

地震探査による日本海・日本海盆南縁部および海陸遷移域の V_p/V_s 構造 V_p/V_s ratio in the southernmost Japan Basin and its transition area, Japan Sea deduced from the seismic survey

佐藤 壮^{1*}; 野 徹雄¹; 小平 秀一¹; 高橋 成実¹; 金田 義行¹
SATO, Takeshi^{1*}; NO, Tetsuo¹; KODAIRA, Shuichi¹; TAKAHASHI, Narumi¹; KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

北西太平洋の背弧海盆の1つである日本海では、形成過程を考察するために、多くの海底地震計(OBS)を用いた屈折法・広角反射法地震探査(OBS探査)が行われ、その結果、日本海各地域の地殻構造が明らかになっている。日本海の北部から東部に位置する日本海盆では、海洋底拡大によって形成した海洋性地殻が存在している(Hirata et al., 1992)。さらに近年行われた地震探査では、青森県西方沖に位置する日本海盆南縁部においても、海洋底拡大によって形成した地殻構造が存在していることが示されている(No et al., submitted)。一方、日本海盆南縁部と大陸棚部との間の海陸遷移域の地殻構造は、標準的な海洋性地殻より厚くなっている(No et al., submitted)。しかしながら、この厚い海洋性地殻の成因については、よくわかっていない。この海陸遷移域に分布する厚い海洋性地殻の成因を明らかにすることは、日本海形成過程、および東北日本弧背弧側の進化過程の理解を促進できると考えられる。本研究では、厚い海洋性地殻の成因を明らかにするために、青森県西方沖および男鹿半島北方沖の日本海盆南縁部から大陸棚部にかけて行われたOBS探査で得られたOBS記録より、日本海盆南縁部から海陸遷移域、および大陸棚部にかけての領域のP波、S波速度構造、および V_p/V_s 構造を求めた。

青森県西方沖、および男鹿半島北方沖の日本海盆南縁部から日本海東縁の大陸棚部に至る海域においてOBSとエアガンアレーを制御震源として用いたOBS探査が実施された(佐藤・他, 2013 連合大会; No et al., submitted)。この探査で海盆域や海陸遷移域に設置したOBSの鉛直動成分記録では、地殻内や最上部マントルを通過した屈折波、地殻内反射面やモホ面からの反射波、一方、水平動成分記録では、基盤で変換したと考えられるPPS波やPSS波が確認できる。本研究では、基盤で変換したと考えられるPPS波、およびPSS波の走時を用いて、海盆南縁部から大陸棚部にかけての堆積層と地殻内のS波速度構造を求め、求めたS波とP波速度構造(No et al., submitted)より、 V_p/V_s 比を求めた。

青森県西方沖の日本海盆南縁部では、堆積層内の V_p/V_s 比は4~8の値であり、水平方向に変化に富んでいる。海盆南縁部の地殻内では、地殻上部、下部の V_p/V_s 比はそれぞれ約1.85, 1.8の値であった。また、厚い海洋性地殻が存在している遷移域では、地殻上部の V_p/V_s 比はおおよそ1.85の値を示している。これらの V_p/V_s 比の値から、海盆南縁部の地殻全体、および遷移域の地殻上部は海洋性地殻起源と考えられる。No et al. (submitted)のP波速度構造の解釈とも調和的であり、日本海盆南縁部から海陸遷移域にまで、日本海拡大によって形成された海洋性地殻が及んでいることが推測される。

地震探査による日本海の地殻構造研究の最近の成果と今後の展開 Crustal structure study of the Sea of Japan: Recent results and future perspectives

野 徹雄^{1*}; 佐藤 壮¹; 小平 秀一¹; 石山 達也²; 佐藤 比呂志²; 高橋 成実¹; 及川 信孝¹; 金田 義行¹
NO, Tetsuo^{1*}; SATO, Takeshi¹; KODAIRA, Shuichi¹; ISHIYAMA, Tatsuya²; SATO, Hiroshi²; TAKAHASHI, Narumi¹; OIKAWA, Nobutaka¹; KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学地震研究所

¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. of Tokyo

近年、日本海では、東京大学地震研究所が実施した二船式地震探査(佐藤・他, 2007)、海陸統合地震探査(東京大学地震研究所, 2013)、石油天然ガス・鉱物資源機構の物理探査船「資源」による日本海における基礎物理探査(e.g. 石油天然ガス・鉱物資源機構, 2013)など、様々な新しい地震探査データが取得され、日本海の地殻構造研究は新しい段階に入ってきている。

さらに、「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」などのプロジェクトにより、日本海東縁において地震探査を実施し、地殻構造研究の側面から地震発生帯の研究を進めてきた。調査は、能登半島沖から西津軽沖にかけての大陸棚から大和海盆・日本海盆に至る海域で、マルチチャンネル反射法地震探査と海底地震計(OBS)による地震探査を行ってきた。これらの調査観測研究の結果、OBSによるP波速度構造から日本海東縁の地殻構造は少なくとも3つ(島弧地殻・厚い海洋地殻・海洋地殻)に区分できた(e.g. Sato et al. 2014; No et al. submitted)。島弧地殻は大陸棚・佐渡島・白山瀬・佐渡海嶺などの領域に分布し、厚い海洋地殻は大和海盆・富山トラフ・日本海中部地震震源域付近～日本海盆南東部に分布し、海洋地殻は日本海盆(厚い海洋地殻の領域より西側)に位置する。これらの地殻構造の区分とひずみ集中帯の分布を重ねてみると、島弧地殻の中にひずみ集中帯が分布しているタイプ、島弧地殻と厚い海洋地殻の境界付近にひずみ集中帯が分布しているタイプ、厚い海洋地殻と海洋地殻の境界付近にひずみ集中帯が分布しているタイプの3つに分けられることもわかった。さらに、北部(秋田沖～西津軽沖)と南部(新潟沖～山形沖)でも地殻構造とひずみ集中帯の関係には違いがあり、日本海東縁における北部と南部での地震活動の違いに関係している可能性が得られた(海洋研究開発機構, 2013)。これらの最近取得されたデータやそれに伴う研究は、日本海における地震研究や長期評価に対して、より精度の高い議論や評価の見直しに寄与できるものと考えている。

