

ハーフグラベン（地下基盤のV字谷構造）と深さ10kmでのP波高速帯の一致 7 Relationship between half-graben and high-velocities area at depths of 10 km 7

大石 幸男^{1*}
OISHI, Yukio^{1*}

¹アトリエサイエンス
¹Atelier Science

つくばを中心とする茨城県南が上盤（埼玉県の秩父、寄居付近）の下方、深さ約20kmから東方へ抜け上がってきた下盤、すなわちリフト縁辺隆起帯であり、変成コアコンプレックスである可能性がある。（大石幸男 2011）

関東に存在する4つのだ円形をした深さ10kmのP波地震波高速帯（松原誠 2005）のうち2つは茨城県南にある。つくば市と鉾田市直下に存在するこの茨城県南の2つのだ円高速帯は、深度を増すにつれ面積が大きくなり深さ30km付近では県南を覆うほどの大きさのドーナツ型になり、そのまま深さ約50kmまで達する。

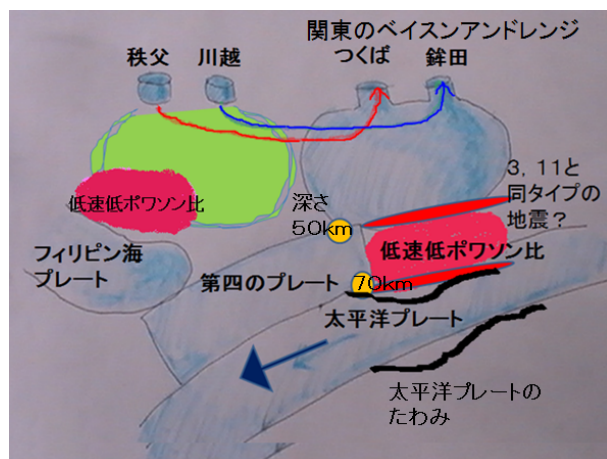
この茨城県南の巨大な高速帯のかたまりの西半分は、関東の第四のプレート（遠田晋次 2005）の上に乗っている。ちなみに第四のプレートの東淵の南北のライン、すなわち筑波山、つくば市、千葉市を通るエリアは地震多発の帯（つくば市 2004 M5, 7 千葉市 2005 M6, 0他）となっている。そして巨大な高速帯の東半分は低速、低ポワソン比帯の上に乗っている。（図 1）

この霞ヶ浦直下から南部にかけての低速、低ポワソン比帯のエリアは深さ約50kmから70km付近に存在し、沈み込んだ太平洋プレートの上に乗っている。この低速、低ポワソン比帯という特徴は、3, 11の震源付近の固着域の太平洋プレート上面部の特徴と一致し、さらには雲仙岳直下深さ約30kmから地表付近までの特徴と一致する。このことから珪長質の岩石やマグマの存在が考えられる。低速、低ポワソン比の柔軟性が、固着を強め、さらに定常的地震の発生を少なくしたために、巨大な固着面の発見を困難にした可能性がある。（大石幸男 2013）

霞ヶ浦直下から南部の低速、低ポワソン比のエリアの下部の太平洋プレートと接した部分も定常的地震発生は少なく、強く固着している可能性がある。今後このエリアでの大地震発生の可能性も再検討する必要があるように思われる。

なおこのエリアは低速ではあるが高ポワソン比帯である（中島淳一 2008）との指摘もあるので解決を待ちたい。

一方、霞ヶ浦直下の低速、低ポワソン比エリアの上面の深さ約50km付近は定常的地震発生地帯となっており、何故かその形状は側面が台形をした六面体や三角錐などの幾何学的形態をしている。さらにその上方深さ約20kmの香取市付近では3, 11以降、正断層地震が頻発している。霞ヶ浦およびその南方域直下の注視が望まれる。



常時微動を用いた地震波干渉法による鳴子火山群周辺の3次元S波速度構造 Three-dimensional S-wave velocity structure beneath the Naruko volcanic area by ambient noise seismic interferometry

田村 淳^{1*}; 岡田 知己¹; 松澤 暢¹
TAMURA, Jun^{1*}; OKADA, Tomomi¹; MATSUZAWA, Toru¹

¹ 東北大・理・予知セ
¹ RCPEV, Tohoku Univ.

