

海底および陸上稠密地震観測から得られた北海道南部のP波およびS波速度構造

P- and S-wave velocity structure in southern Hokkaido deduced from ocean-bottom seismographic and land observations

*村井 芳夫¹、勝俣 啓¹、高波 鐵夫²、渡邊 智毅³、山品 匡史⁴、長 郁夫⁵、田中 昌之⁶、東 龍介⁷

*Yoshio Murai¹, Kei Katsumata¹, Tetsuo Takanami², Tomoki Watanabe³, Tadashi Yamashina⁴, Ikuo Cho⁵, Masayuki Tanaka⁶, Ryosuke Azuma⁷

1.北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター、2.米国ワシントン市カーネギー研究所、3.マリンワークジャパン、4.高知大学理学部、5.産業技術総合研究所 地質調査総合センター、6.気象研究所、7.東北大学地震・噴火予知研究観測センター

1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Carnegie Institution of Washington, 3.Marine Works Japan, 4.Kochi University, 5.AIST, GSJ, 6.Meteorological Research Institute, 7.RCPEVE, Tohoku Univ.

1. はじめに

北海道南部の日高山脈付近では、西進する千島弧と東北日本弧との衝突により、前者が後者に乗り上げる大規模な衝上断層構造を形成していると考えられている。このような島弧と島弧の衝突は、山脈の形成だけでなく、定常的な地震活動や1982年浦河沖地震(Ms6.8)のような大地震発生にも影響を及ぼしていると考えられるので、地殻構造を3次元的にイメージングすることは、衝突帯のテクトニクスを明らかにするだけでなく、地震発生パターンや大地震の発生メカニズムを理解するためにも重要である。

この地域では、1999~2001年に大学合同で陸上稠密地震観測が行われ[勝俣・他(2002)]、1999年と2000年にはこれに合わせて北海道南方沖で自己浮上式海底地震計による自然地震観測が行われた。Murai et al.(2003)は、1999年の海底と陸上両方のデータを同時に地震波トモグラフィー法によって解析してP波速度構造を推定したが、データ数の制約により速度構造が推定できた領域と深さが限られ、S波速度構造も推定できなかった。今回は、Murai et al.(2003)のデータに2000年に海底と陸上の観測によって得られたデータを加えて、トモグラフィー法によりP波とS波の速度構造を推定する。

2. データおよび解析法

まず、Murai et al.(2003)で得られたP波速度構造の水平方向の平均値である1次元速度構造とP波とS波の速度比を1.73と仮定して、海底地震計と陸上の観測網それぞれ独立に震源決定を行った。その際、Murai et al.(2003)で得られた震源も同じ構造を用いて再決定した。この結果、1999年8月7日~9月30日および2000年8月1日~9月30日の期間に、北緯40.5°~43.5°、東経141°~146.5°の領域で海底、陸上のデータを用いてそれぞれ1061個、780個の地震の震源が決定された。そのうちの376個については、同じ地震が海底と陸上の両方で震源決定されていたので、海底地震計と陸上の観測点でのフェイズの読み取り値を併合して、震源の再決定を行った。

次に、これら1465個の地震からマグニチュードが1.5以上、震源決定に5個以上の走時データが使われているものを選び出した。さらに、陸上の観測点で震源決定された地震では深さが負になったもの、海底地震計で震源決定された地震では深さが最深の海底地震計の深さより浅いものをそれぞれ取り除いた。このようにして残った958個の地震の走時データから、Zhao et al.(1992)による地震波トモグラフィー法を用いて速度構造を推定し、同時に震源の再決定を行った。初期モデルには震源決定で使用した1次元速度構造を仮定した。解析に用いた走時データは、P波が18556個、S波が11335個である。

3. 結果

トモグラフィーの結果では、日高主衝上断層の南西側に東北日本弧と思われる北東下がりの低速度異常が、北東側には西向きに衝上する千島弧と思われる高速度異常がそれぞれ見られる。この低速度異常は、日高山脈直下で、沈み込んだ太平洋プレート上面の深さ付近まで続いている。これらは、Murai et al.(2003)と同様の結果であった。ただし、Murai et al.(2003)では、深さ30km付近で浅部より深部の方が低速度となる速度の逆転が見られたことから、深部にデラミネートした千島弧の下部地殻が存在すると解釈していたが、今回の結果では、速度の逆転は見られるものの構造の連続性が明瞭でなく、はっきりとしたデラミネーション構造は得

られなかった。いずれにしても、太平洋プレート上面付近まで続く低速度領域は、衝突している島弧地殻と思われる。

今回はデータ数が増えたため、Murai et al. (2003) よりも深部まで速度構造が求められ、太平洋プレートの沈み込む方向の鉛直断面では、太平洋プレートと思われる高速度領域が北西に向かって深くなる結果が得られた。また、衝突している島弧地殻と思われる太平洋プレート上面付近まで続く低速度領域は、日高山脈の海側への延長部に当たる襟裳岬の南東側で急になくなり、微小地震活動も低速度領域内では活発であるが、低速度領域外では低調になることがわかった。このことから、日高山脈の海側への延長部では、島弧衝突の影響が急速に小さくなっていることが示唆される。S波速度構造でもP波速度構造と同様の特徴が得られた。

謝辞

海底地震計の設置にあたり、気象庁旧函館海洋气象台「高風丸」の乗組員の皆様にお世話になりました。また、東北大学の趙大鵬教授にはトモグラフィー解析のプログラムを使わせて頂きました。記して感謝致します。

文献

勝俣・他, 2002, 東京大学地震研究所彙報, 77, 199-223.

Murai et al., 2003, G.R.L., 30(9), 1490, doi:10.1029/2002GL016459.

Zhao et al., 1992, J.G.R., 97, 19909-19928.

キーワード：海底地震計、地震活動、トモグラフィー、日高衝突帯、北海道、1982年浦河沖地震

Keywords: ocean-bottom seismograph (OBS), seismicity, tomography, Hidaka Collision Zone, Hokkaido, 1982 Urakawa-Oki earthquake

稠密地震観測網のデータを用いた下部地殻及び最上部マントルのイメージング

Estimation of Crust and Uppermost Mantle Structure by Reflection and Receiver Function Analyses

*青木 将¹、飯尾 能久²、片尾 浩²、澁谷 拓郎²、三浦 勉²、米田 格²、澤田 麻沙代²*Sho Aoki¹, Yoshihisa Iio², Hiroshi Katao², Takuo Shibutani², Tsutomu Miura², Itaru Yoneda², Masayo Sawada²

1.京都大学大学院理学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.DPRI, Kyoto University

1. はじめに

近畿地方では、南部においてフィリピン海プレートが沈み込み、琵琶湖西岸地域など北部において新潟神戸歪集中帯(Sagiya et al., 2000)という歪速度の大きな領域の存在が知られている。Iio et al. (2002) は新潟神戸歪集中帯に関して、Water-weakened lower crust modelを提案した。このモデルでは、流体がフィリピン海スラブから脱水したり、フィリピン海スラブの存在しない部分を通過したりして下部地殻に存在する事により弱体化され、そこに変形が集中し、地表で観測される歪速度が大きくなったと説明されている。

地殻内に流体が存在すれば、反射面などの不均質構造として捉えられる可能性があるが、近畿地方北部では地殻内で反射したと考えられる地震波が多数観測されており、下部地殻内に顕著なS波反射面が推定されている(片尾, 1994)。Aoki et al. (submitted) は、2008年から展開されている稠密地震観測網(三浦ほか, 2010)で捉えられたS波反射面で反射してきたと考えられる波を含む地震のみを用いて反射法解析を行った。この稠密地震観測網では、既存の定常観測点の間を埋めるように新たに89点の地震観測点が設置され、約20 kmであった観測点間隔が約5 kmになっている。そのため先行研究より高解像度な地殻内の反射強度の3次元分布及びS波反射面の広がり方が明らかとなった。しかし、S波反射面を主たるターゲットとしていたため、近畿地方北部広域の反射強度の分布は明らかとなっていない。Aoki et al. (submitted) は、S波反射面がマントルからの流体によって形成される可能性を指摘しており、近畿地方北部における地震波速度不連続面の深さや形状を理解する事が重要になる。

沈み込むプレートをイメージングする際に、地震波速度不連続面の検出に有効なレシーバ関数解析が行われている。例えば、澁谷ほか(2013) は、稠密リニアアレイ観測により、紀伊半島下のフィリピン海プレートと南東上がり的大陸モホ面を推定した。しかし、紀伊半島下の大陸モホ面はほぼ平坦という推定(例えば、Salah and Zhao, 2004)も存在し、解釈が分かれている。一方近畿地方北部では、Ueno et al. (2008) による解析が行われているが、測線の観測点間隔が約20 kmであるため、局所的な不均質構造との対比を行う事が難しい。佐々木(2011) は稠密地震観測網の一部の観測点のデータを用いてpreliminaryな解析を行い、大陸モホ面を確認した。

本研究では、主に近畿地方北部広域の地殻の反射強度分布について反射法解析、近畿地方全域のフィリピン海プレート及び大陸モホ面の深さ形状についてレシーバ関数解析を行い、流体を一つの鍵として得られた結果の解釈を行った。両解析では稠密地震観測網によって得られたデータを使用するため、先行研究より高分解能な解析を行えると期待される。反射法解析に使用するデータは、2009年1月~2013年12月に発生したM2.0以上の地震で、反射波の有無に関わらず解析に使用した。使用した観測点数は、近畿地方北部の128点である。レシーバ関数解析には、震央距離、Mw6.0以上の地震を使用した。稠密地震観測網で得られたデータだけでなく、紀伊半島で行われた稠密リニアアレイ観測のデータ(澁谷ほか, 2009)も同時に処理する事により、近畿地方でのフィリピン海プレート、モホ面の深さや形状を統合的に解釈する事ができるよう努めた。解析期間は、2004年5月~2014年5月である。