2013年度から、日本海の地震調査研究に関わるプロジェクトがいくつか新たにスタートした。その1つである「日本海地震・津波防災プロジェクト」では、2014年度以降調査空白域である北海道西方沖や能登半島沖以西の日本海において、地震探査を実施し、新たなデータを加えた日本海での地殻構造研究を実施する予定である。この研究によって、日本海の地震断層の位置や大きさの精度を向上させ、加えて、活断層をはじめとする地震断層を形成する要因となっている日本海の地殻構造や構造発達の問題に取り組む。その結果として日本海の地震発生帯の全体像をとらえる情報を得たい。

キーワード: 日本海, 地殻構造, 反射法地震探査, 海底地震計

Keywords: the Sea of Japan, crustal structure, MCS, OBS

日本海地震・津波調査プロジェクト: 上越-北陸沖地殻構造探査の成果 Results of 2013 Off-Joetsu and Hokuriku survey for the integrated research project on seismic and tsunami hazards around

佐藤 比呂志^{1*}; 石山 達也¹; 白石 和也²; 阿部 進²; 加藤 直子¹; 蔵下 英司¹; 武田 哲也³
SATO, Hiroshi^{1*}; ISHIYAMA, Tatsuya¹; SHIRAIISHI, Kazuya²; ABE, Susumu²; KATO, Naoko¹; KURASHIMO, Eiji¹; TAKEDA, Tetsuya³

¹ 東京大学地震研究所, ² (株)地球科学総合研究所, ³ 防災科学技術研究所
¹Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo, ²JGI, Inc., ³NIED

はじめに:

日本海側の地域では明瞭な沈み込み帯は形成されておらず、津波や強震動を引き起こす活断層が多数分布している。これらの活断層の深部延長から発生する地震や津波を予測するためには、具体的な震源・波源モデルの構築が必要である。また、日本海沿岸地域の多くは、海底から隆起した地域であり、活断層が分布する可能性が高い。こうした背景から、2013年度から文部科学省は「日本海地震津波調査プロジェクト」を開始した。このプロジェクトでは、日本海の沖合から沿岸域及び陸域にかけての領域で、津波の波高予測を行うのに必要な、日本海の津波波源モデルや沿岸・陸域における震源断層モデルを構築するための観測データを取得する。このプロジェクトの一環として、2013年には二船式反射法地震探査・海陸統合探査を上越沖・北陸沖にかけて地殻構造調査を実施した。

地殻構造調査:

ケーブル船と発震船からなる二船式で、9測線、測線長計715kmの区間について反射法地震探査データを取得した。魚津から富山トラフを横切り能登半島東方沖にいたる測線では、陸上15kmと3kmのベイケーブルを設置し、延長103kmの海陸統合測線(T1)とした。発震船のエアガン容量は3020 cu.inch、ケーブル船は2km、156chのケーブルを曳航し、480cu.inchのエアガンを交互発震させた。最大オフセット距離はT1測線で12km、その他の測線では4?8kmとした。T1の陸上測線では、50m間隔で受振器を設置し、陸上では大型バイプロサイズ4台を用いて発震を行った。

地質学的な解釈: 飛騨山脈の北縁から富山トラフを横断する海陸統合測線(T1)では、富山トラフ下ではP波速度5km/sec層が海面下5kmに位置し、飛騨山脈と合わせた高度差は8kmに及ぶ。この海岸線付近の地下4?5kmには南に傾斜する大規模な断層が形成されている。また、能登半島の南東縁には東西走向の北傾斜の逆断層が形成されている。この構造は、新潟-佐渡海峡などの日本海拡大期の中絶リフトの構造と類似している。中越?上越沖では、中絶リフト内に堆積した厚い新第三系中に断層関連褶曲が形成されている。能登半島沖から金沢沖では、正断層の再活動による反転構造が顕著である。とくに能登半島以西の地域では、中期中新世のほぼ南北方向からの短縮変形を被る。第四紀以降の再活動は選択的であり、中新統の褶曲は鮮新統の非変形堆積層に被服される。本学会において、構造探査の成果については、佐藤ほか、石山ほか、加藤ほかで詳しく報告する。

キーワード: 日本海, 震源断層, 地殻構造, 反射法地震探査, 北陸沖, 上越沖

Keywords: Sea of Japan, source fault, crustal structure, seismic reflection profiling, Off-Joetsu, off-Hokuriku

1998-2000年北海道トランゼクトデータの再解析による日高衝突帯の構造 IV Lithospheric Structure of the Hidaka Collision Zone, Hokkaido, from Reanalysis of 1998-2000 Hokkaido Transect Data IV

