

地震探査による日本海東縁・日本海盆南部と粟島沖大和海盆北部の地殻構造の差異 Difference of the seismic crustal structure between the northern Yamato Basin and the southern Japan Basin, Japan Sea

佐藤 壮^{1*}, 野 徹雄¹, 高橋 成実¹, 小平 秀一¹, 金田 義行¹

Takeshi Sato^{1*}, Tetsuo No¹, Narumi Takahashi¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Kaneda¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

背弧海盆である日本海の東縁部や東北日本弧の日本海側の地域では、約 30 Ma からの背弧拡大による伸張変形とその後の約 3.5 Ma からの短縮変形によって形成・発達した褶曲 - 断層帯が集中的に分布している (Sato, 1994)。日本海東縁部や東北日本弧の日本海側域の構造発達や短縮変形が集中するメカニズムには、背弧拡大による日本海形成時の伸張変形も大きく関係していると考えられており、これらの構造発達やメカニズムを理解するためには、日本海形成時の伸張変形のみを受けている日本海盆や大和海盆の地殻構造の特徴、およびこれら両海盆から短縮変形も受けている日本海東縁部の大陸棚域への地殻構造の空間方向の変化を明らかにすることは重要である。そこで、日本、大和両海盆から日本海東縁部・大陸棚域への地殻構造の特徴を明らかにするために、2009 年から 2012 年に日本海盆南部、大和海盆北部を含む日本海東縁部において、マルチチャンネルストリーマを用いた反射法地震探査 (MCS 探査) と海底地震計 (OBS) を用いた屈折法・広角反射法地震探査 (OBS 探査) を実施した。本発表では、主に OBS 探査より明らかになった日本海形成時の伸張変形のみを受けた日本海盆南部、大和海盆北部の地殻構造の特徴、および両海盆部から大陸棚域にかけての地殻構造の空間方向の変化の差異について報告する。

粟島沖の大和海盆北部の地殻は約 16 km の厚さを持っており、海嶺で形成した標準的な海洋性地殻よりも厚くなっている。鉛直速度勾配の特徴から、急な速度勾配をもつ音響基盤から P 波速度約 6.5 km/s の地殻上部と緩やかな勾配をもつ約 6.6 km/s からモホ面の地殻下部の部分に分けられ、厚さはそれぞれ、地殻上部で約 5 km、下部で約 8 km であった。海盆域の地殻内には、P 波速度約 5.5-6.4 km/s の部分はほとんど存在しない。また、海盆域の中央部では、下部地殻最下部の P 波速度はまわりよりも速くなっている (P 波速度約 7.1-7.3 km/s)。この高速度部の存在は、大和海盆の形成時のマントル温度はやや高い状態であったことを示していると考えられる。一方、大和海盆北部から大陸棚域の間に位置する佐渡海嶺では、地殻上部に島弧上部地殻に相当していると考えられる P 波速度約 5.5-6.4 km/s の部分が厚く存在している。下部地殻は約 6.8-7.0 km/s の P 波速度をもち、これは島弧下部地殻に対応していると考えられ、海嶺下の地殻全体の厚さは約 23.5 km である。

日本海盆南部では、堆積層を含めた地殻全体の厚さは約 10 km となり、標準的な海洋性地殻とほぼ同等、もしくは若干厚くなっている。P 波速度分布は典型的な海洋性地殻と同等であるが、下部地殻最下部の P 波速度は少し速い (約 7.4 km/s)。この日本海盆南部と大和海盆北部の地殻構造を比較すると、下部地殻の最下部を除いて P 波速度分布は下部地殻の最下部を除いて類似しているが、地殻の厚さは大和海盆北部に比べ、日本海盆南部は十分に薄くなっており、形成過程等が両海盆域で異なっている可能性が考えられる。日本海盆南部から大陸棚域にかけての領域の地殻は徐々に厚くなり、大和海盆北部の地殻構造に類似している。大和海盆北部から大陸棚域、日本海盆南部から大陸棚域にかけての地殻構造の空間変化は異なっており、これらの違いは、短縮変形を受けている日本海東縁部の地殻構造や構造発達に影響を与えている可能性がある。

日本列島下のモホ面の形状 地震波トモグラフィからの推定 Configuration of Moho discontinuity beneath Japanese Islands estimated with seismic tomography

松原 誠^{1*}Makoto MATSUBARA^{1*}¹ 防災科研¹ NIED

1. はじめに

下部地殻のP波の地震波速度は6.5~7.0 km/s程度である一方、最上部マントルでは7.5~8.0 km/sに達する。その境界であるモホ面では速度不連続面が形成され、大きな地震波速度勾配が存在することになる。Zhao et al. (1992)は地震波速度構造に基づいてモホ面を推定した。領木 (1999)は、反射・屈折法探査による結果を集成してモデルを構築した。Katsumata (2010)は、モホ面の形状そのものをトモグラフィ法で推定した。一方、地震波トモグラフィ法を用いて、日本列島下の同一分解能による詳細な地震波速度構造が明らかになった (Matsubara and Obara, 2011)。地震波トモグラフィでは、三次元的に配置した各グリッドにおける地震波速度を推定するため、速度不連続面は存在しない。しかし、グリッド間における速度勾配は計算可能であり、大きな速度勾配が存在すれば、そこをモホ面と推定することが可能である。本研究では、地震波トモグラフィで推定されたP波速度構造を基に日本列島下のモホ面の形状を推定した。

2. 手法

Matsubara and Obara (2011)により推定された地震波速度構造モデルにおいて、6.5~8.0 km/sの速度について0.1 km/s刻みで、それぞれの速度を挟んだ速度勾配を算出した。その結果、7.2 km/s, 7.3 km/sを挟んだ速度勾配が最大の0.078 (km/s)/kmであった。本研究では、7.2 km/sの等速度面をモホ面深度と仮定した。

3. 結果

7.2 km/sの等速度面をモホ面と仮定し、日本列島下のモホ面構造が得られた。深さ35km以深の深いモホ面は、東北地方では脊梁山脈(八幡平、栗駒山~鬼首、飯豊山地周辺(福島・新潟県境))や北上山地、中部地方東部(長野県、山梨県、関東山地、赤石山脈)、近畿地方北部、中国山地~山口県、九州地方北部(福岡県北部)や東部(宮崎県北部)に存在する。一方、深さ30km以浅の浅いモホ面は、北海道南東部(十勝平野~根室地方)、関東地方北部、関東地方南部(三浦半島~房総半島)、能登半島、東海地方南部~紀伊半島南部、四国南部、九州南西部に存在する。

北海道南東部の浅いモホ面、東北脊梁山脈や中部地方東部、九州東部の深いモホ面等の特徴は、Zhao et al. (1992)、領木 (1999)、Katsumata (2010)においても共通して推定されている。Zhao et al. (1992)や領木 (1999)では、東北地方から関東地方にかけては海岸線と平行な等深度線の形状が推定されている。一方、本研究やKatsumata (2010)では、脊梁山脈の下において複雑な形状が推定されているだけでなく、関東地方では北部と南部は浅く東京都周辺で深いモホ面が共通して推定されている。一方、Katsumata (2010)では、中国地方で深さ30kmより浅いモホ面が推定されているが、本研究では深さ35kmより深く求められている。領木 (1999)においても中国地方中部(岡山・広島県境付近)から四国地方中部(愛媛県東部や高知県中部)の深いモホ面が推定されている。また、レーパー関数法による推定 (Shiomi et al., 2006)では、中国山地の下では深さ35kmより深いモホ面が推定されており、本研究と調和的である。

ユーラシアプレートの地殻と沈み込むフィリピン海プレートの海洋性地殻が接触している領域では、マントル物質が存在しないためモホ面の検出は難しく、海洋性モホ面を推定していることになる。一方で、マントル物質が存在すれば高速度域が存在するためモホ面の検出が可能である。西南日本では、深部低周波微動が観測されている (Obara, 2002等)。これらは、フィリピン海プレートの海洋性地殻とユーラシアプレートのマントルウェッジの会合部で発生していると考えられている (Matsubara et al., 2009)。そこで、西南日本における深部低周波微動発生領域より南については、海洋性モホ面を推定している可能性がある。東海地方南部の深さ30kmより浅いモホ面については、Shiomi et al. (2008)等の海洋性モホ面の深さと調和的である。

キーワード: モホ面, トモグラフィ, 日本列島, 地震波速度, 7.2 km/s

Keywords: Moho discontinuity, tomography, Japanese Islands, seismic velocity, 7.2 km/s

北部フォッサマグナ横断地殻構造探査

Deep seismic reflection profiling across the northern Fossa Magna, central Japan

佐藤比呂志^{1*}, 白石和也², 石山達也¹, 加藤直子¹, 蔵下英司¹, 阿部進², 稲葉充³, 岩崎貴哉¹, 川本友久⁴, 武田哲也⁵

Hiroshi Sato^{1*}, Kazuya Shiraishi², Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Eiji Kurashimo¹, Susumu Abe², Mitsuru Inaba³, Takaya Iwasaki¹, Tomihisa Kawamoto⁴, Tetsuya Takeda⁵

¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所, ³ 石油資源開発(株), ⁴ 国際石油開発帝石(株), ⁵ 防災科学技術研究所
¹Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, ²JGI, Inc., ³Japan Petroleum Exploration Co., Ltd., ⁴INPEX Corp.,
⁵National Research Institute for Earth and Disaster Prevention

北部フォッサマグナは、日本海拡大期に形成された本州を二つに分ける大規模なグラベンである。糸魚川-静岡構造線がその西縁となり、信濃川断層帯までの間には褶曲した厚い新第三系堆積岩が分布する。この骨格的な地殻構造を明らかにすることは、日本列島の形成プロセスを明らかにする上で、また災害予測の観点からも重要である。この地域の地殻構造を明らかにするために、2012年9月に長野県飯山を通り新潟県小谷に至る延長60kmの区間で、制御震源による地殻構造探査を行った。震源はバイブレータ4台と、薬量100kgのダイナマイト(4点)を使用し、最大1533チャンネルで波形を収録した。通常のCMP重合法による解析の他、屈折トモグラフィーによるP波速度構造断面を求めた。

得られた速度構造断面は、測線中央部の北部フォッサマグナの中軸部では、ほぼ先新第三系上面に相当するP波速度5.4km/s層が約深さ5kmに位置し、厚い堆積物によって充填されていることが分かる。この堆積盆地の基底は、西縁では、糸魚川-静岡構造線や小谷-中山断層の北東延長で、ステップ状に東側に低下する。両断層とも東傾斜で中角度の見かけ上正断層である。垂直変位量は糸魚川-静岡構造線では500m程度であるが、小谷-中山断層の北東延長では4kmとなり、新第三紀に形成された北部フォッサマグナを実質的に規制しているのは、糸魚川-静岡構造線ではない。妙高から斑尾山間で大きな層厚を示す堆積層は、背斜の軸部が急斜した褶曲を形成する。信濃川断層帯の隆起側では、短波長の翼部が急斜する褶曲が形成されているが、地下1.5kmにデタッチメントが形成され、信濃川断層帯の本体は、この褶曲の下でフラットを作る。幾何学的制約から野尻湖とその西側に、ランプを想定する必要がある。

信濃川断層帯では、1847年善光寺地震(M7.3)が発生した。この地震の被害分布は、信濃川沿いに集中し、地殻構造から推定されるランプの位置と明瞭な一致は示さない。構造と被害分布を統一的に満たす断層モデルとしては、信濃川断層帯がウェッジスラストを構成し、地震発生鵜に大きな影響を及ぼす断層は、東傾斜の逆断層で、浅部は西傾斜となると推定した。こうした形状を推定すれば、越後平野東縁断層帯など、新潟堆積盆地の東縁の構造と類似した構造となる。

キーワード: 褶曲衝上断層帯, 震源断層, 北部フォッサマグナ, 地殻構造探査, 活断層, 1847年善光寺地震

Keywords: fold-and-thrust belt, source fault, Northern Fossa magna, deep seismic profiling, active fault, 1847 Zenkoji earthquake

月岡断層を横切る高分解能反射法地震探査

High-resolution seismic reflection profiling across the Tsukioka fault, central Japan

加藤 直子^{1*}, 石山 達也¹, 佐藤 比呂志¹, 戸田 茂², 豊島 剛志³, 小林 健太³, 飯塚 弦奨², 品田 航也³, 入谷 正人³
Naoko Kato^{1*}, Tatsuya Ishiyama¹, Hiroshi Sato¹, Shigeru Toda², Tsuyoshi Toyoshima³, Kenta Kobayashi³, IIZUKA, Genki², SHINADA, Kouya³, IRITANI, Masato³

¹ 東京大学地震研究所, ² 愛知教育大学, ³ 新潟大学

¹Earthquake Research Institute, The Univ. of Tokyo, ²Aichi University of Education, ³Niigata University

震源断層と活断層との関係を明らかにしていくことは、発生する地震災害を予測する上で基本的な課題である。阿賀野川沿いの越後山地の西縁部には、月岡断層や村松断層など、低地の方向に傾斜した逆断層性の活断層が分布する（活断層研究会, 1991）。全体の地形的な配置と不調和なこのような逆断層の深部断層との関連はよく分っていない。文部科学省プロジェクト「ひずみ集中帯の重点的観測・研究」の一環として、平成12年度に佐渡-会津測線において震源断層のイメージングを目的とした地殻構造探査が実施された（佐藤ほか, 2010）。この探査では、屈折トモグラフィによって越後山地の西縁には東傾斜の低速度帯が伸びており、断層帯の存在が明らかになっている。こうした東傾斜の主要な断層と月岡断層の詳細な関係を明らかにするため、高分解能反射法地震探査を行った。探査は、「ひずみ集中帯の重点的観測・研究」と地震予知事業「大規模活断層システムにおける長期地殻歪みの蓄積過程の解明」の一環として実施した。