2. 手法

反射法解析では、Inamori et al. (1992) の手法を改良して解析に使用した。具体的には、各トレースのコーダ波の部分を使用し、最小二乗法によりコーダQ値()を求め、得られたを用いて振幅補正を行った後、コーダ規格化法(Aki, 1980)による規格化と深度変換を行う。深度変換を行う際、反射点の位置は深さと共に震源と観測点の midpoint に漸近するため、反射点の変化量も求めた。使用した速度構造3.5 km/s で一様であ

る。最後に、地中をブロック(km)に区切り、各トレースがどのブロックを通るか調べた後、ブロック内の振幅の平均をとる事により、3次元的な反射強度の分布を推定した。この反射強度は、規格化を行った際に使用したコーダ波の振幅を1とした時の相対的な値である。

レシーバ関数解析では、Ueno et al. (2008) と同じ手法を用いた。途中デコンボリューションを行うが、スペクトルホールの影響を減らすための方法として、時間拡張型マルチテーパ法 (Shibutani et al., 2008) を使用した。また、レシーバ関数イメージを得る際にスタックを行うが、本研究では3次元のブロック(km)でスタックを行う事により、近畿地方北部では初めて地震波速度不連続面の3次元的な分布を求めた。速度構造はJMA2001 (上野ほか, 2002) を使用した。

3. 結果

反射法解析を行った結果、Aoki et al. (submitted) で報告された反射面を確認した。また、深部低周波地震(LFE)の発生している領域で反射強度が高くなっており、S波反射面とつながっている事が明らかとなった。また、レシーバ関数解析の結果から、近畿地方北部では大陸モホ面がほぼ同じ深さに存在しており、京都府中部で発生しているLFEはこの大陸モホ面の直上で発生している事が明らかとなった。この事は、マントルから地殻へ流体が移動する際に、LFEの発生している限られた場所からしか地殻に移動できない事を示唆している。一方、近畿地方南部では、大陸モホ面が南上がりになっている事が明らかとなり、澁谷ほか(2013) と調和的な結果が得られた。また、沈み込むプレートから脱水した流体によりマントル物質の蛇紋岩化が発生している可能性があり(澁谷ほか, 2009)、大陸モホ面がイメージしづらくなっている部分が存在する可能性がある。

キーワード：反射法解析、レシーバ関数解析、流体、新潟神戸歪集中帯

Keywords: Reflection analysis, Receiver function analysis, Fluid, Niigata-Kobe Tectonic Zone

南西諸島の広帯域地震波形データを用いたレシーバ関数解析

Receiver Function Analysis for Broadband Seismic Stations in Ryukyu Arc

*村越 匠¹、竹中 博士²、小松 正直²、山田 伸之³*Takumi Murakoshi¹, Hiroshi Takenaka², Masanao Komatsu², Nobuyuki Yamada³

1.防衛大学校、2.岡山大学、3.福岡教育大学

1.National Defense Academy, 2.Okayama Univ., 3.Fukuoka University of Education

本研究では南西諸島にある広帯域地震観測点の遠地地震波形データを用いてレシーバ関数解析を行った。南西諸島では沖縄トラフ、琉球弧、琉球海溝の背弧海盆-島弧-海溝系が形成され、琉球海溝を挟んでフィリピン海プレートが北西側にあるユーラシアプレートに向かって沈み込んでいる。南西諸島の地下構造については、海域において海底地震計やエアガンを使った調査が行われてきている（例えば、Nakahigashi et al., 2004）。陸上での観測については、防災科学技術研究所のHi-netの地震観測点が日本のほとんどの地域で約20km間隔で整備されているが、島嶼部については整備されていないため南西諸島にもHi-net観測点はない。防災科学技術研究所の広帯域地震観測網F-netの観測点はあるが、観測点の間隔は平均で100km以上となるため連続的な地下構造のイメージングを行うことは難しい。ただ最近になってHi-netのダウンロードサイトから2004年4月1日以降の気象庁、国立大学、海洋研究開発機構などの連続波形データの取得が可能となり、南西諸島についてもF-net以外の地震観測点の記録が利用しやすくなった。そこで、本研究では南西諸島にあるF-net 6観測点と、気象庁の津波地震早期検知網のうちの広帯域地震計の設置されている3観測点を加えた合計9観測点の遠地地震波形を解析に利用した。解析には通常のレシーバ関数に比べて明瞭なPS変換波を検出することができる手法である Takenaka and Murakoshi (2010, AGU) の S-wavevectorレシーバ関数を用いた。観測点間隔が広いと、測線上にレシーバ関数を並べた地下構造イメージングではなく、各観測点のレシーバ関数からその直下の1次元地下構造を推定した。本発表では、全国1次地下構造モデルやJ-SHISの深部地盤構造モデル、地震波速度・減衰トモグラフィとの比較した結果について報告する。謝辞：防災科学技術研究所のF-net、気象庁の津波地震早期検知網の地震波形記録を利用させていただきました。地下構造モデルとして全国1次モデルを利用しました。記して感謝致します。

キーワード：レシーバ関数、南西諸島、地殻構造

Keywords: receiver function, Ryukyu arc, crustal structure

海底地震観測データにより推定した琉球海溝南部のプレート境界形状

Geometry of plate boundary beneath the southern Ryukyu Trench subduction zone deduced from passive seismic observation

*山本 揚二郎¹、高橋 努¹、石原 靖¹、海宝 由佳¹、新井 隆太¹、仲西 理子¹、尾鼻 浩一郎¹、三浦 誠一¹、小平 秀一¹、金田 義行²

*Yojiro Yamamoto¹, Tsutomu Takahashi¹, Yasushi Ishihara¹, Yuka Kaiho¹, Ryuta Arai¹, Ayako Nakanishi¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Kaneda²

1.海洋研究開発機構、2.名古屋大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Nagoya University

In the Ryukyu Trench subduction zone, many large earthquakes occurred historically. Recent seismic and geodetic studies indicate that the occurrence of very low frequency earthquake [Ando et al., 2012] and slow slip events [Heki and Kataoka, 2008; Nishimura, 2014] in the southern Ryukyu subduction zone. In addition, plausible seismogenic zone of the 1771 Yaeyama earthquake (Mw 8.0) is located near the trench [Nakamura, 2009]. These results suggest that the interplate coupling is not so weak and it is possible for the large interplate earthquake to occur in this region. However, the plane geometry is uncertain due to the sparse seismic observation network. To investigate the subducted plate geometry, we have conducted the passive seismic observation around the southern Ryukyu Trench using 6 land stations and 30 ocean bottom seismographs (OBSs) from Nov. 2013 to Mar. 2014, as a part of "Research project for compound disaster mitigation on the great earthquakes and tsunamis around the Nankai trough region".

First, we conducted event detection from continuous seismic records and picked their first arrivals of P and S waves. We could detect microearthquakes about three times of Japan Meteorological Agency (JMA) catalogue during same periods. Second, we performed a seismic tomography to estimate the precious hypocenter locations. To improve the spatial resolution beneath the Island arc, we also used the first arrival data of JMA catalogue from 2013 to 2014. Then, we estimated the focal mechanisms of relocated earthquakes and searched the small repeating earthquakes according to the catalogue of Igarashi (2010). Finally, we estimated the depth variation of the subducted Philippine Sea plate beneath the Ryukyu arc by following assumptions: 1) low-angle thrust-type earthquakes and small repeating earthquakes occur along the plate boundary, 2) landward dipping high velocity layer indicates the slab mantle and the thickness of oceanic crust is about 7 km. The consistency of our plate geometry model and the result of active source survey [Arai et al., 2015] indicated the validity of above assumptions. In the western Ishigaki Island, we set our model as same as slab1.0 model [Hayes et al., 2012] because their model satisfied our assumptions.

Our plate model indicates local variation between Ishigaki to Miyako Islands, whereas plate geometry western Ishigaki seems to be smooth. In this area, plate boundary estimated shallower than slab1.0 model. Especially, plate boundary seems to have a convex structure beneath the Tarama Island. The difference in E-W direction also appeared in the seismicity pattern. Microearthquakes within oceanic crust in forearc region is active in only the eastern side, whereas the long-term slow slip located mainly western Ishigaki Island [Nishimura, 2014]. Besides, low-angle thrust-type earthquakes and small repeating earthquakes estimated in this study located the outside of the active area of long-term slow slip. Our tomographic result of P-wave velocity model also indicated that the landward mantle is strongly serpentinized, which might be corresponding to the occurrence of slow slip events.

キーワード：琉球海溝、プレート境界形状、地震活動、地震波速度構造

Keywords: The Ryukyu Trench, Geometry of the plate boundary, Seismicity, Seismic velocity structure

南西諸島海域の断層分布と構造的特徴

Fault Distribution and Structural Characteristic in the Nansei Islands

*新井 麗¹、清水 祥四郎¹、佐藤 伸明¹、勝山 美奈子¹、安藤 五郎¹、高橋 成美¹、田中 恵介¹、及川 信孝¹、金田 義行²

*Rei Arai¹, Shimizu Shoshiro¹, Nobuaki Sato¹, Minako Katsuyama¹, Goro Ando¹, Narumi Takahashi¹, Shigeyoshi Tanaka¹, Nobutaka Oikawa¹, Yoshiyuki Kaneda²

1.独立行政法人海洋研究開発機構、2.名古屋大学減災連携研究センター

1.Japan Agency of Marine-Earth Science and Technology, 2.Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

As a part of "the Comprehensive evaluation of offshore fault information project" by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, JAMSTEC has carried out collecting seismic reflection data from various institutes and private companies and reprocessing data to obtain high resolution seismic profiles by state-of-the-art data processing methods.