岩崎 貴哉^{1*}; 津村 紀子²; 伊藤 谷生³; 佐藤 比呂志¹; 蔵下 英司¹; 平田 直¹; 在田 一則⁴; 野田 克也⁵; 藤原 明⁵; 阿部 進⁵; 菊池 伸輔⁶; 鈴木 和子⁷

IWASAKI, Takaya^{1*}; TSUMURA, Noriko²; ITO, Tanio³; SATO, Hiroshi¹; KURASHIMO, Eiji¹; HIRATA, Naoshi¹; ARITA, Kazunori⁴; NODA, Katsuya⁵; FUJIWARA, Akira⁵; ABE, Susumu⁵; KIKUCHI, Shinsuke⁶; SUZUKI, Kazuko⁷

¹ 東京大学地震研究所, ² 千葉大学, ³ 帝京平成大学, ⁴ 北海道大学, ⁵ 地球科学総合研究所, ⁶ 石油資源開発株式会社, ⁷ シュランベルジュ

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Chiba University, ³Teikyo Heisei University, ⁴Hokkaido University, ⁵JGI. Inc., ⁶JAPEX, ⁷Schlumberger Ltd.

The Hidaka region in the central part of Hokkaido Island, Japan, is known as an arc-arc collision zone ongoing from the middle Miocene. In 2012, we started reinterpretation for a series of seismic reflection/refraction surveys from 1994 to 2000 in this collision zone. In this analysis, we used integrated and sophisticated processing and analysis techniques, including CRS/MDRS method for seismic reflection data and refraction tomography both very dense arrival time data from both the reflection and refraction/wide-angle reflection data. The most important finding so far obtained is a clear image of the NE Japan Arc subducting eastward under the northern part of the collision zone. However, the following problems are remained unsolved.

(1) Shallow structure beneath the Hidaka Collision zone is still unsolved. Particularly, the structure just east of the Hidaka Main Thrust is not sufficiently evaluated from our seismic data.

(2) Delamination of the Hidaka crust as in the southern part of this collision zone is not unclear. Our CRS/MDRS processing for the reflection data provided no positive evidence for the delamination.

(3) Deeper collision structure of the NE Japan Arc and the Kuril Arc is still not constrained. It is necessary to elucidate the subducting structure of the NE Japan Arc from amplitude data as well as travel time data.

In this paper, we focus the items (1) and (3) from seismic refraction/wide-angle reflection approach. Previous refraction tomography elucidated a thick (4-5 km) undulated sediments in the hinterland, the outcrop of crystalline crust beneath the Hidaka Metamorphic Belt with higher V_p and V_p/V_s and an enormously thick (>8-10 km) sedimentary package beneath the foreland. In order to obtain the more reliable structure model, we intensively revised the travel time data obtained both from seismic reflection/wide-angle reflection line and reflection lines. The seismic tomography using these revised data sets indicate a clearer high velocity (>6.1 km/s) anomaly just east of the HMT. We also recognized some wide-angle reflections around 5-10 km depth beneath the HMT, from which we expect to determine the finer structure at the collision front. Our present analysis indicates the wide-angle reflection data sample a part of the lower crust of the subducting NE Japan Arc beneath the fold-and-thrust belt. According to the preliminary result, its velocity is ranging from 6.5-7.0 km/s. By combining the amplitude analysis, we expect to estimate the more reliable Moho depth of the NE Japan Arc than in the previous analyses.

キーワード: 制御震源地震探査, 衝突, 島弧, 地殻構造, リソスフェア

Keywords: active source seismic experiment, collision, arc, crustal structure, lithosphere

稠密地震観測による東北地方南東部下の地殻構造 Seismic crustal structure beneath the southeastern part of northeast Japan by dense seismic array observation

蔵下 英司^{1*}; 佐藤 比呂志¹; 石山 達也¹; 東中 基倫²; 阿部 進²; 岩崎 貴哉¹
KURASHIMO, Eiji^{1*}; SATO, Hiroshi¹; ISHIYAMA, Tatsuya¹; HIGASHINAKA, Motonori²; ABE, Susumu²; IWASAKI, Takaya¹

¹ 東大地震研, ² 地科研

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI, Inc.

2011年東北地方太平洋沖地震は、東北地方内陸部を含む広大な領域に応力変化をもたらし、誘発地震発生などの大きな影響を及ぼしている。今後の地震発生のポテンシャルを評価する為には、プレートや内陸地震の震源断層の形状などを明らかにすることが必要不可欠である。そこで、活断層の深部形状・地殻構造を明らかにする目的で、文部科学省の受託研究「東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測」の一環として、バイブレータ震源を用いた深部地殻構造探査が福島県相馬郡新地町から刈田郡七ヶ宿町に至る55kmの測線で実施された(佐藤・他, 2013)。得られた反射法断面図からは、双葉断層や福島盆地西縁断層の深部形状に関する知見が得られつつある(佐藤・他, 2013)。さらに深部の地殻から上部マントルに至る詳細な構造を理解するためには、制御震源と自然地震を組み合わせた総合的な解析が有効である。深部地殻構造探査測線を含む福島県相馬郡新地町から山形県高島町に至る約70kmの区間には、オフラインレコーダ(篠原・他, 1997)を40台設置し、2012年8月16日から12月24日まで連続収録を行っている。これら臨時観測点では、バイブレータ震源からの信号に加えて自然地震が観測されている。そこで、制御震源と自然地震の両方の観測データを用いてトモグラフィー解析(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999)を行った。解析を行うにあたって、各臨時観測点で得られた記録は連続記録である為、解析に使用するイベントリストに基づいたデータ編集作業が必要である。研究対象地域(緯度37.2°-38.5° N; 経度139.6°-141.3° E)では、気象庁一元化震源カタログによると、観測期間中に2,956個の震源が決定されている。これら自然地震とバイブレータの発震時刻に従って、連続記録からイベント毎へのデータ編集を実施した。その後、臨時観測点の波形データと測線周辺の40点のテレメータ観測点で得られている波形データとの統合作業を行った。このように作成したイベントデータから、測線近傍で発生した200個の自然地震を抽出し、P波・S波の手動検測を行った。また、バイブレータ震源を観測したデータに対しては、発震点毎に垂直重合処理、震源波形との相関処理を行った後に、P波初動の検測作業を行った。得られたP波速度構造からは、測線東部と測線中央部よりやや西側の浅部に低速領域が確認できる。このような測線下の浅部における速度構造の変化は、表層地質と良く対応している。