2008年岩手・宮城内陸地震は岩手県南部から宮城県北部の南北約50kmの範囲において発生した。この地震の震源域は焼石岳・栗駒山・鬼首・鳴子火山に近接しており、これらの火山深部に存在するマグマと震源断層との位置関係を調査するため、いくつかの先行研究が行われている。Okada et al. (2010)は実体波トモグラフィにより深さ40kmまでのS波速度構造の推定を行い、余震域が栗駒山・鬼首・鳴子火山群付近の低速度域を避けて分布していることを確認した。本研究では、より密な観測網を用い、常時微動記録から相互相関解析を使用した地震波干渉法により、震源域南端に位置する鳴子火山浅部での詳細な速度構造を推定し、火山体の構造と余震域との詳細な対応関係を明らかにする。地震波干渉法とは、2観測点における波動場の相互相関関数から、仮想的に1点を震源とし、別の1点を観測点とした場合のグリーン関数を抽出するという手法である。

相互相関解析には、科学研究費補助金・新学術領域「地殻流体」の一環として鳴子・鬼首地域に設置された稠密な観測網とHi-netの観測点で記録された上下同成分の常時微動を用いた。まず、常時微動の性質を調べるためにスペクトル解析を行った。その結果、0.1-1 Hzと2-10 Hzに卓越したエネルギーをもつことが確認できた。ビームフォーミング解析により、0.1-1 Hzに含まれる常時微動の振動源は、主に太平洋側からの波浪であると考えられる。表面波の卓越する低周波側の常時微動に対し、それぞれの観測点間の組み合わせにおいて1日毎に相互相関関数を計算した。18ヶ月間の観測期間にわたる相互相関関数をスタックすることでSN比の高いグリーン関数を得た。その後、得られた相互相関数についてマルチプルフィルタ処理(Dziewonski et al., 1969)を施すことで3-10秒におけるレイリー波群速度分散曲線を推定した。さらに、得られた群速度に対してBarmin et al. (2001)の手法に基づき表面波トモグラフィを行い、周期3-10秒におけるレイリー波群速度分布を得た。最後に、その速度分布に対しS波速度インヴァージョンを適用することで、深さ10kmまでのS波速度構造を推定した。

S波速度構造の結果から、鳴子火山群の北西部と鬼首カルデラの南部に深さ3-4kmにおいて顕著な低速度域が確認された。これらの領域を震源断層および余震域と比較すると、鳴子付近に見られる低速度域には余震が発生しておらず、余震活動はこの低速度域の直ぐ北東部で止まった事がわかる。これらの低速度域は高温のマグマまたは熱水に寄ると考えられる。

キーワード: 地震波干渉法, 相互相関解析, 常時微動, トモグラフィ

Keywords: seismic interferometry, cross-correlation analysis, ambient noise, tomography

箱根火山から丹沢山地にかけての地震波速度構造 Three-dimensional velocity structures in the region between Hakone volcano and Tan-zawa Mountains, central Japan

行竹 洋平^{1*}; 本多 亮¹; 原田 昌武¹; 里村 幹夫¹; 松原 誠²
YUKUTAKE, Yohei^{1*}; HONDA, Ryou¹; HARADA, Masatake¹; SATOMURA, Mikio¹; MATSUBARA, Makoto²

¹ 神奈川県温泉地学研究所, ² 防災科学技術研究所

¹ Hot Springs Research Institute of Kanagawa prefecture, ² Earthquake Research Institute, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

1. はじめに

箱根火山は伊豆衝突帯北部に位置し、周囲を直径約 15km の外輪山に囲まれる第四紀の活火山である。箱根カルデラ内では、群発地震が頻繁に発生しており、地下深部のマグマ由来の熱水が地震の発生に関与している可能性が指摘されている(例えば、Oki and Hirano, 1970; Yukutake et al., 2011) ほか、箱根カルデラ下深さ 15~20km 付近には低周波地震が観測されている。しかし、地下深部に存在すると考えられているマグマ溜りの詳細な位置やそれと低周波地震との関係、熱水とカルデラ浅部で発生する群発地震活動との関係について十分な理解が進んでいない。また、箱根火山から北に約 20km 離れた場所に位置する丹沢山地では、伊豆・丹沢の地塊が本州側に多重に衝突する複雑なテクトニクスを有する。箱根火山活動に関与するマグマ供給システムとそれに由来する熱水系と地震活動との理解や、衝突帯北縁のテクトニクスの理解を進めるうえで、この地域の地殻構造を詳細に推定することが重要となる。本研究では、定常地震観測点に加えて箱根カルデラ内および周辺域に設置された機動的地震観測点を用い、3次元地震波速度構造の推定を試みた。