Interpretation of faults on a seismic survey profile is a simple work, but in order to map out the distribution of a fault, the spatial distribution of the fault must be assigned from subsurface structures interpreted on each seismic profile and geomorphologic features. The distribution of displacement along faults is frequently recognizable in the landscape, therefore it is a well-approved method to map out the location of active faults from the geomorphologic features. In this project, we utilize both the seismic profiles and high resolution bathymetric data. The seismic profiles enable us to determine the actual location of displacement of the fault in the subsurface, and the high resolution bathymetric map tells the extension and direction of the fault. This interpretation process led the result of a brief and advanced offshore fault mapping.

The Ryukyu Arc is located in the Eurasian plate and extends from Kyushu, Japan to the Taiwan collision zone. At the Ryukyu Trench, the Philippine Sea plate is subducting beneath the Eurasian plate, and the backarc basin called the Okinawa Trough is formed by crustal extension behind the subducting system.

In offshore of Yonaguni-jima, Iriomote-jima, and Ishigaki-jima, a forearc basin forms a flat terrace. The thickness of basin sediments increases westwards due to a normal fault striking at SE, and dipping NE. In the southeast offshore of Ishigaki-jima, a reverse fault striking at NNE, and dipping NW up-ripts the basin sediments and forms boundary of the west end of the basin. In the south offshore of Miyako-jima, there are several reverse faults striking at NE, and dipping NW develop and up-lift the basement exposing at the sea floor with thin sediments. In the south margin of the forearc basin, accretional wedges develops by thrust faults, and there is remarkable east-west trending steep slope continuously exists exposing the basin sediment layers on the slope face. This could happened if some lateral displacement due to the movement of the Philippine Sea plate had effected slope stability on the wedge, and then the mass sediment body had collapsed. In offshore from Miyako-jima to Kerama Gap, the forearc basin sediments distribute with relatively thin layer, and the entire basin and basement is uprifted by thrust faults. In offshore of Okinawa-jima, a gentle slope composed of thick sediment layers forms from the edge of island shelf towards the trench. There are three large step-like terraces developed along the trench with small to large scale trust faults.

The southern Ryukyu Arc consists of the edge of continental crust, and the terrace of the arc was eroded to naturally flat surface. Normal faults, which cut perpendicular to the axis of the arc, are developed such as Miyako Saddle and Kerama Gap, and these gaps play structural transmit zone in both the trench and the trough geology.

In the Okinawa Trough, there are hundreds of meter cliffs developed along west side of island arc with northeast-southwest trend. In the southern Okinawa Trough, widely known as the present trough's growing stage, east-west trending rift valleys exist at the trough bottom, and the subsurface structure displays spreading system such as great number of normal faults developing towards the axis of the valley. In the central Okinawa Trough, there are series of NE-NW normal faults, and the edge of the rotated block appears as ridges or small cliffs.

In this session, we will briefly report the structural interpretation on seismic profiles and discuss structural characteristic based on the fault distribution.

キーワード：海域断層、反射法地震探査、琉球弧、沖縄トラフ、琉球海溝

Keywords: offshore fault, seismic reflection survey, Ryukyu Arc, Okinawa Trough, Ryukyu Trench

Rayleigh admittanceを用いた1次元S波速度構造インバージョン

The one dimensional S-wave velocity structure inversion using Rayleigh admittance

*利根川 貴志¹、荒木 英一郎¹、木村 俊則¹、中村 武史¹*Takashi Tonegawa¹, Eiichiro Araki¹, Toshinori Kimura¹, Takeshi Nakamura¹

1.海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター

1. Research and Development center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

A cabled seafloor network with 20 stations (DONET: Dense Oceanfloor Network System for Earthquake and Tsunamis) has been constructed on the accretionary prism at the Nankai subduction zone of Japan between March 2010 and August 2011, which means that the observation period became more than 4 years. Each station contains broadband seismometers and absolute and differential pressure gauges. In this study, we estimated the Rayleigh admittance at the seafloor for each station, i.e., an amplitude transfer function from pressure to displacement in the frequency band of microseisms, particularly for the fundamental Rayleigh mode of 0.1-0.2 Hz. The pattern of the transfer function depends on the S-wave velocity structure at the sediment beneath stations (Ruan et al., 2014, JGR). Therefore, we estimate one-dimensional S-wave velocity structure beneath each station, and investigate lateral variation of the accretionary prism in the Nankai subduction zone. We used the Rayleigh wave records of earthquakes with magnitude greater than 6.5 and within an epicentral distance of 30° . At each station, the velocity seismogram was converted to the displacement seismogram by removing the instrument response. The pressure record observed by the differential pressure gauge was used in this study because of a high resolution of the pressure observation. In the frequency domain, we estimated the amplitude transfer functions of displacement/pressure for each event, smoothed it using a Parzen window with a frequency band of 0.01 Hz, and stacked them over all of the used events. For inversion, we employed a simulated annealing technique to estimate one-dimensional S-wave velocity structure, in which the predicted admittance was calculated through a software of DISPER80 (Saito, 1988). Because we used a broad frequency range (0.03-0.15 Hz), the velocity structure down to 10-20 km depths could be estimated. In particular, at depths from the seafloor to 5 km, the error of the estimated velocity was small compared with those at deeper depths. At some sites, it seems that the obtained S-wave velocity structure shows a low velocity layer within the accretionary prism. In the presentation, we will show other characteristics of the obtained velocity structures.

キーワード：S波速度構造、海底観測

Keywords: S-wave velocity structure, seafloor observation

Crustal structure of Thailand from receiver function and ambient noise tomography studies

*Sutthipong Noisagool¹, Songkhun Boonchaisuk², Patinya Pornsopin³, Kiwamu Nishida⁴, Weerachai Siripunvaraporn^{1,5}

1.Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, 272 Rama 6 Road, Rachatawee, Bangkok, Thailand., 2.Geoscience Program, Mahidol University, Kanchanaburi Campus, Saiyok, Kanchanaburi, Thailand., 3.Seismological Bureau, Thai Meteorological Department, 4353 Sukumvit Road, Bangna, Bangkok, Thailand. , 4.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, JAPAN , 5.TheEP Center, Commission on Higher Education, 328, Si Ayutthaya Road, Rachatawee, Bangkok, Thailand

Thailand located in inner shelf of Eurasia plate. Tectonic evolution and crustal structure knowledge in Thailand is relatively poor. Major tectonic provinces of Thailand can be divided into 2 terranes, Indochina (IC) in east and Shan-Thai (ST) in west. In this study, 40 seismometers of Thailand Meteorological Department (TMD) and 4 of Mahidol University were used for data analysis. Two seismological methods, receiver function (RF) and ambient noise tomography (ANT), were applied to the data. For receiver function, we obtain total number of 1684 RFs. The crustal thickness and Poisson's ratio of Thailand were measured from the stacking amplitude of predicted arrival time. In average, Poisson's ration of crust in Thailand is lower than global average indicate more felsic composition in crust. Crustal thickness of Thailand is ranging from 31 -42 km with increasing trend from west to east across ST to IC. In comparison, crust of IC is thicker and have higher Poisson's ratio than ST. From ANT, cross-correlation function were calculated from three components seismogram of 4 years long data set. Rayleigh and Love wave group velocity dispersion were measured using frequency time analysis (FTAN) scheme. Due to data quality and station geometry observed period of dispersion curve are in between 6-24 second. Two dimensional tomographic inversion was used to construct the travel time tomography of group velocity at each frequency. Results of ANT clearly show that shallow crust of IC have lower velocity than ST. The lower velocity value may be refer to thick clastic rock deposited in uppermost crust of IC. Combining with a result from receiver function, lower crust of IC should have high mafic composition. Isostatic model suggest that dominated tectonic process in present day of ST is crustal thickening by the stacking of upper crust, while IC is thinning by the erosion.

Keywords: Receiver function, Ambient Noise , Mafic lower crust, Poisson's ratio

九州における地殻内の地震波減衰と地震発生層

Seismic attenuation and seismogenic layer in the crust beneath the Kyushu Island

*志藤 あずさ¹、松本 聡¹、大倉 敬宏²

*Azusa Shito¹, Satoshi Matsumoto¹, Takahiro Ohkura²

1.九州大学 大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター、2.京都大学 大学院理学研究科附属 地球熱学研究施設 火山研究センター

1.Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 2.Institute for Geothermal Science, Kyoto University

The spatial distribution of the seismogenic layer is one of the important parameter for seismic hazard analysis. The focal depths of inland seismicity are restricted to the upper several tens kilometers of the crust and are varied depending on the tectonic settings. Previous studies reported the negative correlation between the depth of the seismogenic layer and heat flow [e.g., Sibson, 1982; Ito, 1990; Tanaka and Ito, 2002]. Recently, increasing studies suggest that fluids play an important role in triggering earthquakes [e.g., Terakawa et al., 2010]. At present, it is widely believed that the spatial distribution of seismogenic layer is controlled by temperature and pore fluid pressure (and strain rate). However, quantitative estimates of the two parameters are difficult. Instead, in this study, we compare the spatial distribution of seismogenic layer and seismic wave attenuation, which is sensitive to temperature and existence of fluid. This is expected to provide us new insight into physical properties of the crust and control parameters of inland seismogenesis.