キーワード: 稠密地震観測, 地震波トモグラフィー, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: dense seismic array observation, seismic tomography, the 2011 Tohoku-Oki Earthquake

重力測定に基づく双葉断層北部周辺の浅部地質構造の推定 Shallow geologic structure around the northern part of the Futaba Fault, northeast Japan, based on gravity survey

越谷 信^{1*}; 照井 匡子²; 米澤 健汰¹; 佐藤 比呂志³; 加藤 直子³; 阿部 進⁴; 東中 基倫⁴
KOSHIYA, Shin^{1*}; TERUI, Kyoko²; YONEZAWA, Kenta¹; SATO, Hiroshi³; KATO, Naoko³; ABE, Susumu⁴; HI-
GASHINAKA, Motonori⁴

¹ 岩手大学工学部, ² 岩手大学工学研究科, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 地球科学総合研究所

¹ Faculty of Engineering, Iwate Univ., ² Graduate School of Engineering, Iwate Univ., ³ ERI, Univ. of Tokyo, ⁴ JGI, Inc.

1. はじめに

双葉断層は数百 m の破砕帯を伴う阿武隈山地の東縁を画する断層で、白亜紀および古第三紀に大規模な左横ずれ断層として活動したといわれている。この断層は、NNW-SSE 走向で、北部では割山ホルストを境に東西 2 条の断層に分かれる。前期から中期中新世には、東西方向の引張応力場のもとで西側の断層が正断層として活動し、半地溝を形成し、崖錐性角礫や碎屑性堆積物により埋積された。その後、右横ずれ断層として活動した後、現在は西側隆起成分をもつ左横ずれ断層として活動しているとされている。このように双葉断層の活動史は複雑であり、それぞれの活動に伴う地質構造との関連は十分に明らかにされていない。そこで、本研究では重力調査により、地下密度構造を推定し、反射法地震探査や屈折法地震探査の結果とあわせて、地下地質構造の推定を行った。

2. 重力測定・解析

重力調査は、福島県相馬郡新地町から宮城県伊具郡丸森町に至る東西約 12km の測線 1 と宮城県亘理郡山元町から角田市に至る約 13km の測線 2 で行った。測定点数はそれぞれ 71 および 60 で、測定点間隔は 200m を基本とした。使用した重力計は、LaCoste & Romberg 社製 G 型重力計 (G824) である。観測点の標高は、主に電子レベルを使用して測定し、一部 RTK-GPS を用いた。取得したデータの処理は、概ね地質調査総合センター (2004) に従っているが、球面ブーゲー補正の補正範囲は、地形補正の補正範囲に合わせて 45km とした。また、ブーゲー補正および地形補正に用いた仮定密度は、調査地域の地質や屈折法地震探査の結果を考慮して、 2.20 g/cm^3 とした。得られたブーゲー異常に対して、広域的な重力異常の影響を取り除くためトレンド補正を行った。

3. 結果

いずれの測線においても、トレンド補正後のブーゲー異常値は、先新生界の基盤岩が分布する割山ホルストで最大となり、その西側でいくつかの極大値を示す。

4. 密度構造モデルと地質構造

密度構造モデルでは、調査地域の地質を考慮して、密度の異なる 4 層 (第 1 層: 2.00 g/cm^3 , 第 2 層: 2.20 g/cm^3 , 第 3 層: 2.55 g/cm^3 , 第 4 層: 2.67 g/cm^3) を仮定した。上位から第 1 層は表層構成層や鮮新統, 第 2 層は中新統, 第 3 層は中新統の礫岩, 第 4 層は基盤岩類に相当する。割山ホルストの西側では第 2 層と第 3 層の間に、東側では第 2 層と第 4 層の間に上下が逆転する部分があると推定した。

割山ホルストの西側に分布する下部から中部中新統は、西側の双葉断層によって東縁を画されており、さらに西側ではいくつかの伏在する正断層で変位を受けている。また、西側の双葉断層から派生した断層により、第 2 層と第 3 層が逆断層変位を受けている。東側の双葉断層は西側の双葉断層のショートカット断層と位置づけられる。

講演ではこれらの断層と地質構造発達史との関連を示す予定である。

文献

地質調査総合センター, 2004, 日本重力 CD-ROM, 第 2 版.

