

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 8日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540435

研究課題名（和文） 変換波を用いた地震波異方性速度構造の研究

研究課題名（英文） Study of anisotropic velocity structure by splitting analysis of Ps converted waves

研究代表者

小田 仁 (ODA HITOSHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：50127552

研究成果の概要（和文）：

地殻の速度境界面や海洋プレート上面で発生した Ps 変換波のスプリティング解析に「剥ぎ取り法」を併用し，上部地殻，下部地殻およびマントルウエッジの S 波偏向異方性の構造を地域別に推定した。その結果，下部地殻やマントルウエッジの異方性は上部地殻の異方性の影響を強く受けることが判明した。そして，中国地方では上部・下部地殻で異方性が異なり，また，東北地方の太平洋沿岸ではマントルウエッジの偏向異方性は南北成分が卓越することを示した。

研究成果の概要（英文）：

The S-wave polarization anisotropy is investigated in the upper and lower crust and the mantle wedge by shear-wave splitting analysis of Ps converted waves which originate at the Conrad and Moho discontinuities in the crust and at the upper boundary of oceanic plates subducting beneath the Japan Islands. The waveform cross-correlation method and stripping method are employed for the shear-wave splitting analysis. As a result, the upper crustal anisotropy is shown to mask the Ps phase polarization anisotropy in the lower crust and the mantle wedge. In addition, it is found that in Chugoku and Shikoku districts the anisotropic properties of shear wave are different between the upper and lower crust and that in the east coastal region of Tohoku district the fast polarization directions of Ps waves in the mantle wedge show basically N-S direction trend.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：地震学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：Ps 変換波，S 波偏向異方性，P 波レシーバ関数，S 波スプリティング解析，剥ぎ取り解析，異方性構造

1. 研究開始当初の背景

これまで、我々はP波走時解析によって日本列島の3次元P波異方性構造を推定してきた (Ishise and Oda, 2008, 2009)。得られた上部地殻のP波異方性は、S波のスプリッティング解析によって推定したS波偏向異方性の向きと概ね一致した。しかし、下部地殻、マントルウエッジ、大陸の下に沈む込む海洋プレートの領域では、S波異方性に関する情報が乏しいために、推定したP波異方性とS波異方性の比較は困難であった。また、P波走時解析によって得られた東北地方のマントルウエッジのP波異方性の向き (P波が速く伝わる方向) が、Nakajima and Hasegawa (2004) が求めたS波偏向異方性の方向 (分裂したS波が速く伝わる振動方向) と一致しなかった。このような不都合は、S波スプリッティング解析による地球深部のS波異方性の推定方法に限界があるためであると考えた。S波スプリッティング解析は、地震波異方性を検出するには優れた方法であるが、S波の伝播経路の何処に異方性領域があるかを特定することが困難であるという欠点がある。速度不連続面で発生したPs変換波は、変換面の上に存在する層を通過するときに、その層に存在する地震波異方性によってスプリッティングを起こす。従って、このPs変換波に着目すれば、地球内部の異方性領域を特定することができると考えた。また、Ps変換波はP波レシーバ関数上で同定しやすく、Ps変換波を発生させた速度不連続面の深さの推定も可能であるから、この変換波の解析によって、異方性構造の深さ方向の解像度が向上すると期待できる。

2. 研究の目的

地震波異方性は地球内部の応力状態や地球

内部物質の変形・流動状況を反映するパラメータであることが知られている。従って、地震波異方性、特に、S波偏向異方性の地域的分布を調べることにより、マントル対流や、プレート運動、地殻応力の状態を知ることができる。ある速度境界面で発生したPs変換波はS波なので、その偏向異方性を推定できれば、S波偏向異方性の深さによる変化を知ることができる。そこで、地殻のコンラッド面やモホ面、海洋プレート上面で発生するPs変換波をP波レシーバ関数上で同定し、それぞれの境界面で発生した変換波のS波偏向異方性をスプリッティング解析により推定する。得られた解析結果から、上部・下部地殻、マントルウエッジの異方性の地域的変化を調べ、上部地殻と下部地殻の異方性が同じか否か、マントルウエッジの異方性の方位が海溝の走行に平行または直角か、といった問題に結論を出すことを目的とした。そして、広域応力場が及ぼす地殻異方性への影響やプレートの沈み込みがマントルウエッジの異方性に与える影響を検討することも目的の一つとした。

3. 研究の方法

地震の観測記録波形上ではPs変換波は振幅が小さいために、変換波の生波形から異方性を求めるのは困難な場合が多い。そのため、遠地震のP波レシーバ関数解析を行い、さらに、レシーバ関数波形に特異値分解フィルター適用してPs変換波を検出しやすくする。検出したPs変換波の走時解析によって、その変換波が地球内部のどの速度不連続面で発生したものかを推定する。次に、P波レシーバ関数のradial成分とtransverse成分で検出されたPs変換波にS波スプリッティング解析を行い、変換波のS波偏向異方性 (異方

