下における堆積層による走時遅れの補正	133
3.3 解析手法	134
3.3.1 モデルのパラメータ化	135
3.3.2 三次元波線追跡	135
3.4 2.5 次元速度構造の推定	136
3.4.1 P 波走時の解析	137
3.4.2 S 波走時の解析	139
3.5 震源要素の誤差による影響	140
3.5.1 震源決定誤差の検証	140
3.5.2 系統誤差の検証	141
3.6 結果	142
第 4 章 議論	160
4.1 日本海溝アウターライズ域の海洋リソスフェアの構造	160
4.2 陸側斜面下の海洋リソスフェアの構造	162
4.3 プレート曲がり由来のリソスフェアの構造改変	164
第 5 章 結論	173
参考文献	177

論文内容要旨

近年の東北日本弧をはじめとする沈み込み帯における地震学的研究によって、海洋リソスフェアが沈み込むことによって地球内部へ運び込む水が、沈み込み帯で進行する様々なテクトニックな現象の発生過程を考える上で、不可欠な要素であることが明らかになりつつある。地球内部に持ち込まれた水は、プレート間隙水圧に影響を及ぼすことによりプレート間固着の空間不均質の原因となる他、スラブ地殻あるいはマントルでの脱水脆性化によるスラブ内地震の発生など、沈み込み帯における地震発生に大きく関与する。大陸マントルが部分溶融して生成したマグマが地表に向けて上昇して島弧火山下にいたる要因には、大陸マントル下への水の添加が深く関与する。このような様々な固体地球物理学的現象の場に水を存在させるには、含水化したリソスフェアの沈み込みによる水輸送が最も効率的であるといわれる。中南米沈み込み帯において多数実施された人工地震探査研究は、高い空間分解能で海洋リソスフェアの地震波速度構造を推定し、プレートの屈曲に起因する海洋リソスフェアの破碎・含水化仮説を立証するものとして注目され、こうした研究により、海洋リソスフェアの沈み込みに伴う構造改変の全容が明らかになりつつある。しかし、東北日本沈み込み帯においてこれまでに実施してきた人工地震探査は、沈み込む海洋プレートの上面の形状の推定を目的としたものがほとんどで、屈折法地震探査のもつ高い分解能によって海洋リソスフェアの内部構造が十分に明らかにされるには至っていない。また、海溝陸側斜面で行われてきた海底地震観測についても、海溝軸付近の地下構造の分解能を向上させるような観測はなされておらず、日本海溝に沈み込む太平洋リソスフェアの構造は、特に沈み込みを開始する海溝近傍では、その大部分が未だ解明されていない。背景にある要因としては、日本海溝周辺が大水深の海域であるために、海底地震計の耐圧限界を超えてしまい、観測そのものが困難になることがあげられる。

本研究では、日本海溝沈み込み帯において、海洋リソスフェアの地震波速度構造を推定し、この地域における海洋リソスフェアがプレート曲がり由来の破碎や含水化を受けているかを検証することを目的とする。そのためには、エアガナーOBSによる高分解能の屈折法地震探査をおこなう必要がある。OBSの耐圧限界の範囲内でできるだけ高い分解能で地下構造を明らかにするために、本研究では、海溝陸側斜面下部域の水深5500 m にある緩斜面地形に沿って測線を展開した。この測線下の構造は、堆積層と付加ブリズムからなる上盤側プレートと、その下に沈み込む海洋プレートからなる単純な構造であり、海洋リソスフェアの内部構造モデルの構築が容易であると期待される。また、この探査測線の配置により、海洋リソスフェアが沈み込んだ後にうける、プレート間地震などの上盤側のプレートとの相互作用や、温度・圧力環境の変化によっておこる、リソスフェア内での地震波速度への影響などを回避することができ；沈み込む前の環境にできるだけ近い環境における太平洋プレートについて、地震学的特徴を抽出できると予測した。このような測線配置による探査は、日本海溝では初めての試みである。この測線と併せて、アウターライズ域においてもう1測線で探査を実施し、沈み込み前後での地震波速度の変化の詳細を検討する。

一方、海溝陸側斜面下で発生するスラブ内地震・プレート境界地震を海溝海側のアウターライズに設置したOBS観測網で観測し、その走時を解析することにより、人工地震探査ではデータ取得が困難な深さの海洋リソスフェア内の地震波速度の推定を行う。こうした解析によって、これまでの研究では未解明の部分の多かった沈み込む太平洋リソスフェアの地震学的構造を明らかにし、沈み込む過程で海洋リソスフェアの地震波速度がどのように変化するかを明らかにすることにより、海洋リソスフェア含水化のプロセスの解明が可能になると考える。