高分解能反射法地震探査を行った期間は2012年10月下旬から11月上旬で、測線は新潟県阿賀野市百津地区から同市大室地区に至る約8km区間である。震源は大型パイプロサイス1台を使用した。受振点間隔は10mで計812チャンネルの固定展開でデータを取得した。受振システムはオフラインレコーダ（GSR-1）とJGI製MS2000を用いた。発震点間隔は10m、スイープ周波数は8-100Hz、標準スイープ回数は2回である。レコーディングのサンプリング間隔は2 msecで記録長は4 secとした。得られたデータに関して反射法地震探査は共通反射点重合処理法により解析を行った。

測線東部では基盤の花崗岩類を覆う堆積層が約30度の西傾斜で分布する。月岡断層はこの反射面群と平行に位置し、層面すべりによって形成されていることが分かる。測線西部の1.5km以浅ではやや緩傾斜になるが堆積層は、同様に西傾斜を示す。一方、測線中央部から西部の深さ約2.5 km付近の領域では、やや凸型を示す反射面が存在する。阿賀野川沿いの深部反射のイメージと合わせて検討すると、月岡断層は、越後山地西縁の東傾斜の逆断層である主要断層とともにウエッジスラストを形成していると推定される。従って、東傾斜の逆断層が震源断層として重要であり、二次的な断層である月岡断層よりも変位量が大きいものと推定される。

2011年3月12日長野県・新潟県県境付近の地震 (M6.7) の地震活動の詳細と背景にあるサイスモテクトニクス Detailed characteristics of the March 12, 2011 Nagano-Niigata earthquake sequence and its seismo-tectonic background

武田 哲也^{1*}, Enescu Bogdan², 浅野 陽一¹, 関口 涉次¹, 小原 一成³
Tetsuya Takeda^{1*}, Bogdan Enescu², Youichi Asano¹, Shoji Sekiguchi¹, Kazushige Obara³

¹ 防災科学技術研究所, ² 筑波大学, ³ 東京大学地震研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²University of Tsukuba, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) が発生し、各地で余震や誘発地震が頻発する中、それから約13時間後の3月12日にひずみ集中帯内において長野県・新潟県県境付近の地震 (M6.7) が発生した。Hi-netおよびF-netによる発震機構解はともに北北西-南南東圧縮の逆断層型を示す。また、約30分後にはM5.9の最大余震が発生し、その発震機構解は本震とほぼ同じく北北西-南南東圧縮の逆断層型であった。東北地方太平洋沖地震は、広域にわたり地殻変動を生じさせた (例えば Ozawa et al., 2011)。しかし、このように応力場が変化している中で、従来からひずみ集中帯内で発生した地震 (例えば、2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震) とほぼ同じメカニズム解を示す地震が発生したことは興味深い。この地震の発生メカニズムを理解する上で、その地震活動の詳細と背景にあるサイスモテクトニクスを調べることは重要である。そこで、最初にこの一連の地震活動を解析して詳細な余震分布を得て、三次元速度構造との比較から、この地震活動の特徴について明らかにする。そして最後に今回の地震が誘発された原因について考察する。

得られた余震分布と詳細三次元速度構造 (エネスク他、2012) から地震の特徴について述べる。余震域は、2つの基盤岩のブロックから構成され、北東側と南西側とに分かれる。北東側ブロックの中には、本震の震源断層が存在し、南東傾斜の断層面を持つ。一方、南西側ブロックには、最大余震を引き起こした震源断層が存在し、その傾斜は本震断層とは異なる北西方向を示す。北東側ブロックと南西側ブロックは基盤岩の速度構造が異なっており、南西側の方が北東側より相対的に速度が速い。この速度の違いは、岩石の組成の違い、つまりはブロックの形成過程の違いから生じていると考えられる。

このブロックは、日本海拡大時に正断層およびトランスフォーム断層によって形成され、ひずみ集中帯下にはこのようなブロックが多数存在していると考えられる。2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震でも、今回の地震と同様に本震と余震の震源断層は複数のエリアに分けることができる (例えば、Kato et al., 2005 や Yukutake et al., 2008)。つまり、ひずみ集中帯で発生する地震は、複数のブロックが同時もしくは短い時間差で破壊を起こし、ブロック単位で活動しているのかもしれない。

最後に地震が誘発された原因について考える。東北地方太平洋沖地震後に日本中の多くの火山で地震活動が増加した。はるか遠い九州の火山も含まれていることから、その原因は、静的応力変化よりも動的応力変化、つまり表面波の通過によるトリガリングであると考えられる。トモグラフィーの結果から本震の下には高 V_p/V_s 比の領域が存在している。その高 V_p/V_s 比領域には、火山下と同様に流体が存在している可能性が高い。つまり、東北地方太平洋沖地震による大振幅の表面波の通過による動的応力変化によって、火山と同様の活発化を引き起こされたと考えられる。

キーワード: ひずみ集中帯, 長野県・新潟県県境付近の地震, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: the high-strain-rate zone of Japan, Nagano-Niigata earthquake, Tohoku-oki earthquake

関東北部から東北地方にかけてのS波偏向異方性の地域的特徴 Seismic anisotropy at the northern part of Kanto and Tohoku regions

飯高 隆^{1*}, 小原 一成¹, 五十嵐 俊博¹, 武藤 潤², 芝崎 文一郎³

Takashi Iidaka^{1*}, Kazushige Obara¹, Toshihiro Igarashi¹, Jun Muto², Bunichiro Shibazaki³

¹ 東京大学地震研究所, ² 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ³ 建築研究所国際地震工学センター

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Tohoku Department of Earth Sciences, Tohoku University, ³IISEE, Building Research Institute

1) はじめに

日本列島下には東から太平洋プレートが、また南からはフィリピン海プレートが沈み込み複雑な構造をしている。日本列島における応力場はそれらの沈み込みと密接な関係があり、最大主応力の分布においても顕著な地域的特徴がみられる。関東地方北部から東北地方にかけての領域においては、東から西へと沈み込む太平洋プレートの影響が大きく、これまでの研究から主応力軸の方向は東西であることがわかってきた。

一方、地殻の異方性の原因は、地殻内に存在するクラックが応力場の影響を受け、最大主圧縮軸方向に長軸をもつクラックが開くことによるものと考えられている。そのため、S波偏向異方性は、地殻内の応力場を知るために有効な方法の一つと考えられている。そこで、地殻内の異方性を観測することによって、その地域の応力場を推定できる性質を利用して、本研究では関東地方北部から東北地方で発生した地殻内地震を用いて、地殻の異方性の分布を調べた。

2) データ

解析に用いた地震は、気象庁の一元化震源から、2001年から2011年3月10日までの、2011年東北地方太平洋沖地震以前の地殻内部で発生した地震を用いた。用いた地震の震源の深さは30km以浅のものを用い、観測点は防災科研 Hi-netの観測点を中心に気象庁、東大地震研の観測点を使用した。

3) 結果

関東北部から東北地方にかけてのS波偏向異方性においては、顕著な地域的な特徴がみられた。解析領域の西側においては概ね東西方向の偏向方向が観測された。その一方で、東側である阿武隈山地から三陸地域においては、南北方向の偏向が観測された。これまでの研究から、東北地方における最大主圧縮軸方向は、太平洋プレートの沈み込みに伴って東-西方向であると考えられていた。しかしながら、得られた結果は単純なものではなかった。内陸地域の偏向方向はこれまでの結果と調和的であるが、関東北部の海岸沿いから三陸方向の異方性の偏向方向は明らかに異なることがわかった。このような特徴は、Iidaka and Obara (2013)における茨城県北部から福島南部にかけての領域での解析でも得られており、広域的な特徴である可能性が考えられる。この原因について、太平洋プレートの沈み込みの影響とこれらの地域的特徴について、数値モデリングの結果と比較検討することにより議論する。

キーワード: S波偏向異方性, 地殻, 沈み込み

Keywords: Shear-wave splitting, crust, subduction

東北日本南部の地殻・上部マントル構造と第四紀ひずみ速度分布 Quaternary strain rates distribution and crust-upper mantle structure of the southern North-east Japan

石山 達也^{1*}, 佐藤 比呂志¹, 加藤 直子¹, 松原 誠², 武田 哲也², 岩崎 貴哉¹, 今泉 俊文³

Tatsuya Ishiyama^{1*}, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Makoto MATSUBARA², Tetsuya Takeda², Takaya Iwasaki¹, Toshifumi Imaizumi³

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹ERI, University of Tokyo, ²NIED, ³Department of Geosciences, Tohoku University

東北日本はユーラシア大陸縁辺のプレート間相互作用に伴い形成された島弧である。近年、ひずみ集中帯プロジェクトを中心とした精力的な地殻構造調査により、長期間地殻変動に重要な寄与をする活断層の浅部から深部にかけての構造が明らかになりつつある。さらに、変動地質学・第四紀地質学による活構造の理解についての進展と第四系層序データが蓄積され、新たな活構造の抽出やひずみ速度の推定が可能になってきた。石山ほか(2012)では、こうしたデータを検討し、東北日本南部横断方向における活断層の浅部から深部構造と地表で求められるすべり速度に基づく地質学的ひずみ速度分布および長波長の地殻変動速度分布について議論した。本発表では、これらについてその後の検討による若干の修正を行うとともに、地震波トモグラフィや地殻構造探査の結果との比較を試みる。

1. 活断層の地質学的ひずみ速度

活断層における地質学的ひずみ速度は角田-弥彦断層で最大となり、いずれも 10-8/yr オーダーであり、従来の歴史地震や第四紀断層に基づく見積りの 10 から 100 倍となる。活断層による地質学的ひずみ速度は、背弧域で大きくなり、前弧域で小さくなる。また、2011 年東北地方太平洋沖地震前のひずみ速度はこれよりも一桁程度大きく、その乖離は太平洋側ほど大きい。阿武隈山地南部では、2011 年福島県浜通りの地震に代表される正断層が複数分布するが、これらの平均変位速度は概して小さく、ひずみ速度は 10-9?10-10/yr オーダーと考えられる。また、東北日本南部の活断層の殆どは、中新世に形成された正断層の再活動であることが特徴的である。ただし、背弧域の逆断層は中新世の背弧拡大の中心であったことを反映して、大規模な地殻の薄化に寄与する正断層および副次的な正断層と、形成された地溝を埋積する厚い堆積物を反映して、一般に断層関連褶曲・薄皮構造やデタッチメント褶曲、分岐断層を伴う複雑な褶曲衝上断層帯を形成する。これに対して、前弧域では比較的単純かつ構造的落差の小さい半地溝を形成する西傾斜の正断層群の再活動である。

2. 長波長上下地殻変動

一方、活断層・活褶曲による上下変動の成分を除去した長波長地殻変動は、佐渡海峡から新潟平野にかけて最大となり、2-3 mm/yr 程度の沈降となる。それ以外は波長 50 km 程度の隆起域がみられ、隆起速度は 0.3 mm/yr 程度と沈降速度の絶対値に比べてかなり小さい。陸棚斜面から海溝にかけては 0.1 mm/yr オーダーの沈降域となる。背弧域の顕著な沈降運動の開始時期は第四紀初期であり、その範囲は日本海沿岸に沿って断続的に分布している。一方、越後山地や脊梁山地の隆起の開始は、海成中新統の分布から、後期中新世には既に開始していたらしい。

3. 地殻構造との比較

沈み込み帯先端部から前弧域にかけての反射断面をみると、海溝陸側斜面から沈み込み帯先端部にかけては顕著な褶曲衝上断層帯が分布しているが、大陸棚の広い範囲には、海溝陸側斜面上部に正断層群が発達する以外は比較的静穏である。阿武隈山地と奥羽脊梁山地に挟まれた狭い領域(郡山盆地や仙北平野など)では地殻が非常に薄い部分があり、厚さ 20 数 km まで薄化する。一方、脊梁山地直下では概して周辺に比べてモホ面が深く、地殻の厚さは 35 km 程度まで厚くなる。沈降速度の速い新潟平野や村上沖では地殻が再び厚さ 20 km 程度まで薄くなる。前弧域との相違点は、地殻の薄化に加えて、背弧域の沈降帯の直下ではマントル上部内に P 波速度の低速度異常が分布することが大きな特徴である。

島弧地殻はどこまで弾性的か？ How elastic is the island arc crust?

鷲谷 威^{1*}
Takeshi Sagiya^{1*}

¹ 名古屋大学
¹ Nagoya University

The earth's crust is usually treated as elastic in the many studies. The term elasticity refers to a physical property of materials that recover their original shape after they are deformed. The elastic theory is very useful in data analysis and interpretation in seismology and geodesy. On the other hand, elasticity of the crust is nothing but a first order approximation. It has not been thoroughly tested in which time scale, in which spatial scale, and to what extent the crust is elastic. These issues have important implications associated with tectonic loading of crustal faults, evaluation of seismic potential, and topographical as well as geological structure development. As an example, we have found that there is significant inconsistency between geodetic and geologic deformation rates around active fault zones in central Japan such as the Atotsugawa Fault and the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line. Geodetically estimated fault slip rate is larger than geologic estimates by a factor of 2 to 3 there. Such an observation strongly suggests that there exists significant amount of inelastic deformation, and a large part of the inelastic deformation should be accommodated within the crustal blocks. Currently available geologic data about crustal strain rate are mostly related to fault offset and do not take deformation of the whole block into account. Thus it is important to develop appropriate methods to estimate long-term deformation rate of crustal blocks. One possibility is to examine cumulative deformation of strata based on seismic exploration and boring. Another possibility is to translate seismological properties such as attenuation and/or scattering coefficient into inelasticity. These possibilities should be investigated and derived results should be integrated into comprehensive modeling of deformation process of the Japanese island arc.