Attenuation of seismic wave energy is caused by two factors: scattering and intrinsic absorption. The former is the scattering of seismic wave energy due to random heterogeneities in seismic wave velocity and the density of the medium, while the latter is the conversion from seismic wave energy to heat energy by internal friction due to anelasticity of the medium. Quantifying scattering and intrinsic attenuation is important to understanding the structure of the lithosphere in terms of seismotectonic features. In this study, we separately estimate scattering and intrinsic attenuation by applying the multiple lapse time window analysis (MLTWA) technique [Hoshihara et al., 1991]. This technique is based on a comparison between observed and calculated seismic wave energy density obtained using radiative transfer theory in several successive lapse time windows.

Estimated structures of scattering and intrinsic attenuation in the crust beneath the Kyushu Island show strong spatial variations that depend mainly on the tectonic setting. The seismic attenuation structures are compared with local cut off depth of inland earthquakes, "D90" defined as the depth above which 90 % of the earthquakes occur [Matsumoto et al., 2015]. Regions with high attenuation geographically correlate with shallow seismogenic layers. We will discuss quantitative relation between intrinsic and scattering attenuations and local depths of seismogenic layers.

別府-万年山断層帯下の不均質構造に関する研究2

Study on heterogeneous structure beneath the Beppu-Haneyama fault zone 2

*神薊 めぐみ¹、松本 聡²、中元 真美²、宮崎 真大³

*Megumi Kamizono¹, Satoshi Matsumoto², Manami Nakamoto², Masahiro Miyazaki³

1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター、3.京都大学防災研究所

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, 2.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

The Beppu-Haneyama fault zone is the active fault zone in Kyushu, running from the Beppu Bay to western part of Oita prefecture. In the Beppu-Haneyama area, there are many faults and some volcanoes exist between the fault zones. This suggests that the sub-surface structure is heterogeneous in this area. For example, the thin seismogenic layer (about 7km) and the seismic velocity anomaly. Here we developed a method for estimating the complex structure in the area. We modeled the structure of this fault zone as a structure composed by a background heterogeneity and strong scatterers.

We analyzed the 18 seismic events observed at 29 seismic stations deployed by Kyushu and Kyoto Universities, NIED and JMA. We estimated background structure by comparing the observed envelope with theoretical curve based on multiple scattering model. Then, the ripples in the observed envelope were extracted by comparing the envelope with the theoretically expected curve. We estimated the distribution of scatterers based on travel time of the ripples. At 4Hz, the strong scatterer located around the fault zone, the seismic velocity anomaly and the tectonic lines. At 8Hz, scatterer are distributed in the Kuju volcano area.

In conclusion, we could estimate the complex heterogeneity beneath the Beppu-Haneyama fault zone. This method can be applied to the heterogeneous structure of other area, and it is expected to image the structure.

キーワード：別府-万年山断層帯、短波長不均質

Keywords: Beppu-Haneyama fault zone, Short wavelength heterogeneity

秋田県森吉山の誘発地震発生域におけるS波偏向異方性

Shear wave splitting caused by triggered seismicity near the Moriyoshi-zan volcano in the Akita Prefecture, northeastern Japan

*小菅 正裕¹

*Masahiro Kosuga¹

1. 弘前大学理工学研究科

1. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

秋田県森吉山周辺では2011年東北地方太平洋沖地震後に活発な誘発地震活動が始まり、現在でも継続している。その震源域近傍で実施した臨時地震観測のデータを用いて、2000個以上の地震を対象にS波スプリッティング解析を行った。観測点は震源域直上の森吉観測点と、震源域から北に5 km程度離れたアレイ観測点のうちの1点、及び震源域から西南西に10 km程度離れた定常観測点のHi-net阿仁である。スプリッティングの2つのパラメータ、速いS波の振動方向 ϕ と遅いS波の到達時刻差 δt を変えて直交する2方向のS波波形を合成し、2つの波形の相互相関係数が最大となる ϕ と δt を求めた。

震源域直上の森吉観測点では、 ϕ は北西-南東方向を向き δt は0.015秒程度である。それに対して、アレイ観測点と定常観測点での ϕ は南北で δt はほぼ0秒である。震源域直上の観測点での δt は地震波のサンプリング間隔の3倍程度とわずかではあるが、 δt の頻度分布はこの値が他の2点とは明確に異なることを示し、有意な観測結果と考えられる。この観測事実は、地震波が震源域を下から上に通過する過程で異方性の影響を受けていることを明瞭に示している。ただし、震源域直上で観測された ϕ は、メカニズム解のP軸方位よりはむしろT軸方位と調和的である。

観測された異方性が誘発地震活動によるとした場合、それがいつ形成されたかが問題になる。しかし、臨時観測は東北地方太平洋沖地震の発生から1年半ほど経過してから開始したので、異方性の形成時期は不明である。観測開始の2012年9月から2014年5月までの期間での異方性パラメータの時間変化を調べたところ、 δt については測定の間隔を超える変化は認められなかった。 ϕ はこの期間で20°程度小さくなり、より東西に近い偏向に変わったように見えるが、有意な変化かどうかは詳細な検討が必要である。

キーワード：S波スプリッティング、異方性、誘発地震

Keywords: shear wave splitting, anisotropy, triggered seismicity

上町断層帯を横断する高石－堺測線に沿う泉北グラブでの稠密重力測定

The Dense Gravity Surveying Situated in Senboku Graben on Takaishi-Sakai Profile which to Cross Uemachi Fault Zone

*領木 邦浩¹

*Kunihiro Ryoki¹

1.兵庫職業能力開発促進センター電気・電子系地球環境電気資源学教室

1.Institute of Geoscience and Electric Resource Science, Department of Electric and Electronic Systems, Hyogo Polytechnic Center

1. 概要

大阪平野中央部に位置する上町断層帯では活断層で発生する地震を想定した基盤調査が精力的に進められてきており(例えば、岩田・他(2013)など)、その構造がかなり明らかにされてきた。しかしながら、特に重力測定による構造解析は十分な測定点密度で実施されているとは言いがたい。そこで、これを補うべく、筆者らは大阪泉北地域での稠密重力測定(例えば、領木(2011)など)を進めてきた。今回、岩田・他(2013)が実施したP波反射法地震探査の高石－堺測線にほぼ沿う位置で稠密に重力異常の測定を行う機会を得たので報告する。

2. 対象地域

今回の重力測定測線は大阪府高石市高砂から同堺市中区八田北町までの東西投影距離約8.3kmであり、上町断層系のいくつかの断層(中田・他、1996)に交差している。

3. 重力補正に用いた地理情報

測定点の緯経度および標高は国土地理院が提供する数値情報(国土地理院, 2013)を使用した。これらは測量記録閲覧の一環として国土地理院の基準点成果等閲覧サービスから検索利用できる、国土地理院の基本基準点や各市町村が管理する公共基準点の測量成果である。今回は重力の各種補正と測定点の図示にこれらの数値位置情報を使用した。なお、主に道路上に設置されている公共基準点、特に4級公共基準点相当の都市再生街区基本調査補助点は道路の改変などにより改埋や亡失があるが、重力異常を算出する際の補正値の精度から考えて大きな誤差を伴わないことが推測されるため、前者の場合は新基準点の標識上で、後者の場合は地図上から指定される旧基準点の位置に相当する道路面上で重力の測定を行った。ここで後者では領木(2015)の手法を準用している。

4. 測定結果

東西方向に投影した測定結果を図1に示す。単純ブーゲー異常値では地形補正は施していない。図中の矢印は中田・他(1996)による活断層の位置を示している。図1は岩田・他(2013)に掲げられた高石－堺測線におけるP波反射法地震探査地質構造解析図と大変調和的である。

5. 考察

図1と中田・他(1996)の活断層図を比較すると、前者に示される重力異常の変曲位置の開始地点が後者の示す活断層位置に一致していることがわかる。傾斜した断層構造による重力断面では重力異常値の変曲点付近が断層の中心位置となるため、断層面の延長上が厚い堆積層を切って、もしくは撓曲させて地表面で活断層として観測される位置は基盤の断層の中心位置とは一致せず、逆断層では下盤側から若干離れた位置に現れる。また、未固結層中ではしばしば逆断層の傾斜が低角となるので、その結果地表で認められる活断層の位置は基盤の断層の中心位置から、より離れてゆく可能性がある。従って、今回の重力異常が示す構造は中田・他(1996)による活断層構造と整合的であると判断できる。

図1には第六系平面直角座標Y座標-53km付近に東落ちの0.7mgal程度の変化があり、-51.5km付近の西落ちを呈する上町断層との間に低重力帯が認められる。この重力異常は岩田・他(2013)が示す高石－堺測線における反射法の構造解釈図で指摘された“撓み構造”に対比でき、その構造の基盤深度は-1750m前後と解釈されている。このような構造は今回の測線の南西約3.5kmの重力測線にも認められ(領木, 2014)、岩田・他(2011)の大津川測線でも狭いながらも見る事が出来る。以上の観測事実から、ここには東落ち・西落ち二対の地下構造によって地溝帯が形成されているものと考えられ、本報告ではこの地溝帯を“泉北グラブ”と呼ぶことにする。泉北グラブの東縁はこの付近で三分割する上町断層帯の最も西側の西落ちの逆断層であるが、重力異

常の形態から考えると泉北グラーベンの西縁もこれと対を成す東落ちの逆断層である可能性が高い。

謝辞

秋田大学国際資源学部資源開発環境学教室の西谷忠師教授を始めとする物理探査学研究室の皆様には重力測定に際し過大な配慮を賜った。記して謝意を添します。

参考文献

岩田・他(2011)：断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測，上町断層における重点的な調査観測平成22年度成果報告書，文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所，p. 19 - 77.