日本海溝アウターライズ域における人工地震探査により、沈み込む直前の太平洋リソスフェアの地震波速度構造を2次元波線追跡法により推定した。海洋性地殻第2層より下位の層について、 V_p と V_p/V_s 比

を得た。第2層において、層最上部の V_p は 4.5-4.9 km/s, V_p/V_s 比は 2.08-2.11 であった。第3層において、層最上部の V_p は 6.4-6.7 km/s で、1.84-1.87 の V_p/V_s 比をもつ。この層には探査測線沿って約 4% の速度不均質がある。最上部マントルの速度は、海洋モホ面直下における V_p は 7.9-8.0 km/s, V_p/V_s は 1.71 であった。

陸側斜面の探査測線は、沈み込んだ直後の海洋性リソスフェアの構造を明らかにすることを目的としている。海溝軸のすぐ陸側に測線を置いたことはすでに述べた。そこで実施した人工地震探査のデータを、2次元波線追跡法によって走時解析し、プリズム状堆積層と沈み込む太平洋プレートのP波速度構造を推定した。プリズム状堆積層の層上部における V_p は 3.0-4.2 km/s で、測線方向に強い不均質を持つ。太平洋プレートの海洋性地殻第2層の V_p は、4.4-5.3 km/s と推定した。第3層の V_p は 6.2-6.5 km/s で、アウターライズ域での探査結果と同様に、測線方向に約 4% の速度不均質を持つ。最上部マントルの V_p は 7.7-7.8 km/s であった。

こうした探査実験とともに、本研究では、日本海溝陸側斜面下で発生するスラブ内地震・プレート境界地震をアウターライズに設置した OBS 観測網で観測し、その走時解析により沈み込む太平洋リソスフェア（スラブ）のマントル上部の地震波速度構造の推定を試みた。解析対象とした地震は、その直上に展開された海底地震観測のデータをもちいて精度よく震源が推定されていることから、このような地震の震源が正しいことを前提として、試行錯誤的に観測走時を説明するような構造モデルの推定をおこなった。スラブ形状を考慮した3次元波線追跡法による走時解析を行い、P波観測走時の見かけ速度と絶対走時をともに満たすようなスラブマントルの V_p を推定した結果、観測点下のモホ面直下でのマントル V_p は 7.7 km/s に推定された。しかし、仮定したモデルは鉛直方向の速度変化のみしか与えておらず、したがって求めた P 波速度の評価は厳しく、平均的な構造を推定したにとどまる。また、観測された S 波観測走時を説明できるスラブマントル内の V_p/V_s 比は 1.72-1.73 であった。一方で、正しいと仮定した震源に対して、想定される系統誤差を含めて同様の解析をおこなった結果、観測点直下の P 波速度は 8.0 km/s, V_p/V_s 比は 1.74 であった。

このように、本件研究により新しく取得したデータセットを解析することにより、これまでよくわからなかった沈みこむ太平洋リソスフェアの地震波速度構造を推定することに成功した。これらの結果を踏まえ、太平洋リソスフェア内部でみられる地震波速度の変化に注目すると、以下のようにまとめることができる。

陸側斜面域におけるリソスフェアの地震波速度構造は、アウターライズ域における地震波速度に対して、海洋性地殻第2層で約 1 km/s の低下、第3層で 3% の V_p 低下、最上部マントルでは 3% の V_p 低下を示す。北西太平洋海盆に位置する WP-2 は、その構造は通常の海洋プレートの構造的特徴と調和的であるが、その WP-2 における速度構造と比べると、第2層で V_p/V_s 比が顕著に上昇していることがわかった。また、地殻の持つ不均質性やマントルの速度異方性による影響を考慮しても、海洋性地殻第3層の V_p が 3%, 最上部マントルの V_p が 2-6% 低下しているが明らかになり、アウターライズ域におけるリソスフェアの地震波速度は、すでに典型的な海洋プレートの地震波速度と比べ低速度化していることが示された。アウターライズ域においては、反射法地震探査の結果から、プレート曲がり由来の正断層が形成され始めている様子が確認でき、断層の発達に伴う破碎の進行が始まっていることが示唆される。アウターライズ域の地震波速度が低速度となっているのは、そのような断層の発達に伴う破碎の進行によって、岩石の物性が変化したことによるものと解釈できる。

さらに、エアガン探査の結果は、アウターライズから陸側斜面へ向けてリソスフェア全体で V_p の低下が加速することを示す。この領域では、地盤・地溝構造が急発達していることから、正断層の発達が岩石