キーワード: 島弧地殻, 弾性変形, 塑性変形, ひずみ速度, 地震発生ポテンシャル
Keywords: island arc crust, elastic deformation, plastic deformation, strain rate, seismic potential

有限要素法による日本列島域における 2011 年東北沖地震の余効変動シミュレーション Simulation for coseismic and postseismic deformation in the Japan region due to the 2011 Tohoku earthquake with finite e

橋間 昭徳^{1*}, FREED, Andy², 佐藤 比呂志¹, 西村 卓也³, OKAYA, David⁴, 石山 達也¹, 松原 誠⁵, 岩崎 貴哉¹, BECKER, Thorsten⁴

Akinori Hashima^{1*}, Andy Freed², Hiroshi Sato¹, Takuya NISHIMURA³, David Okaya⁴, Tatsuya Ishiyama¹, Makoto MATSUBARA⁵, Takaya Iwasaki¹, Thorsten Becker⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² パーデュー大学, ³ 国土地理院, ⁴ 南カリフォルニア大学, ⁵ 防災科学技術研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ² Purdue University, ³ The Geospatial Information Authority of Japan,

⁴ University of Southern California, ⁵ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

M9 に及んだ 2011 年東北沖地震は、東北地方の地震発生システムを特徴づけるものであり、現在の日本列島域のプレート沈み込みシステムに大きな影響を与えている。このような状況下にある日本列島域において、合理的な地震活動・地殻変動予測を行うためには、現実的な地下の物性構造モデルを構築し、それにもとづいた地殻変動シミュレーションを行わなければならない。日本列島域では太平洋プレート、フィリピン海プレートという 2 つのプレートの沈み込みが起きているので、この地域の変形問題は本質的に三次元的である。このような問題を解くにあたっては、任意の形状を取り入れることが可能な有限要素法によってモデリングを行うことが必要である。また、現時点では、東北沖地震の発生後に周囲にどのような応力変化がもたらされ、時間変化していくのかを解明することが非常に重要である。したがって、本研究では、東北沖地震後の日本列島域における現実的な地震活動予測を行うため、有限要素法を用いて、三次元的な地殻構造のもと日本列島域における東北沖地震の余効変動のシミュレーションを行った。

日本列島域の時間依存変形のシミュレーションを行うにあたって、まず考慮に入れるべき構造はプレート境界形状と弾性-粘弾性物性構造である。はじめにモデル領域として 4500 km × 4900 km × 600 km の領域をとる。これは千島列島-マリアナ列島-琉球列島を含む領域に対応する。プレート境界形状としては、日本列島近辺においては主に地震活動から求めた Nakajima & Hasegawa (2006)、Nakajima et al. (2009)、Kita et al. (2010)、弘瀬ほか (2008) などによるモデル、千島弧、伊豆小笠原弧、琉球弧に関しては Hayes et al. (2012) による Slab1.0 モデルを用い、これらを補間して、プレート境界形状を作成した。日本列島下の地殻構造については高密度に展開された Hi-net の観測網により、詳細な地震波速度構造が得られている (Matsubara et al, 2011) が、現段階では大陸側の弾性層の厚さを一様に 30 km、海洋プレート側の弾性層とスラブの厚さを 70 km という単純な構造であると仮定した。

上記のモデル領域に境界条件を設定する。境界条件は、モデル領域の外壁に与える条件の他に、震源域の断層面における接線方向の変位の食い違い (断層すべり) 条件がある。このような条件のもとで数値計算を実行し、変形問題を解くことができる。本発表では、第 1 次モデルとして、上記構造における変形問題の計算結果を紹介する。

このような変形モデルによる計算結果から、モデルに制約を与える構造パラメータを絞り込み、そのパラメータを効率的に観測するための合理的な観測計画を立てることが可能となる。得られた観測データをもとに変形モデルを向上させることができ、さらに効率的な観測計画を立てることができる。このような観測-シミュレーションのサイクルを作ることが、今後の地震活動・地殻変動予測にとって必須である。

キーワード: 日本列島, コミュニティ・モデル, 2011 年東北沖地震, 応力場, 地殻構造, 有限要素法

Keywords: Japan islands, Community model, 2011 Tohoku earthquake, Stress field, Crustal structure, Finite element modeling

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い応力場が変化した領域の広がり と 応力・強度の推定

Change in the stress field in the inland area of NE Japan after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

吉田 圭佑^{1*}, 長谷川 昭¹, 岡田 知己¹, 中島 淳一¹, 飯沼 卓史³, 伊藤 喜宏¹, 佐藤 忠弘¹, 浅野 陽一², 2011年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ⁴

Keisuke Yoshida^{1*}, Akira Hasegawa¹, Tomomi Okada¹, Junichi Nakajima¹, Takeshi Iinuma³, Yoshihiro Ito¹, Tadahiro Sato¹, Youichi Asano², Group for the aftershock observations of the 2011 Tohoku Earthquake⁴

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 防災科学技術研究所, ³ 東北大学災害科学国際研究所, ⁴ 2011年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ

¹ RCPEVE, Tohoku University, ² National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ³ International Research Institute of Disaster Science, ⁴ Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

We have reported that the principal stress orientations changed after the 2011 Tohoku-Oki earthquake even in the inland areas far from the source area (Yoshida et al., 2012). A typical example of such areas with changed stress orientations is central Akita Prefecture. We investigated amply the stress field in the inland area of Tohoku to further confirm the above results and to know in detail the areas where the principal stress orientations changed after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. In order to considerably increase focal mechanism data, we picked P-wave initial-motion polarity data from original seismic waveform records observed at many temporary seismic stations that are deployed in this area both before and after the Tohoku-Oki earthquake. Then we determined focal mechanisms of those events. The number of well-determined focal mechanisms is 2835 and 4291 before and after the 2011 Tohoku-oki earthquake, respectively. These numbers almost doubled the previous dataset. First, we estimated the spatial variation of the stress fields in NE Japan before and after the Tohoku-Oki earthquake in each 50 km spaced grid by applying the stress tensor inversion method. The results show that the estimated principal stress orientations significantly changed after the earthquake in three regions; northeast Miyagi Prefecture, central Akita Prefecture and southeast Tohoku near Iwaki city. The estimated orientations correspond to those of the static stress change caused by the coseismic slip of the Tohoku-Oki earthquake.

Then, we estimated again the stress fields in those regions before and after the Tohoku-Oki earthquake in more detail. We relocated hypocenters using the double-difference location method in the three regions, and applied the stress tensor inversion method to those data by subdividing the regions. Although the change in the stress fields near Iwaki city was not significant due to the existence of the depth variations of stress fields, the stress fields changed significantly in NE Miyagi Prefecture and central Akita Prefecture. This suggests that the stress magnitudes in NE Japan are very low because the static stress changes are only about 1-3 MPa of differential stress. Another possibility is that the stress fields in NE Japan are spatially very heterogeneous with the scale < 10 km.

To confirm whether the stress magnitude has such a low value, we investigated the effect of the tidal stress on earthquake rate. Tidal stresses were calculated including both the solid earth and ocean loading to focal mechanisms estimated above. The phase distribution exhibits a strong influence of tidal shear stress increments in NE Japan both before and after the Tohoku-Oki earthquake. Statistical test shows that it is significant (Schuster, 1897). Using the formula by Dieterich (1987), which was obtained through numerical simulations based on rate- and state-dependent friction law, we estimated the effective normal stress from the phase distribution. Assuming $a = 0.004-0.01$, the effective normal stress is estimated as 1.0-2.5 MPa. This value is roughly consistent with the value estimated using the change of the stress field after the 2011 Tohoku-oki earthquake.

Keywords: stress field, static stress change, focal mechanism, tidal triggering, stress magnitude, frictional strength

IBMの岩石学と島弧進化と「安山岩問題」 IBM arc petrology, arc evolution and andesite problem

田村 芳彦^{1*}

Yoshihiko Tamura^{1*}

¹ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹IFREE, JAMSTEC

伊豆小笠原マリアナ (IBM) 弧は、しばしば、代表的な海洋性島弧の一つにあげられる。その火山活動は、シリカ成分が 55 パーセント以下の玄武岩マグマとシリカ成分が 70 パーセント前後 (66?74 パーセント) のデイサイト-流紋岩マグマのバイモーダルな活動を特徴とする (Tamura & Tatsumi, 2002)。つまり、シリカ成分が 60 % 程度の安山岩マグマはほとんど噴出ししない。これは、他の海洋性島弧 (たとえばケルマディック弧、Wright et al., 2006) でも同様である。また、ODP のコアのタービダイトの研究から、伊豆弧のバイモーダルな火山活動は 3000 万年以上も継続していることがわかっている (Gill et al., 1994)。一方、東北日本弧やカスケードのような '成熟した' 沈み込み帯では、安山岩マグマが最も卓越し、大量に噴出する (e.g., Aramaki & Ui, 1978)。

太陽系の中でも地球をユニークにしているものは海と大陸の存在であり、大陸は安山岩の平均組成を持つ (e.g. Rudnick & Gao, 2003)。よって、大陸は沈み込み帯の火成活動で生じたと考えられる (Taylor, 1967)。それでは、バイモーダルな火山活動の未成熟な島弧 (海洋性島弧) が成長して安山岩マグマの活動の盛んな成熟した島弧へと進化し、成熟した島弧で、大陸地殻が形成されるのであろうか。

この「常識」を見事に覆したのが IBM の地殻構造の研究である (e.g. Suyehiro et al., 1996; Kodaira et al., 2007; 2008; Takahashi et al., 2007; 2008; 2009)。彼らは、IBM 海洋性島弧の中部地殻が (1) 大陸地殻と同じ地震波速度を持つこと、かつ (2) 玄武岩火山の下で、中部地殻が厚く、流紋岩火山の下では中部地殻が薄いこと、つまり (3) 玄武岩火山の地下で安山岩質の大陸地殻が成長していること、を示唆したのである。

このようは反常識的なことが実際におこっているのであろうか。地質学的研究 (地表に露出した島弧断面) はこれを支持するのであろうか。そこで、伊豆弧-本州弧の衝突帯 (丹沢深成岩体) の研究がおこなわれた (Tani et al., 2010; Tamura et al., 2010)。結論を言うと、伊豆弧の衝突帯には伊豆弧で形成された中部地殻を源岩とする深成岩体が露出している。しかし、それは部分融解を受け、オリジナルな年代情報を消失し、あるものはメルトと分離し、あるものは結晶が集結して、変形上昇して衝突帯に定置したものである。原形をとどめないほど料理された、「もと島弧中部地殻構成岩」といえるだろう。島弧中部地殻が、地球の成因、大陸地殻の成因に大きな役割を演じたことが明らかであるならば、中部地殻の実態解明は急務である。この謎の解明にむけて、地球深部探査船「ちきゅう」をつかって、人類として初めて、海底下 5.5 キロを掘削し、「生まれたての大陸」を持ち帰るプロジェクトが進んでいる。

キーワード: 伊豆小笠原マリアナ弧, 安山岩, 海洋性島弧

Keywords: IBM arc, andesite, oceanic arc

富士川河口断層帯 - 糸魚川静岡構造線横断地下構造探査 (FIST) 報告 (2) Report on the Fujikawa kako fault system ~ Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line seismic pro- filing, FIST. (2) Deep structure

伊藤 谷生^{1*}, 狩野 謙一², 池田 安隆³, 津村 紀子⁴, 阿部 信太郎⁵, 野崎 謙治⁴, 山北 聡⁶, 武田 哲也⁷, 加藤 潔⁸, 佐藤 剛¹, 小森 次郎¹, 岩崎 貴哉³, 佐藤 比呂志³, 渡辺 俊樹⁹, 藤原 明¹⁰, 阿部 進¹⁰, 小田原 啓¹¹, 松浦好樹¹²
 Tanio Ito^{1*}, Ken-ichi Kano², Yasutaka Ikeda³, Noriko Tsumura⁴, Shintaro Abe⁵, Kenji Nozaki⁴, Satoshi Yamakita⁶, Tetsuya Takeda⁷, Kiyoshi Kato⁸, Go Sato¹, Jiro Komori¹, Takaya Iwasaki³, Hiroshi Sato³, Toshiki Watanabe⁹, Akira Fujiwara¹⁰, Susumu Abe¹⁰, Kei Odawara¹¹, Yoshiki Matsuura¹²

¹ 帝京平成大学, ² 静岡大学, ³ 東京大学, ⁴ 千葉大学, ⁵ 産業技術総合研究所, ⁶ 宮崎大学, ⁷ 防災科学技術研究所, ⁸ 駒澤大学, ⁹ 名古屋大学, ¹⁰ 地球科学総合研究所, ¹¹ 神奈川県温泉地学研究所, ¹² ジベック
¹ Teikyo Heisei University, ² Shizuoka University, ³ University of Tokyo, ⁴ Chiba University, ⁵ AIST, ⁶ Miyazaki University, ⁷ NIED, ⁸ Komazawa University, ⁹ Nagoya University, ¹⁰ JGI, ¹¹ Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, ¹² Geebec