岩田・他(2013)：断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測，上町断層における重点的な調査観測平成24年度成果報告書，文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所，p. 66 - 163.

国土地理院(2013)：地理院地図の公開について，<http://www.gsi.go.jp/johofukyu/johofukyu40032.html>.

中田・他(1996)：1:25,000 都市圏活断層図「大阪西南部」，国土地理院技術資料，D1-No. 333.

領木(2011)：和泉市西北部－中央部での都市地盤構造解析のための重力測定，近畿職業能力開発大学校紀要，vol. 19，p. 18 - 19.

領木(2014)：地理院地図を活用した重力測定値の補正と上町断層南部測線データの再検討，日本地球惑星科学連合2014年大会予稿集，SSS26-P02.

領木(2015)：基本基準点測量および街区基本調査の成果を援用した都市域での簷外調査－基準点上での稠密重力測定例－，日本地球惑星科学連合2015年大会予稿集，S-SS31-P05.

キーワード：大阪平野、反射法地震探査、地下構造、逆断層、数値地理解、公共基準点

Keywords: Osaka Plain, Seismic Reflection Method, subsurface structure, reverse fault, digital geographic information, public-surveying point

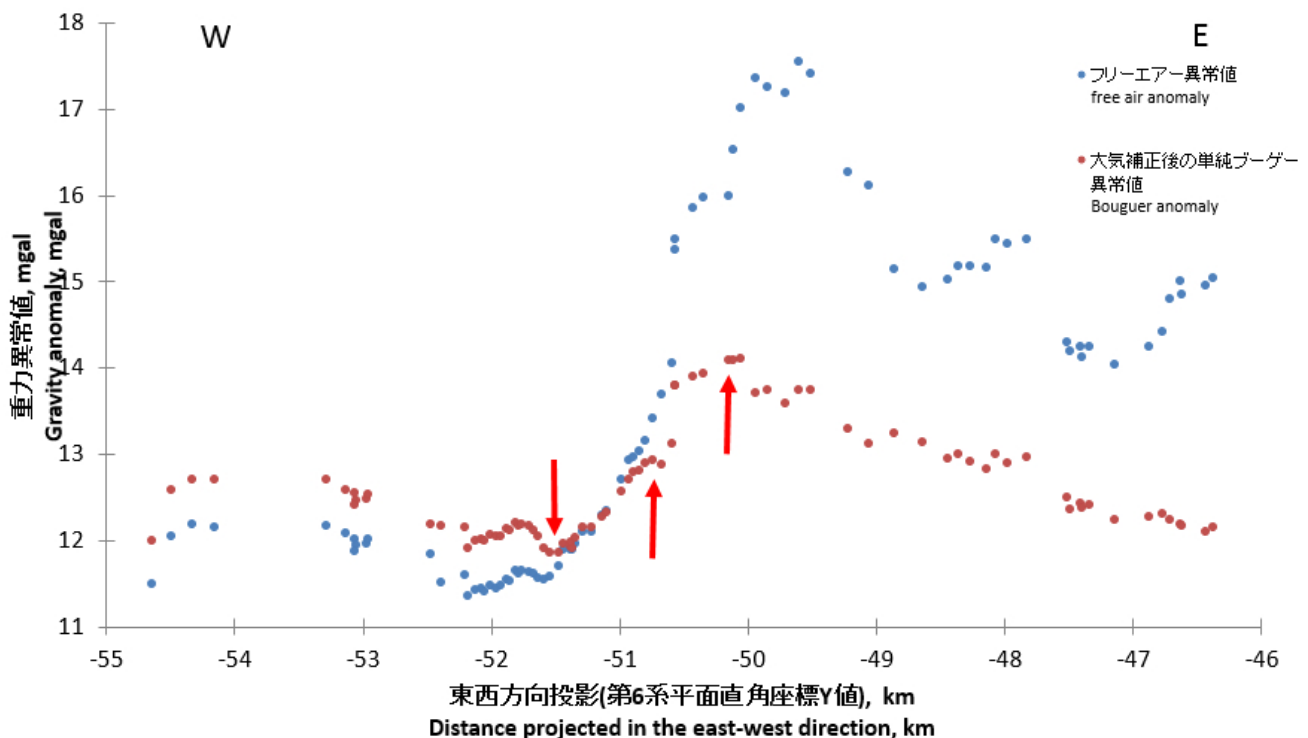


図1 重力異常稠密測定の結果 東西断面

Fig. 1 Profile of gravity anomaly in dense survey East-West section

山形県米沢—福島県会津の誘発地震域における反射波の検出

Detecting reflected waves in the triggered seismicity area of Yonezawa, Yamagata-Aizu, Fukushima

*長谷見 晶子¹、高橋 承之²、岡田 知己³

*Akiko Hasemi¹, Yoshiyuki Takahashi², Tomomi Okada³

1.山形大学理学部地球環境学科、2.山形大学理工学研究科地球環境学専攻、3.東北大学大学院理工学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

1.Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, 2.Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, 3.Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

2011年3月18日以降、山形県米沢市から福島県会津にかけての地域で地震活動が活発になっている。それ以前には地震活動がみられなかった地域であり、地震活動の活発化は東北地方太平洋沖地震によって起きた誘発活動と考えられる。この地域の活動に関して震源メカニズム、活動の時系列、地震波速度、Qs構造などを調べた研究では、流体の流入や流体圧の増加が誘発地震活動の原因と指摘されている。しかし、流体の分布形態などはまだ分かっていない。流体を含む領域の境界は、反射係数の大きい地震波反射面として働く。そこで、米沢-会津地域の地震の波形記録に反射波が見られるかを調べた。

対象とした地震は2015年1月までに誘発活動域で起きたM2以上の地震（約2500個）である。波形記録は防災科学技術研究所のHi-netホームページからダウンロードした。現在までに、活動域に最も近い観測点N.ATKH（熱塩加納、震央距離範囲は3~15km）と二番目に近いN.YNZH（米沢、8~25km）の水平成分の記録をチェックした。チェックの手順は次のとおりである。まず、P波到着から12秒間の記録に他の地震波形が重なっているものを目視により除き、S波の到着時刻を読み取った。震央の並びを考慮して8本の測線を設け、測線から0.5km以内に震央がある地震の波形を測線に沿って並べて表示した。その際、S波到着の位置をそろえ、また、後続波が見やすくなるようにバンドパスフィルターとAGCをかけた。これを同一観測点の同一成分について行った。その結果、N.ATKH、N.YNZHのどちらでもS波初動後1.5秒から8秒間の間に後続相がいくつも確認された。後続相を水平な反射面からの反射波と仮定すると、面の深さが10~20kmに決まるものが多い。後続相を連続的に追える範囲は測線に沿って1~2kmである。波形の表示方法を工夫すれば、より長い範囲で追える可能性がある。今後は波形の表示方法の改良と反射点（散乱点）位置の決定を行う予定である。

キーワード：反射波、地殻流体、誘発地震

Keywords: reflected wave, crustal fluid, triggered seismicity

会津盆地東縁における反射法地震探査

Seismic Reflection Survey at Eastern Edge of Aizu Basin

*伊藤 忍¹、山口 和雄¹、内田 洋平¹、石原 武志¹

*Shinobu Ito¹, Kazuo Yamaguchi¹, Youhei Uchida¹, Takeshi Ishihara¹

1.産業技術総合研究所

1.Geological Survey of Japan, AIST

2015年9月に、福島県会津若松市の会津盆地東縁で反射法地震探査を実施した。会津盆地は南北に走る東縁および西縁の断層帯で挟まれている。会津盆地の全体像を把握するのに、その東西の端を規定している断層帯の詳細を明らかにすることは有益である。2014年9月に会津盆地北部の福島県喜多方市で実施した調査に引き続き、会津盆地の全体像を把握するためのコントロールデータを取得するのが本研究の目的である。

2014年の調査では、会津盆地東縁断層に起因すると考えられる撓曲が見られた。そこで、今回は10km程度南の会津若松市一箕町鶴賀で調査を実施した。測線長は約860mである。測線の西半分程度は比較的平坦であるが、東半分程度は翁島岩屑なだれ堆積物で覆われており、西に大きく傾斜している。本測線のやや北では、翁島岩屑なだれ堆積物の堆積面から、6mの変位が認められ、会津盆地東縁断層に起因していると推定されている。

発震にはGEOSYM社製の可搬型バイブレータ震源であるELViS IIIを用い、S波探査を行った。発震間隔は2m、発震周波数は20-160Hz、発震時間は7秒とした。Geospace社製の10HzジオフォンGS32CTを内蔵した水平動シングル受振器を使用し、2m間隔で展開した。96点を同時展開し、48点ずつ移動した。

測線の東半分では明瞭なイベントが認められないが、これは岩屑なだれ堆積物に覆われている影響による可能性がある。測線の西の方では西に緩く傾斜したイベントが見られ、撓曲のような構造も見られる。これが会津盆地東縁断層によるものであると断定することはできないが、従来、地形から推定された断層よりも西に位置している可能性がある。

キーワード：会津盆地、活断層、反射法地震探査

Keywords: Aizu Basin, active fault, seismic reflection survey

北傾斜の四万十層群を断ち切る1997年鹿児島県北西部地震の断層面

The 1997 Kagoshima earthquake fault cuts through the north-dipping Shimanto Supergroup

*武田 哲也¹、阿部 進²、林 広樹³、後藤 和彦⁴、笠原 敬司⁵*Tetsuya Takeda¹, Susumu Abe², Hiroki Hayashi³, Kazuhiko Goto⁴, Keiji Kasahara⁵