キーワード: 双葉断層, 重力異常, 活断層

Keywords: Futaba fault, gravity anomaly, active fault

北陸地域の活断層・変動地形と地殻構造の特徴 Structural characters of active faults, crustal architecture, and permanent deformation of the Hokuriku region

石山 達也^{1*}; 佐藤 比呂志¹; 加藤 直子¹; 武田 哲也²; 蔵下 英司¹
ISHIYAMA, Tatsuya^{1*}; SATO, Hiroshi¹; KATO, Naoko¹; TAKEDA, Tetsuya²; KURASHIMO, Eiji¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Eathquake Research Institute, University of Tokyo, ²NIED

北陸地域に分布する活断層は、富山トラフの長軸と平行な概して北北東走向の逆断層であり、日本海拡大時に形成された背弧リフトの西部に位置している。これらは新潟地域などの日本海側の逆断層と同様に背弧リフトの構造に規制された活構造であると予察されるが、その実態については未解明である。文部科学省の「日本海地震津波調査プロジェクト」の一環として、2013年に上越・北陸沖での地殻構造調査が実施された(佐藤ほか、本大会)。本講演では、変動地形・地質構造の特徴と構造探査データに基づき、北陸地域の活断層・変動地形と地殻構造の特徴について述べる。新生代以降の北陸地域の地形・地質を概観すると、その特徴は(1)富山トラフ東側の隆起・傾動帯(飛騨山地北西縁)(2)富山平野、砺波平野などの沈降域と新第三系・第四系からなる丘陵、(3)富山トラフ西側の隆起帯(能登半島)に大別される。富山トラフを横断する構造探査では、このような地形・地質的特徴に対応して、富山トラフは構造的な低所に、その両側の飛騨山地北西縁および能登半島は構造的な高所をなしていることが分かった。さらに、Hi-netのデータを用いた地震波トモグラフィによる速度構造を見ると(Matsubara and Obara, 2011)、富山トラフの地下には、北部フォッサマグナと同様の地殻の薄化現象が認められ、日本海拡大時の主要なリフト軸の一つであったと考えられる。(2)の逆断層は、このようなリフト軸近傍の最も活発な正断層運動と、比較的厚い地溝充填堆積物が生じた場所に分布しており、このような構造に規制された活構造と理解される。また、重力異常データを見ると、富山平野・砺波平野などの堆積平野下に伏在する逆断層が数多くあると考えられる。さらに重要な点として、2013年に実施された構造探査では、富山トラフと東側の飛騨山脈の間には大規模な逆断層が見出された。(1)はこのような背弧リフトの端部を規制する地殻規模の断層に起源を持つ逆断層運動による隆起・傾動帯である可能性が高い。飛騨山地北西縁部に分布する新第三系の同斜構造は、両白山地北西縁に北西方向に続く。この縁辺の平野部では段丘面の傾動や海成段丘面の分布が認められており、crustal wedgeによる隆起・変形を反映している可能性がある。また、2013年の構造探査では富山トラフと能登半島の間にも大規模な逆断層が見つかり、能登半島の隆起に寄与した可能性がある。このように、(1)・(3)の地形・地質学的な特徴と、深部構造探査による地殻構造の特徴には共通して説明できる点が多く、また隣接する北部フォッサマグナや新潟地域など中絶した背弧リフト帯の構造および第四紀のテクトニクスの特徴との類似点が多く認められる。

首都圏直下のフィリピン海スラブの相転移と温度 Phase changes and temperature of the subducted crust of Philippine Sea slab beneath Kanto, Japan

石川 正弘^{1*}; 中川 茂樹²; 酒井 慎一²; 平田 直²; 佐藤 比呂志²; 笠原 敬司³
ISHIKAWA, Masahiro^{1*}; NAKAGAWA, Shigeki²; SAKAI, Shin'ichi²; HIRATA, Naoshi²; SATO, Hiroshi²; KASAHARA, Keiji³

¹ 横浜国立大学大学院環境情報研究院, ² 東京大学地震研究所, ³ 地震予知総合研究振興会

¹Graduate School of Environment Information Sciences, Yokohama National University, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ³Association for the Development of Earthquake Prediction

フィリピン海プレートは本州の下に沈み込む。しかし、フィリピン海プレートの東縁には海洋性島弧（伊豆小笠原マリアナ弧）が存在するために、関東直下では伊豆小笠原弧の火山フロントから前弧域がフィリピン海スラブとして沈み込んでいる。首都圏では過去にマグニチュード8級の巨大地震が発生しており（1703年元禄地震や1923年関東地震等）、フィリピン海スラブ上面が関東地震震源断層に相当する可能性が高い（Sato et al., 2005）。また、首都圏ではフィリピン海スラブ内で発生するスラブ内地震も想定される。したがって、相模トラフから沈み込んだフィリピン海プレートの構成物質と物性を推測することは、首都直下地震を考察する上でも重要である。今回の発表では、首都直下地震観測網（MeSO-net）による地震波トモグラフィー（Nakagawa et al., 2011）と岩石の鉱物組み合わせの相平衡計算の結果に基づき、首都圏直下のフィリピン海スラブの構成岩石を推測し、沈み込みに伴う海洋地殻の相転移とスラブ温度を検討した。