通常の処理法に基づく深部反射法断面, 広角反射法断面上には多数の反射波列が認められるが, これらから直接的に深部地下構造を解釈するのは困難を伴う。そこで以下の手法によって速度不均質と反射パターンの可視化を試みた。

1. トモグラフィー解析結果による速度構造を反射法断面上にオーバーレイする。
2. MDRS (Multi-dip reflection surface) 法 (Aoki et al., 2010) によって得られた断面上で卓越する反射パターンをグルーピングしてその領域を定めていく。その際, 卓越パターンを客観的に識別する手法として,
 - 1) 反射波列のスケルトン化。スケルトン化されたセグメント長による分類。
 - 2) スケルトン化アトリビュートの平均傾斜, 連結度による分類。

その結果, 本地域の地下構造は東から西に向かって次の A から E までの 5 領域に区分される。

A: 富士川河口断層帯前縁

深度 4000m 位まで水平に近い反射パターンが卓越する。ただし西傾斜逆断層伏在の可能性もある。

B: 富士川河口断層帯から野下断層まで

大宮, 安居山, 芝川, 野下という西傾斜逆断層が東から西に向かって配列し, 深度約 6000m に至るまで西傾斜の反射パターンが卓越する。トモグラフィー解析による速度構造を基にして考えると, 断層の活動性は野下断層から順に東に向かって弱くなっている。活構造という点で芝川断層から大宮断層までを富士川河口断層帯としているが, 構造的には野下断層から大宮断層までは同一と考えてよい

C: 野下断層から根熊断層まで

西傾斜逆断層の野下断層と同じく西傾斜でありながら正断層の根熊断層までの領域で西傾斜の反射パターンが深度約 5000 m まで卓越する。

D: 根熊断層から田代峠・音下断層まで

地表における地層分布, 反射パターン, 速度構造のいずれからも向斜構造を示す。西縁の田代峠・音下断層は逆断層成分を有する左横ずれ高角西傾斜断層であり, 5000m/s という高速度層に約 2500m の垂直変位を与えている。

E: 田代峠・音下断層から十枚山構造線

糸魚川 - 静岡構造線を中心とする高角西傾斜左横ずれ断層帯である。反射パターンは高角西傾斜が卓越する。

これらの領域のうち富士川河口断層帯を含む B の逆断層群と深部に位置するフィリピン海プレートとの関係が重要であるが, 例えば四国沖で認められるようなフィリピン海プレートの上面形状を直接示す明瞭な反射イベント (Ito et al., 2009) は今回の探査においては確認できなかった。衝突し, 沈み込むフィリピン海プレートも島弧地殻を有しているので, 上盤側との物性的コントラストが極めて弱いためであろう (高橋他, 2010)。しかし, 西傾斜の反射イベントが集中する厚さ約 2km の帯 (DEZ) が, 地表における大宮断層の下, 深度約 5000 m から西傾斜 20~25° で追跡できる。DEZ の底面は比較的明瞭でそれ以深では急激に貧反射状態になる。この底面は防災科技研の Hi-net データから推定されるプレート上面位置付近にほぼ対応していることから, DEZ はプレート沈み込みに直接関係する構造と判断されよう。大宮断層の深部延長は深度 6000~7000 m 付近でこの DEZ に接続している可能性が高い。一方, 芝川断層に伴う西傾斜の強い反射面群は深度 5000 m 付近で緩やかな東傾斜イベント群に接し, それより以深は不明瞭になる。この緩やかな東傾斜イベント群は速度 5300m/s のコンターに対応している。一方, 田代峠・音下断層を含めて E の断層群とフィリピン海プレートとの関係は明らかにできなかった。

【文献】Aoki, N. et al. (2010) SEG Expanded Abstract 29,3604 / Ito, T. et al. (2009) Tectonophysics, 472, 124-134 / 高橋成実他 (2010) 地球惑星科学連合予稿集 SSS027-P12

【謝辞】東大名誉教授松田時彦先生ならびに産総研杉山雄一氏には未公表のフィールドデータを見せていただき, 現地においてもご教示を受けた。本研究は JSPS 科学研究費補助金 (基盤研究 A = 課題番号 23244098), 科学技術戦略推進費地域再生人材創出拠点形成事業「災害科学的基礎を持った防災実務者の養成」研究助成 (静岡大学防災総合センター),

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG68-12

会場:303

時間:5月23日 17:15-17:30

帝京平成大学ならびに千葉大学理学研究科地殻構造研究室からの支援によってなされた。これらの方々，機関に深く感謝する。

キーワード: 富士川河口断層帯, 糸魚川静岡構造線, フィリピン海プレート, 地震探査, MDRS

Keywords: Fujikawa kako fault system, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Philippine Sea Plate, seismic survey, MDRS

日高衝突帯のリソスフェア構造の再検討 2. 平取-帯広 測線

Reinterpretation of the lithospheric structure beneath the Hidaka collision zone, Hokkaido, Japan 2 Biratori-Obihiro Line

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

Takaya Iwasaki^{1*}, Noriko Tsumura², Tanio Ito³, Hiroshi Sato¹, Eiji Kurashimo¹, Naoshi Hirata¹, Kazunori Arita⁴, Katsuya Noda⁵, Akira Fujiwara⁵, Susumu Abe⁵, Shinsuke Kikuchi⁶, Suzuki Kazuko⁷

¹ 東京大学地震研究所, ² 千葉大学大学院理学研究科, ³ 帝京平成大学, ⁴ 北海道大学総合博物館, ⁵ 地球科学総合研究所, ⁶ 石油資源開発株式会社, ⁷ シュランベルジャー

¹ERI., the University of Tokyo, ²Graduate School of Science, Chiba University, ³Teikyo-Heisei University, ⁴The Hokkaido University Museum, Hokkaido 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 where the Kuril Arc (southern part of eastern Hokkaido) has been collided against the NE Japan Arc (western Hokkaido) since the middle Miocene. This collision is a controlling factor for the formation of the Hidaka Mountains, the westward obduction of the middle/upper part of lower crustal rocks of the Kuril Arc (the Hidaka Metamorphic Belt) and the development of the foreland fold-and-thrust belt. A series of seismic reflection/refraction surveys from 1994 to 2000 revealed the collision and deformation processes occurring in this region (e.g. Arita et al., 1998; Tsumura et al., 1999; Ito et al., 2002). As indicated by Tsumura et al. (2013, this symposium), the high quality of these data sets has large potentiality to provide more clear collision image and new geological finding with the use of more advanced processing and interpretation techniques including CRS/MDRS method.

This paper focus on the reanalysis for the data sets from "the Hokkaido Transect Project from 1998 to 2000", which was multidisciplinary effort intended to clarify the structural deformation process associated with the arc-arc collision. The element of the active source experiment in this project was composed of a 227-km seismic refraction/wide-angle reflection profile running middle part of Hokkaido and three seismic reflection lines from the hinterland to the foreland (Biratori-Obihiro) crossing the Hidaka Mountains.

The previous study for these data sets, mainly based on the forward modelling by the ray-tracing technique, revealed the collision structure in the upper and middle crustal levels beneath the Hidaka Mountains, and a thick sedimentary package developed beneath the fold-and-thrust belt (Iwasaki et al., 2004).

Generally, refraction/wide-angle reflection method and near-vertical reflection profiling are complimentary to each other. Therefore, simultaneous evaluation for these two kinds of data set is expected to yield significant improvement for structural modelling and its geophysical/geological interpretation. In the present analysis, seismic tomography analysis was applied to a combined set of a large amount of near vertical reflection data and the refraction data. This analysis was mainly undertaken to confirm the validity of the upper 20-km crustal structure deduced from the previous result (Iwasaki et al. 2004) and quantitatively evaluate the resolving power of the data sets and the reliability of the structure model. The obtained image is well consistent with the previous result, showing a thick (4-5 km) undulated sediments in the hinterland, the outcrop of crystalline crust beneath the Hidaka Metamorphic Belt with higher Vp and Vp/Vs, probably expressing the obduction of the middle/lower crustal materials, and an enormously thick (>8 km) sedimentary package beneath the foreland. The CRS /MDRS processing for the reflection data provided clearer images of the base of the obducting lower crustal part of the Kuril Arc and shallow structural packages within the fold-and-thrust belt. Furthermore, it succeeded in imaging eastward dipping events around 25-35 km depth beneath the Hidaka Mountains. These reflectors, which were not imaged by the previous conventional CDP processing, are situated below the offscraped and thrust-up part of the Kuril Arc crust, probably representing the lower crustal part and upper mantle of the NE Japan Arc. In several record sections of the wide-angle data, we can recognize weak later phases at a rather distant offsets (> 80-100 km). Their travel times are explained fairly well by the eastward dipping lower crust and Moho of the NE Japan Arc as indicated by the CRS/MDRS imaging.

キーワード: 日高衝突帯, 千島弧, 地殻剥離, 東北日本弧

Keywords: Hidaka Collision Zone, Kuril Arc, Delamination, NE Japan Arc

遠地地震トモグラフィーによる日本列島深部の3次元S波速度構造 3-D shear-wave velocity structure of the Japan subduction zone from teleseismic tomography

浅森 浩一^{1*}, 趙 大鵬²

Koichi Asamori^{1*}, Dapeng Zhao²

¹ 日本原子力研究開発機構, 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター, ² 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター

¹Japan Atomic Energy Agency; Department of Geophysics, Tohoku University, ²Department of Geophysics, Tohoku University

これまで、地震波トモグラフィーなどの地震学的な手法により、太平洋スラブ及びフィリピン海スラブの沈み込みやマントル・ウェッジにおける流体の分布などの日本列島下における深さ約 200 km までの地殻、上部マントルの構造が明らかにされてきた。しかしながら、それらの研究の多くは近地地震データのみを用いているため、フィリピン海スラブの到達深度やスラブ下の構造については十分な知見が得られていない。これに関して、近年、近地及び遠地地震データを用いた地震波トモグラフィーによる日本列島深部の3次元P波速度構造の推定が行われているものの(例えば, Zhao et al., 2012), 特に流体などの存在に敏感な日本列島深部の3次元詳細S波速度構造は未だ推定された例が無い。そこで本研究では、防災科学技術研究所によるHi-netにより記録された遠地地震波形データより多量のS波到達時刻を読み取り、近地地震の到達時刻データを併せた地震波トモグラフィー(Zhao et al., 1994)により、日本列島下における深さ700 km までの詳細な3次元S波速度構造の推定を初めて行った。

本研究に用いた近地地震データは、気象庁及びHi-netで観測された1180個の地殻地震と深発地震によるものであり、それに含まれるS波到達時刻データは約101,200個である。また、遠地地震データは、日本列島全域にわたって密に展開されるHi-netにより記録された震央距離30°から90°までの25個の遠地地震(M 6.1-8.1)波形から読み取った17,167個のS波到達時刻データである。これらの到達時刻データをZhao et al. (1994, 2012)による地震波トモグラフィー法に適用し、インバージョンによって推定された3次元S波速度構造において、以下の特徴が認められた。

(1) 日本列島下に沈み込んでいる太平洋スラブ及びフィリピン海スラブが高速度異常体として明瞭にイメージされるとともに、マントル・ウェッジにおいてはスラブからの脱水と対流(corner flow)に起因すると考えられる低速度異常体が認められた。これらの3次元S波速度分布は、Zhao et al. (2012)により推定された3次元P波速度分布と同様のパターンを示す。

(2) 九州地方下に沈み込んでいるフィリピン海スラブに対応する高速度異常体が、対馬海峡と五島列島の下深さ約400 kmまで連続して認められる。

(3) 中国地方の島根半島沖において、沈み込んでいるフィリピン海スラブに対応すると考えられる高速度異常体が、太平洋スラブの直上である深さ約500 kmまで連続して認められる。

これらの結果はフィリピン海プレート沈み込みの歴史と日本列島の地質進化を考える上で重要であると思われる。

参考文献

Zhao, D., A. Hasegawa, H. Kanamori (1994) Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events. *J. Geophys. Res.* 99, 22313 - 22329.

Zhao, D., T. Yanada, A. Hasegawa, N. Umino, W. Wei (2012) Imaging the subducting slabs and mantle upwelling under the Japan Islands. *Geophys. J. Int.* 190, 816-828.