1.防災科学技術研究所、2.株式会社地球科学総合研究所研究開発部、3.島根大学総合理工学部、4.鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所、5.地震予知総合研究振興会

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.R&D Department, JGI, Inc., 3.Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 4.Nansei-toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 5.Association for the Development of Earthquake Prediction

1997年に鹿児島県北西部にてM6.6の内陸の地震（第一地震）が発生し、その二か月後には近くでM6.4の地震（第二地震）が発生した。両地震ともに北西-南東方向に主張力軸を持つ横ずれ断層型の発震機構解であり、余震分布は発震機構解の両接面の向きと調和的である。この西方の海域は沖縄トラフの北端に位置しトラフでの背弧拡大が現在も進行しており、2015年11月にはM7.1の地震が発生した。第一地震発震場所は地表で活断層が確認されていない場所であり、地震発生の背景は不明である。そこで地震発生直後からの余震地震データと断層面を横断する反射法探査データを用いて、テクトニクスから地震発生場の理解を試みた。解析に使用した地震データは、鹿児島大学のルーチンデータ（1997年3月29日～6月19日）およびHi-netによる定常観測データ（2001年～2009年）である。鹿児島大学のデータは地震発生時から存在し、Hi-netデータは均質かつ高密度の観測点に基づいている。地震直後からその後の余震活動を一貫して比較できるように両データを共通の速度構造で震源再決定を行い、両者の震源位置のずれを補正した。第一地震断層沿いの断面を見ると、地震発生直後から余震活動が低調な空白域が存在していることが明らかとなった。本震震源付近には比較的大きな空白域が存在し、地震時のすべりが大きい領域と整合する。一方、それ以外にもいくつもの細い帯状の空白域が存在している。

続いて反射法探査データを解析した。探査は2000年に実施され、測線は第一地震震源断層を北北西-南南東方向に横断する。今回、連続傾斜分割型のMulti-dip CRS解析を導入することによりイメージングの精度向上を図った。従来手法の反射断面と比較すると反射面が明瞭になっており微細な構造まで得ることができた。震源断層より北側では、深さ6-8kmに北に傾斜する強反射面が確認でき、それより2km上方にも北傾斜の反射面が明らかになった。震源断層より南側でも30°前後の傾きを持つ北傾斜の構造が卓越している。震源断層付近では、北傾斜の反射面の連続性が途切れ、浅部を除き反射イメージが不明瞭となる。

この反射断面図に再決定震源を重ねる。震源断層の位置に深さ3-10kmにかけて余震分布が上下方向に広がっているが、断層面沿いの断面図で確認された細い帯状の空白域と対応する地震活動の低調な領域がある。北傾斜の反射面は余震活動の活発な震源断層付近で不明瞭となるものの、この空白域が反射面の延長上に位置しており、北傾斜の構造との関連が見られる。

以上の結果を解釈すると、北傾斜の構造はその傾斜の向きから白亜紀に形成された四万十層群に関連するものだと考えられる。断層面はその四万十層群の構造を断ち切っており、既存の白亜紀の構造に依らずに現在の応力場に即した面で破壊が起きたものと考えられる。但し、余震活動は四万十層群の構造との関連性が見られ四万十層群の中の脆性的および塑性的な性質を持つ層の互層構造によって支配されているかもしれない。地表での断層変位が確認されないことから、総変位量は大きくなく比較的新しく形成された断層だと考えられる。つまりこの地震は沖縄トラフの北端の新しい背弧拡大に伴う東向きブロック運動に起因する活動かもしれない。

キーワード：反射法探査、1997年鹿児島県北西部地震

Keywords: Seismic Reflection Survey, The 1997 Kagoshima earthquake

房総沖における自然地震を用いた3次元地震波速度構造 3D seismic velocity structures at the off-Boso Peninsula

*寺田 麻美¹、佐藤 利典¹、水野 真理子¹、篠原 雅尚²、望月 公廣²、山田 知朗²、植平 賢司³、眞保 敬³、小平 秀一⁴、町田 祐弥⁴、日野 亮太⁵、東 龍介⁵、村井 芳夫⁶、伊藤 喜宏⁷、八木原 寛⁸、平田 賢治⁹

*Asami Terada¹, Toshinori Sato¹, Mariko Mizuno¹, Masanao Shinohara², Kimihiro Mochizuki², Tomoaki Yamada², Kenji Uehira³, Takashi Shimbo³, Shuichi Kodaira⁴, Yuya Machida⁴, Ryota Hino⁵, Ryosuke Azuma⁵, Yoshio Murai⁶, Yoshihiro Ito⁷, Hiroshi Yakiwara⁸, Kenji Hirata⁹

1.千葉大学大学院理学研究科、2.東京大学地震研究所、3.防災科学技術研究所、4.海洋研究開発機構、5.東北大学大学院理学研究科、6.北海道大学大学院理学研究院、7.京都大学防災研究所、8.鹿児島大学理工学域、9.気象庁気象研究所（現 防災科学技術研究所）

1.Chiba Univ., 2.ERI, Univ. Tokyo, 3.NIED, 4.JAMSTEC, 5.Tohoku Univ., 6.Hokkaido Univ., 7.DPRI, Kyoto Univ., 8.Kagoshima Univ., 9.MRI, JMA (at present, NIED)

1.はじめに

関東地方は、北米プレート、フィリピン海プレート（PHS）、太平洋プレートの3枚のプレートが相互に関連しあう複雑なテクトニクスを擁し、1923年大正関東地震や房総スロースリップ（e.g., Ozawa et al., 2003）など様々な地震学的イベントが発生している。房総沖におけるこれらのイベントの地震発生サイクルや地震発生過程を理解する上で、この地域全体の詳細な速度構造が必要とされる。こうした背景から、本研究では当該領域における3次元地震波速度構造を推定した。

2.手法とデータ

定常地震観測網および房総沖海底地震観測網で観測された自然地震のP波、S波走時をDouble-Difference tomography (Zhang and Thurber, 2003) に適用し、P波およびS波速度構造と震源再決定を行った。海陸双方の観測点を用いることで双方向のレイパスを得られるようにし、海域における解像度の向上を試みた。震源は2009年8月から2012年3月までの気象庁一元化震源を使用した。イタレーション後、RMS走時残差は、P波で183 msecから83 msec、S波で328 msecから131 msecへ減少した。また、チェッカーボードテストの結果、解析領域においてP波で水平方向10 km、深さ方向で5~10 kmの解像度が得られた。

3.結果

推定されたP波、S波速度構造において、PHSが北西方向に沈み込む様子が確認された。東西断面を見てみると、PHSは房総沖で比較的平坦な形状をもつようである。さらに、地震波速度の値からモホ面をトレースし、海洋地殻の厚さを7 kmとしたときのPHS上面の位置を推定した。結果、陸域では弘瀬ほか（2008）と近い結果となり、海域でもおおよその傾向を推定することができた。PHS上面の深さ10 kmのコンタは、相模トラフに平行に走るようなトレンドとなったが、20 kmコンタは途中まで10 kmコンタと平行に走り、房総沖東部において北東へと伸びる形状となった。また、30 kmコンタも20 kmコンタと同様に、九十九里浜付近において湾曲し、銚子へと繋がった。また、PHSマントルウェッジ内には蛇紋岩化した領域が存在すると指摘されており（e.g., Kamiya and Kobayashi, 2000）、本研究ではこの蛇紋岩化領域の分布を検討した。結果、蛇紋岩領域は房総沖北東部に広がっており、その境界の走行は北西-南東となった。また、推定した蛇紋岩領域は千葉県茂原市付近で局所的に南方向へ突出する特徴があった。この蛇紋岩の分布は、Nakajima et al. (2010) が推定した蛇紋岩化境界と似た形状となったが、本研究結果の方がやや北側へと移動した結果となった。

謝辞

KH09-3次研究航海にて展開された長期海底地震観測網ならびに、東北地方太平洋沖地震余震観測で展開された海底地震観測において取得されたデータを使用させていただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。本研究では、気象庁一元化震源カタログの震源と検測値を使用させて頂きました。また、本研究は科研費(25287109)の補助を受けました。

キーワード：地震波トモグラフィー、房総沖、フィリピン海プレート、蛇紋岩化

Keywords: seismic tomography, Off-Boso, Philippine Sea plate, serpentinize

東北地方太平洋沖地震域の地震波異方性トモグラフィ

P-wave anisotropic tomography of the 2011 Tohoku-oki earthquake area

*山下 慧¹、趙 大鵬¹、豊国 源知¹、藤澤 萌人²*Kei Yamashita¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹, Moeto Fujisawa²

1.東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター、2.石油資源開発

1.Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions Graduate School of Science, Tohoku University, 2.JAPEX

2011年3月11日に、沈み込む太平洋スラブと大陸プレートの境界領域でMw 9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。このような巨大地震に至るまでの発生機構を解明するには、沈み込み帯の詳細な構造を推定することが重要になる。

地震波の伝播速度には方向依存性があり、これを地震波速度異方性と呼んでいる。地震波の異方性が生じる原因として、マンテルの内部では、マンテル対流に伴ってオリビンなどの鉱物の結晶格子が特定の方向に選択的に配列することがあげられる。異方性の一つにS波のスプリッティングがあげられるが、深さ方向に解像度があまりないためP波方位異方性に注目した。