2. データ及び手法

2009年6月から2011年6月の期間に、神奈川県温泉地学研究所により箱根カルデラ内およびその周辺域において設置された22点の機動的地震観測点のデータを解析に使用した。さらに、2009年から2011年の期間に、防災科学技術研究所により箱根から丹沢山地にかけて設置された約30点の機動的地震観測点のデータ、温地研、防災科研、東大地震研、気象庁の定常地震観測点のデータもあわせて使用した。2009年6月から2011年4月の期間に発生した1200イベントについて、P波及びS波走時を手動検測しトモグラフィ解析に用いた。

3次元速度構造の推定には、Double-difference tomography法(Zhang and Thurber, 2003)を使用した。初期1次元速度構造は、JHD法(Kissling et al., 1994)より推定した。水平方向4km、深さ方向3km間隔のグリッドを配置し、3次元速度構造の推定を行った。

3. 結果と解釈

箱根カルデラ内の速度構造については、群発地震発生域の深さ3km付近においてP波速度(V_p)が6.0km/sの比較的高速度であるのに対して、群発地震発生域の下限にあたる深さ6kmから15kmにかけて5.2km/sから6.6km/sの低 V_p 域が推定された。S波速度(V_s)についても、深さ6km~15kmにかけて3.5km/s~4.1km/sの低 V_s 域が推定された。 V_p/V_s に変換すると、深さ10km~15km付近にかけて領域では、 V_p/V_s が1.9と高く、一方群発地震発生域下限の深さ6kmでは V_p/V_s が1.6程度の比較的低い値となる。これらの結果をTakei(2002)による空隙のアスペクト比と V_p/V_s との関係に当てはめると、 V_p/V_s が高い領域は空隙に水またはメルト、 V_p/V_s が低い領域は水またはガスが満たされた領域として解釈できる。高い V_p/V_s の領域は、箱根カルデラ周辺で観測される山体の伸びを示す地殻変動のソース源(例えば、原田ほか、2009)と一致しており、マグマ溜りを反映していると考えられる。低い V_p/V_s の領域はマグマ由来の熱水やガスの存在を反映しており、群発地震の発生と密接に関与していることが示唆される。

丹沢山地では、 V_p が6.5km/s以上の非常に高速度な領域が地表付近まで存在する。丹沢山地では伊豆・小笠原弧の下部地殻物質に対応するトーナル岩や斑レイ岩が地表に露出しており、これらの岩体は速い地震波速度を持つことが知られている(例えば、Kitamura et al., 2003)。丹沢山地の高 V_p 領域は、丹沢地塊が本州弧に衝突することにより、地表まで露出した下部地殻物質を反映したもとのと思われる。丹沢山地から箱根カルデラ北縁にかけての領域では V_p 5.0-5.5km/sの低速度域が推定され、足柄層群(トラフ充填物)に対応すると考えられる。上記の結果は丹沢、伊豆の衝突の過程で形成された複雑な地殻構造を反映したものであり、Nakamichi et al. (2007)やArai et al. (2009)の先行研究と調和的である。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所、東京大学地震研究所、気象庁観測点の地震波形データ、及び気象庁一元化の検測値を使用させて頂きました。本研究は文部科学省受託研究「神縄・国府津-松田断層帯における重点的な調査観測」により取得された地震データを利用しました。

SSS26-03

会場:315

時間:4月30日 16:30-16:45

キーワード: 地震波速度構造, 箱根火山, 丹沢山地

Keywords: Three-dimensional velocity structures, Hakone volcano, Tanzawa Mountains

紀伊半島下を南東にせり上がる大陸モホ面と中間層の地震 Continental Moho slanting upwards to the southeast beneath Kii Peninsula and middle layer earthquakes

澁谷 拓郎^{1*}; 今井 基博¹; 平原 和朗²; 中尾 節郎¹
SHIBUTANI, Takuo^{1*}; IMAI, Motohiro¹; HIRAHARA, Kazuro²; NAKAO, Setsuro¹