首都直下地震観測網（MeSO-net）による地震波トモグラフィー（Nakagawa et al., 2011）に基づく、首都圏直下のフィリピン海スラブ（地殻）は深さ30 kmと40 kmで段階的にP波速度が上昇している。これらの2段階のP波速度の上昇は沈み込んだ海洋地殻（フィリピン海スラブ）の相転移に対応すると予想される。2段階目の速度上昇では、P波速度は周囲のマントルと同等な速度まで上昇しており、沈み込んだ海洋地殻（フィリピン海スラブ）がエクロジャイトに相転移したと推測される。伊豆弧の前弧玄武岩の化学組成を用いて鉱物組み合わせの相平衡計算をTheriak-Dominoソフトウェアを用いて計算した結果、やや暖かいスラブの沈み込みに伴い約30 kmで沈み込んだ前弧地殻がざくろ石角閃岩に相転し、約40 kmでさらにエクロジャイトに相転移したと考えると地震波トモグラフィーから得たフィリピン海スラブの速度を説明することが可能である。今回の計算では、スラブが冷た過ぎても熱過ぎても深さ約30 kmと約40 kmでの段階的なP波速度の上昇を説明することは出来ない。なお、講演では具体的にスラブ温度について言及するが、今回のスラブ温度の推定は地震波速度と鉱物組み合わせの相平衡計算を組み合わせた手法であり、従来の熱伝導計算による温度構造モデルとはまったく異なるものである。

キーワード: スラブ, 相転移, スラブ温度, 関東, フィリピン海プレート, 地殻
Keywords: slab, phase change, slab temperature, Kanto, Philippine Sea Plate, crust

重力から見た別府湾ならびに周辺の地下構造 Geologic structure in and around the Beppu Bay estimated by gravity analysis

山北 聡^{1*}; 工藤 健²; 伊藤 谷生³
YAMAKITA, Satoshi^{1*}; KUDO, Takeshi²; ITO, Tanio³

¹ 宮崎大学教育文化学部, ² 中部大学工学部理学教室, ³ 帝京平成大学現代ライフ学部
¹University of Miyazaki, ²Chubu University, ³Teikyo-Heisei University

1988~1990年に京都大学理学部と(株)地球科学総合研究所によって行われた別府湾ならびに豊後水道における海上反射法地震探査の成果(由佐ら, 1992)は、九州における中央構造線の構造ならびに随伴する堆積盆地の形成に関する研究の新たな展開の契機となった(山北ほか, 1995; Ito et al., 1996)。しかし、由佐ら(1992)の示した領家帯の速度は花こう岩と変成岩から構成される同帯の速度としては低過ぎ、領家帯上面の形状は良いものの領家帯下の中央構造線(MTL)の傾斜角が小さく評価されている懸念があった。また、別府湾奥部が反射法測線群の端部であることから別府湾堆積盆地構造が完全には解明されずに残されていた。一方、別府湾内ならびに周辺には由佐ら(1992)が提供したものを含めてたくさんの重力データが存在しており(地質調査所編, 2000; Gravity Research Group in Southwest Japan, 2001); 正確な反射断面データと結合することで、別府湾堆積盆地の構造を解明することが期待される。幸い昨秋、多重反射を抑制しつつ速度構造を再決定したうでの豊後水道測線(J測線)再処理断面が物理探査学会において新たに報告された(阿部ほか, 2013)。そこでこの再処理断面と重力データを用いて、陸域で朝見川断層(AF)を横切り、別府湾中央部をG測線にそってN70E方向に走り、別府湾中央断層(BCF)を横断して、別府湾口にいたる約35kmの地下構造を推定する作業を行った(図A)。構成する地質体は、三波川層(Sm, $\rho=3.0\text{g/cm}^3$)、領家帯(Rk, $\rho=2.8\text{g/cm}^3$)、別府湾新規堆積物下部層(BI, $\rho=2.6\text{g/cm}^3$)、同上部層(Bu, $\rho=2.4\text{g/cm}^3$)である。地質体の境界については、J測線再処理結果ならびに既存の地質学的データから中央構造線(MTL)の地下における位置と形状、ならびに朝見川断層の陸上位置のみを与え、他は重力データと適合するように試行錯誤を繰り返して得られたのが、図Bである。由佐ら(1992)のFig.9に示されたG測線の基盤(領家帯)上面形状(最奥部は不明)はこの重力解析から得られた領家帯上面とほとんど一致していることから図の信頼性は非常に高いと判断される。そこでこの図を基に、由佐ら(1992)の成果も取り入れて別府湾堆積盆地の構造を考察した結果、以下の点が明らかとなった。

1. 別府湾堆積盆地の中心部分(湾奥部)はいずれもリトリックな正断層である北東傾斜の朝見川断層系(AFS)と南西傾斜の別府湾中央断層系(BCFS)によって形成されている。両断層系とも由佐ら(1992)のFig.9の示すとおり別府湾新規堆積物中にロールオーバー構造を伴っている。

2. AFSは3つの断層(I, II, III)によって構成されいずれも地下のMTLに収斂する。断層AFS-IIが新規堆積物最上部まで切断しているかどうかは、反射法測線Gの西端部に近い不明である。鉛直変位の総計についてはAFの西側に新規堆積物がどの程度存在するか、さらに領家帯上面がどの程度侵食されてきたかによっても変わるが3000mに達する可能性がある。

3. BCFSを構成するBCFS-IとBCFS-IIの2つの断層は、図が小縮尺のため読み取り難いが新規堆積物上部(Bu)底面をそれぞれ250m, 150m程度鉛直変位させ、最上部層まで切断している。しかし、いずれも新規堆積物下部(BI)底面、すなわち基盤の領家帯を切断していない。

4. MTLとそれに接続するAFSの活動により上盤(領家帯)が図上で東側に運動することによって別府湾堆積盆地が形成・成長したと判断される。BCFSはこのプロセスのなかで新規堆積物内に形成され、盆地成長に寄与している断層群である。

以上の結果は、山北・伊藤(1999)が提示した、開放性屈曲を伴う傾斜した断層面をもつ横すべり断層による堆積盆形成モデルと、大局的には合致する。同モデルでは、堆積体内部に形成される主断層とは逆傾斜の副次的断層群の効果については、考慮していなかったが、別府湾堆積盆地では一定の効果は有している。ただし、副次的断層群としてのBCFSは堆積盆地の基盤を切断しておらずその寄与量はそれほど大きくはない。