本研究ではP波方位異方性トモグラフィ(Wang & Zhao, 2008)を行い、東北地方太平洋沖地震域の速度構造と方位異方性を推定した。観測領域を北緯36°-41°、東経139°-145°に設定し、516点の地震観測点を使用した。三次元速度構造を推定するためのグリッドは、等方性成分では0.3°間隔、異方性成分では0.5°間隔で配置し、深さ方向については等方性成分、異方性成分ともに、深さ10, 25, 40, 65, 90, 120, 160, 200 km、太平洋スラブ内ではスラブ上面から深さ5, 25, 50 kmに配置した。震源データは、国立大学、気象庁、防災科学技術研究所によるHi-netの観測網により得られたものを使用した。本研究で使用したデータは、先行研究(Huang & Zhao, 2011)で使用されたデータよりも、東北地方太平洋沖地震後に発生した余震のデータが多いことが特徴である。

本研究で得られた異方性速度構造の特徴は以下の通りである。

1. マンテルウェッジでは地震波の速く伝播する方向(fast-velocity direction, FVD)が北西-南東方向に卓越していることがわかり、これはマンテルウェッジ対流によりオリビンの結晶格子が一定の方向に選択的に配列するためだと考えられる。
2. 沈み込む太平洋スラブ内部ではFVDが南北方向に卓越しており、これは太平洋スラブが海嶺で形成されるときにプレートの拡大方向に沿った地震波の異方性が記録され、それが保存されたまま東北沖で沈み込むためだと考えられる。これらの異方性の特徴は先行研究(Huang & Zhao, 2011)と調和的であることが確認された。
3. 沈み込むスラブと大陸プレートの境界領域であるmegathrust zoneでは、スラブの沈み込みとプレート同士が強く固着する領域により応力場が複雑になっていることがわかり、異方性はプレート形成時に記録される固有の向きと複雑な応力場の両方の効果を反映していると考えられる。

参考文献

Huang, Z., D. Zhao, L. Wang (2011) Seismic heterogeneity and anisotropy of the Honshu arc from the Japan Trench to the Japan Sea. *Geophys. J. Int.* 184, 1428-1444.

Wang, J., D. Zhao (2008) P-wave anisotropic tomography beneath Northeast Japan. *Phys. Earth Planet. Inter.* 170, 115-133.

キーワード：トモグラフィ、異方性、東北、沈み込み帯、マンテルウェッジ

Keywords: Tomography, Anisotropy, Tohoku, Subduction zone, Mantle wedge

地震波干渉法によるニュージーランド・アルパイン断層近傍における表層付近のS波異方性の推定
Shear wave anisotropy in shallow subsurface around the Alpine fault, New Zealand,
estimated by seismic interferometry

*高木 涼太¹、岡田 知己¹、吉田 圭佑²、Townend John³、Boese Carolin⁴、Baratin Laura-May³、Chamberlain Calum³、Savage Martha³

*Ryota Takagi¹, Tomomi Okada¹, Keisuke Yoshida², John Townend³, Carolin Boese⁴, Laura-May Baratin³, Calum Chamberlain³, Martha Savage³

1.東北大学、2.防災科学技術研究所、3.ヴィクトリア大学ウェリントン、4.インターナショナルアースサイエンス IESE Ltd.

1.Tohoku University, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 3.Victoria University of Wellington, 4.International Earth Sciences IESE Ltd.

Deep Fault Drilling Project (DFDP) aims to provide new geophysical and geological insight for the central Alpine fault system. After the drillings in two phases (DFDP-1 and DFDP-2), seismometers have been deployed at the depth of 81 and 400 m within the DFDP-1 and DFDP-2 boreholes, respectively, to detect micro earthquakes around the Alpine fault. Additionally, we newly installed two surface seismometers above the DFDP boreholes. Using the borehole and surface seismometers, we examined shear wave anisotropy in shallow subsurface close to the Alpine fault. We applied seismic interferometry to regional earthquake waveforms observed at the bottom and surface sensors to estimate shear wave anisotropy between the two sensors. First, we corrected instrument responses and orientations of sensors and upsampled waveforms. Then, we computed cross-correlation functions of coda waves of 25 and 16 regional earthquakes for DFDP-1 and DFDP-2 sites, respectively. The cross-correlation functions show clear wave packets in the frequency range of 3-6 Hz. The peak times indicate average shear velocity of 880 and 550 m/s in DFDP-1 and DFDP-2 site, respectively. We estimated shear wave polarization anisotropy from peak time variations of cross-correlation functions of rotated horizontal waveforms. We obtained similar shear wave anisotropy in both boreholes with fast shear wave directions parallel to the Alpine fault. The fault parallel fast direction is consistent with orientation of foliation in hanging wall mylonite, suggesting structural anisotropy is predominant. Comparing anisotropy in two other boreholes in the footwall sides may provide deeper understanding of shallow subsurface anisotropy and information about structural evolution and stress state around the Alpine fault.

キーワード：アルパイン断層、S波異方性

Keywords: Alpine fault, Shear wave anisotropy

Imaging of Crustal Structure across the Red River shear zone (Northern Vietnam) from Seismic Linear Array Observations

*DUONG VAN NGUYEN, Bor-Shouh Huang

The Red River fault is the first order tectonic structure running from the southeastern margin of the Tibet plateau to the South China Sea that separates the South China block to the north and the Indochina block to the south. Hence, understanding the Red River fault structure is critical for evaluating the hypotheses of the tectonic evolution of Southeast Asia and the extrusion mechanism along the Red River fault caused by the continent-to-continent collision between the Indian and Eurasian plates.

Using a 250 km long profile of 25 broadband seismic stations across the Red River fault in northern Vietnam has provided a high-resolution P receiver function section which interpreted in term of crustal architecture and composition. Results reveal distinct features of crustal structures across Red River shear zone. The Moho depth is ranging from 28 to 32 km, with an average of about 30 km. It deepens in the south of the Red River fault, but shallower and flater in the north. The V_p/V_s ratio is lower and stable values in the north of Red River fault but highly variable in the south, suggesting that the crust in the south of Red River fault might be effected by the interaction of micro blocks in Northern Vietnam which separated by the major faults (Ma River fault, Da River fault, Son La fault, Red River fault). The shear wave velocity profile pointed out a sharp variation of the lower crust and uppermost mantle beneath the Red River shear zone, suggesting that the Red River shear zone is a lithospheric structure.

Keywords: Red River shear zone, Receiver Function, Crustal Structure, Seismic Linear Array across Red River shear zone

Focal Mechanisms and Seismicity in the Region of Induced Earthquakes of Song Tranh Dam, Vietnam

#Quoc Cuong Nguyen, James Mori (DPRI, Kyoto Univ.)

*CUONG QUOC NGUYEN¹

1. DPRI

Vietnam is located in South East Asia and bounded by the Pacific and Mediterranean-Himalaya seismic belts on its eastern, western and southern sides, respectively. The dynamic tectonic processes in this region cause the territory of Vietnam and adjacent areas to have intensive differential movement, making the regional tectonic structure very complicated. The tectonics have led this territory to have moderate seismic activity and complicated geological structures, such as the Lai Chau-Dien Bien fault zone, Red River fault zone, and others. Southern Vietnam was considered to be a region with low seismicity, compared to the North. However, the sequence of earthquakes that occurred at Song Tranh Dam during the last several years surprised many scientists because the southern region of Vietnam was not expected to have major tectonic activity. This region where many induced earthquakes are now occurring is associated with the filling of a new reservoir. There have been four M4 earthquakes (maximum earthquake was 4.7 in November, 2012), so it is one of the most active induced earthquakes examples in the world. It is important to determine the strong motion attenuation relations for this area since damaging earthquakes may be expected in the near future. We collect and process data from 5 seismic stations around Song Tranh dam, include more than 300 events larger than 1.5 and more than 2000 seismic waveforms to determine arrival times and locate the earthquakes in the Song Tranh dam region. In this study we use time domain analyses to determine focal mechanisms. We use software of Dreger and Ford (2011) modified for the Song Tranh Dam region. Induced earthquakes processed by this software include events with magnitudes larger than 3.5 and recorded on 4 or more stations.

We also compare our results with mechanisms for tectonic earthquakes in the region (Hung Nhuong Tavi and Tra Bong faults). The results show a difference in focal mechanism between tectonic earthquakes and induced earthquakes which may be related to the increased fluid pressure from filling of the reservoir. To confirm this result, we will need to process the many smaller events with magnitude less than 3.0, which have occurred around Song Tranh Dam.

We used a genetic algorithm method to estimate the local velocity structure. We applied this method to determine a layered model for the Song Tranh dam region. Our results obtained a new 1D model of 7-8 layers. The shallow P wave velocity of 4.6 km/s is slower than 5.9 km/s for previous studies in northern VietNam. For a deeper layers from 6 to 12 km, P wave velocity becomes larger, 5.4 km/s - 5.9 km/s. The Vp/Vs shows relatively higher values of 1.75-1.77 for the depth around 12 km. When layer thickness changes from 21 km to 28 km, the P wave velocity increases and changes from 6.5 km/s to 7.3 km/s, however, Vp/Vs ratio decreases from 1.77 to 1.67. Finally, the depth of the Moho surface changes from 28 to 35 km and the P wave velocity changes from 7.8 to 8.2 km/s, with Vp/Vs value of about 1.78. Earthquakes still occur at Song Tranh dam (a recent M3.3 occurred on August, 26th 2015), and more than a thousand earthquakes with magnitude less than 1.5 have not yet been processed. We continue to update the seismic analyses with information from smaller earthquakes to improve our results.

Keywords: Song Tranh Dam, VietNam, Focal Mechanism , Induced Earthquake, Velocity structure

2011年に観測された黒部ダム湖周辺における地殻構造変化と活発化した地震活動の関係

Did the temporal crustal structure change cause the Oct. 2011 Kurobe Dam seismicity?