謝辞

本研究においては、防災科学技術研究所Hi-netにより記録された地震波形データを使用させて頂いた。記して感謝致します。

キーワード: 遠地地震トモグラフィー, 3次元S波速度構造, 日本列島の深部構造

Keywords: teleseismic tomography, 3-D shear-wave velocity structure, Japan subduction zone

地殻応力の空間的不均一性を把握する試み：地震のメカニズム解から推定される応力テンソルの非類似度に基づく地殻応力マッピング Spatial stress heterogeneity imaging by using difference between reduced stress tensors

大坪 誠^{1*}, 宮川 歩夢¹, 久保 篤規²

Makoto Otsubo^{1*}, Ayumu Miyakawa¹, Atsuki Kubo²

¹産総研地質情報研究部門, ²高知大学理学部

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Faculty of Science, Kochi University

地殻の状態を理解する上で、これまで地球物理的観測や、地質情報が大きな役割を果たしてきた。しかし、地殻のダイナミクスを理解するためには上記のような従来の情報に加え、ダイナミクスを駆動する応力の情報が重要である。

応力テンソルインバージョンを用いて、断層滑りやメカニズム解に対して最適な応力を決定することができる。また、多重逆解法により多数の震源メカニズムのセットから、複数種の応力あるいは応力の時間変化を定量化する方法が提案されている (Otsubo et al., 2008; *Tectonophysics* 457, 150-160)。しかしながら、多重逆解法により推定される応力は空間中のある点における情報として得られる。そのため、点情報としての応力情報から応力の空間的な広がりを推定することは困難である。

本発表ではある基準応力（任意に設定可能）と各地点の応力の類似度（あるいは非類似度）に基づいて応力の空間的な広がりを表現する手法を提案する。ここでは応力の類似度を定量化する手法として、Orife and Lisle (2003; *Jour. Struct. Geol.* 25, 949-957) によって提案された「非類似度 (stress difference)」を導入した。非類似度は各応力テンソル間の4次元のパラメータ（例えば、主応力軸のオイラー角、応力比）の類似性（または非類似性）を有限の値（スカラー）で表現できる。このように値として表現された応力の非類似度の点情報を空間的に補間することで、連続的に応力の空間不均一性を表現できる。発表では適用例として、活断層の一つである跡津川断層や中国・四国地域における解析結果を紹介する。上記のような応力マッピング手法により表現される応力の空間不均一性と、同様に空間的な広がりを持つ地球物理的観測情報や地質情報との対比により、地殻ダイナミクスを理解を深めることが期待できる。

本研究は原子力安全・保安院（現 原子力規制委員会原子力規制庁）「平成 24 年度地層処分に係る地質評価手法等の整備」として実施したものに、一部中国・四国地域の微小地震データを加えたものである。

キーワード: 応力逆解析, 発震機構, 多重逆解法, 断層活動, 地震, 地殻ダイナミクス

Keywords: stress inversion, focal mechanism, multiple inverse method, faulting, earthquake, crustal dynamics

深部地殻構造を明らかにするための長大展開反射法データによる屈折トモグラフィの高度利用：日本国内の地殻構造調査における事例 Advanced use of refraction tomography using long-spread reflection seismic data for exploring deep crustal structure

白石 和也^{1*}, 阿部 進¹, 佐藤 比呂志², 岩崎 貴哉²
Kazuya Shiraiishi^{1*}, Susumu Abe¹, Hiroshi Sato², Takaya Iwasaki²

¹(株)地球科学総合研究所, ²東京大学地震研究所

¹JGI, Inc., ²Eathquake Research Institute, the University of Tokyo

(1) 近年の深部地殻構造探査

近年、有線テレメトリー受振システムと独立型データ収録システムを併用することにより、陸域及び浅海域における長大かつ稠密な受振測線の展開が可能となった。また、発震については、陸上では機動性の高いパイプレータと大質量ダイナマイト、海上ではエアガンを利用して、稠密反射法データと屈折法データの効率的な同時取得が実現した。

これまで、深部地下構造(深度10~20km程度)を対象として、測線長が50kmを超える長大展開反射法地震探査による大規模地殻構造調査が行われ、深部の地殻構造が明らかとされてきた。この成果に大きく寄与した技術には、長大オフセット領域の深部反射波の利用に加え、反射法データと屈折法データの両方を利用した高密度な屈折走時トモグラフィ解析が挙げられる。本講演では、長大展開反射法のデータ取得および屈折トモグラフィ解析の高度利用についてこれまで日本国内で実施した事例を交えて示す。

(2) 深部地殻構造探査における標準的な調査スペック

測線長50kmを超える長大展開反射法における標準的な調査スペックを記述する。受振については、海域では25m間隔(海底着底ケーブル固有)、陸上では50m間隔と千以上の受振点を稠密に設置する。反射法の場合には発震点から概ね15km以上の展開を確保し、屈折法の場合には全域固定展開によりデータ収録する。発震については、反射法の場合、陸上では大型パイプレータ4台により150m~250m間隔で発震を行い、海上のエアガンは25mまたは50mの間隔で発震を行う。屈折法の場合、陸上は100kg以上の大質量ダイナマイト発震と大型パイプレータ4台による100スイープ以上の多重発震を組み合わせ、海上では30回以上のエアガン多重発震を行い、約5km間隔の高エネルギー発震記録を取得する。

(3) 長大展開反射法データに基づくトモグラフィ解析

解析に利用する初動走時データは、稠密な発震の反射法データと少数ながら高品質の屈折法データのすべてについて、可能な限り発震点から遠くまで目視により手動で読み取りを行い作成する。屈折初動走時トモグラフィ解析は、この観測走時データを入力として、初期速度モデルに対して有効な全ての発震点と受振点について波線追跡により走時計算を行い、計算走時と観測走時の差が小さくなるように速度モデルを更新する。走時残差が十分に収束するまで走時計算と速度モデル更新を繰り返し、地下のP波速度分布を推定する。

(4) 初期モデルランダム化によるトモグラフィ解析結果の評価

非線形性が大きく初期モデルへの依存性の高いトモグラフィ解析なので、解の不確実性を評価するため初期モデルランダム化によるモンテカルロ不確実性解析を行う。稠密にデータ収録が行われ高密度な走時データを利用するため、初動読み取り誤差に比べて初期モデルへの依存度の方が解へ与える影響は大きいと考えられる。そこで、ある条件下でランダムに生成した100以上の初期モデルに対してトモグラフィ解析を実施し、モデルの各点においてすべてのトモグラフィ結果を平均化することにより統計的最適な速度モデル(平均速度モデル)と不確実性の空間分布として平均値からのばらつき(標準偏差分布)を得る。少ない波線が偏在して解が不確定になりやすい場所や速度構造の急変する場所において、初期モデルの違いによる解析結果の相違が現れ、比較的高い標準偏差値が分布する。

(5) カスケードトモグラフィによる速度モデルの再決定

上記の初期モデルランダム化を実施すると、速度構造の急変する場所で初期モデルへの依存度が高いため、標準偏差が相対的に高い値を示すとともに、平均化による速度構造の空間的平滑化の傾向が見られる。この問題への対処として、多数のトモグラフィ結果の平均化から得られた速度モデルを最尤な初期モデルとして使用し、再度トモグラフィを実施することで速度構造を再決定する。この際、初期モデルに利用した速度構造は既に走時残差が十分に収束した状態であることがほとんどなので、再計算の際には比較的少ない更新回数で速度モデルの微調整を行うことがねらいである。これにより平滑化されて曖昧となった速度境界の復元が期待される。実際、この方法でなされる速度更新は標準偏差の値が比較的高い部分に対応する。

キーワード: 反射法地震探査, 屈折トモグラフィ, モンテカルロ不確実性解析, カスケードトモグラフィ
Keywords: reflection seismic, refraction tomography, Monte Carlo uncertainty analysis, cascade tomography

日高衝突帯のリソスフェア構造の再検討 1. 概要 Reinterpretation of the lithospheric structure beneath the Hidaka collision zone, Hokkaido, Japan 1. Outline

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

Noriko Tsumura^{1*}, Takaya Iwasaki², Tanio Ito³, Kazunori Arita⁴, Eiji Kurashimo², Hiroshi Sato², Naoshi Hirata², Katsuya Noda⁴, Akira Fujiwara⁴, Susumu Abe⁴, Shinsuke Kikuchi⁵, Katsuko Suzuki⁶

¹ 千葉大, ² 東大地震研, ³ 帝京平成大, ⁴ 地球科学総合研究所, ⁵ 石油資源開発, ⁶ シュランベルジェ

¹Chiba Univ., ²ERI, Univ of Tokyo, ³Teikyo Heisei Univ., ⁴JGI Inc., ⁵JAPEX, ⁶Schlumberger

An arc-arc type collision between the northeastern (NE) Japan arc and the Kuril arc has formed Hidaka collision zone (HCZ) in south-central Hokkaido Japan. From detailed geologic information, it is known that Kuril arc crust is thrusting westward on the NE Japan arc along the Hidaka Main Thrust (HMT).

To clarify the subsurface structure of the deeper part, several reflection/refraction surveys across the HCZ were carried out in the period from 1994 to 2000 by the group of University of Tokyo, Hokkaido University and Chiba University (e.g. Arita et al., 1998; Tsumura et al., 1999; Ito et al., 2002, Iwasaki et al. 2004). The seismic profiles reveal that distinct east-dipping reflectors are dominant in the eastern side of the HMT. Especially, in the Hidaka94-97 transects, the upper portion of the Kuril lower crust is characterized by numerous east-dipping reflectors, whereas west-dipping reflectors dominate the lower part of the lower crust. From this reflector configuration, the lower crust of the Kuril arc is interpreted to be delaminated by the collision.

Recent results of travel time tomography showed that the existence of east-dipping high velocity zone at the eastern side of the HMT and low velocity zone intruded beneath the high velocity zone. These velocity images well coincide with the feature seen in the reflection profiles in the shallower part. However, it seems that there are some disagreements between velocity images and reflection profiles in the deeper part. Since it was difficult to argue rock composition only from the estimated velocities or from reflection events, we examined to detect reflectors at the deeper extension of lower part of the lower crust by using multi-dip reflection surface (MDRS) method (Aoki et al., 2010). MDRS analysis is an effective tool to emphasize the weak dipping reflections and it provides us new information about a deeper part beneath the HCZ.

キーワード: 日高衝突帯, デラミネーション, 反射法地震探査, 走時トモグラフィ

Keywords: Hidaka collision zone, delamination, seismic reflection survey, travel time tomography

富士川河口断層帯 - 糸魚川静岡構造線横断地下構造探査 (2012FIST) 報告 (その1) 富士川河口断層帯浅部構造

Report on the Fujikawa kako fault system ~ Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line seismic profiling, FIST.

狩野 謙一^{1*}, 池田 安隆², 伊藤 谷生³, 野崎謙納⁴, 山北 聡⁵, 武田 哲也⁶, 阿部 信太郎⁷, 岩崎 貴哉², 加藤 潔⁸, 佐藤剛³, 佐藤 比呂志², 渡辺 俊樹⁹, 藤原 明¹⁰, 阿部進¹⁰, 小田原 啓¹¹, 松浦芳樹¹²

Ken-ichi Kano^{1*}, Yasutaka Ikeda², Tanio Ito³, NOZAKI, Kenji⁴, Satoshi Yamakita⁵, Tetsuya Takeda⁶, Shintaro Abe⁷, Takaya Iwasaki², Kiyoshi Kato⁸, SATO, Tsuyoshi³, Hiroshi Sato², Toshiki Watanabe⁹, Akira Fujiwara¹⁰, ABE, Susumu¹⁰, Kei Odawara¹¹, MATSUYRA, Yoshiki¹²

¹ 静岡大学, ² 東京大学, ³ 帝京平成大学, ⁴ 千葉大学, ⁵ 宮崎大学, ⁶ 防災科学技術研究所, ⁷ 産業技術総合研究所, ⁸ 駒沢大学, ⁹ 名古屋大学, ¹⁰ 地球科学総合研究所, ¹¹ 神奈川県温泉地学研究所, ¹² ジーベック

¹ Shizuoka University, ² University of Tokyo, ³ Teikyo-Heisei University, ⁴ Chiba University, ⁵ Miyazaki University, ⁶ NIED, ⁷ AIST, ⁸ Komazawa University, ⁹ Nagoya University, ¹⁰ JGI, ¹¹ Onken, Kanagawa Prefecture, ¹² Geebec

富士山南西麓から南アルプス南端に至る地域は、伊豆弧衝突域西部からフィリピン海プレート沈み込み域への漸移帯と考えられ、陸域活断層の中では最大級の活動度を有するとされる富士川河口断層帯、その西方には南部フォッサマグナにおける断層系を構成する根熊断層、徳間断層、さらに糸魚川-静岡構造線ならびにそれと併走する断層群が密集するという複雑な地質構造を示す。しかしながら、反射法など地震探査による既存の地下構造データは乏しい。そこでこれらの断層群の地下構造把握と、北西方向に沈み込むフィリピン海プレートとの関係解明へ向けての基礎データ取得を目的として富士川河口断層帯 - 糸魚川静岡構造線横断地下構造探査 (Fujikawa kako fault system ~ Itoigawa-Shizuoka Tectonic line seismic profiling = FIST) が新東名高速道路開通直前の2012年4月5~14日に実施された。測線は、静岡県富士市大淵地区を東端として新東名高速道路側道にそって星山丘陵に到達し、富士宮市、山梨県南巨摩郡南部町を經由して竜爪山地を横断し、静岡市葵区梅ヶ島地区に至る東西約36kmである。探査の仕様は、深部反射法ならびに広角反射・屈折法解析が可能であるように設定するとともに、富士川河口断層帯を構成する大宮断層、安居山断層に対しては特に高分解能探査を実施し浅部の構造解明を目指した。本講演においては、FIST報告(その1)として浅部構造について現段階で明らかになったことを示す。深部構造についてはFIST報告(その2)で示す。

(1) 大宮断層

Yamazaki (1992) は東傾斜正断層としているが、高分解能反射法断面によれば海拔 - 1000m 程度までは東西方向の西傾斜見かけ約20°の、それ以深は40°弱の逆断層として、下盤側に引きずり褶曲を伴いつつ深度2000mくらいまでは確実に追跡される。これらを反射法断面で地表へ延長させると、星山丘陵稜線付近に到達する。トモグラフィー解析によれば、約3600m/sの地層(現段階では地質学的実体は不明)に約1000m垂直変位させている。これまで、大宮断層のトレースについては中田他(2000)が変動地形学的研究によって北方よりN60°W - S60°Eの星山丘陵北東縁に沿って南東に向かい、富士市天間西方でN30°W - S30°Eの星山丘陵東縁にそって急変すると推定している(都市圏活断層『富士宮』)。しかし、反射法断面を見る限り、星山丘陵東縁のトレースは断層ではなく下盤側引きずり褶曲のヒンジに相当すると考えられる。これらの結果を踏まえて更なる地表地質調査が必要である。