性の強さと方位)を推定する。これによって、Ps 変換波が発生した速度不連続面よりも上の層の異方性を推定できる。そして、各層の不連続面で発生した Ps 変換波の S 波偏向異方性を見積もり、異方性構造を深さの関数として表す。また、ここで述べた方法によって正しい異方性構造を推定することができるかどうかを、数値シミュレーションによって確認する。

4. 研究成果

東北地方に分布する F-net (防災科学技術研究所の広帯域地震観測網) の 9 観測点で得られた遠地地震に P 波レシーバ関数解析を行った。全ての観測点で、地殻のコンラッド面、モホ面で発生した Ps 変換波を検出した。また、太平洋沿岸の観測点のレシーバ関数には、P 波初動から 8 秒~10 秒にかけて、負の極性を持つ Ps 変換波が現れ、その直後に正の極性の Ps 変換波が明瞭に見られた。負の極性を持つ変換波はマントルウエッジと海洋地殻の境界面であるプレート上面で発生したものであり、後に現れる正の極性を持つ変換波は海洋地殻とプレート本体の間の境界面である海洋モホで発生したものであると解釈した。また、西から到来する地震波ほど、Ps 変換波の到着時間が遅くなる傾向が見られたことから、変換波を発生させたプレートが西に傾いていると解釈した。しかし、日本海側の観測点ではプレート境界で発生した Ps 変換波は明瞭には見られなかった。検出した Ps 変換波に波形相関法を適用し、マントルウエッジや海洋地殻の異方性によって分裂した Ps 変換波が速く伝わる成分の振動方向と分裂した 2 成分の時間差を測定した。その結果、太平洋沿岸に沿う観測点では、マントルウエッジの S 波偏向異方性は南北成分で速く、それ以外の地域では東西成分となる

ことが示された。また、海洋地殻とマントルウエッジの異方性には大きな違いが見られなかった。しかし、ここで得られた異方性には、以下に述べるように、問題があることが明らかになった。

Ps 変換波の S 波偏向異方性は、それが伝搬した経路の異方性の影響を受ける。例えば、プレート上面で発生した Ps 変換波は、マントルウエッジや地殻異方性の影響を受ける。従って、この Ps 変換波からマントルウエッジの S 波偏向異方性を推定するには、地殻の異方性の影響を取り除かなくてはならない。この影響を取り除くために「剥ぎ取り法」を開発した。この方法の効果を確かめるために数値実験を行った。まず、各層が六方対称の異方性をもつ水平成層構造の基盤に P 波を入射したときの P 波応答関数を合成し、これを用いて P 波レシーバ関数を行った。得られたレシーバ関数上で検出した Ps 変換波に S 波スプリティング解析を行い、各層の S 波偏向異方性の向きと大きさを推定した。その結果、第 1 層(表層)と第 2 層の境界で発生した Ps 変換波のスプリティング解析により第 1 層の異方性を推定できることを確認した。しかし、第 2 層と第 3 層の境界で発生した Ps 変換波を同じ方法で解析しても、第 2 層の異方性を見積もることが困難であることが分かった。これは、第 2 層と第 3 層の境界で発生した Ps 変換波は第 1 層の異方性の影響を強く受けるためである。そこで、この Ps 変換波に対して、第 1 層の異方性の影響を剥ぎ取り法によって補正し、補正後の Ps 変換波に S 波スプリティング解析を施したところ、第 2 層の S 波偏向異方性を正しく推定できることが分かった。さらに、第 3 層以下の層で発生した Ps 変換波についても、同じような補正を行えば各層の異方性の推定が可能であることを確認した。

沈み込み帯で観測される Ps 変換波に剥ぎ取り法を適用する場合、海洋プレート等の傾斜構造が解析結果に影響を及ぼす可能性があるため、その影響を吟味しなければならない。そこで、数値シミュレーションを行った。まず、沈み込み帯の地震波速度構造を傾斜した異方性多層構造でモデル化し、その構造の基盤に P 波が入射したときの地震波の理論記象とレシーバ関数の合成を行うための計算機コードの開発を行った。これにより、傾斜異方性多層構造の実体波応答関数とレシーバ関数の合成が可能になった。合成した P 波レシーバ関数上で傾斜層の境界で発生した Ps 変換波を検出し、その変換波の S 波偏向異方性を剥ぎ取り解析と S 波スプリティング解析を併用して見積もった。その結果、剥ぎ取り法は傾斜速度境界面で発生した Ps 変換波にも適用でき、上部・下部地殻、マントルウエッジの異方性を正しく推定するために用いることができることを確認した。また、Ps 波だけでなく直達 S 波にも剥ぎ取り法が適用できることも分かった。