¹ 京大・防災研, ² 京大・理

¹DPRI, Kyoto Univ, ²Science, Kyoto Univ

我々は、紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートとその周辺の構造を推定するため、紀伊半島において2004年から2013年まで稠密リニアアレイ地震観測を行った。これまでにフィリピン海スラブの傾斜方向の4測線と直交方向の2測線を含む14断面でレシーバ関数解析を行い、大陸モホ面、海洋地殻上面、海洋モホ面などの地震波速度不連続面の3次元的形状を推定した。その結果、北西下がり傾斜するスラブ上面と海洋モホ面をそれぞれ低速度層上面と高速度層上面として明瞭にイメージすることに成功した。大陸モホ面は、近畿地方の北部から中部にかけては深さ35 km~37 kmにほぼ水平に横たわっているが、紀伊半島下ではフィリピン海スラブの上をせり上がるように南東上がりに傾斜し、中部で深さ20 km、南部沿岸域で深さ15 kmに達していることがわかった。

Mizoue et al. (1983)は、当時紀伊半島に展開されつつあった地震の定常観測網のデータを用いて、紀伊半島をほぼ東西に伝播する波線におけるモホ反射波やモホ屈折波と直達P波の走時差が北部から南部に至るにつれて小さくなることを見出し、大陸モホ面が南上がりに傾斜していると推定した。さらに彼らは、上部地殻で発生する地震とフィリピン海スラブで発生する地震とは別の、それらの中間の深さで発生している地震を紀伊半島南部で検出し、中間層の地震と名付けた。彼らは、中間層の地震は南上がりに傾斜する大陸モホ面付近で発生していると指摘している。

我々のレシーバ関数解析では、上述のように大陸モホ面の3次元的形状を精度良く推定することができた。その結果、中間層の地震は南東上がりの大陸モホ面の下方で発生していることが明らかになった。中間層の地震が発生している下部地殻相当の深さではふつう地震は発生しない。それは、その深さでは、地殻物質は流動的になり、塑性強度が脆性強度を下回ってしまうためである。ところが、大陸モホ面が下部地殻相当の深さまで浅くなった場合、その深さでのマントル物質の塑性強度が脆性強度を上回り、マントル内で脆性破壊、すなわち地震が発生する可能性が出てくる。これが中間層の地震の成因であると考えられる。

キーワード: 大陸モホ面, 中間層の地震, 紀伊半島, レシーバ関数

Keywords: continental Moho, middle layer earthquakes, Kii Peninsula, receiver function

西南日本下フィリピン海スラブ内の地震波速度異方性 Seismic anisotropy within the subducting Philippine Sea slab beneath the central Japan

汐見 勝彦^{1*}
SHIOMI, Katsuhiko^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

稠密な基盤の地震観測網データの解析や精力的な構造探査などを通じ、西南日本下に沈み込むフィリピン海スラブの複雑な形状が明らかになってきた。しかし、スラブ内の応力場と強い関係があると考えられる地震波速度異方性構造については、まだ未解明な点が多い。そこで、フィリピン海スラブ内の異方性構造の特徴を把握することを目的として、紀伊半島と四国に位置する防災科研 Hi-net, F-net および産業技術総合研究所の観測点等計 100 点にレシーバ関数解析を適用した。観測点下に傾斜した地震波速度不連続面や異方性媒質が存在する場合、地震波到来方向に対して、レシーバ関数中に記録される Ps 変換波の到着時および振幅に系統的な特徴が生じる。この特徴を定量的に評価するため、得られたレシーバ関数に対して、調和解析 (Bianchi *et al.*, 2010; JGR) を適用した。調和解析では、速度不連続面あるいは異方性軸の傾斜方向、もしくは異方性軸 (速い軸) の方位を推定可能である。