大宮断層の東方約2 kmにも低角逆断層が伏在している可能性が高い。

(2) 安居山断層

高分解能反射法探査では情報を得ることができなかったが、安居山断層の東方約1kmに小規模な逆断層の存在が予想される。

(3) 芝川断層

高分解能反射法測線の外であるが、(その2)で詳述するように西傾斜約45°の逆断層で約深度3500m位までは追跡される。4200m/sの地層に対しては1000m垂直変位させているものの、それ以浅の3600m/sの地層の垂直変位は500m程度にとどまっている。このことは、富士川河口断層帯の活動性が東方の大宮断層へシフトしていることを示唆しているといえよう。

なお、芝川断層の西方約2 kmに並走する野下断層も西傾斜約45°の逆断層である。4200m/sの地層以浅には変位を与えていないので富士川河口断層帯のような活構造ではないが、それに先立って活動したと考えられる。そうであるならば、地質構造的には野下断層から大宮断層さらにはその東方に推定される伏在逆断層は一連のものであり、その活動性は西から東へシフトしていると判断されよう。

野下断層以西の断層群の浅部構造は反射断面では確認できなかった。しかし、本研究において根熊断層ならびに田代峠・音下断層の主たる運動センスについては断層岩解析から新知見(野崎他、2012)を得たので報告する。

(4) 根熊断層

松田(1961)では逆断層としているが、西傾斜正断層である。これは断層上盤側の地層が下盤側より新しいという

事実とも整合的である。

(5) 田代峠・音下断層

松田(1961)では逆断層としているが、主要な運動センスは左ずれ成分を含む逆断層である(左ずれ1に対して逆断層成分が1~2程度)。ただし、右ずれを示す変形構造も、認められる。

中田高他(2000)都市圏活断層図『富士宮』、国土地理院技術資料D・1 - No.375

野崎謙治他(2012)日本地質学会第119年学術大会講演要旨集、R14-P-6

松田時彦(1961)地質学雑誌, 67, 79-96

Yamazaki(1992) 地質調査所月報, 43, 603-657

キーワード: 富士川河口断層帯, 糸魚川帆静岡構造線, 反射法地震探査, 浅部構造

Keywords: Fujika kako fault system, Itoigawa-shizuoka Tectonic Line, seismic profiling, shallow structure

2011年東北地方太平洋沖地震後の銚子付近の浅発地震の発生機構 Generation mechanism of shallow earthquakes near Choshi after 2011 Off Tohoku earthquake

木村 尚紀^{1*}

Hisanori Kimura^{1*}

¹ 独立行政法人 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED)

銚子付近では、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートおよび日本海溝から沈み込む太平洋プレートが重なり、複雑なプレート構造を反映して様々なタイプの地震が発生する。房総沖では、プレート運動の指標とみなせる小繰り返し地震と深部構造探査との比較により、フィリピン海プレート最上部の地殻物質が現在底付けされつつあることが明らかとなった (Kimura et al., 2010)。銚子付近では 10km 以深で顕著な反射帯がイメージングされ、過去に底付けされた物質が蓄積された可能性がある (Kimura et al., 2010)。

2011年東北地方太平洋沖地震後、銚子付近では多数の地震が発生した。特に、20km 以浅の領域はそれまで顕著な活動はなかったが、M6級の地震が2イベント発生した (2011年3月16日 Mw5.8、2012年3月14日 Mw5.8、防災科学技術研究所 (防災科研)AQUA より)。この領域の東北地方太平洋沖地震後の地震活動を詳細に把握することを目的として、詳細震源分布を決定し各種データと比較した。

銚子付近の2009年1月1日から2012年4月1日までに発生した地震を対象として、防災科研 Hi-net 等のデータによる読み取り値および波形相関解析による相対走時差データをもとに Double Difference (DD) 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) により詳細分布を決定した。また、松村他 (2006) によるセントロイドモーメントテンソル (CMT) 解析手法を用い、防災科研 F-net のデータを解析した。

得られた結果を見ると、深さ 20km 以浅で顕著な地震クラスターが認められる。特に 10-15km に集中し、これと比較して 15-20km では地震は少ない。この領域の CMT 解はほぼすべて西南西-東北東から西北西-東南東方向に伸長軸を有する正断層型である。次に、深さ 25-30km に、北西方向にゆるやかに傾斜する顕著な地震面が見られた。これは、小繰り返し地震に基づいて同定されたフィリピン海プレート上面 (Kimura et al., 2006) の東方延長に相当すると考えられ、またフィリピン海プレート上面のすべり方向と調和的な低角逆断層型の CMT 解が得られている。深さ 35-50km にはいくつかの地震クラスターが西に傾斜する面上に分布する。これは太平洋プレート上面に相当すると考えられ、CMT 解も調和的であり、この面に沿って小繰り返し地震が分布する。

銚子付近の深さ 20km 以浅の活動を詳しく見ると、2012年3月14日の地震 (以後、本震とする) 後 24時間の余震 (以後、余震とする) は、ほぼすべて東方向に約 40°で傾斜する面に沿って深さ 10-15km の範囲に分布し、これより浅部にわずかに疎に分布する。本震は面状分布の深部延長に約 2-3km 離れて位置する。余震と本震の関係から、東傾斜の面状分布が断層面に相当すると考えられる。この地震に伴って、近傍の国土地理院 GEONET 点 (銚子、干潟観測点) で東方向に約 1cm、西南西方向に約 0.2cm の水平変動が捉えられた。データが限られるため、対象領域を地震面の近傍に設定し、矩形断層モデルのインバージョン解析を行った。その結果、幅 6km、長さ 15km、すべり量 45cm の暫定断層モデルにより、水平変動の向きおよび変動量がほぼ再現された。本震の CMT 解は東西伸長の正断層型であり、東傾斜の節面が余震の面状分布と調和的である。銚子付近の深さ 20km 以浅では、東北地方太平洋沖地震前もわずかに地震が発生していた。この活動域は本震より約 10km 南東に離れて位置し、本震の発生した断層面とは異なる。東北地方太平洋沖地震後は、この領域および本震の発生域を含めて地震が多数発生している。東北地方太平洋沖地震以前も発震機構解は東西伸長の正断層型が卓越する。

以上の結果より、銚子付近の 20km 以浅の活動はフィリピン海プレートのプレート境界すべり面より浅い領域で発生したと言える。深さ 10km 前後の活動は、前述の反射帯の上限付近に相当する。10-20km でも地震が見られたことは、過去に底付けされた物質内でも、外的な応力変化により地震が発生しうることを示唆している。銚子付近の 20km 以浅では東北地方太平洋沖地震以前からほぼ東西方向の伸長応力場であり、東北地方太平洋沖地震により東西伸長が強まり地震が多発したと考えられる。

謝辞: 解析に気象庁, 東京大学, および国土地理院のデータを使用させて頂きました。

キーワード: 浅発地震, セントロイドモーメントテンソル, 詳細分布

Keywords: Shallow earthquake, Centroid moment tensor, detailed hypocenter

重力測定による双葉断層の浅部地下構造の推定

Shallow geologic structure of the Futaba fault, northeast, Honshu, Japan, based on gravity survey

照井 匡子^{1*}, 越谷 信², 櫻井翔平², 佐藤 比呂志³, 石山 達也³, 加藤 直子³, 阿部 進⁴, 東中 基倫⁴

Kyoko Terui^{1*}, Shin Koshiya², SAKURAI, Syohei², Hiroshi Sato³, Tatsuya Ishiyama³, Naoko Kato³, Susumu Abe⁴, Motonori Higashinaka⁴

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

¹Iwate Univ., ²Iwate Univ., ³ERI, Univ. of Tokyo, ⁴JGI, Inc.

1. 背景と目的

双葉断層は、数百 m の破碎帯を伴う白亜紀に活動した大規模な左横ずれ断層として知られている。この断層は NNW-SSE 走向で、阿武隈山地北部で断層は西側の F1、東側の F2 断層に分かれ、その間に割山ホルストを形成している。前期から中期中新世には、東西引張応力場は、西側の断層 F1 に沿って大きな垂直変位を引き起こし、崖錐性角礫を含む碎屑堆積物で半地溝を埋積した。現在では東側の断層 F2 は西側隆起成分を伴う左横ずれ活断層とされている。双葉断層の新第三紀以降の活動史は複雑であり、解明されていない点も多い。そこで、地下構造解明及び密度構造のモデル化のため、双葉断層周辺における重力調査を行った。

2. 調査概要

(1) 調査測線

調査測線は、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方向の約 12km の区間である。測線東端から約 3-6km 地点で割山ホルストを横切る。重力測定点は、平野部では約 200m、双葉断層付近である割山ホルストでは約 100m 間隔で行い、測定点数は 71 点である。

(2) 調査手法

重力測定にはラコステ・ロンバーグ型重力計 (G824) を使用し、重力測定の読み値の誤差は 0.02mGal 以内とした。各測点では補正に必要な測定時刻及び測点を中心とする近傍の二次断面の地形を記録した。また、測定点の標高を得るため電子レベル (ライカ SPRINTER) で水準測量を行った。閉合誤差は 7mm である。

3. 測定重力値の補正

データ処理は、地質調査総合センター (2004) に概ね従っており、読み値の換算、潮汐補正、ドリフト補正を行い、さらに地形補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行いブーゲー異常値を算出した。ブーゲー補正は球面ブーゲー補正とし、地形補正の範囲は 45 km とした。フリーエア補正に用いる正規重力式の近似式には測地基準系 1980 を用いている。加えて広域ブーゲー異常の影響を取り除くためトレンド補正を行った。なお、補正に必要な仮定密度は 2.2 g/cm^3 を用いた。

4. 測定結果

トレンド補正後のブーゲー異常値は 102.5 mGal から 88.6 mGal である。最大値は新生代以前の堆積物が分布する割山ホルストで観測された。海成の鮮新世の堆積物がみられる割山ホルストの東側では、値は東端から西へ緩やかに減少する。主に前期から中期中新世の層で構成される割山ホルストの西側では、2 つの極大を示す。この 2 つの極大は半地溝によるものと考えられる。

講演では密度構造モデルに基づいて F1、F2 断層と半地溝との関係を示す予定である。

相馬-米沢測線の地殻構造探査: 活断層の深部形状と構造形成

Deep seismic profiling across the fore arc of central northern Honshu, Japan: Soma-Yonezawa seismic line

佐藤 比呂志^{1*}, 石山 達也¹, 加藤 直子¹, 東中 基倫², 蔵下 英司¹, 越谷 信³, 岩崎 貴哉¹, 阿部 進²

Hiroshi Sato^{1*}, Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Motonori Higashinaka², Eiji Kurashimo¹, Shin Koshiya³, Takaya Iwasaki¹, Susumu Abe²

¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所, ³ 岩手大学工学研究科

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ² JGI, Inc., ³ Iwate University

2011年東北地方太平洋沖地震は、東北日本の太平洋側の地域に大きな地殻変動と応力変化を発生させた。この粘弾的に継続する地殻変動によって、断層面にかかる応力を評価していくことは、地震の発生ポテンシャルを評価する上で重要なアプローチである。このためには、地殻構造や震源断層の形状を明らかにしておく必要がある。文科省の受託研究「東北地方太平洋地震の重点的調査観測プロジェクト」の一環として、活断層の深部形状・地殻構造を明らかにする目的で、相馬から米沢に至る70kmの測線で制御震源を用いた地殻構造探査を2012年8月に実施した。この測線は、海洋研究開発機構が実施する相馬沖から海溝・アウターライズへと伸びる地殻構造探査測線の内陸への延長にある。相馬-米沢測線でスラブの形状を明らかにするために、測線沿いでは40地点で4ヶ月にわたり自然地震観測を行うとともに、海洋研究開発機構が海域で実施したエアガン発震を受振した。本報告では、解析が終了している陸域で発震した地殻構造探査について報告する。

本測線には先新第三系の阿武隈山地に広く露出し、奥羽山脈には新第三系のグリーンタフを中心とした火山砕屑岩が露出する。屈折トモグラフィ解析によって明らかになった速度構造から見て、西部でのP波速度5.4km/sの上面は海拔高度下1km程度に位置し、全体に薄い。これらの堆積層・火山砕屑岩は、日本海形成期のグラーベン内に堆積したもので、その東縁はほぼ福島盆地西縁断層帯となる。

本測線に位置する活断層として、双葉断層と福島盆地西縁断層帯がある。双葉断層の中南部は、阿武隈山地の花崗岩類の東端を限る断層であるが、北部は西に中期中新世のハーフグラーベンを伴う。このグラーベンを充填して、構造断面では厚さ約1kmの堆積層が分布している。このハーフグラーベンの東側には幅4kmほどの細長い割山ホルストが位置し、さらにその西側の割山ホルストの基部に西傾斜の逆断層が発達する。これらの地質構造は、白亜紀の大規模な横ずれ断層として活動した双葉断層が、初期中新世に西傾斜の正断層として再活動し、さらに西南西-東南東方向の圧縮応力場によって、高角度の正断層をショートカットすることによって作られたと解釈される。この双葉断層の深部延長では約45度程度西に傾斜する反射面群が、往復走時7秒付近まで追跡される。浅部のショートカット部分での傾斜は約30度である。福島盆地西縁断層帯は、背弧リフトの東縁を規制している断層で、深部反射では中角度で西に傾斜する反射面群が認められる。