の破碎を進行させた結果として、海溝軸近傍でのリソスフェア内部の地震波速度が、アウターライズ域と比べて大きく低下したものと考えられる。また、海側斜面においては2005年の宮城沖アウターライズ地震や1933年昭和三陸地震の震源となるような大規模なアウターライズ正断層の存在が確実であり、プレート曲がりによるリソスフェアの破碎がマントルに及んでいる可能性は非常に高い。

自然地震の走時解析により推定したスラブマントルの V_p/V_s は 1.73-1.74 であった。この値は、アウターライズ域における最上部マントルの V_p/V_s 比 1.71 よりもわずかに大きく、マントルの物性が変化していることを示唆する。 V_p の低下から示唆されるように断層による破碎が進んでいるとすれば、こうした V_p/V_s 比の値から考えると、スラブマントル内において顕著な蛇紋岩化が起きていることは考えにくい。ただし、自然地震の走時解析で見られた非常に大きな走時残差は、短波長の不均質構造の存在を示唆する。海溝海側斜面においては、海底地形や反射法地震探査によって、正断層が10～数10 km程度の間隔で分布することがわかつており、リソスフェアの破碎がこうした断層によっておこっているならば、破碎度には明らかな空間不均質があると予想する。したがって、本研究で推定した V_p/V_s 比は解析対象領域の平均的な構造を反映したものであって、実際には正断層の近傍に局在した大きな構造不均質があるかもしれません、そのような短波長の構造不均質の成因として、断層近傍におけるマントル物質の蛇紋岩化が想定される。

本研究では、これまでその詳細が解明されていなかった、沈み込む太平洋リソスフェア内の速度構造の変化を明らかにすることを通して、沈み込み過程における地震波速度低下と破碎の進行とを関連付けた。さらに、沈み込んだ直後のスラブマントルの大局的な V_p/V_s 比構造の推定にはじめて成功した。得られた結果は、沈み込む太平洋リソスフェアにおいてプレート曲がり由来の破碎が進行していることを強く示唆するものの、明白なスラブマントルの蛇紋岩化の証拠は示されなかった。

論文審査の結果の要旨

海洋リソスフェアが沈み込んだ後の脱水過程は、沈み込み帯の様々な現象に深く関与している。一方、沈み込む以前に海洋性リソスフェアに水が固定される過程のなかでも、海洋性地殻の深部および最上部マントルが水を獲得する過程は未解明な要素が多い。その有力な仮説の一つは、海洋リソスフェアが沈み込むに伴う下側への屈曲変形により形成された正断層が水の供給経路となるという考え方であり、それを示唆する研究が、比較的若く高温の海洋リソスフェアが沈み込む中南米において進められている。海溝外側における正断層の発達に伴うリソスフェアの構造改変の普遍性を検証することは、固体地球全体の水循環を理解する上で重要である。本研究は、そうした背景のもと、中南米とは対照的に、古くて低温の太平洋リソスフェアが沈み込む東北日本沈み込み帯において、沈み込む直前・直後のリソスフェア内の地震波速度を高精度で推定し、曲げ変形による構造改変の実態を明らかにしたものである。

太平洋リソスフェアの海洋性地殻は、沈み込みを開始する直前では、下部地殻および最上部マントルで数%のP波速度(V_p)低下が見られることを示した。さらに、海溝陸側斜面では、 V_p がそれよりもさらに低下していることが示された。海底地形に認められる正断層の発達様式と、海洋リソスフェア内部の V_p 低下との関係は、中南米において明らかにされたものと類似であり、海洋性リソスフェアの屈曲変形による構造改変が、東北日本でも起きていることが示された。一方で、最上部マントルのP波速度とS波速度の比は、沈み込む直前で1.71、海溝軸周辺で1.73～1.74程度で、正断層の発達にともない含水化が進行した可能性を示唆するが、その程度・規模は大きくないことが予想される。

以上のように、東龍介提出の論文は、日本海溝において太平洋リソスフェアが示す構造改変の実態を詳細に明らかにすることに成功した。これは、海洋性リソスフェアが沈み込みに伴う曲げ変形による構造改変の普遍性を強く示唆する。大深度の海底での観測を必要とする、古い海洋性リソスフェアが沈み込む海溝域においてこのような系統的な地震学的構造を明らかにした研究は前例がなく、本論文の成果は高く評価される。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。よって東龍介提出の博士論文は、博士(理学)の学位論文として合格と認める。