2000 年 10 月から 2013 年 11 月までに発生したマグニチュード 6 以上の遠地地震による記録のうち、S/N が良好なものを対象にレシーバ関数を推定した。レシーバ関数の推定には、コーナー周波数 1.0Hz と 1.5Hz の低域通過フィルタを適用した。調和解析の適用にあたっては、モホ面からの変換波がもっとも強調される深さ (=モホ面深度) を基準深さとして、CCD 重合を行った。重合には、Matsubara & Obara (2011; EPS) による速度構造を用いた。まず、モホ面からの変換波を含むデータに調和解析を適用した結果、紀伊半島東部、四国西部で得られた境界面の傾斜方向は radial 成分のレシーバ関数から推定した海洋モホ面モデル (以下、前モデル。Shiomi *et al.*, 2008; GJI) と良い一致が見られた。一方、紀伊半島南部で調和解析により得られた傾斜方向は、前モデルと比べて時計回りに回転する傾向がある。この特徴は、モホ面直上に南北方向の異方性媒質が存在する際に生じる。紀伊半島において、前モデルと整合する領域とズレが生じる領域は、Shiomi & Park (2008; JGR) の領域 A と B の境界に相当し、深部低周波微動やスラブ内地震の発生状況が変化する場所と一致する。海洋地殻では、深さ 40 km 以浅では異方性軸が比較的平坦であり、速い軸がスラブ傾斜方向を向く傾向がある。これは、スラブ内地震の北東-南西伸張場と調和的である。また、より深部では層が傾斜する特徴が顕著となる。四国下の海洋マントルでは、東側に傾斜する成分が顕著であるのに対し、紀伊半島南部では速い軸が東西方向に向き、傾斜成分は乏しい。この特徴は、紀伊水道周辺でのスラブ形状の急変ならびに紀南海山列を起点としたスラブ拡大の影響と考えられる。

キーワード: フィリピン海スラブ, レシーバ関数, 調和解析, 地震波異方性
Keywords: Philippine Sea slab, Receiver function, Harmonic analysis, Seismic anisotropy

濃尾地震断層域におけるレシーバ関数解析(その2) The receiver function analysis at the area of the Nobi earthquake (II)

飯高 隆^{1*}; 五十嵐 俊博¹; 加藤 愛太郎¹; 岩崎 貴哉¹; 濃尾地震断層域 合同地震観測グループ¹
IIDAKA, Takashi^{1*}; IGARASHI, Toshihiro¹; KATO, Aitaro¹; IWASAKI, Takaya¹; JOINT SEISMIC OBSERVATIONS, At
the area of nobi earthquake¹

¹ 東大・地震研

¹ERI, Univ. of Tokyo

1) はじめに

内陸地震の発生は、日本列島域周囲の海洋プレートの沈み込みなど、プレート運動に伴って生ずる歪が島弧地殻内部に蓄積し、それに伴い特定の断層への応力集中がおこり破壊に至るといえる。一連のプロセスから成ると考えられる。その物理メカニズムを理解するためには、島弧地殻内の不均質構造を解明するとともに、プレート境界から加わる歪・応力がその不均質構造や内部変形によって局在化していく過程を明らかにしなければならない。現在実施されている“地震及び火山噴火予知のための観測研究計画”においては、2009年から5ヶ年計画で、全国の大学・関係機関と共同で、1891年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域を研究対象として、地震観測、地球電磁気観測、GPS観測等による地球物理的総合観測を実施している。この断層は、新潟-神戸歪集中帯の中に位置しており、断層への歪・応力集中の様子を調べるのに適した断層である。

これまでにおこなってきた跡津川断層などにおける合同観測の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、下部地殻の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた。濃尾断層域でおこなっている総合観測の一環である自然地震のテレメータ観測のデータを用いた広域トモグラフィ解析によっても、濃尾断層域下のフィリピン海プレートから上部地殻へとつながる低速度域が検出された。この低速度域は、東西方向においては濃尾地震断層の西側の琵琶湖の下に存在するフィリピン海プレートから、下部地殻内部を通り断層域直下にまで伸びており、また断層の走向方向においても、1891年の濃尾地震の断層の北部の下部地殻に存在していることがわかった。本研究では、この領域においてレシーバ関数解析をおこなった。

2) データ

震源は、2002年8月から2011年3月10日までの震央距離30度から90度の遠地震を用いた。観測点は、本計画で設置した臨時観測網のデータに加え、防災科研のHi-netのデータを使用させていただいた。

3) 結果

濃尾地震断層域でのレシーバ関数の明瞭なイメージを得ることができた。この地域では、2012年に人工地震を用いた構造探査が実施されており、2013年の日本地震学会・秋季大会では、その測線に沿った構造において、構造探査の結果とレシーバ関数解析で得られた結果とを比較検討した結果を発表した。今回は、濃尾地震断層域を取り巻く、200km×150kmの広い領域でレシーバ関数解析の構造を切りだして、この地域の地球科学的特徴を抽出することを試みた。