今後、山北・伊藤(1999)のモデルによる別府湾堆積盆地形成過程の解明を更に進めるため、以下のような検討が必要であろう。

1. MTLが低角化する深度を確定する。
2. MTLに沿う運動における水平成分と鉛直成分の比率を見積もる。

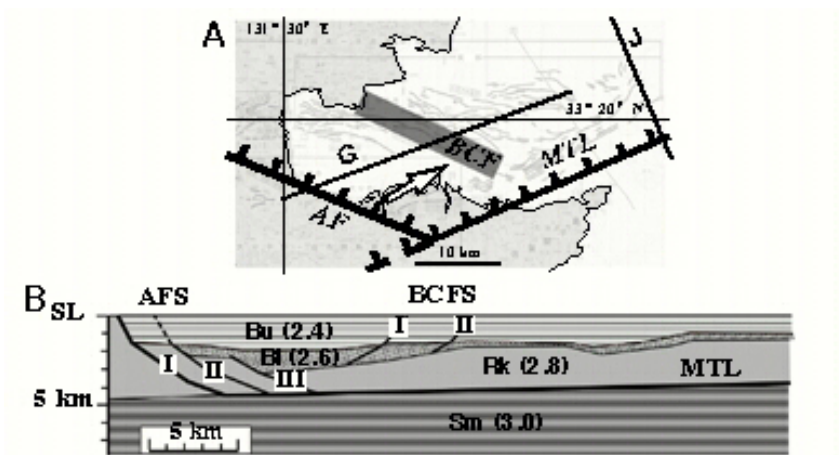
このことをすすめるためにも、京都大学と(株)地球科学総合研究所が行った反射法地震探査データ再処理作業の進捗を期待したい。

キーワード: 重力解析, 別府湾, 中央構造線, 朝見川断層, 別府湾中央断層
Keywords: Gravity analysis, Beppu Bay, MTL, Asamigawa Fault, Beppu Bay Central Fault

SCG68-09

会場:502

時間:4月30日 11:15-11:30



アルカリ玄武岩及び捕獲岩から推定する西南日本下部地殻の構造・発達史 Structure and evolution of the lower crust constrained from alkaline basalts and xenoliths in southwest Japan

井形 瑛梨^{1*}; 大森 聡一²; 岩森 光³
IGATA, Eri^{1*}; OMORI, Soichi²; IWAMORI, Hikaru³

¹ 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻, ² 放送大学, ³ 独立行政法人 海洋研究開発機構

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo institute of technology, ²The open university of Japan, ³Japan Agency for Marine-Earth and Technology

The continental crust is unique to the Earth and, in spite of its small mass, is geochemically an important reservoir, concentrating about half of the radiogenic heat producing elements. In order to understand the differentiation history of the Earth, it is essential to decipher how and when the continental crust has been formed.

In contrast to the upper continental crust, which has been well surveyed with direct means, the lower continental crust is largely unknown in terms of composition, mineralogy and age distribution of formation. In this study, we investigate the xenoliths that have been derived possibly from the lower crust, in terms of petrology (mineral assemblages and their composition, modal abundances and bulk composition) and geochronology (zircon U-Pb age dating of both the xenoliths and the host basalt). Study area is located on the Kibi Plateau in southwest Japan. The xenoliths are classified into 4 types by petrography and EPMA analysis; Type 1, pyroxenite; Type 2, eclogitic gabbro; Type 3, anorthosite; Type 4, kyanite/garnet-bearing felsic granulite. Pseudosection and mineral stability analyses were performed by a thermodynamic program "Perplex". These analyses have revealed that pyroxenite is stable beneath the Moho and its seismic velocity estimated from pseudosection ranges from 7.23 to 7.65 km/s. Therefore pyroxenite corresponds to the olivine-pyroxenite layer under the Moho. Gabbro was formed at 8-10 kbar and 873-940 K and its velocity is higher than pyroxenite. Granulite is stable at 7.5- kbar and about 1000 K and its velocity is very low. In spite of the density gap between the eclogitic gabbro and granulite (3900 and 2740 kg/m³), the analysis suggests that the felsic granulite exhibits a higher equilibration pressure and may even underlay the eclogitic gabbro. Moreover, composition of the lower crust becomes more felsic than previously thought.

Ages of the eclogitic gabbro xenolith and the host basalt coincide, showing 70 Ma. It is argued that the subducted sediments (now appear as felsic granulites) were subducted and underplated to the bottom of the lower crust during the last 30 million years or so. If such a mechanism operates worldwide, then the continental crust may have an intermediate to felsic composition even without a hypothetical process of lower crustal delimitation.

The authors thank T. Hirata, K. Tani, JI. Kimura and Q. Chang for U-Pb zircon age dating.