剥ぎ取り法を使って、実際の観測記録から上部地殻と下部地殻の異方性を推定した。解析したデータは、中国、四国、九州地方で観測された遠地震のレシーバ関数に見られる Ps 変換波である。まず、コンラッド面で発生した Ps 変換波にスプリティング解析を行い、上部地殻の S 波偏向異方性の向きと大きさを推定した。次に、剥ぎ取り法を用いて、モホ面で発生した Ps 変換波に対して上部地殻の異方性の影響を補正した。この補正には、上部地殻で推定された S 波偏向異方性データを用いた。補正された Ps 変換波にスプリティング解析を施し、下部地殻の異方性を推定した。このようにして、西南日本に分布する F-net の観測点直下の上部・下部地殻の異方性の地域的な変化を調べた。その結果、上部地

殻の S 波偏向異方性の方向は東西方向の傾向を示すことが分かった。これは、地殻内地震の直達 S 波を用いて推定した従来の報告と定性的に一致している。これに対して、下部地殻の S 波偏向異方性は、概ね南北方向を示すことが分かった。従って、上部地殻と下部地殻は異なった異方性を示していると言える。もしも、モホ面からの Ps 変換波に上部地殻の異方性の影響を補正せずに下部地殻の異方性を推定すると、異方性の向きは東西系に近くなり、上部地殻の異方性に似た性質を示すことも分かった。このことは、深部の異方性を推定するには、その上にある層の影響を補正しなければならないことを意味している。従って、剥ぎ取り法は地球深部の異方性構造の推定に大変重要な役割を果たしているといえる。

現在、東北地方で観測される Ps 変換波の解析により、上部・下部地殻、マントルウエッジの S 波偏向異方性を再決定し、その異方性の地域的な変化を調べつつある。暫定的結果であるが、地殻・マントルウエッジの異方性は、太平洋沿岸では概ね南北方向を向いているという結果が得られた。今後、より詳細な解析結果を出すことができると期待している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 小田仁, 傾斜異方性多層構造の地震記象の計算式, 地震, 査読有, 第 2 輯, 64 巻, 2012. (印刷中)
- ② M. Nagaya, H. Oda, and T. Kamimoto, Regional variation in shear-wave polarization anisotropy of the crust in southwest Japan as estimated by splitting analysis of Ps-converted waves on receiver functions, Phys. Earth Planet Inter., 査

読有, 187, 2011, 56-65.

③ H. Oda, Stripping analysis of Ps-converted wave polarization anisotropy, Bull. Seism. Soc. Am., 査読有, 101, 2011, 2810-2818.

④ 石瀬素子, 小田仁, 日本列島の地震波異方性速度構造, 地震, 査読有, 第2輯, 61巻特集号, 2009, S187-S197.

[学会発表] (計9件)

① 渡辺光美, 小田仁, 異方性傾斜構造を伝えるS波, Ps変換波の剥ぎ取り解析, 日本地球惑星科学連合, 2012年5月21日, 幕張メッセ国際会議場 (予定).

② M. Ishise, M. Watanabe, H. Oda Investigation of P- and S-wave Anisotropy beneath the Japan Subduction Zone, AGU Fall Meeting, , Dec. 8, 2011, San Francisco, U. S. A.

③ 小田仁, Ps変換波の剥ぎ取り解析によるS波異方性構造の推定, 日本地震学会, 2011年10月12日, 静岡県コンベンションセンター・グランシップ.

④ 渡辺光美, 小田仁, Ps変換波を用いた多層構造の偏向異方性の推定, 日本地球惑星科学連合, 2011年5月23日, 幕張メッセ国際会議場.

⑤ 石瀬素子, 小田仁, 実体波異方性から見た日本列島沈み込み帯, 日本地球惑星科学連合, 2010年5月27日, 幕張メッセ国際会議場.

⑥ 平塚祐介, 小田仁, ソフトコアと内核異方性を考慮した3S2モードの異常分裂, 日本地球惑星科学連合, 2010年5月27日, 幕張メッセ国際会議場.

⑦ 神本哲朗, 小田仁, 東北地方のマントルウエッジと海洋性地殻のS波偏向異方性, 日本地震学会, 京都大学吉田キャンパス, 2009

年10月22日.

⑧ 都司康平, 小田仁, 地球振動スペクトルの逆解析による不均質性・異方性速度構造の推定, 日本地球惑星科学連合, 2009年5月17日, 幕張メッセ国際会議場.

⑨ 神本哲朗, 小田仁, P波レシーバ関数に及ぼす地震波異方性と傾斜構造の影響の比較, 日本地球惑星科学連合, 2009年5月16日, 幕張メッセ国際会議場.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 仁 (ODA HITOSHI)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号: 50127552