*佐藤 和悦¹、金 亜伊¹、大見 士朗²

*Takanobu Sato¹, Ahyi KIM¹, Shiro Ohmi²

1.横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科、2.京都大学防災研究所

1.Graduate School of Nanobioscience, Yokohama City University, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震直後より飛騨山脈の大部分で地震活動が活発化し、一ヶ月以上続いた。しかし同年10月に富山県東部に位置する黒部ダム湖周辺で3月の活動以上に活発な地震活動が観測された。活発化は黒部ダム湖周辺に限定されており、その他の地域では見られなかった。地震活動が活発化した地域で活断層は特に認められておらず、マグニチュード5以上の地震が発生したのは1960年代に行われた黒部湖への貯水に伴う地震活動以来約50年ぶりである。これまでの研究では黒部湖周辺の断層帯、および10月の地震活動開始から終了までの一連の流れについての議論を行ってきた[Sato *et al.*, 2015]。本発表では2011年における黒部湖周辺の地殻構造変化についての議論を行い、地震活動とダム湖の関係性について議論を行う。

2. 解析手法

黒部ダム湖北部に設置されている黒四観測点 (E.KYJ) の波形を使用して、自己相関関数の計算およびS波スプリッティング解析を行った。自己相関は、2010年1月1日から2012年12月31日の連続波形のうち上下動成分を用いて各日で計算を行った。その際は、自己相関関数のピークが明瞭に出た1-8Hzのバンドパスフィルタをかけた後、地震波や突発的ノイズを除去するために1bit化を施した。S波スプリッティング解析は、プログラムMFAST [Savage *et al.*, 2010]を用いた。解析対象は、2011年に黒部湖から半径50km以内で発生した地震のうち、黒四観測点での入射角が35°以下の地震とした。

3. 結果・議論

自己相関関数は、2011年が他年に比べて地震波速度が遅い結果となり、特に5月から6月にかけて顕著であった。地震波速度が遅くなる原因としては、強震動や水の浸透が考えられる。また、ピークのノイズ化が2011年には度々見られたが、ノイズの発生・収束時期は黒部湖周辺で動的応力が増加する時期と一致した。このことから強震によりクラックの開閉が生じた可能性が考えられる。S波スプリッティング解析を行った結果、3月に発生した地震を用いた場合は極性角度が最大圧縮軸方向と一致し、調和的な結果となった。一方10月に発生した地震を用いた場合、最大圧縮軸方向に加えて、90°回転した方向にも極性が現れた。この90度回転は間隙水圧の増加によって生じ、水の地下浸透を強く示唆している。さらに90度回転を示した震源は黒部湖直下に多く見られたほか、南北を貫くパス上にも数点みられた。以上から、東北地方太平洋沖地震以降の地震活動により黒部湖直下でクラックの開閉が生じ、水の地下浸透が進んだと考えられ、その結果間隙水圧が上昇し、10月の地震活動を引き起こす環境になった可能性が高い。

キーワード：飛騨山脈、雑微動、自己相関関数、S波スプリッティング

Keywords: Hida Mountains, Ambient noise, Autocorrelation function, Shear wave splitting

日本海地震・津波調査プロジェクト：海陸統合地殻構造探査（舞鶴2015測線）の成果

Results of 2015 seismic survey for the research project on seismic and tsunami hazards around the Sea of Japan

*加藤 直子¹、佐藤 比呂志¹、石山 達也¹、戸田 茂²、川崎 慎治³、阿部 進³、舞鶴構造探査研究グループ¹
*Naoko Kato¹, Hiroshi Sato¹, Tatsuya Ishiyama¹, Shigeru Toda², Shinji Kawasaki³, Susumu Abe³,
Research group for 2015 Maizuru Maizuru seismic survey¹

1.東京大学地震研究所、2.愛知教育大学、3.株式会社地球科学総合研究所

1.Earthquake Research Institute,University of Tokyo, 2.Aichi Educational University, 3.JGI. Inc.

日本海沿岸地域での津波の波高予測・強震動予測を行うために文部科学省の「日本海地震津波調査プロジェクト」が2013年度より開始された。このプロジェクトの一環として、2013年度には上越-北陸沖で、2014年度には山陰沖-北陸地域で地殻構造探査を実施した。2015年度には山口-北九州沖と若狭湾において構造探査を実施した。ここでは、若狭湾での構造探査で得られた反射法地震探査断面を提示し、地殻構造について報告する。2015年8月に反射法地震探査データを取得した。ここで扱う測線は、海上（舞鶴沖）50 kmと陸上（京都府舞鶴市・福井県高浜町）17 kmから構成される。陸上測線は受振のみの測線である。海上の反射法地震探査は、2.1kmのストリーマケーブル（受振点間隔12.5m）を曳航して実施した。発震船のエアガン容量は1950 cu.inch、データ収録はサンプリング間隔2 msec とし、記録長は8 sとした。標準発震点間隔は50mである。陸上の受振については17km区間にわたり独立型受振器（GSR）を100 m 間隔で設置した。この測線は、2004年に大都市圏地殻構造探査の一環として実施された新宮-舞鶴測線（Ito et al., 2006）の北方延長に設定した。海域においては、往復走時2-3秒までのイメージングが得られた。反射波が微弱な先新第三系に相当するユニットと、その上位には連続性の良好な見かけ上北傾斜を示す反射面が分布する中新統のユニット、最上部の往復走時0.5 s付近には不整合で下位のユニットを覆う連続性のよい反射面を有するユニットが重なる。山本ほか（1993）の第四系、鳥取沖層群に対比される。測線北部には、新第三系の隆起構造が見られる。これは山本ほか（1993）で浦島礁の南東部に分布する東北東-西南西方向の断層に該当する。昨年度の結果と合わせて解釈すると、この構造はリフト期の正断層の反転運動により形成されたものと判断される。この断層の反転運動は、この測線では第四紀後期には停止している。その他、測線中央部では、不整合面より上の堆積層に変位を与えている高角度の断層があり、反射面のパターンから横ずれ断層と判断される。海域のショットを陸上で受振した重合断面では往復走時4.5-5.5秒に緩く北に傾斜する微弱な反射面群がイメージングされている。これは新宮-舞鶴測線北部で地殻中部に観測されている反射面（Ito et al., 2006）と類似する。

舞鶴構造探査研究グループ：山内紘一・辻 浩・渡辺 茂（東京大学地震研究所）・大信田彦磨（愛知教育大学）

キーワード：日本海、地殻構造、反射法地震探査

Keywords: Sea of Japan, crustal structure, seismic reflection survey

沖縄南西沖における断層分布

Fault distribution on the southwest offshore area of Okinawa Island

*佐藤 伸明¹、清水 祥四郎¹、及川 信孝¹、安藤 五郎¹、新井 麗¹、勝山 美奈子¹、田中 恵介¹、高橋 成実¹、金田 義行²

*Nobuaki Sato¹, Shoshiro Shimizu¹, Nobutaka Oikawa¹, Goro Ando¹, Rei Arai¹, Minako Katsuyama¹, Shigeyoshi Tanaka¹, Narumi Takahashi¹, Yoshiyuki Kaneda²

1.国立研究開発法人海洋研究開発機構、2.名古屋大学減災連携研究センター

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Disaster Mitigation Research Center

This is a part of the project "Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan", by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The project consists of three themes, 1) Collecting seismic survey data and building a database of offshore faults, 2) Interpreting distribution of active faults using seismic data collected, and conducting the seismic re-processing by leading-edge seismic technology for the seismic data obtained in previous decades, 3) Building the fault models for a simulation of strong motion and tsunami disaster, based on the interpreted faults. Our purpose of study is to reveal the detailed structural characters of active faults in the southwest offshore of Okinawa Island by 3D seismic interpretation.

3D reflection seismic data provide us the ability to map structural features in detail up to a resolution of a few tens of meters over thousands of square kilometers. Landscapes of seismic attributes such as amplitude, dip and coherence (discontinuity) attributes are often revealed to detect great detail of geological structures. We carried out the interpretation of fault distribution with the seismic attribute to highlight faults such as seismic discontinuities, using 3D seismic data which were acquired by JOGMEC.

The Ryukyu island arc system is located at a convergent plate margin where the Philippine Sea Plate is subducting under the Eurasia Plate. In the southwestern Ryukyu arc, the subduction is oblique to the trench, while in the northeastern Ryukyu arc, the Philippine is subducting perpendicular to the trench. The Oblique subduction causes compressive or extensional stresses in the forearc depending on the sense of arc curvature and the relative motion of the plates.

Discontinuity attribute shows slightly-swing lineaments with northeast-trending on the seabed surface where is located on a continental slope of the Ryukyu trench side. Based on that geometry features, numerous normal faults with 5 to 30 km length, and NNE-trending, were recognized in the study area. Those faults trend to converge toward the Kerama Gap which is considered to be left-lateral fault and the one of two major structural boundaries of the Ryukyu Arc, which indicates those faults have been developed when the Kerama Gap was formed. Although the fault density is high and the fault traces are crooked in this area, the time-slice of the discontinuity attribute shows clear the spatial relationships between those faults. In contrast, it is hard to identify clearly fault segments which are interpreted on seismic section by only 2D seismic data due to a sparse data density and a limitation of 2D seismic survey itself. Seismic attributes help us to identify subtle faults and can lead to better understanding in the description and analyses of fault system geometry such as trace-length, fault-displacement and connectivity of fault.

キーワード：活断層、慶良間海裂、三次元反射法地震探査

Keywords: active fault, Kerama Gap, 3D seismic reflection survey