アジョイントトモグラフィーによる東アジアの三次元地震波速度構造の推定 Three-dimensional seismic velocity structure beneath East Asia using adjoint tomography

三好 崇之^{1*}; 大林 政行¹; 東野 陽子¹; 坪井 誠司¹
MIYOSHI, Takayuki^{1*}; OBAYASHI, Masayuki¹; TONO, Yoko¹; TSUBOI, Seiji¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

東アジアは大小さまざまなプレートが集合するテクトニックに複雑な地域である。従来、トモグラフィー研究では波線論に基づき三次元不均質構造モデルが推定されてきたが、波動理論に基づくインバージョンから三次元不均質構造モデルの構築を行うことが可能であることが示された（例えば、大林ほか、2010 SSJ; 三好ほか、2013 SSJ）。本研究では、複雑な構造を有する東アジア地域の三次元地震波速度構造の推定をより厳密に行うことを目的として、スペクトル要素法による波形計算を実施し、アジョイントトモグラフィー法によって波形インバージョンを行った。

解析で使用した地震は、2001年1月以降に発生したM5.5以上のもので、Harvard CMTカタログより half duration が5秒以内の161地震を選んだ。インバージョンでは東アジア地域で収録された広帯域地震観測記録を使用し、1地震の平均観測点数は約180点である。理論波形はスペクトル要素法（Komatitsch and Tromp 2001）を用いて三成分の変位波形を計算した。インバージョンの初期構造モデルはObayashi et al. (2009)による走時インバージョンから推定された三次元P波速度構造である。観測波形と理論波形について12.5-100秒と30-150秒のバンドパスフィルタを施し、実体波と表面波の位相を切り出した。地震波速度に関するパラメータのカーネルは、アジョイント法による単純化（Liu and Tromp 2006）を利用して計算を実施し、最急降下法によりインバージョンを行った。大規模計算を要する理論波形計算とカーネル計算は、京コンピュータ等のスーパーコンピュータの256CPUコアで実施した。1回の反復に要する計算時間は約10万CPU時間である。

反復は現在までに4回実施した。修正された構造モデルで計算された理論波形は、観測波形を再現するように改善され、VR値は初期モデルよりも10%程度向上した。インバージョンによって沈み込んだプレート構造など大局的な地下構造モデルが得られ、初期構造モデルよりも速度が数%程度小さいモデルが得られた。また、PREMを基準モデルとしてP波とS波の速度偏差比を求めたところ、深さ100kmでは東アジアの広域でやや高い値(>1.4)を有することがわかった。

本研究は、HPCI戦略プログラム（分野3）「防災・減災に資する地球変動予測」の「地震の予測精度の高度化に関する研究」の一部として行われました。謝辞：地震波形データの一部に防災科学技術研究所広帯域地震観測網F-netの波形データを使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: アジョイント法, トモグラフィー, 地震波速度構造, 東アジア
Keywords: adjoint method, tomography, velocity structure, East Asia

ラウ背弧海盆における地殻形成：典型的な海洋地殻からより分化した海洋地殻への遷移

Seismological evidence for a transition from "hydrous" oceanic crust to typical oceanic crust in the Lau back-arc basin

新井 隆太^{1*}; ダン ロバート¹
ARAI, Ryuta^{1*}; DUNN, Robert¹

¹ ハワイ大学
¹University of Hawaii

The Lau back-arc basin, associated with subduction of the Pacific plate beneath the Indo-Australian plate at the Tonga Trench, provides a superb study area to understand the interaction between plate subduction and back-arc spreading: Subducting oceanic lithosphere induces mantle corner flow within the mantle wedge above the subducting plate and releases a large amount of water and other elements into this wedge, producing heterogeneous chemical compositions and fluid gradients beneath the back-arc basin. While petrological studies suggest that the heterogeneity in the mantle source composition, mainly caused by slab-derived fluids, plays an important role for melt supply to the back-arc ridges, variations in thickness and internal structure of crust formed along back-arc ridges are poorly documented. On the basis of seismic tomography analyses, we present a structural model of crust formed along the Eastern Lau Spreading Center within the Lau back-arc basin as evidence for a transition from a "hydrous" type of oceanic crust to a more typical oceanic crust. The seismic data indicate that as the back-arc spreading center moved away from the active arc, the crust thinned from 8-9 km to ~7 km, the lower crust changed from high P wave velocity values (7.2-7.4 km/s) to typical values for oceanic crust (7.0-7.2 km/s), and the upper-crustal volcanic layer changed from a thick low-velocity layer to a thinner layer with more typical wave speeds. The seismic results, in combination with other geophysical and geochemical data, suggest that crustal formation along the ELSC is strongly controlled by the influence of slab water: When a spreading center is near the active arc, water from the downgoing slab is entrained in the melting zone beneath the back-arc ridges where it enhances melting. Thereafter, the water enhances crustal differentiation within sub-ridge magma chambers. This creates an anomalous "hydrous" form of oceanic crust with a thick felsic volcanic layer and a mafic/ultramafic lower crust - features that are not typically observed in crust formed at mid-ocean ridges. The Lau basin has a zoned structure with an abrupt transition from this type of oceanic crust to more typical oceanic crust, which resulted from a rapid change in the influence of slab water as the ridge moved away from the arc. The unique geodynamic setting of the Lau basin, such as proximity of the back-arc ridges to the volcanic arc (<100 km), the relatively low subduction angle of the slab (~45 degrees), and the fast subduction rate at the Tonga trench (>20 cm/yr), probably operate to effectively deliver slab-derived water far beyond the volcanic arc to the back-arc ridges and produce this "hydrous" oceanic crust in the back-arc basin. The abundance and high rate of production of the "hydrous" crust suggests that such crust may make up a significant proportion of the arc-like crust that forms continents. Keywords: Back-arc basin, Crustal differentiation, Oceanic crust, Slab water, Seismic tomography, Eastern Lau Spreading Center