キーワード: 双葉断層, 震源断層, 反射法地震探査, P波速度構造, 福島盆地西縁断層帯, 東北日本

Keywords: Futaba fault, seismogenic source fault, seismic reflection profiling, P-wave velocity structure, western boundary fault of Fukushima basin, northern Honshu

制御震源による房総半島の地震波速度構造

Crustal structure beneath the Boso Peninsula revealed by seismic refraction/wide-angle reflection profiling

中山 貴隆¹, 佐藤 比呂志^{1*}, 岩崎 貴哉¹, 阿部 進², 伊藤 谷生³Yoshitaka Nakayama¹, Hiroshi Sato^{1*}, Takaya Iwasaki¹, Susumu Abe², Tanio Ito³¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所, ³ 帝京平成大学¹ Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, ² JGI, Inc., ³ Tekyo-Heisei University

房総半島は関東地方の東縁に位置し、南側の相模トラフからフィリピン海プレートが沈み込んでいる。本地域ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う前弧域の地質体が陸上に広く露出している。それらは半島中軸部に位置する嶺岡帯を挟んで北側に前弧海盆堆積物が分布し、南側には付加体が分布している。また房総半島下に沈み込むフィリピン海プレートは、陸域の下で浅い位置に分布していることが知られている (Sato et al., 2005; Nakajima et al., 2009)。本研究では房総半島で取得されている地殻構造探査データを用いて、沈み込み帯前縁の地質構造や沈み込むプレート上面の構造を明らかにすることを目的とした。

房総半島では2002年に半島を北北東-南南西に縦断する測線で地殻構造探査が実施されている(佐藤ほか, 2003)。このデータに関してはこれまでに主として反射法による解析結果が報告されており、嶺岡帯北方の構造については明らかにされている。しかし、嶺岡帯を含む南部の付加体領域では良好な結果が得られておらず、また推定されたプレート形状については再検討が必要であった。

本研究ではこの構造探査データを用いて、初動走時トモグラフィ解析、初動及び広角反射波の走時を用いた波線追跡法解析、理論振幅計算による広角反射波の比較を行い、測線下のP波速度構造モデルを構築した。

その結果、嶺岡帯のP波速度は浅部では周辺より大きな値を示すものの、測線北部の新第三系基盤岩類より低速度である。また、嶺岡帯や嶺岡帯以南の付加体領域では嶺岡帯北方の先新第三系基盤に相当するような高速度な領域が分布していないことが明らかになった。嶺岡帯の北方には最大5 kmに及ぶ厚い新第三系以降の前弧海盆堆積物に相当する低速度領域が分布する。これら本測線でみられる諸特徴は、佐藤ほか(2010)で示された相模湾-東京湾の反射断面と類似している。嶺岡帯北方の堆積層下の基盤岩類には領家帯、三波川帯、秩父帯、四万十帯が分布している(林ほか, 2006)。この基盤岩類のP波速度は、測線北部(100~150 km)において測線中央部($V_p = 4.8\sim 5.1$ km/s)より速いP波速度(5.9~6.0 km/s)を示す。本地域の基盤岩類の帯状区分を推定するために、四国で取得された反射法地震探査断面(Ito et al., 2009)との比較をおこなった。また、測線北端付近(120~150 km)には、白亜系の堆積層に相当する低速度な領域(4.3~4.8 km/s)が分布することが明らかになった。

速度構造から嶺岡帯や嶺岡帯以南の付加体領域の地下には四万十帯に相当するようなP波速度の速い領域が分布していない。こうしたことから嶺岡帯は過去に沈み込んでいた太平洋プレートから現在のフィリピン海プレートの沈み込みに変わるときのプレート境界であったと考えられる。

また深部構造については得られた速度構造・反射面の分布から深さ30 km付近までの沈み込むフィリピン海プレートの上面の位置、陸側のプレートにおけるモホ面の位置を推定した。沈み込むフィリピン海プレートの上面の深度は測線南端付近で深さ10 km付近に位置し、約15°の傾きで北に向かって深くなっていく。またフィリピン海プレートの地殻の厚さは約10 km程度と推定した。陸側プレートのモホ面の深さは測線北端で約23 kmで、南に向かって少し浅くなるということが推定される。これらの結果から測線下においてフィリピン海プレートの上表面と陸側の地殻の接触域は測線南端から内陸側に50 km付近まで及びと推定される。この領域はGPS観測から求められた滑り欠損の領域(Sagiya, 2004)とほぼ一致している。

キーワード: 地殻構造, 房総半島, 地震波速度構造, 屈折法探査, 前弧構造, フィリピン海プレート

Keywords: Crustal structure, Boso Peninsula, seismic velocity structure, seismic refraction analysis, fore arc structure, Philippine Sea plate

ウェッジスラスト形成プロセスの数値実験:庄川複背斜を例として

A numerical model of deformation in an evolving thrust wedge: A case study of the Shogawa anticlinorium

北村 重浩¹, 佐藤 比呂志^{1*}, 加藤 直子¹, 石山 達也¹
Shigehiro Kitamura¹, Hiroshi Sato^{1*}, Naoko Kato¹, Tatsuya Ishiyama¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, The university of Tokyo

要旨

伏在する主断層から発達するスラストの先端部には、いくつかの構造形態のパターンが存在している (Vann et al., 1986)。近年、日本の第三系堆積物の中において、ウェッジスラストと呼ばれる楔状の逆断層の形態が発達していることが明らかにされてきた (佐藤・平田, 2000; Ishiyama et al., 2004 など)。伏在する主断層と地表で観察できる活断層との関連を理解する上で、断層先端部の形状を規定する条件を明らかにすることは、断層や褶曲の発達過程と活動特性を知る事に繋がり重要である。

本研究は不連続体解析手法である個別要素法を利用し、ウェッジスラストの発達条件並びに構造発達過程を明らかにすること目的としている。はじめに個別要素法を用いた不連続体解析プログラム PFC2D の妥当性を検討するために、同一モデルについて個別要素法による数値実験と砂箱によるアナログ実験を実施し比較検討したところ、良好な一致を得られた。つづいて簡易なモデルを用いた実験から、複雑な構造発達にはヤング率が強く影響し、さらにデタッチメントの形成には、層構造の存在が必須であることが確認できた。

これらの結果を元に、Kato et al. (2010) によってウェッジスラストの存在が確認されている新潟県三条市下田丘陵を参考とした "三条モデル" を構築した。三条モデルでは、ウェッジスラストが発達する様子が確認されたが、堆積層による積載荷重を考慮した場合、ウェッジスラストが発達しない事が確認された。この原因は、デタッチメントの延伸によって、ひずみが分散する為であると考えられる。三条の地下構造を参考にして、デタッチメント発達領域を制限したモデルで検討したところ、新期堆積層の積載荷重を考慮しても明確にウェッジスラストが発達した。さらにモデル内の丘陵部側を削薄することで浸食を再現した場合は、明瞭なバックスラストの発達を確認され、現実的なモデルが構築できた。

三条モデルにおいて、堆積層内の断層運動は間欠的で、断層が複数に分散されてひずみを解消している事が示された。そして、デタッチメントの発達に伴い、新しいルーフスラストが形成され断層運動の場が基盤断層から離れていく現象が確認された。これは三条の吉野屋断層の活動経歴と調和的である (小松原, 1995)。また、ウェッジスラストにおけるフロアスラストとルーフスラストの活動には時間的に差が生じる様子も確認できた。さらに、基盤断層の滑り量と比較して、地表付近の断層の滑り量は小さいことが確認された。

キーワード: 断層関連褶曲, ウェッジ・スラスト, 伏在衝上活断層, 個別要素法, デタッチメント, 庄川複背斜

Keywords: fault-related fold, wedge thrust, active blind thrust, distinct element method, detachment, Shogawa anticlinorium

新潟県三条市下田丘陵における庄川複背斜の構造地質学的研究
Structural geology of the Shogawa anticlinorium in the Shitada Hill, Niigata, northern Japan

品田 航也¹, 豊島 剛志^{1*}
Koya Shinada¹, Tsuyoshi Toyoshima^{1*}

¹ 新潟大学理学部地質科学科
¹ Niigata University

新潟県三条市の下田丘陵において詳細な地質図等を作製し、高分解能反射法地震探査結果(加藤ほか, 2009, 2011)を参照して、地下深部にわたる地質断面図を作製した。その結果、庄川複背斜は東傾斜のリストリック逆断層を伴う断層伝播褶曲であることが明らかとなった。さらに、小断層データを用いた多重逆解法による古応力解析(Yamaji, 2000; Otsubo and Yamaji, 2006; Sato and Yamaji, 2006; Otsubo et al, 2006)を行った結果、庄川複背斜が座屈に形成されたことを示す応力場を含む、3つの応力場が分離された。また、褶曲の形成過程と古流向解析を合わせると、庄川複背斜の隆起は魚沼層下部の堆積時より前ではない、すなわち約2 Ma以降に始まったと考えられる。

キーワード: 庄川複背斜, 断層伝播褶曲, 小断層解析, 古応力, 古流向解析, 新潟堆積盆

Keywords: Shogawa anticlinorium, fault-propagation fold, minor fault analysis, paleostress, paleocurrent analysis, Niigata sedimentary basin

地震探査から見る日本海東部の震源断層

Seismogenic source faults in the eastern part of the Japan sea based on seismic survey

野 徹雄^{1*}, 佐藤 壮¹, 小平 秀一¹, 佐藤 比呂志², 石山 達也², 高橋 成実¹, 金田 義行¹

Tetsuo No^{1*}, Takeshi Sato¹, Shuichi Kodaira¹, Hiroshi Sato², Tatsuya Ishiyama², Narumi Takahashi¹, Yoshiyuki Kaneda¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東大地震研究所

¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. of Tokyo

これまで日本海における地殻構造研究は、ODP Leg127 や 128 に関連した研究 (e.g. Tamaki et al., 1990) 石油探鉱に関連した反射法地震探査による調査 (e.g. 石油公団, 1987) 海底地震計を用いた地殻構造研究 (e.g. 西坂・他, 2001, Sato et al., 2006) などをもとに議論が進められてきた。一方、日本海東縁では、「ひずみ集中帯」とよばれる複数の帯状に変動帯 (Okamura et al., 1995) の中で 1964 年新潟地震 ($M_J7.5$) や 1983 年日本海中部地震 ($M_J7.7$) など被害地震・津波が繰り返し発生しているが、これらの地震の全体像を研究する上では地殻構造探査データが十分な状況でなかった。

2007 年～2012 年において、「新潟県中越沖地震に関する緊急調査研究」や「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」のプロジェクトにより、日本海東縁において地殻構造探査を実施し、地殻構造研究の側面から日本海東縁における地震発生帯の研究を進めてきた。調査は、富山トラフから西津軽沖にかけての沿岸域の大陸棚から大和海盆・日本海盆に至る海域で、独立行政法人海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいいい」と海洋調査船「かいよう」を用い、マルチチャンネル反射法地震探査 (47 測線) と海底地震計 (OBS) による地震探査 (4 測線) を実施した。調査で得られた結果から、北側 (秋田沖～西津軽沖) と南側 (能登半島沖～山形沖) で地殻構造が異なり、このことがひずみ集中帯や地震の空間的な分布と関係していることがわかった。

南部 (能登半島沖～山形沖) では、能登半島沖大陸棚、新潟沖・山形沖大陸棚、最上トラフ、佐渡海嶺に至る海域で活構造が多く認められる。これらの領域は、島弧地殻に近い構造を形成している結果が得られ、特に上・中部地殻の速度構造は島弧上部地殻と同様の構造を形成し、活構造に対応した空間方向の変化も認められる。この海域で発生した 1833 年庄内沖地震 ($M7.5$)、1964 年新潟地震や 2007 年新潟県中越沖地震 ($M_J6.8$) は、島弧地殻的な構造を形成している領域の中で発生した地震である。一方、大和海盆は、大陸地殻と海洋地殻の中間的な地殻構造 (ここでは遷移地殻とよぶ) となっており、短縮変形した構造は非常に少ない。

北部 (秋田沖～西津軽沖) では、ひずみ集中帯が 3 つの帯に分かれていく。日本海東縁ひずみ集中帯の東側の帯は、秋田沖・西津軽沖大陸棚や西津軽海盆などに沿って分布するが、この海域は島弧地殻的な構造を形成しており、地殻構造の特徴は南部における佐渡海嶺～新潟沖・山形沖大陸棚に至る海域とほぼ同様である。それに対して、東経 139 度付近に沿って分布するひずみ集中帯は、地殻構造が遷移地殻に対応し、島弧地殻との境界に近い領域である。この領域内で、日本海中部地震は発生し、ひずみ集中帯に沿った短縮変形した構造が認められる。特に顕著なのは震源域の西縁に沿った構造で、東傾斜の逆断層を伴った背斜が発達し、一部の測線ではそれに対応した明瞭な反射面を地殻内に同定することができる。この反射面は、地殻の厚さが東側へ向かってさらに厚く変化している部分に位置し、海陸統合処理による日本海中部地震の余震分布 (Nosaka et al., 1987) とも非常によく対応していることから、日本海中部地震の震源断層である可能性が高い。さらに、日本海中部地震震源域から西へ約 100 km に位置する日本海盆南東部 (松前海台と大和堆の間) にもひずみ集中帯が分布している。この領域では、日本海中部地震震源域付近より地殻が薄くなっていき、遷移地殻と海洋地殻との境界付近に位置する。日本海盆内のひずみ集中帯の中では、発達している背斜に対応する断層と見られる反射面が地殻内にイメージされ、その一部はモホ面近傍まで達している。このひずみ集中帯の領域からさらに西側の日本海盆に至ると、ほぼ典型的な海洋地殻の構造になり、短縮変形した構造はなくなる。