西南日本に沈み込むフィリピン海プレートは、これまでに地域的に大きく湾曲していることが示されてきた。ここでは、東西方向、南北方向で断面図を作成し、地殻及び最上部マントルの構造を推定した。

東経137.5度の南北断面では、沈み込むフィリピン海プレートの上面と海洋地殻のモホ面と推定される、北に向かって傾斜するレシーバ関数の負と正の明瞭な境界面が見られた。その深さは、浅部から80km程度までたどることができる。また、137度の南北断面でも、沈み込むフィリピン海プレートの上面と海洋地殻のモホ面と推定される負と正の明瞭な境界面が見られるが、60kmより深部では不明瞭となる。その西側の伊勢湾から若狭湾にかけての領域では、これまでの研究から沈み込むフィリピン海プレートが浅くなっていることが示されていたが、今回のレシーバ関数解析でも、沈み込む海洋地殻のモホ面と思われる境界面からも、浅いフィリピン海プレートの形状を裏付けることができた。このように、合同観測による空間的高密度の観測網を用いたレシーバ関数解析を行うことによって、より明瞭な地殻および上部マントルのイメージを描き出すことが可能となった。

キーワード: 地殻, マントル, レシーバ関数, 濃尾地震

Keywords: crust, mantle, Receiver function, Nobi earthquake

南西諸島海溝南西部における前弧域の地震波速度構造 P-wave velocity structure in the forearc region of the southwestern Nansei-Shoto (Ryukyu) Trench subduction zone

西澤 あずさ^{1*}; 金田 謙太郎¹; 及川 光弘¹; 藤岡 ゆかり¹; 堀内 大嗣¹
NISHIZAWA, Azusa^{1*}; KANEDA, Kentaro¹; OIKAWA, Mitsuhiko¹; FUJIOKA, Yukari¹; HORIUCHI, Daishi¹

¹ 海上保安庁

¹ Japan Coast Guard

フィリピン海プレートの北西端は南西諸島（琉球）海溝で沈み込んでいるが、海溝南西部においてはM 8を越える地震については機器によって測定された記録はない。一方で、1771年にはおよそ12,000人の犠牲者を出した明和八重山地震津波が発生しているが、その波源域はまだ明確に決められていない。南西諸島前弧域の地震活動度は海溝軸に沿って変化が見られ、重力異常の分布に対応しているように見える。このように海溝軸に沿って変化する前弧域の構造を把握するために、2006年より海上保安庁では南西諸島域においてマルチチャンネル反射法地震探査(MCS)及び海底地震計を用いた屈折法地震探査を行なっている。本報告では、南西諸島海溝南西部においてこれまでに実施した海溝を横断する方向の5測線について、推定された前弧域の地震波速度構造の特徴についてその概要を述べる。

各調査は測量船「昭洋」により実施され、反射法探査における震源は総容量1,050 (350 × 3) inch³ (17.2 liter) のエアガンクラスターを使用し、50 m 間隔で発震を行った。データの収録には240 ch ストリーマケーブル(3,000 m)を用いた。屈折法探査では、総容量6,000 (1,500 × 4) inch³ (98 liter) のエアガンを200 m 間隔で発震し、約5km 間隔で設置した海底地震計で受振した。

東経126度以西のフィリピン海プレートが斜めに沈み込んでいる領域では、前弧海盆が発達しておりその前面の付加体はP波速度が4 km/s 以下で厚さが最大8 km 程度の物質によって構成されている。東経126度以东のフィリピン海プレートの沖縄?ルソン断裂帯の沈み込みが前弧域まで明瞭に追跡できる領域では、P波速度分布からも断裂帯の沈み込みを確認することができる。正の重力異常が卓越している前弧域では他の領域と比較して、P波速度が4.5 km/s 以上の物質が浅部まで上昇して存在しているところが特徴的である。このような海溝軸に沿う速度構造の変化と地震活動度の関連性についても検討する。

また、陸側斜面上のいくつかの海底地震計では、沈み込むプレートのモホ面からの反射波と推定される信号が得られている。すべての信号を説明できる速度構造モデルを構築することは困難であるが、いくつかのモデルの推定を試みた。