キーワード: 日本海, 地震探査, 日本海中部地震, 新潟地震, 反射法地震探査, 海底地震計

Keywords: Japan sea, Seismic survey, 1983 Nihonkai-Chubu earthquake, 1964 Niigata earthquake, Multi-channel seismic reflection survey, Ocean bottom seismograph

長野盆地西縁・飯山断層の高精度反射法地震探査から明らかになった地下構造 High resolution seismic reflection profiling across the Iiyama fault, central Japan

石山 達也^{1*}, 加藤 直子¹, 佐藤 比呂志¹, 蔵下 英司¹, 越谷 信², 豊島 剛志³, 小林 健太³, 戸田 茂⁴, 照井 匡子², 飯塚 弦奨⁴, 森山 瑞絵², 阿部 紫織⁵, 白石 和也⁶, 阿部 進⁶

Tatsuya Ishiyama^{1*}, Naoko Kato¹, Hiroshi Sato¹, Eiji Kurashimo¹, Shin Koshiya², Tsuyoshi Toyoshima³, Kenta Kobayashi³, Shigeru Toda⁴, Kyoko Terui², Genki Iizuka⁴, Mizue Moriyama², Shiori Abe⁵, Kazuya Shiraishi⁶, Susumu Abe⁶

¹ 東京大学地震研究所, ² 岩手大学工学部, ³ 新潟大学理学部地質学科, ⁴ 愛知教育大学, ⁵ 千葉大学理学部地球科学科, ⁶ 株式会社地球科学総合研究所

¹ERI, University of Tokyo, ²Faculty of engineering, Iwate University, ³Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, ⁴Aichi Educational University, ⁵Department of Geosciences, Chiba University, ⁶JGI, Inc.

北部フォッサマグナ地域に発達する褶曲・衝上断層帯のうち、犀川丘陵北部は、北北西走向の軸跡を有する非常に複雑な複背斜構造を呈している。2013年に行われた深部構造探査・小谷-飯山測線とその地質学的な解釈から、この構造が地下深部に存在する東傾斜の低角な衝上断層とそこから分岐する西傾斜の比較的高角な逆断層群の上盤側に形成された複背斜構造であることなどが明らかになった(佐藤ほか, 2013)。飯山断層は犀川丘陵北部と飯山盆地の地形・地質境界に位置し、第四紀後期の地形面を累積的に変形させ、地形・地質の構造的な落差に寄与した主要な活断層である。小谷-飯山測線の結果によれば、西傾斜の逆断層である飯山断層は地下約数 km でデコルマ面に収斂する。一方でその先端部は非常に複雑な分岐構造を呈しており、浅部の複雑な構造や変動地形と深部構造を結びつけて論じるためには地下浅部の高解像度イメージングを行う必要がある。また、飯山断層に沿っては、1847(弘化4)年善光寺地震(M7.4)の際に地表地震断層が出現したことが知られており、地表から地下深部にかけての構造地質的な関係を理解することは、活断層と震源断層の関わりを理解する上で重要な示唆となりうる。そこで、筆者らは文部科学省「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の一環として、飯山断層を横断する測線において浅部の高解像度反射法地震探査を実施した。本実験では独立型収録システム GSR (OYO Geospace 社製) および中型パイプレーター震源 EnviroVib (IVI 社製) 2 台を用いた。測線は飯山市岩井から同静間の約 5 km 区間である。主なデータ取得パラメータは以下の通りである: 受振・発振点間隔: 12.5 m, 展開チャンネル数: 216 ch, スweep長: 20 sec, スweep周波数: 8-100 Hz, 地震計固有周波数: 10 Hz, 記録長: 3 sec, サンプリング間隔: 4 msec。測線周辺のノイズレベルは非常に低く、その結果ほぼ全てのショット記録において S/N 比の高い良好な記録が得られた。この観測記録を用いて、Super-XC ((株)地球科学総合研究所製) を使用した共通反射点重合法に基づくデータ解析を行った。その結果、飯山断層およびその下盤側の地下 1.5 km までのイメージが取得できた。それによれば、複背斜構造を呈する飯山断層の上盤側が下盤側のほぼ水平な地層に衝上する様子が確認出来る。また、複背斜構造は複数条のスラストによって切られる様子がわかる。深部構造探査の断面と比較すると、これらのスラストは地殻浅部でデコルマに収れんする可能性が高い。今後は、変動地形・表層地質・ボーリング層序・深部反射断面(佐藤ほか、本大会)などとあわせて、飯山断層の浅部地質構造について詳細な解析を進める予定である。

四国下部地殻に由来する捕獲岩のP波速度:四国の下部地殻構成 Calculated P-wave velocity for xenoliths from the lower crust beneath Shikoku

石川 正弘^{1*}, 高橋典嗣¹, 石塚英男²

Masahiro Ishikawa^{1*}, Noritsugu Takahashi¹, Hideo Ishizuka²

¹ 横浜国立大学, ² 高知大学

¹Yokohama National University, ²Kochi University

四国の地下構造, 特に地殻構成を解明することを目的とし, 高知県長岡郡に産する捕獲岩のP波速度を計算した。四国における苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩の産出は非常に限られている。愛媛県四国中央市新宮町ではランプロファイヤー岩脈に伴って苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩が産することが以前から知られているが(鷹村, 1978; Goto & Arai, 1987), 高知県長岡郡でもアルカリ玄武岩脈に地下深部由来の捕獲岩が伴われることが報告されている(石塚, 2010)。

本研究では, まず, 高知県長岡郡に産する捕獲岩について偏光顕微鏡観察による鉱物モード測定と電子線マイクロアナライザーによる鉱物化学組成分析を行なった。次に, 岩石の弾性的性質が等方的であると仮定して, Hacker and Abers(2004)のExcel Macroを用いて苦鉄質岩の弾性波速度を計算し, 最終的には地震波速度構造との比較から四国の地殻構成について検討した。

偏光顕微鏡観察の結果, 苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩は, かんらん石斑れい岩, 優黒質斑れい岩, 優黒質角閃石-輝石斑れい岩, 優白質斑れいノーライト, 優白質ノーライト, 単斜輝岩, かんらん石単斜輝岩に分類された。また, 高知県長岡郡に産出した捕獲岩の岩石種は愛媛県新宮とは異なり, マントルかんらん岩が見られなかった。単斜輝石-斜方輝石地質温度計を用いた結果, 優黒質斑れい岩と単斜輝岩の平衡温度はそれぞれ約980, 1060と見積もられた。2つの捕獲岩の平衡温度を阿部・荒井(2005)によって求められた西南日本の荒戸山・男山・新宮に産出したかんらん岩捕獲岩の平衡温度を比較すると, 優黒質斑れい岩は相対的に低く, 単斜輝岩は上述かんらん岩の平均的な平衡温度に相当する。したがって, 優黒質斑れい岩は下部地殻深部を, 単斜輝岩はモホ近傍もしくは最上部マントルを構成する岩石であると推測される。

優黒質斑れい岩, 優黒質角閃石-輝石斑れい岩, 優白質斑れいノーライトについて鉱物化学組成と鉱物モード比を用いてP波速度を求めた。これらの速度を西南日本のP波速度断面と比較した結果, 優白質斑れい岩ノーライトは下部地殻と同等の速度であった。一方, 優黒質斑れい岩, 優黒質角閃石-輝石斑れい岩は下部地殻のP波速度よりも明らかに高速であり, 下部地殻全体を構成する岩石であるとは考えられず, 下部地殻最下部を構成するものと考えられる。

四国西部地域の重力異常と密度構造 Gravity anomaly and density structure in western Shikoku region

平松 良浩^{1*}, 澤田 明宏¹, 水上 知行¹, 浦野 駿¹, 堀野一樹¹
Yoshihiro Hiramatsu^{1*}, Akihiro Sawada¹, Tomoyuki Mizukami¹, Suguru Urano¹, Kazuki Horino¹

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系

¹Department of Earth Sciences, Kanazawa University

四国地方では南海トラフの海溝軸に平行な方向に変成帯が発達し、また四国下に沈み込むフィリピン海プレート上面では深部低周波微動やスロースリップが発生する。金沢大学では2012年9月に四国地方西部において東-西方向1本および北北西-南南東方向2本の測線上において重力観測を行った。本研究ではこれら3本の測線上および四国西部地域の重力異常について報告する。

本研究で使用する重力データは、金沢大学(本多・ほか, 2013)、国土地理院(2006)、産業技術総合研究所地質調査総合センター(2004)、The Gravity Research Group in Southwest Japan(2001)の公表データ、および2012年9月に愛媛県大洲市長浜-高知県四万十市、愛媛県伊予郡砥部町-高知県高岡郡中土佐町、愛媛県西宇和郡伊方町-高知県土佐郡土佐町の計3本の測線に沿って新規測定した132点の観測データである。仮定密度は2300 kg/m³とし、本多河野(2005)の地形補正処理を行った。

四国西部地域の重力異常は、フィリピン海プレートの深さおよび地殻の厚さの変化により、長波長のトレンドとして太平洋側で高く瀬戸内海側で低くなる。その長波長の変化の中に地殻浅部の地質構造を反映した短波長の変化が含まれる。しかし、同じ変成帯であっても重力異常値は5-10 mgal程度異なり、より深部における密度構造の違いを反映していると考えられる。本報告では、プレートまで考慮した密度構造モデルを作成し、構造境界面の深さあるいは密度の変化により、観測重力値をどの程度説明可能か検証する。

謝辞: 本研究では、国土地理院、産業技術総合研究所地質調査総合センター、The Gravity Research Group in Southwest Japanによる重力データを使用しました。記して感謝します。

キーワード: 重力異常, 密度構造, 四国西部, 変成帯, フィリピン海プレート

Keywords: gravity anomaly, density structure, western Shikoku, metamorphic belt, Philippine Sea plate

沖永良部島から沖縄トラフにかけての地球物理学的特徴 (GH12 航海速報) Geophysical characteristics between Okino-erabu Island and Okinawa trough (Preliminary results of GH12 cruise)

佐藤 太一^{1*}, 小田 啓邦¹
Taichi Sato^{1*}, Hirokuni Oda¹

¹ 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

¹Institute of Geoscience, Geological Survey of Japan, AIST

Back-arc basins are extensional basins formed behind subduction zones by seafloor rifting or seafloor spreading. Back-arc seafloor spreading process is considered as similar to those of mid-ocean ridges. Likewise, back-arc rifting process is considered as similar to mid-ocean rifting but is not clear because there are few examples of the back-arc rifting in the present. The Okinawa Trough is a back-arc rifting basin of the Ryukyu arc, extending between the southwest Kyushu and north Taiwan. Several evidences of magmatic activity such as dike intrusions and hydrothermal activities were found in the trough. However, it is still not clear when these magmatic activities were initiated and how they proceed during seafloor rifting.

We carried out marine geophysical survey during GH12 cruise by R/V Hakurei from July 20 to 31. The survey area is between Okino-erabu Island and Okinawa trough in the middle of the Ryukyu arc. Sea surface geophysical mapping (bathymetry, magnetics and gravity) was conducted during the survey. We present preliminary results of the morphological and geophysical characteristics of the area.

Lower Bouguer anomaly (-40 to 20 mgal) is observed at Yoron basin, southwest area of Okino-erabu Island, and 30 km northwest area of Iheya Island. Comparing with the seafloor morphologies, these Bouguer anomalies suggest the presence of thick sediments in the area. Sediment thickness of these areas gradually increases to the east. On the other hand, higher Bouguer anomaly (>20 mgal) is observed at north to northeast of Iheya Island and Okino-erabu spur. The highest Bouguer anomaly corresponds to the shallow area extending from Iheya Island. This shallow area including Iheya Island shows weak positive to negative magnetization. These geophysical observations may attribute to the pre-Neogene basement rocks which constitutes Iheya Island. In contrast, Yoron Island and Okino-erabu Island also are characterized by lower Bouguer anomaly and weak magnetization. Yoron Island is also constituted by pre-Neogene basement rocks, therefore the geophysical difference may come from the depth to the basement rocks. Positive magnetic anomaly with moderate Bouguer anomaly is observed at Igyo-sonne. Similar features accommodating with shallow topography can be observed toward southwest and form a chain. Considering the location and the trend of these anomalies, this may come from the magmatic activity related pre-volcanic Island-arc of Ryukyu-arc, continuing from Kume Island. Several sea knolls are observed at western end of the survey area. These structures are considered to belong to present volcanic arc from its location, but remarkable geophysical features are not found.

Above preliminary interpretations suggest that the magmatic activity of Ryukyu-arc is limited to the west of Iheya Island. Although the transition of magmatic activity between pre- and present volcanic-arc is not clear in our survey area, several magmatic activities related to the back-arc rifting, such as Iheya knolls and Iheya minor ridge, are located just west to our survey area. Regional scale survey from Island-arc to back-arc is important to understand the back-arc rifting process.

キーワード: 海底地形, 地磁気異常, 重力異常, 沖縄トラフ

Keywords: Seafloor morphology, magnetic anomaly, gravity anomaly, Okinawa trough